

平成30年度新時代の教育のための
国際協働プログラム委託事業成果報告書

委託事業課題

高大連携によるイノベーション創出人材育成のための統合的 STEM 開発
～女性の理工系キャリア推進をめざす日本型 WISTEM 教育の構築～

筑波大学

目次

1. はじめに.....	1
2. 概要.....	3
3. 実施内容.....	5
3.1 高校教員派遣.....	5
3.2 海外教育機関での調査研究活動.....	7
3.3 フォーラムの開催.....	9
4. 事業成果.....	11
4.1 学術的視点からの成果.....	11
4.1.1 PBL/フィールドワーク設計手法の開発.....	11
4.1.2 PBL/フィールドワークの事例.....	13
(1) ケース1 自然環境とエネルギー分野.....	13
(2) ケース2 生物多様性分野.....	17
4.1.3 女性STEM人材へのインタビュー.....	20
4.2 教育実践（全国的女子高校生を対象とした応用プログラムの実証研究）.....	23
4.3 成果の共有・普及活動.....	26
5. おわりに.....	28

1. はじめに

近年、世界各国では、イノベーション創出のための STEM 教育（理工系教育）を学校教育に導入する潮流が加速化している。米国では、1995 年に全米科学教育スタンダードが発行され、その改訂版として、2013 年には次世代科学スタンダード（NGSS：Next Generation Science Standards）が発表され、STEM 教育の標準となっている。

こうした国際的な STEM 教育活用に対し、日本国内の大学においても、PBL (Project Based Learning) やフィールドワークといったアクティブ・ラーニング手法の導入が拡大している。同様に、初中等教育においても、PBL やフィールドワークを主体とした STEM 教育の有用性が支持されている。また、2020 年度からは、高等学校指導要領として「理数探究」「理数探究基礎」が設けられる。既に、SGH (Super Global High School) 指定校や SSH (Super Science High School) 指定校では、アクティブ・ラーニングが取り入れられ、実践されているが、今後は、SGH, SSH に指定されていなかった高校への探究的学習が導入される。

一方、探究的な学習方法は、従来の高等学校における標準的な教育メソッドと異なるため、経験値の少ない教員にとっては、授業運営が難しい状況に直面する可能性がある。教育内容と教育メソッドの適合性を十分に考慮したうえで導入しないと、生徒にとっては、単に情報を調べるだけの学習になり、創造力や応用力を養うことができず、期待通りの教育効果が得られない。

また、日本における理系女性プロフェッショナル人材の人数は、低い水準で推移している。大学教育においても、理系学部的女性学生の割合は 2 割程度と低い。国際的な動向について、1990 年代までは、米国においても日本と同様の傾向にあった。理工系学部教育で全米 1 位 (US News, 2018) に選ばれるなど、理工系教育における実績があるハービーマッド大学では、現在、男女比率はほぼ同数であるが、1995 年頃まで大学全体的女性比率は 30% 未満、エンジニアリング学部では 15% 未満であった。しかしながら、2013 頃年から、大学全体、エンジニアリング学部共に 45% を超える値で推移している。その背景として、ハービーマッド大学に女性学長が就任し、女性の STEM 人材の育成に積極的に取り組むという大学方針がある。

同校では、将来入学をめざす女子高校生を対象とした WISTEM (Women's Introduction to Science, Technology, Engineering & Mathematics) を開講している。WISTEM では、毎年 2 月の春休みに全米から選抜した女子高生を対象として、2 泊 3 日のキャンパス構内でのスクーリング研修を実施している。その後、9 か月間に亘り、月 1 回のオンライン課題提出を通して STEM 手法を継続して学ぶ。これにより、スクリーニング対面型授業と ICT を併用したハイブリッドプログラムを提供している。日本の女性 STEM 人材の育成においても、ハービーマッド大学の取り組みから学べるものが少なくないであろう。

さらに、ハービーマッド大学では、50 年以上に亘り、同大学と研究機関や企業と協働し、学生が実社会の先端的課題について STEM 教育にもとづいて解決案を立案する「クリニック (Clinic)」という手法を開発、実施している。この産学共同プロジェクトは、同校の卒業生がシームレスに理工系キャリアとして活躍する場とキャリア開発の提供をも可能にしている。これらの取り組みにより、高校－大学－企業・研究機関間の一貫性のある教育、職業の垂直統合を実践している。

本プログラムでは、イノベーションを創出する STEM 教育および、女性理系人材育成プログラムの開発に向けて、ハービーマッド大学に本事業の調査研究に向けた協力を依頼した。また、高校における STEM 教育の現状を情報交換するため、同大学と同じ地区にあるクレアumont 高校に調査協力を依頼した。

上記の国際協力体制にもとづく本プログラムの目標は、日本の高等学校教員を対象として、事前、

海外研修を通して、新たな女子高校生向けの STEM 教育展開案を作成することである。具体的には、以下の4段階を通して実施された。

- (1) 事前研修としての STEM 教育メソッドにもとづく PBL/フィールドワークの設計。
- (2) ハービーマッド大学、クレアモント高校を訪問して STEM 教育、女性理系人材育成に関する授業見学や教員との意見交換
- (3) 事前研修で日本の高等学校教員が開発した PBL/フィールドワーク課題について、ハービーマッド大学から1日で往復アクセス可能なソルトン湖における実行と妥当性検証
- (4) 全国公募により募集した日本の女子高校生を対象として、海外研修に参加した高校教員が上記(3)で開発された教育展開案を用いて指導する海外現地フィールドにもとづく信頼性検証

