

SPP(サイエンス・パートナーシップ・プログラム)を
活用した化学教育：
単結晶X線構造解析装置を利用した原子・分子の認識

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2018-04-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 浅原, 雅浩, 小鍛冶, 優, 青山, 絹代, 宇野, 章代, 菅原, 英淑, 丹松, 美由紀 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/10426

SPP (サイエンス・パートナーシップ・プログラム) を活用した化学教育 —単結晶X線構造解析装置を利用した原子・分子の認識—

福井大学教育地域科学部 浅原 雅 浩
永平寺町上志比中学校 小 鍛 冶 優
福井大学教育地域科学部 青 山 絹 代
福井大学大学院教育学研究科 宇 野 章 代
福井大学大学院教育学研究科 菅 原 英 淑
鳥取大学工学部技術部 丹 松 美由紀

本研究は、本学部が永平寺町永平寺中学校を連携校として行なった「教育連携講座 原子・分子のかたちをみる」について、その実施内容と参加生徒に対するアンケート調査に対する考察を行なったものである。本講座は平成17年度文部科学省SPP (サイエンス・パートナーシップ・プログラム) 事業に採択されて行なったもので、理科第1分野の発展的学習として、学内の先端分析機器を活用した大学と中学校の連携的教育実践である。生徒たちに直接肉眼で見ることのできない原子や分子の世界をイメージさせるために何が出来るかがポイントである。

キーワード：中大連携，化学教育，X線構造解析，単結晶，原子，分子，SPP

1. はじめに

近年，青少年をはじめとする国民の「科学技術離れ」「理科離れ」「ものづくり離れ」が指摘され続けている中，我が国は，科学技術の振興により，豊かな国民生活や社会経済の発展及び産業競争力の強化を実現する「科学技術創造立国」を目指している。

そこで，文部科学省は，科学技術・理科，数学(算数)教育を充実させるため，「科学技術・理科大好きプラン」を推進し，平成14年以降9つの施策を行なってきた。このうちの1つが今回報告するサイエンス・パートナーシップ・プログラム (SPP) 事業である。SPP事業は，中学校，高等学校等 (以下，「学校」と略記) と，大学，公的研究機関，民間企業等 (以下，「大学等」と略記) との連携により，児童生徒の興味・関心と知的探究心等を一層高める機会を充実させることを目指している。SPP事業は，「研究者招へい講座」，「教育連携講座」，および「教員研修」の3つで構成されており，大学等と学校の連携のあり方についての調査研究を行うものである。

福井大学では，このシステムを活用して，平成14年度に教員研修型1件，平成15年度に教育連携講座型2件及び教員研修型1件，平成16年度に教育連携講座型5件，平成17年度に教育連携講座型5件および教員研修型1件が行われ，福井県内における科学啓発活動の一翼を担っている。

我々の行うSPP事業は，H17年度で3年目となり，鳥取県で3回 (H15, 16, 17年度)，福井県で1回 (H17年度)，合計4つの新しい試みを含んだ「教育連携講座」

を実施した。

本研究では，平成17年度に福井大学教育地域科学部と永平寺町永平寺中学校が連携して実施したSPP教育連携講座「原子・分子のかたちをみる」について，連携の間での過程，実施内容，実施後のアンケート，および平成18年度SPP (サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト) 事業への展開について述べる。

2. 経緯

浅原・丹松は，もともと科学に興味がないため催しに出向いてこない，あるいは開催地や時期が限られているため参加できない子ども達のために，鳥取県内地域の小学校・公民館・地域のイベント等に出向き，多くの子ども達が楽しみながら科学に接する機会をつくることを目的として，「出前おもしろ実験室」を数年開催してきた。

