

# 中高生による X 線分析顕微鏡 (XGT) 等を用いた 探究活動手法と指導方法の構築



実施担当者 東京都立富士高等学校附属中学校  
主任教諭 向 雅生

## 1 はじめに

東京都理数アカデミー指定校である本校では、中高一貫校の利点を生かして、探究学習を行っている。そこでは、担当教諭がゼミ形式で、1年間を通して指導を生徒（平均：中3生12人、高1生20人、高2選択）に行っている。私は、探究の授業（中3、高1）と科学探究部の顧問として、探究活動の指導を行ってきた。しかし、学校現場で使用できる機器を用いて、独創的で精度の高い成果を数多く出し続けるのは困難である。そこで、本研究では、企業や大学などと連携し、多くの教育現場で応用できる X 線分析顕微鏡 (XGT) 等の高性能分析機器を用いた探究手法や指導方法を確立することを試みた。

## 2 高性能分析器を用いた探究手法と指導方法

### 2-1 高性能分析器を用いた探究手法

探究活動において、一番重要なのは「課題設定」である。一般的に学校現場で使用できる機器を用いた場合、課題設定の際に優れた着眼点を持った生徒が、十分に文献検索を行い、研究歴や経験豊かな指導者を含めてよほど吟味しない限り、学会発表や科学コンテストなどで一定の成果を上げることは難しい。そこで、企業や大学などと連携し、高性能分析機器を用いることを念頭に入れた課題設定を行うことを考えた。そして、探究学習の途中結果や仮説の立証のために、それらを用いる探究手法の実践を行った。今回の取り組みの結果は、探究活動の成果として後述する。

### 2-2 高性能分析器を用いた指導方法

高性能分析機器を用いた指導方法を、探究学習の  $PC \times R$  サイクルを応用することで、より効果的な指導方法を考案した。以下、今年度に試みた探究活動の指導方法である。

#### ① 探究スキルの学習

探究スキルは、実際に探究活動を実施する前に、授業などを通して学習を行う。具体的に探究スキルとは、課題発見スキル、文献検索スキル、探究計画スキル、データ収集スキル、データ分析スキル、アーギュメントスキル、リフレクションスキル、論文作成スキル、プレゼンテーションスキルなどである。これは、探究活動全体を通して必要なスキルの習得に役立つ。

#### ② 校外授業や研究者による出前授業の充実

探究活動において、校外学習や研究者による出前授業の充実は、生徒の興味関心を高めるだけでなく、「課題設定」や「これまでの振り返り」に役立つ。2019年度は、「多摩川上流の生物サンプル採取と水質調査」、「江の島の海生生物サンプル採取と水族館見見学」、「株式会社堀場テクノ

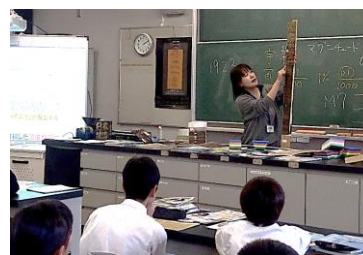
サービスへの見学」、「早稲田大学先端生命医科学センター（TWIns）へ見学」、「東京理科大学光触媒国際研究センターの見学（藤嶋昭教授による特別講義）」、「東京大学地震研究所出前授業」を実施した。



江の島の海生生物サンプル採取



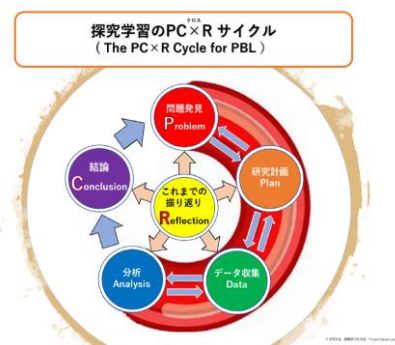
光触媒国際研究センター見学



東大地震研出前授業の様子

### ③ 「探究学習のPC×Rサイクル」と「ループリックによる評価シート」の活用

探究学習のPC×Rサイクルは、東京都教育委員会開発委員会において、探究学習に特化した新たな学習フレームワークとして、2018年に開発したものである。なお、私は開発委員会の一員である。構成要素は、P「問題発見」、C「結論」、XR「これまでの観点の振り返り」に3つの大観点からできている。さらに、P「問題発見」は、「問題発見」、「研究計画」、「データの収集」、「分析・整理」の4つの中観点からなり、C「結論」を含めて5つの中観点からできている。自己評価する際には、その都度XR「これまでの観点の振り返り」を行う。この「探究学習のPC×Rサイクル」を基に、評価基準（コモンループリック）と評価シートを作成して使用した。これらは、探究活動のマネジメント、自己の振り返りに役立つ。今回の取り組みの中で、高性能分析器は、「R振り返り」で、これまで行ってきた探究活動の研究精度を更に向上するために用いた。