2. 概要

委託事業課題

高大連携によるイノベーション創出人材育成のための統合的 STEM 開発
～女性の理工系キャリア促進をめざす日本型 WISTEM 教育の構築～

事業期間

平成30年6月1日（受託日）～平成31年3月29日

交流対象国・機関

- (1) 派遣国：アメリカ合衆国
(2) 交流機関 ハービーマッド大学及びクレアモント高校

【事業実施体制】

◇指導チーム

氏 名	所 属	職 名	担当内容
永井 裕久	筑波大学ビジネスサイエンス系	教授	プログラム開発
木野 泰伸	筑波大学ビジネスサイエンス系	准教授	事前・現地研修

◇派遣チーム

氏 名	所 属	職 名	教 科
朝倉 彬	お茶の水女子大学附属高等学校	教諭	理科
佐藤 司	兵庫県伊丹高等学校	教諭	英語
塩飽 りさ	筑波大学附属高等学校	教諭	英語
則房 優希	北海道登別明日中等教育学校	教諭	英語
藤城 友昭	埼玉県立不動岡高等学校	教諭	英語
安藤 愛	筑波大学附属坂戸高等学校	教諭	理科
長村 裕	福岡雙葉高等学校	教諭	英語
金子 絢	愛知県立明和高等学校	教諭	英語
福井 堯	京都府立嵯峨野高等学校	教諭	理科
藤原 千佳	兵庫県立北摂三田高等学校	教諭	英語

◇支援チーム

氏 名	所 属	担 当
佐藤 兆昭	筑波大学東京キャンパス事務部専門職員（国際担当）	事務総括
三田 香織	筑波大学東京キャンパス事務部海外交流アドバイザー	連絡、通訳
原川 吏恵	筑波大学東京キャンパス事務部	事務全般

◇ハービーマッド大学

氏 名	職 名
Maria Klawe	President, Professor
Liz Orwin	Chair of Engineering Department, Professor
Oki Furuya	Professor, ※ Program Coordination
Patrick Little	Professor
Paul Steinberg	Professor
Kash Gokli	Professor
Gordon Krauss	Professor
Mary Cardenas	Professor
Peter Saeta	Professor
Wendy Menefree-Libey	Professor
Mr. Peter Osgood	Administration Officer
Tanja Srebatrijak	Professor

◇クレアumont高校

氏 名	職 名
Brett O'connor	Principal
Linda Saeta	Mathematics Teacher
Gail Kusano	Mathematics Teacher

3. 実施内容

3.1 高校教員派遣

高等学校の教員派遣に先立ち、派遣教員の募集説明会と3回の事前研修を実施した。事前研修では、本プログラムの目的および各自の目標を明らかにするとともに、グループワークを通してソルトン湖における二つのフィールドワークの教育展開案の設計を行った。各実施内容の詳細は以下の通りである。

【募集説明会】 平成30年 5月12日（土） 16:30-17:30

- ①プログラムの開発経緯と実施プラン
- ②筑波版 WISTEAM プログラムモデルと展開案
- ③募集要項
- ④全体質疑応答
- ⑤個別相談

【第1回 事前研修】 平成30年7月21日（土）15:00-17:00 筑波大学東京キャンパス
研修内容

- ・ 英語による自己紹介（テーマ：「授業で工夫されている教育方法について」）
- ・ ハービーマッド大学、プログラム概要、スケジュールについて
- ・ T-STEM・K-12Framework 統合モデル（平成29年度文部科学省国際協働プログラムで開発された学年・分野統合型コンピテンシーモデルと K-12 Framework の融合による本プログラムのオリジナルモデル）解説
- ・ 本研修を通して開発するプログラム展開案について
- ・ 次回予定、事務連絡

事前課題

- ① 日ごろの授業を通して工夫している教育方法について、当日に行う3分間の英語スピーチ（個人）を準備する。
例: "Teaching methods I've been stringing to develop for students to be creative persons."
 - ・ パワーポイント等の資料の準備は必要ありません。
 - ・ メモを準備されても結構ですが、丸読みするのではなく、アイコンタクトや話したいことが聴衆に伝わるノンバーバルコミュニケーションに留意してください。
 - ・ 発表後に3分間で講師、受講者同士の英語での Q&A を行います。
- ② ハービーマッド大学が実施している女子高校生向け研修プログラム WISTEM の取り組みについて、また、ハービーマッドの特徴でもある生徒の探求型活動にもとづく Clinic Program はどのようなもので、現在どのようなプロジェクトが動いているのかを、下記ホームページを参照して確認してください。

WISTEM: <https://www.hmc.edu/admission/wistem/>

Clinic Program: <https://www.hmc.edu/clinic/>

Clinic Program (2017-2018 Projects):

<https://www.hmc.edu/clinic/past-clinic-sponsors/projects-day-2018/>

【第2回 事前研修】 平成30年9月15日（土）15:00-17:00 筑波大学東京キャンパス

研修内容

- ・ 文部科学省坂本人材政策課長講演：「科学技術分野における女性の活躍推進～女生徒のSTEM教育について」
- ・ フィールドワークに向けた準備解説
- ・ チーム別ディスカッション：T-STEMとK-12枠組みの統合モデルにもとづく、チームテーマのSTEAM展開案作成について
- ・ 事務連絡