しかし，この種の活動の是非を問う声もある。一般に，たとえ興味や驚きを与えることができて一過性のものではないのか，また実際どれだけの成果を上げているのかということが疑問視される。我々は，広く浅く万人に興味を持たせるという段階はすでに過去のものとなりつつあり，単なる動機づけだけでなく，興味を持った子どもたちにより深く科学を理解させる活動が重要になると考え始めていた。同時期に，文部科学省では，「サイエンス・パートナーシップ・プログラム (SPP) 事業」を開始していたのである。

3. 「理科教育」と「ものづくり教育」の接点と啓発適齢期

浅原・丹松は，「理科特に化学教育」と「ものづくり教育」に関する啓発活動や教育支援活動に数年来携わつ

てきた。これらの経験から、次のことが明らかになってきた。

- ① いずれも「ばなれ」対策として頻りに取り上げられていることも含め、この2つには共通点が多い。同時に理科教育とものづくりをセットでおこなうことの効果は非常に大きいこともわかってきた。
- ② これらの啓発活動をおこなうには、重要な時期があることを体験してきた。これは、鳥取大学地域学部土井康作教授らの「子どもの発達とものづくり教育に関する研究」と一致するところである。子どもたちが、周囲に対して知的好奇心に触発される時期は、幼稚園、小学校4、5年生、中学校3年生、高校1年生である。
- ③ 例えば中学3年生でも、大学教員の講義を聴き、大学生が日々行っている内容の実験をおこない、その詳しい解説を受ければ、自分たち自身で理解する努力を始め、自発的調査もおこなう。その結果、等身大以上の研究成果発表をおこなってくれる。
- ④ 小学校4、5年生の時期は、特に、知的好奇心に富んでいる。演示実験的な内容で興味さえ引き付けられれば、理科の好き嫌いに拘らず目を輝かせ、多少難しい科学的解説にもしっかりと目を向けてくれることがわかった。

以上の結果から、「科学に対しての潜在的な関心と進路選択の啓発には、小学校4,5年生と中学校3年生および高校1年生の時期が重要で、この適齢期における化学教育を機能的かつ効率的におこなうプログラムの開発が重要である」という結論に至った。

4. 平成17年SPP教育連携講座実施に関する背景

福井大学総合実験研究支援センター理工学研究分野機器分析部門に属し、浅原の管理している「イメージングプレート単結晶自動X線構造解析装置（リガク社製 R-Axis Rapid-FGIP2）」（図1）は、肉眼では見ることでできない、原子・分子の世界を生徒たちに間接的に見た気分を味合わせるには十分過ぎる性能を有している。

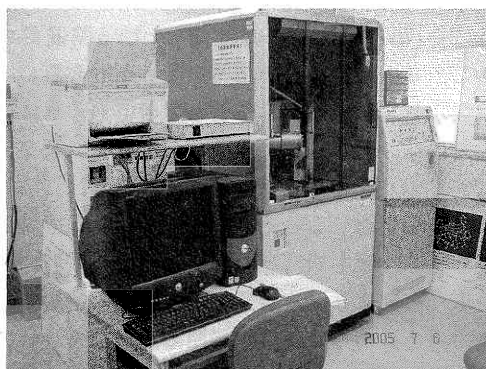


図1. イメージングプレート単結晶自動X線構造解析装置

実際には、最先端の研究成果を生み出す高性能装置であるため、生徒たちに、原子・分子のかたちを見せるには十分の能力があると同時に最先端の科学研究の現場を見せ・体験させることが可能である。X線発生装置を利

用するため、被爆等に細心の注意を払う必要があるが、講師が装置使用資格者であり、安全に関するチェックを行なっていれば、特に問題なく演示的に使用できる。すなわち、研究・教育・産学協同に次ぐ、第4の装置利用形態とみなすことができる。

一方、中学生にとっては、中学校2年生で学ぶ第1分野単元「化学変化と原子・分子」の発展学習として、授業では説明が中心で終わっている「物質が原子や分子でできている」という事実を、大学の最先端分析機器を使って実験で調べようという試みと捉えることができる。また、最先端の科学にふれることにより、自然科学に対する畏敬の念や感動を味わう、更に進路学習的な意味合いもねらい含めることができる。