## 3 X線分析顕微鏡（XGT）を用いた探究活動の成果

### 3-1 国内における学会発表

#### ① 第90回日本動物学会大阪大会での発表

探究未来学（向ゼミ）の生徒を引率し、日本動物学会大阪大会（9/14）で発表を行った。発表は、一般枠で口頭発表（1名）、中高生枠でポスター発表（2名）の2テーマで行った。口頭発表では、「X線分析顕微鏡（XGT）を用いた甲殻類の口器先端部のBr蓄積の研究」と題し、オカヤドカリやホッコクアカエビ（通称：甘えび）などの元素マッピングの測定結果と系統樹との比較を行い、大学の研究者に混じり堂々と発表を行っていた。ポスター発表では、「貝殻を捨てた巻貝の仲間における歯舌の臭素（Br）分布の測定」と題し、ウミウシなど元素マッピングの測定結果と系統樹との比較を行い、研究者の質問にもしっかりと応答していた。その結果、表彰式では、賞状と盾（優秀賞）を頂いた。今回発表した研究は、堀場テクノサービス（企業）と共同研究を行っており、いずれもX線分析顕微鏡（XGT）を用いて、蛍光X線の測定から金属元素の分布を測定している。これにより、電子顕微鏡よりも精度の高い解析を行うことができる。生徒たちは、権威ある日本動物学会に参加・発表し、科学研究の神髄に触れることができ、貴重な経験をできた。



口頭発表（3A1000）の様子



ポスター発表の様子

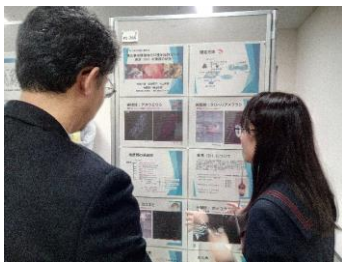


表彰式の様子

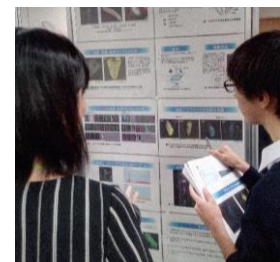


## ② 第 55 回 X 線分析討論会での発表

探究未来学（向ゼミ）の生徒を引率し、X 線分析討論会福島大会（10/30）で学会発表を行った。発表は、「P1-25S 骨格を持たない動物標本の元素マッピング方法の検討ープラナリアとウミウシの比較ー」「P1-26S 海生無脊椎動物の口器先端部への臭素（Br）の蓄積の研究」と題し、ポスター発表の形式で行った。生徒たちは、大学や企業の研究者が中心となった X 線分析における最先端学会に参加・発表し、科学研究の神髄に触れることができ、とても貴重な経験となった。なお、高校生による本学会での発表は、昨年度に本校が初めてであった。「このような極めて専門的な学会で、高校生が堂々と発表することは、非常に稀な出来事であり、ハードルが非常に高いことをやってのけた事自体は素晴らしい。」と大橋討論会実行委員長も述べていた。このような専門的な学会で一般の参加者と同じように発表できたことは、とても名誉なことである。



P1-26S のポスター発表の様子

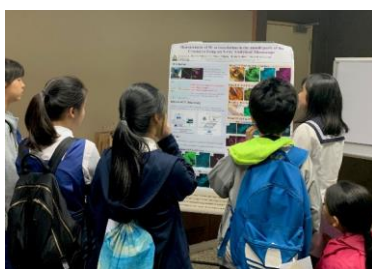
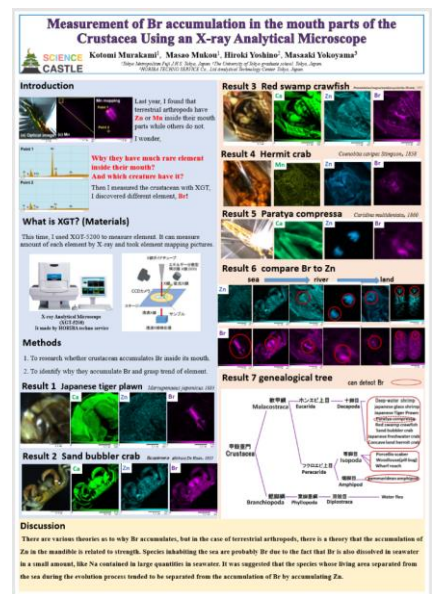