事前課題

- ① 第1回事前研修で配布する T-STEM の構成概念と構成するコンピテンシーについて、妥当性を考える。
- ② 以下の URL にアクセスし、"A FRAMEWORK FOR K-12 SCIENCE EDUCATION, Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas" SUMMARY p.1-4., GUIDING ASSUMPTIONS AND ORGANIZATION OF THE FRAMEWORK p.23-37 を事前に読み、当日のディスカッションに備えて、概念を理解する。

A Framework for K12 Science Education: <https://www.nap.edu/read/13165/chapter/1>

- ③ 以下の URL を観て、ソルトン湖のフィールドワーク候補地について事前知識を得る。

Energy Source 社 地熱発電所: <https://vimeo.com/188896156>

Sonny Bono 野生保護区: https://www.fws.gov/refuge/sonny_bono_salton_sea/

資源管理:

https://www.fws.gov/refuge/Sonny_Bono_Salton_Sea/what_we_do/resource_management.html

例) 塩分濃度の測定、生物の観察、泥火山の噴出大気の測定など

ソルトン湖の歴史、環境変化の調査、環太平洋火山帯、灌漑農業等について

【第3回 事前研修】 平成30年10月20日（土）15:00-17:00 筑波大学東京キャンパス

研修内容

- ・ チーム別フィールドワーク準備
- ・ チーム別英語プレゼンテーション（15分間×2チーム）
- ・ 渡航オリエンテーション

事前課題

Crosscutting Concept を通して、“何を学ばせるのか”、Science and Engineering Practices を通して、“どのように学ばせるのか”、T-STEM・K-12Framework 統合モデルを通して、高校生にどのようなコンピテンシーの習得を図るのかについて、自身が所属するチームが担当するフィールドテーマにあてはめて考える。

【教員派遣スケジュール】

事前研修を通して開発された「アクティブ・ラーニング型フィールドワークモデル」について、ハービーマッド大学教員やクレアモント高校教員との意見交換、また、モデル検証のために、参加高校教諭 10 名、大学指導教員 1 名、大学職員 1 名から構成される派遣団による 10 日間の海外派遣研修を実施した。

教員派遣プログラムの全体スケジュール

2018年10月	日 程(9泊11日(機内1泊))		
28日(日)	22:55羽田発NH106／16:50ロサンゼルス着		
29日(月)	午前：Marie Klaweハービーマッド大学学長、Liz Owen工学部長による歓迎スピーチ、HMCキャンパスツアー		
	午後：HMCの工学部の取り組みと教育目標等		
30日(火)	午前：クリニックプログラムの取り組み	HMC女子学生、教員、卒業 者等との意見交換	
	午後：リベラル・アーツ科目への取り組み等		
31日(水)	午前：電磁気学 技術的設計とイノベーション(Oki Furuya 教授)		
	午後：WISTEMプログラムの紹介		
11月1日(木)	午前：クレアモント高校訪問		
	午後：クレアモント高校訪問 STEM教育に関するディスカッション		
2日(金)	午前：アカデミック・ライティングの紹介		
	午後：フィールドワーク(パームスプリングス・サンジャント山の植生)		
3日(土)	フィールドワーク(ソルトン湖、地熱発電所、ソニーボノ自然保護区、泥火山)		
4日(日)	ロサンゼルス市内視察		
5日(月)	日本型WISTEM展開案のプレゼンテーションとHMC教員との意見交換		
6日(火)	00:05ロサンゼルス発NH105		
7日(水)	05:25羽田着		

ハービーマッド大学、クレアモント高校との詳細スケジュールは、ハービーマッド大学古屋興二教授を中心に調整いただいた。なお、本プログラムの性質上、大学教員の渡航費用、滞在費用は、本プログラム以外の経費から充当した。

3.2 海外教育機関での調査研究活動

派遣プログラムでは、ハービーマッド大学における、サイエンスおよびエンジニアリング教育の実際を見学、STEM 科目以外のリベラルアーツ科目に関する取り組み状況、産学連携の PBL(Project Based Learning)形式で行われるクリニックプログラム等についての説明を受けるとともに、実際の

講義を見学した。さらに、STEM教育における女子学生に向けた取り組みの説明を受けるとともに、ハービーマッド大学にて、5名の教授、卒業生、在校生にインタビューを行った。

クレアモント高校では、Brett O'Connor 校長、および数学教師である Linda Saeta 教諭、Gail Kusano 教諭とディスカッションを行うとともに、理系科目を中心に実際の授業を見学した。さらに、女子高校生向けの STEM 教育として、フィールドワークを主体としたプログラムの内容を作成するために、ソルトン湖における水質調査、泥火山の調査、地熱発電所の現地調査を行った。それらを含めた各トピックの詳細を以下に示す。

(1) サイエンス/エンジニアリング教育

調査班は、ハービーマッド大学の1年生向けの授業である、“Engineering Design and Manufacturing”の授業を見学した。見学日は、メカニカルな仕組みが組み込まれている遊具を分解し、構造を把握してリバースエンジニアリングに関するグループプレゼンテーションであった。また、レクチャースタイルの授業とともに、グループワークやプレゼンテーションを組み合わせた多様な授業形式による、“Electronic Theory”, “Engineering Design and Invention”等の講義を見学した。見学を通して発表学生の秀逸なプレゼンテーション技法が印象的であった。