著者らは、中学校理科第1分野の教科書に、二酸化炭素分子は直線状に描かれており、水分子は、約104.5°の角度を持った分子で描かれている（図2）ことに着目し、これらの分子のかたちを、なぜ教科書にはこのように描いているのかを理解させるための大学と中学校との教育連携について模索することにした。

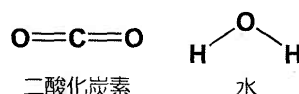


図2. 分子の模式図

この内容は、物質が原子からできており、原子がある規則に基づいて化学結合することにより分子ができ、さらにこれらが2次的な相互作用をすることにより、結晶ができたり、新しい機能が発現したりすることの基礎となることを中学生という原子・分子についてはじめて学ぶ段階で「粒子概念」を形成するために非常によい題材であると考えた。また、本装置で分析するためには、単結晶を得る必要がある。単結晶を得るためには、ものの溶け方や再結晶について学ぶ必要があるため、教科書の第1分野単元「身のまわりの物質」の復習的内容と発展的内容も含んでおり、理科の教科書内の学習内容のつながりについても意識させることができる。

5. 大学と中学校との連携の背景

このような大学と中学校との連携を成功させるためには、以下の要素が必要となる。

- (1) 大学教員と中学校教員が連携に対する共通意識を持ち情報交換できる場、言い換えると、連携のきっかけのできる場を（継続的に）持てること。
- (2) 大学と学校間の敷居を低くすること。
- (3) 実施に当たり、双方の周囲の理解と協力が得られること。
- (4) 講師となる大学教員が、中学校における学習内容についてある程度理解していること。
- (5) 中学校の教員が、大学教員の行ないたい教育連携内容についてある程度理解していること。

この中で最も重要な点は、(1)である。(1)があつて初

めて、(2)～(5)の条件が必要となってくる。

幸いにして、この機会は平成16年12月18日に福井大学にて開催された「エネルギー環境教育と地域連携に関するシンポジウム」で、「鳥取大学におけるSPP事業を通じた化学啓発活動」と題して講演したときにやってきた。この懇親会にて本発表に興味を持った著者同士がその場で連携の約束を行なったのである。その後、連携は今日まで引き続き、大学の資源を活用した中大連携による新しい科学教育プログラムについて改良しつつ継続している。

(2)と(3)については、実施計画を立てる段階や実施にかかわる段階で、如何にスムーズに実施できるかのキポイントになってくる。気軽に学校側からの教育連携の相談や依頼を受ける窓口があることが必要であり、かつ実際の計画段階では、実施内容に関して率直な意見交換ができる関係を構築できていることも重要である。また、

(福井)大学側では、評価課地域連携係、大学や学部組織、機器分析部門の装置利用に関する理解、講座や教室内での人的・実施環境的協力体制などが挙げられる。本SPP事業では、連携先学校長の承諾書の提出が必要となる。すなわち、大学と連携先中学校が契約を結んだ上で申請することになる。申請は、第1次募集の場合2月末であるため、場合によっては中学校側の実施担当者が転任する場合もあるので中学校内でのコンセンサスは大変重要である。これまでに、連携の窓口であった教頭先生が転出したケース(鳥取市北中学校)や教務主任の先生の転出したケース(永平寺町永平寺中学校)、また、講師となる著者自身の転出したケース(鳥取大学→福井大学)もあり、どんな場合でも大学と学校が連携して申請していることにかわりはなく、実施できなければならない。

(4)と(5)については、後で論ずる。

6. 平成17年SPP教育連携講座の実施内容

平成17年度に実施したプログラムのテーマは、「原子・分子のかたちをみる」である。文字どおり、「かたちをみる」ことに主眼を置いて実施した。イメージングプレート・エックス線・構造解析など、説明すればどれも大変難しい内容を含んでいるが、「かたちをみる手段」として取り扱えば、難しい内容を避けて、実験に必要な知識を中学校の教科書に求めると、最先端の内容も中学生のための科学啓発教育に活用できると信じて、この年は、時間の関係上あまり現場の教員と事前相談することなしに実施した。このことは、平成18年度の計画の際に大きな糧となり、平成18年度は、事前相談を盛り込んだ上で計画書が出来上がることになる。