P1-25S のポスター発表の様子

### 3-2 海外における学会発表

サイエンスキャッスル・シンガポール大会（11/1~2）において、「Measurement of bromine (Br) accumulating in the mouth parts of the Crustacea using an X-ray analytical microscope」についてのポスター発表を行った。その内容は、9月に第90回日本動物学会大阪大会で、「X線分析顕微鏡(XGT)を用いた甲殻類の口器先端部のBr蓄積の研究」と題し、口頭発表をしたものに新たなデータを加えたものである。また、前任校から引き続き指導を行ってきた教え子の研究発表として、「Measurement of Metal Elements Accumulating in the Mandibles of the Beetles (coleoptera) Using an X-ray Analytical Microscope」のポスターを掲示した。

発表者の村上琴美さんは、「英語で研究発表する機会は、日本にいたら到底ありません。初めはすごく不安だったけれど、皆フレンドリーで沢山質問をしてくれるので、答えるのに必死で、いつの間にか緊張は吹き飛んでしまいました。ワークショップでは、自分の将来や環境問題について、ディスカッションやプレゼンテーションを行いました。英語で自分を表現することの難しさに直面しながらも、海外の友達が沢山でき、思い切って参加して良かったです！」と感想を語っていた。



ポスター発表の様子



大会会場



会場の様子

### 3-3 学術論文の作成・投稿

高性能分析機器であるX線分析顕微鏡（XGT）を用い、従来の学校現場では得られなかった散乱X線によるスペクトル等を用いた精度の高い成果を上げることができた。その結果、学会誌「X線分析の進歩 51」に高校生の研究が学術論文（査読あり）として掲載された。この経験を通して、生徒の論文作成スキルやアーギュメントスキルが格段に向上した。



### 4 まとめ

高性能分析器を用いた探究手法と新たに考案した指導方法を用いて探究活動を行うことで、従来の学校現場では得られなかった精度の高い成果を上げることができた。その結果、国内外の学会発表を行い、高校生による学術論文が専門分野の学会誌に掲載されるに至った。これらの活動を通して、生徒の探究スキルと興味関心が向上した。また、探究テーマをSDGsに連動させ、ESDへつなげることで、環境に対する意識が向上し、生徒や教育現場に還元できた。それから、その他のテーマにおける探究活動でも、一定の成果を上げることができたので以下に報告する。



(2019年度) 参加発表した学会一覧

2019年9月	日本動物学会（大阪大会）
2019年10月	X線分析討論会（福島大会）
2019年11月	サイエンスキャッスル（シンガポール大会）
2019年12月	サイエンスキャッスル（関東大会）
2019年12月	中谷医工計測技術振興財団科学振興助成金成果発表会
2020年1月	第3回 Bio Forum（神奈川県生物教育研究会主催）
2020年3月	日本動物学会関東支部大会（慶応大学）
2020年3月	環境探究フォーラム2020（東京大学大会）



(2019年度) 科学コンテストなどの受賞一覧（抜粋）と学術論文

第90回 日本動物学会大阪大会（中高生の部）	優秀賞
第11回 坊っちゃん科学賞 研究論文コンテスト	入賞
第17回 生活をテーマとする研究・作品コンクール	優秀賞
第63回 東京都児童・生徒発明くふう展	入賞
サイエンスキャッスル2019 関東大会（口頭・ポスター発表）	ICU賞、優秀賞、奨励賞
第19回 日本情報オリンピック予選	敢闘賞
第60回 自然科学観察コンクール	健闘賞
SDGs 探究アワード2019	優秀賞
環境探究フォーラム2020（東京大学大会）	環境探究学研究会会長賞、優良賞など
(学術論文) 村上琴美, 吉野広軌, 向雅生, 横山政昭, 沼子千弥: X線分析の進歩, 51, 199-210 (2020)	



### 謝辞

株式会社堀場テクノサービスの横山政昭氏には、X線分析顕微鏡（XGT）の技術指導でお世話になりました。また、それぞれの専門分野から多くの助言を頂きました環境探究学研究会会員の皆様をはじめ、本研究にご協力を頂きました全ての方に心からお礼を申し上げます。なお、この活動成果は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成によるものであることを申し添えます。