(2) Liberal Arts に関連する取り組み

ハービーマッド大学訪問2日目には、ヒューマニティックス・社会科学・芸術関連組織の担当者から、工学系の大学であるハービーマッド大学における Liberal Arts 関連科目への取り組み状況について説明を受けた。なお、ハービーマッド大学は、クレアモント大学群（5校の大学、2校の大学院大学）の一員であり、他のリベラルアーツ系大学とキャンパスを隣接している。そのため、学生は、それらリベラルアーツ系の大学の授業を単位互換で取得することができる。一方、ハービーマッド大学内でも、理系学生がリベラルアーツ科目を学ぶことの重要性を認識し、多くの Liberal Arts 系の科目を開発していることが印象的であった。また、訪問5日目には、“Introduction to Academic Writing”の授業を見学した。

(3) クリニックプログラム

ハービーマッド大学では、約50年前から、産学連携の一環として、企業から研究課題を受託し、研究室ごとに所属学生がチームでその課題解決に取り組むクリニックプログラムを開設している。訪問2日目に、エンジニアリング学部のクリニックプログラムの責任者である Kash Gokli 教授から、クリニックプログラムについての詳細な説明を受けるとともに、各プロジェクトに対して準備されているプロジェクトチームや実験・開発のための設備を見学した。このような実践を通じた取り組みが、STEM教育にとって重要であることが理解された内容であった。

(4) 女性を意識した教育

ハービーマッド大学訪問の目的の一つは、女性の理工系人材の育成について知見を得ることである。訪問初日には、Maria Klawe 学長、Liz Orwin 学部長（共に女性）からハービーマッド大学における女性比率の経年推移や、大学としての取り組みについて説明を受け、ディスカッションを行った。また、訪問3日目には、女子高校生向けの短期プログラムである WISTEM についての説明を受けた。さらに、ハービーマッド大学の女性教員、女性学生、女性卒業生、計5名にインタビューを実施し、女子高校生を対象とした STEM 教育を実施するうえでの示唆を得ることができた。

（５）高校での STEM 教育

訪問４日目は、クレアモント高校に訪問し、研修参加者はグループに分かれて、午前、午後が開講されている授業を終日見学した。また昼休みは、現地高校生との対話時間をもち、日本と米国の高校生の学習方法や生活スタイルの違いについて、意見交換をすることができた。夕方には、Brett O'Conner 校長、Linda Saeta 教諭、Gail Kusano 教諭を交えて、STEM 教育の現状についてディスカッションを実施した。

（６）フィールドワークの現地調査

本プログラムでは、高校生向けの PBL/フィールドワークのコンテンツ（プログラム展開案）作成を一つの目標としている。そこで、訪問６日目には、ハービーマッド大学から車で２時間程のところにあるソルトン湖および地熱発電所を見学した。訪問７日目は、サンアンドレアス断層活動により形成された山脈の一つであるサンジャント山を訪問し、砂漠地帯、風力発電に適した谷、ソルトン湖の遠望、山の頂上付近のみに植物が生殖している珍しい生態環境を観察した。これら現地調査では、事前に作成していた PBL/フィールドワーク案の実行可能性について実際に現地で確認した。具体的には、ソルトン湖の水質調査、泥火山における気体、温度調査等を行った。

以上の海外研修活動を通して、ハービーマッド大学教員やクレアモント高校教諭との意見交換を通じた「アクティブ・ラーニング型フィールドワークモデル」の精緻化、女子学生に対するキャリア育成を含めた理工系教育の要点、事前研修で準備したソルトン湖における「再生可能エネルギー」、並びに「生物多様性」に関するプログラムの検証と改善活動を実践することができた。

以上（１）から（６）の内容・確認した状況、成果をもとに、2019 年 3 月に実施した女子高校生向け、筑波-WISTEAM プログラム内容を設計した。

3.3 フォーラムの開催

教員派遣終了後、12 月 16 日（日）、筑波大学東京キャンパスにおいて、米国から、3 名の大学教授、2 名の高校教諭を招いて、事業検証報告のためのフォーラムを実施した。プログラム詳細は、以下のとおりである。

International Forum
Development of Tsukuba-WISTEAM Program through Collaboration
among University of Tsukuba, Harvey Mudd College and
Claremont High School

December 16th, 2018
Tokyo Campus, University of Tsukuba

MC: Associate Professor, Dr. Yasunobu Kino, Graduate School of Business Sciences,
University of Tsukuba

13:00—13:05 Opening Remarks: Professor, Dr. Yuji Moro, Vice-President and Director,
Bureau of the Laboratory Schools, University of Tsukuba

Part I: Project Overview & Special Lectures

13:05—13:20 Project overview: Professor, Dr. Hirohisa Nagai, Program Chair, Global Leaders
Program, Bureau of the Laboratory Schools, University of
Tsukuba

13:20—14:10 Special Lecture1: **"Engineering Education for Female Students at HMC"**
Professor, Dr. Elizabeth J. Orwin, Chair, Department of
Engineering, Harvey Mudd College

14:10—14:20 Break

14:20—15:10 Special Lecture2: **"STEM education at Claremont High School"**
Ms. Linda Saeta and Ms. Gail Kusano, Mathematics Teachers,

15:10—15:15 Break

Part II: Results of Tsukuba-WISTEAM Program Development

15:15—15:25 Overview of Tsukuba-WISTEAM Program Development:
Associate Professor, Dr. Yasunobu Kino