実施計画は、次のとおりである。

- (1) 7月に大学教員が「原子・分子のかたちをみる」と題して、有機化合物のかたち・物質の精製と単結晶～再結晶～・電磁波とは、・分子のかたちをみる～X線回折法～について、永平寺中学校に出

向いて50分間の講義を行なった。対象は3年選択理科を受講している25名であり、正規の授業中に行なった。

- (2) 講義を受けた生徒に対して、夏休み中に大学で実験実習を行ないたい希望者を10名募った。
- (3) 8月8, 9, 10日の3日間、福井大学教育地域科学部および総合実験研究支援センターにて、実験実習(2日間)および成果発表のための資料整理および発表資料の作成(1日間)を行なった。
- (4) 8月末に、講師およびTAが中学校にて、発表前指導を行なった。
- (5) 9月5日に、中学校にて選択理科の授業時間内に、成果発表会を行なった。この場に、講師とTAも立ち会った。

実施に対して、次の点に考慮した。

- (1) できる限り中学校側の負担を少なくすると同時に参加する生徒数を確保するため、中学校の授業時間に合わせて行なう時間を部分的に設定した。
- (2) 夏休み中の実験に、できるだけ参加しやすい状況を作るため、SPP事業経費の中に生徒移動用のバス代を申請したり、中学校側の補習事業の時間を考慮したりした。このため、逆に実験実習の時間設定が少しタイトになる状況となってしまった。
- (3) 8月10日のみの成果発表資料作成には無理があるため、ある程度の(夏休み)期間を生徒たちの自主的資料作成期間として設け、発表会実施の直前にその進展の程度の確認、発表内容や言葉(単語)の確からしさの確認、さらに発表に対する技術的なことなどを指導する機会を設定した。
- (4) 10人の実験実習参加者を3グループに分けてプレゼンテーション資料を作成してもらい、成果発表会を実施した。このため、それぞれの発表が相補的となり、実験実習に参加しなかった生徒たちに対する大学での実験実習内容に関する理解の手助けには大きな効果があったと考えている。また、グループ間の競争意識も多少は芽生えたのではないだろうか。

7. 大学での実験実習

第1日目は、開講式をおこなうところから大学での実験実習を開始した。開講式では、黒木哲徳教育地域科学部長挨拶、スタッフ紹介、諸注意および安全教育をおこなった。実験には危険が伴うため安全教育には十分な時間を取り、また、実験室に入ってから一番初めに、白衣・手袋・安全めがね・マスクの着用について説明し注意を促した。

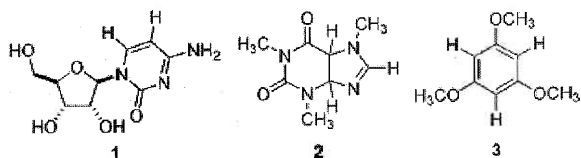


図3. 再結晶に使用した化合物の化学構造

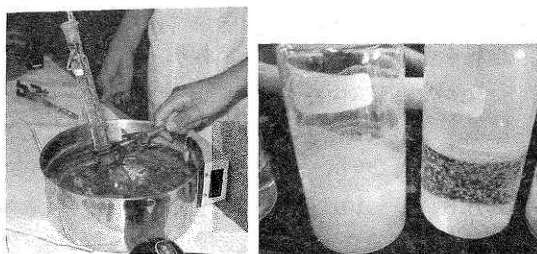


図4. 再結晶をおこなっている様子。左は冷却管を用いた場合、右はボトル中で一晩再結晶を行なったもの。

参加生徒9名（当日欠席1名あり）は3つのグループに分かれて、図3に示したシチジン(1)・カフェイン(2)・フロログルシントリメチルエーテル(3)のいずれかの再結晶操作をおこなった後（図4）、単結晶X線構造解析を行なうための測定試料作成（単結晶の切り出し・ガラス管付サンプル台の作成と試料の接着）を行なった。