15:25—15:40 Result of Interview survey at HMC by Japanese High School Teachers

15:40—16:30 Presentations of Tsukuba-WISTEAM Program by Japanese High School Teachers
PBL program development by Energy Team and Biodiversity Team

16:30—16:50 Discussion session

また、12 月 17 日（月）13:15-14:45 に、お茶の水女子大学附属高校において、Liz Orwin 教授、Linda Saeta 教諭、Gail Kusano 教諭より、同校女子高校生向けに、自身の女性 STEM 人材としてのキャリアについてご講演をいただいた。好評で高校生からの質問が相次ぎ、予定時間を延長して続けられた。

4. 事業成果

4.1 学術的視点からの成果

4.1.1 PBL/フィールドワーク設計手法の開発

現在、日本の高等学校教育の現場では、理数探究をはじめとする探究的な学習が推進されている。探究的な学習では、従来の教育方法に加え、PBL（Project Based Learning）やフィールドワークをはじめとした多様な授業形態が検討されている。しかしながら、PBL やフィールドワークの実施にあたり、担当教諭による独自プログラム設計と体験学習にもとづく検証機会が不十分な場合、生徒は、情報検索だけに終わる可能性がある。

本プログラムでは、研修教諭がテーマ別チームに分かれ、STEM 教育にもとづく PBL やフィールドワークを設計する方法を検討し、ソルトン湖を題材として高校生向けの PBL/フィールドワークのプログラム開発する体験型研修を行った。

設計方法の検討に際し、NGSS（Next Generation Science Standards）が示す、科学学習における 3 つの視点と、平成 29 年度に筑波大学が作成した、T-STEAM Competency（次ページに掲載）を参照し、PBL/フィールドワーク作成の手順を開発した。この手順に従いながら、ソルトン湖を題材とした 2 つの PBL/フィールドワーク案を作成した。

【PBL/フィールドワークの開発手順】

（１）学習テーマを明確にする。

A Framework for K-12 Science Education の 3 つの視点中の「3. Disciplinary Core Idea」を参照し、今回は、「自然環境とエネルギー」と「生物多様性」の 2 つをテーマとした。

（２）学習目的を明らかにする。

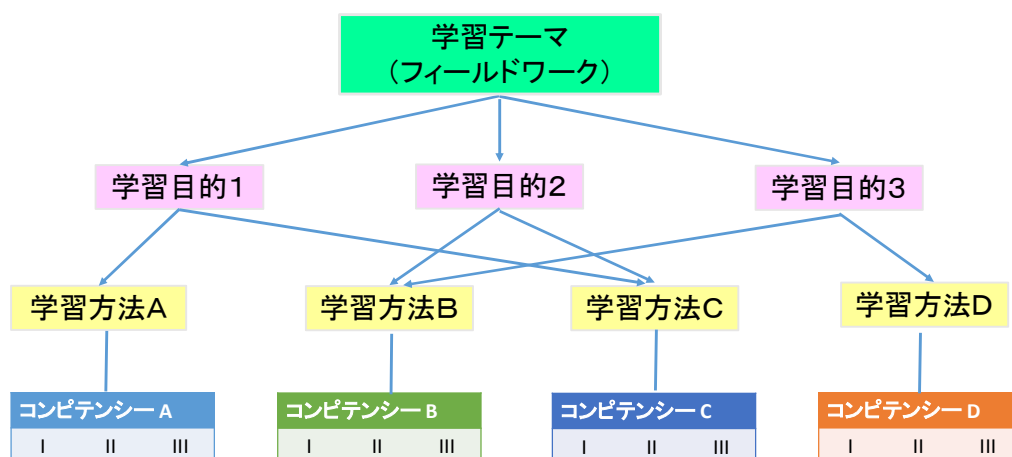
A Framework for K-12 Science Education の 3 つの視点中の「2. Crosscutting Concepts」を参照する。

（３）学習方法を検討する。

A Framework for K-12 Science Education の 3 つの視点中の「1. Scientific and Engineering Practices」を参照する。

（４）T-STEAM Competency（次ページ記載）と対応づける。

本開発手順を図に現すと次の図のようになる。



学習テーマから修得目的となるコンピテンシー導出に至る関連図

以下に、T-STEAM Competency を示す。

T-STEAM Competency (2018)

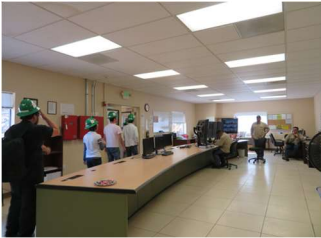
Interdisciplinary		CCC: Cross-cultural understanding/Communication		TM: Team Management	
Problem Finding		Active Listening		Collaboration	
1	Interested in various phenomena	1	Listens to other opinions	1	Communicates with someone just met
2	Asks question why	2	Understands the contents of other opinion accurately	2	Collaborates as a team to complete the assignment
3	Wants to solve the question	3	Understands the difference between one's own opinion and others	3	Enjoys working as a group
4	Identifies and organizes the problem	4	Listens counter opinion	4	Works in a group through role-sharing
5	Inquires cause of the problem	5	Organizes difference of opinion	5	Understands own role in a group work setting
6	Understands the principle of the problem	6	Creates atmosphere that encourage various opinions	6	Individuals are organically functioning in a group
Data Collection		Discussion		Decision Making	
1	Articulate listens and reads	1	Respects other opinion	1	Communicates ideas to the group
2	Tries to comprehend what was taught	2	Understands the common point and disparity	2	Senses the reaction on ones idea
3	Collects appropriate set of data	3	Holds effective Q&A session	3	States one's thought based on group objective
4	Patiently conducts the research	4	Engages in logical discussion based on evidence	4	Explains the importance of one's idea
5	Collects data from various perspectives	5	Organizes points and engages in gradual discussion	5	Evaluates and organizes individual outcomes
6	Understands and organizes the value of data	6	Engages in constructive discussion to achieve common understanding	6	Evaluates other ideas and come up with new ideas
Analysis		Presentation		Leadership	
1	Search for cause of the problem	1	Organizes ideas	1	Takes initiative and state ones opinion
2	Pursue causal relationship	2	Communicates one's own ideas	2	Comprehends given situation and state ones opinion
3	Tries to logically analyze	3	Effectively presents ideas	3	Able to communicate to unite the group
4	Understands importance of the problem	4	Effectively answers questions from others	4	Aware of a leadership role to unit the group
5	Able to use appropriate analysis method	5	Presents ideas from multiple perspectives	5	Able to build an organization with unity
6	Able to analyze both logically and quantatively	6	Focuses on making the audience understood	6	Able to build a team to solve the problem

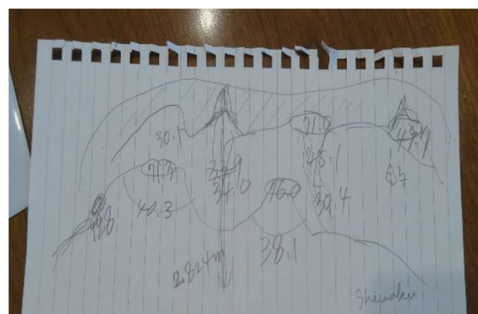
本プログラムでは、「自然環境とエネルギー」、「生物多様性」をテーマとして、2つのPBL/フィールドワーク案を開発した。その内容を次ページ以降に示す。

4.1.2 PBL/フィールドワークの事例

(1) ケース1 自然環境とエネルギー分野

PBL/フィールドワーク展開案 エネルギー分野

課題	自然環境とエネルギー：泥火山からのエネルギー採取
作成者	自然環境とエネルギーチーム
目的	ソルトン湖南岸にある泥火山の状態を観察・計測し、地熱エネルギーを利用する方法について検討する。この作業を通じて、科学知識、エンジニアリングの基礎を身に着ける。さらに、共同活動を行うことによるコミュニケーション能力、適切なリーダーシップの育成を行う。
概要	1. 地熱発電所 (Hudson Ranch Power I) 見学 2. 泥火山観察 3. 泥火山のデータ取得 (大きさ、温度、発生している気体成分など) 4. 泥火山からエネルギー測量、測量データをもとづくディスカッションを通じた実験装置製作。
実施項目	フィールドワーク所在地  Hudson Ranch Power I Mud volcanoes 地熱発電所 (Hudson Ranch Power I) と Mud Volcano の位置は左記のとおり A. ソルトン湖調査 1. 地熱発電所 (Hudson Ranch Power I) 訪問 ・発電所関係者からの情報収集 ・発電所見学および質疑応答    2. 泥火山観察 各噴出孔の位置確認、写真やビデオの撮影、スケッチ作成



(噴出孔)

3. 泥火山についてのデータ収集

大きさ、温度（内部と外部）、発生している気体成分など



山の高さ、体積等を計測する。



噴出孔の気体成分、濃度を計測する。



噴出孔内部や、表面、土の内部等の温度を計測する。

測定結果概要（2018 年 11 月 3 日の実測値）

▪ **Temperature of Craters**

	Inside (radiation)	Outside (probe)
site1:	71.0-76.0 °C	30.1-49.7 °C
site2:	71.4-74.0 °C	40.5 °C
site3:	63.0 °C	

▪ **Gas Components and Concentration**

CO ₂	over 3.0%
CO	under 2.5 ppm
H ₂ S	18 ppm
NO+NO ₂	under 0.04 ppm

B. 実験室作業

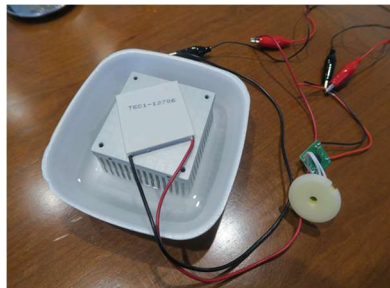
4. どのようにして、泥火山からエネルギーを採取するのか、測量してきたデータをもとにディスカッションを行い、実験装置を製作する。