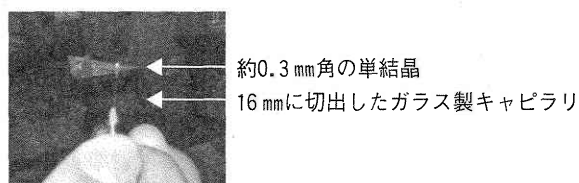


図5. 作成した単結晶X線測定用試料。

9人の作成した試料のうちもっとも測定に適していた試料（図5）を用いて、実際に、図1の装置にセットし1晩かけてデータ収集をおこなった。

第2日目は、質量分析計を用いた原子・分子のかたちの見方の視察から始めた。福井大学自身に興味を持たせるためあるいは、他の分析機器を視察させることにより、原子・分子の見方には、様々なアプローチがあることを実感させるために行なった（図6）。



図6. 大学院生によるタンデム型質量分析計の解説。

この後、前日に引き続き実験実習を行なった。すなわち、単結晶X線結晶構造解析の実際の体験（図7）、自分達で試作した単結晶の偏光現象の確認、シチジンの測定データを用いた回折測定データの精密化と分子構造の視覚化である。構造解析の結果を図8に示した。

これらの内容は、実際に測定する物質が新規物質であれば、そのまま一流の論文誌に投稿できるレベルのデータ

精度まで高める実習内容である。大学・大学院の基礎教育や単結晶X線構造解析に興味を持つ化学系研究員や技術者、学校現場の教員のブラッシュアップ教育にも即座に対応できる内容である。

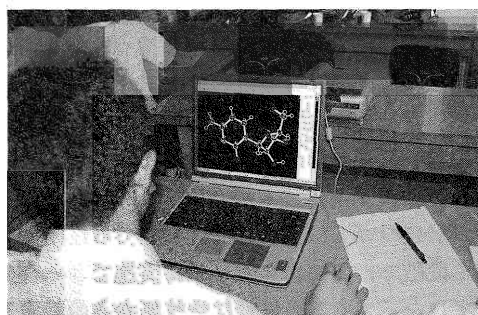


図7. Crystalstructure を用いた構造解析の様子。ディスプレイ上にシチジンの立体構造が確認できる。

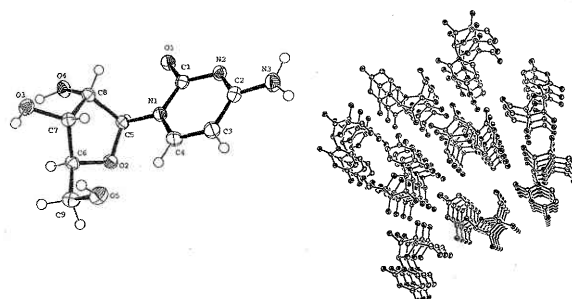


図8. シチジン分子の構造最適化を行なった結果。右図は、単分子の構造。左図は、結晶中におけるシチジン分子の配列の様子。

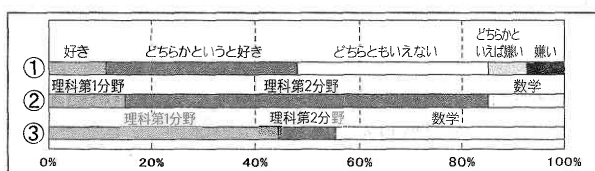
第3日目は、2日間の実験の成果をまとめ、PowerPointを用いた発表資料作成を行なった。当日中に作成できた段階までの内容を相互に発表しあい、実施内容の理解度を再確認した。