（１）どのような方法で、どのようなエネルギーが取り出せるかをディスカッションする。

（２）環境を再現する。

例えば、実験室で、噴出している泥の温度を水で再現する。

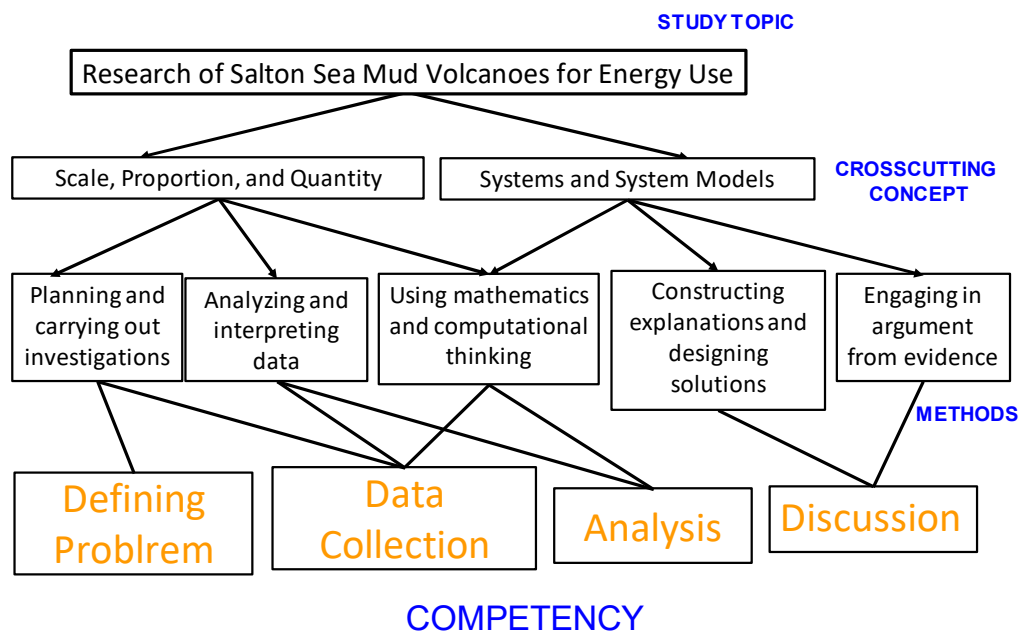
（３）装置を作成し、実験を行う。



ペルチェ素子による電気の取り出しや、スターリングエンジンを
用いるなど。

C. 獲得コンピテンシー

T-STEAM コンピテンシーとの対応



D. 日本における類似のフィールドに関する考察

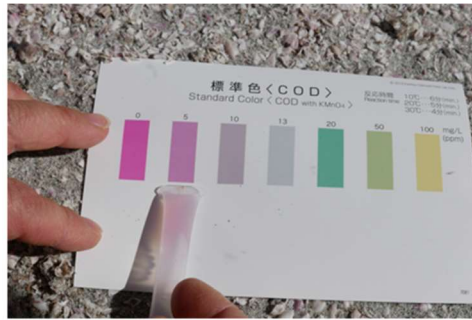
泥火山は、新潟県や北海道など、少ないながらも日本にも存在する。また、ペルチェ素子を用いた発電方法は、温度の高い温泉に対して応用することが可能である。

(2) ケース2 生物多様性分野

PBL/フィールドワーク展開案 生物多様性分野

タイトル	生物多様性：塩分濃度変化による生物の変遷
作成者	生物多様性チーム
目的	地球環境は、約 40 億年の歴史の中で大きく変化を遂げ、現在に至っている。そして、環境の変化に伴い、生存できる生物も変化する。本フィールドワークでは、ソルトン湖の塩分濃度の変化を題材に、現在の生物が生息しやすい環境を保全していくことの大切さを学ぶ。
概要	1. プランクトン採取 2. 水質調査（塩分濃度、COD、pH、NH_4^+、NO_3^-、PO_4^{3-}） 3. 観察（顕微鏡で、プランクトンを観察） 4. 環境適応性の実験
実施項目	フィールドワークの場所 ソルトン湖北部 (Place 1)、その近くで、灌漑用水の流れこんでいる箇所 (Place 2)、ソルトン湖南部 (Place 3) の3ヶ所で湖水を取得する。 A. ソルトン湖調査 1. プランクトンを採取する。 2. 水質を調査する。 (塩分濃度、COD、pH、NH_4^+、NO_3^-、PO_4^{3-})

パックテストのキットを用いて、湖に水が流れ込む地点やそうでない地点など、状況の異なる場所で検査を実施する。下表は、2019年11月3日の測定結果。



<Measurement items>

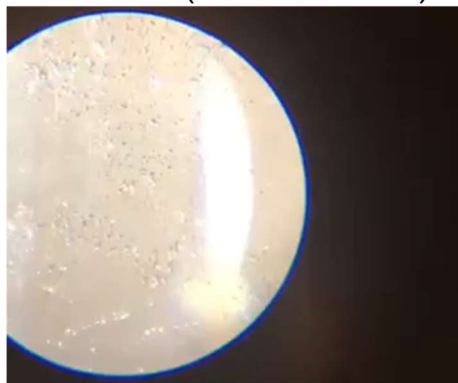
- salinity ▪ COD
- pH ▪ NH_4^+
- NO_3^- ▪ PO_4^{3-}

	salinity(%)	COD(mg/L)	pH	NH4(mg/L)	NO3(mg/L)	PO4(mg/L)
Place 1	4.70	10	9.0	1	0.2	0.2
Place 2	1.92	50	9.0	1	0.2	0.05
Place 3	4.70	10	9.0	1	0.2	0.2

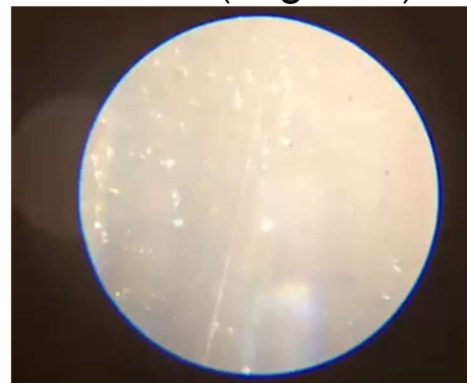
B. 実験室作業

3. 観察（顕微鏡で、プランクトンを観察）

Place 1 (Salton Sea)