さらに、閉講式を行なった。ここでは、伊佐公男総合実験研究支援センター副センター長および生徒代表挨拶、講師、TA、引率教員が、それぞれの立場からの講評を行なった。

8. 実施後の参加生徒に対するアンケート調査

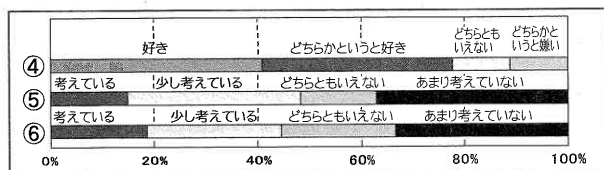
本教育連携プログラムの実施後、実施プログラムの取りまとめを行っている三菱総合研究所の実施するアンケートに加えて、我々の当時の段階で考える内容を加えてアンケート調査を行なった。母数が少ない（講義参加生徒27名）ので評価は難しいが、傾向は読み取れる。

(1) 参加生徒の理科・数学に対する志向について



- ① あなたは理科・数学が好きですか？
- ② 理科・数学の中で、あなたが最も好きな科目はどれですか？
- ③ 理科・数学の中で、あなたが最も嫌いな科目はどれですか？

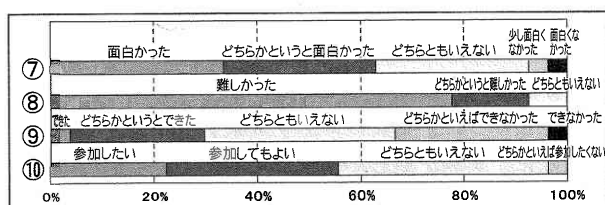
参加した生徒は、3年生の選択理科のクラスである。実際は、理科・数学の好きな生徒は半数程度であり、理科と数学の中で好きな分野はとの間に7割の生徒は第2分野と答え、逆に嫌いな分野として第1分野と数学がそれぞれ4割強ずつを占めていた。計算を伴う数学や理科の物理・化学分野、また、原子分子の世界を始めとして、実際に五感で認識することが難しい内容は、身近でビジュアルに想像しやすい第2分野に比べ、苦手意識を持つ生徒が多いことが考えられる。このテーマにおける実験に参加したい生徒を10名しか募らなかったのは、正解であったのかもしれない。



- ④ あなたは実験・観察が好きですか？
 ⑤ あなたは将来、理系に進学したいと考えていますか？
 ⑥ あなたは将来、理系の職業に就きたいと考えていますか？

約8割の生徒が実験・観察に興味を持っているが、未だ将来の進路として理系に興味をもつものは少ないことがいえる。この結果は、本事業における特徴的な点というわけではなく、2002年度に理科教育ワークショップ研究会の実施した、「福井県内の小・中・高等学校における「理科」に関する実態－理科好きを育てるための基礎調査－」にも類似の傾向が示されている。

(2) 実施プログラムに対する生徒の評価

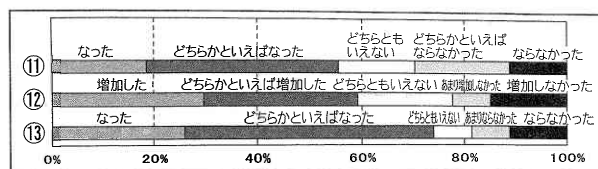


- ⑦ 授業はおもしろかったですか？
 ⑧ 授業で取り扱った内容は難しかったですか？
 ⑨ 授業の内容は、自分なりに理解できましたか？
 ⑩ また、このような授業があったら参加したいと思いますか？

実施内容に関して難しかったと感じている生徒が9割程度であり、自分なりに理解できたと感じている生徒も3割程度しかいないにもかかわらず、面白かったと感じた生徒は6割を超え、また参加したいと感じている生徒も5割を超えている。難しいと感じてはいるながら、大学レベルの講義に興味を抱いてくれていることが読み取れる。

逆に、このテーマでおこなう中学校との教育連携は初めての試みであったため、講師側の中学3年生時点での学習内容の理解度の低さから生じた結果とも理解できる。難しい内容をわかりやすい部分を含めて講義し、興味を触発したいという意図で実施したが、現実には厳しいものであった。問①と問⑩に相関関係があるようにもとれ、

理科や数学の好きな生徒は、潜在的にこのような事業に興味があるのかもしれない。



- ⑪ 研究者を身近に感じるようになりましたか？
 ⑫ 科学技術や理科・数学に対する興味・関心が増加しましたか？
 ⑬ 研究機関で実施されている研究について、具体的なイメージを持つようになりましたか？

本プログラムを実施した結果、約5割の生徒が研究者を身近に感じるようになったり、科学技術や理科・数学に対する興味関心が増加したりしている。また、8割近い生徒が研究機関での研究に具体性を感じるようになっていた。これらが、事前アンケートを行っていないため、優位な差であるかどうかは断言できないが、少なくとも、大学で行われている研究活動に対する理解や科学技術に対する理解増進には貢献できているように思われる。

(3) 実験参加者（回答9名）に対するアンケート調査

○ 理科のどんなところが好きですか（複数回答あり）

- ・実験があるところ（6名）
- ・実際に自分で調べられるところ（2名）
- ・わからなかった理屈が少しでもわかるようになること（2名）

○ なぜ、この大学での講義・実験会に参加しようと思いましたか。

- ・いい体験になると思ったから。
- ・もともと分子・原子に興味があったし、友達に誘われたから。
- ・とても興味があったから（2名）
- ・講義の内容にとってもひかれたから
- ・原子という、ものをつくる基本のものに興味があったから
- ・楽しそうだったから（2名）
- ・いろんなことが知りたかったから
- ・めったに体験できないことだから

○ 最初に、この大学での講義・実験会の説明を受けて、どんなことに興味を持ちましたか（複数回答あり）。

- ・原子・分子のこと（4名）
- ・薬品
- ・いろいろな機械を使うこと
- ・原子の構造
- ・実験
- ・すごくわくわくした

上記の3つの問いから、実験実習に参加した生徒たちは、大学での実験実習に大きな興味を抱いて参加していることが容易に予想できる。

また、実験後に、化学とものづくりの接点についての設問、すなわち、「作ってみたい分子」について、問い

- 数系離れ・理工系離れの現状調査：平成15年度 S P P 事業「教育連携講座」に参画して」近畿大学工学部紀要．人文・社会科学篇，34巻（2004）pp.59－86.
- 7) 浅原雅浩，丹松美由紀，小鍛冶優，「S P P（サイエンス・パートナーシップ・プログラム）事業の実践と課題－中大連携のすすめ－」理科の教育，55巻1号（2006）pp27－29.
- 8) 理科教育ワークショップ研究会編著，「福井県内の小・中・高等学校における「理科」に関する実態－理科好きを育てるための基礎調査－」第I期研究報告書（2002）.
- 9) 浅原雅浩，青山絹代編著，「原子・分子のかたちをみる」平成17年度実施報告書（2005）.

Chemical Education through the Science Partnership Program (SPP)–Shape Recognition of Atoms and Molecules using Crystal X-ray Diffractometer

Masahiro ASAHARA, Masaru KOKAJI, Kinuyo AOYAMA, Akiyo UNO, Hidetoshi SUGAWARA, and Miyuki TANMATSU

We organized the Collaborative Education Program on shape recognition of atoms and molecules in Eiheiiji lower secondary school and conducted a questionnaire survey among the students who attended the program. In 2005, our program was organized as part of the science partnership program promoted by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, and conducted it in the lower secondary school and University of Fukui as a collaborative progressive study in Chemistry using up-to-date analysis and equipment. It should be noted that students cannot directly observe the atoms and molecules with an unassisted eye and can only visualize them.

Key words : Collaboration between University and Lower Secondary School, Chemical Education, X-ray Structure Analysis, Single Crystal, Atom, Molecule, SPP