Place 2 (irrigation)



プランクトンの個体数の違い、活動状況の違い等を観察し、その原因を考察する。

4. 適応性の実験

塩分濃度を変化させながら、プランクトンの活動がどのように変化していくかを確認する。

<2018 年 10 月における実験結果>

- 6% NaCl aq
- 8% NaCl aq
- 10% NaCl aq

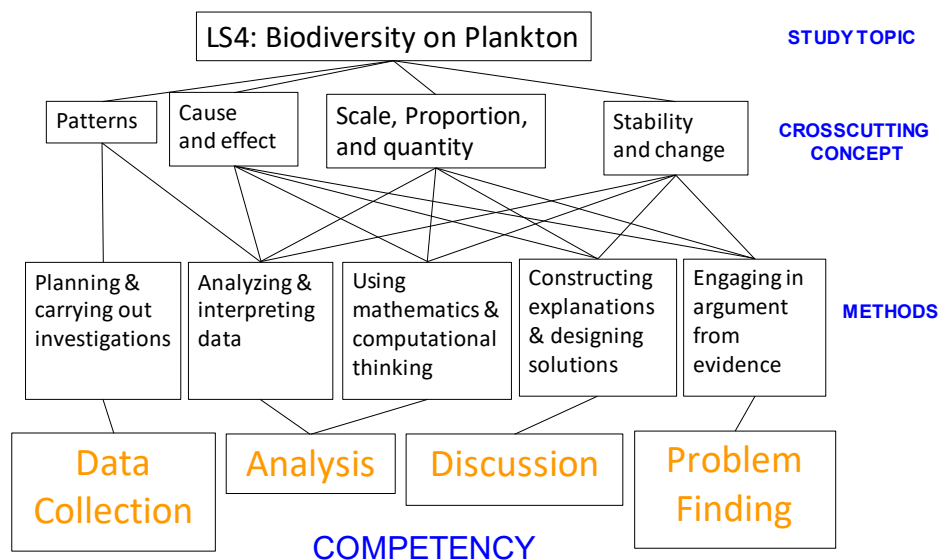
6%	alive but move slowly
8%	dead
10%	dead

* Salton Sea: 4.7%

実験の結果から、ソルトン湖の塩分濃度が今後も上昇し続けるとどのように変化していくかを考察する。

C. 獲得コンピテンシー

T-STEAM コンピテンシーとの対応



4.1.3 女性 STEM 人材へのインタビュー

海外研修の一環として、ハービーマッド大学にて、STEM キャリアに進む 5 名の女性にインタビュー調査を実施した。その実施手順は、Art を含んだ STEAM 教育にも使えるため、ここでは、PBL/フィールドワーク展開案の形で記述する。

PBL/フィールドワーク展開案 インタビューの分析

タイトル	女性向け STEM 教育の考慮点を抽出する
作成者	インタビューチーム
目的	Engineering（工学）において、良い分析、設計を行うためには、利用者である人間の要望や特性を十分に理解することが必要不可欠となる。この部分は、Art, Liberal Arts にも密接に関係する部分である。 本テーマでは、インタビュー技法とテキスト分析の手法を用いることにより、人間の側面に焦点をあて分析する方法を身に着ける。このことを通じて、人間の側面に興味をもち、STEM 科目以外の科目との関連性と重要性を理解することを目指す。 今回は、女性が STEM 教育科目に興味を持ち STEM 人材に成長していくために、どのような考慮が有効であるかを明らかにする。米国の先進的な STEM 教育を受けている学生および STEM 人材として成長した人物を対象として、本人の成長におけるストーリーを語ってもらい、そこから女性向け STEM 教育における重要な考慮点を抽出する。
概要	女性の STEM 人材育成のためのロールモデルになる方々に、インタビューを実施する。そのインタビュー結果を書き起こし、テキスト分析を行うことにより、重要な要因を抽出する。さらに、結果から分かったこと、考察される施策をまとめる。
実施項目	1. 取り組むテーマの決定（問いの設定） 今回は、「女性が STEM 教育科目に興味を持ち STEM 人材に成長していくために、どのような考慮が有効であるか」をテーマとする。 2. 事実（データ）の収集 例として、ハービーマッド大学やその他の大学における女性比率等を確認する。さらに、今回の事例では、実際に、理系のキャリアに進んでいる人にインタビューを実施し、書き起こしを行う。この書き起こしは分析のためのデータとなる。 a. インタビュー方法 女性が STEM 教育科目に興味を持ち STEM 人材に成長していくために、どのような配慮や方法が有効であるかを明らかにするために、実際に、米国の先進的な STEM 教育を受けている学生および STEM 人材として成長した人を対象として、本人の成長におけるストーリーを語ってもらい、そこから女性向け STEM 教育における重要な考慮点を抽出する。 b. 質問項目 インタビューにおいては、時間軸に沿って、本人の成長ストーリーを確認する。その際、学校、科目、影響を与えたと思われる出来事、本人の考えや気持ち、教師や両親など、周囲の関係者、影響を与えた人物について確認する。

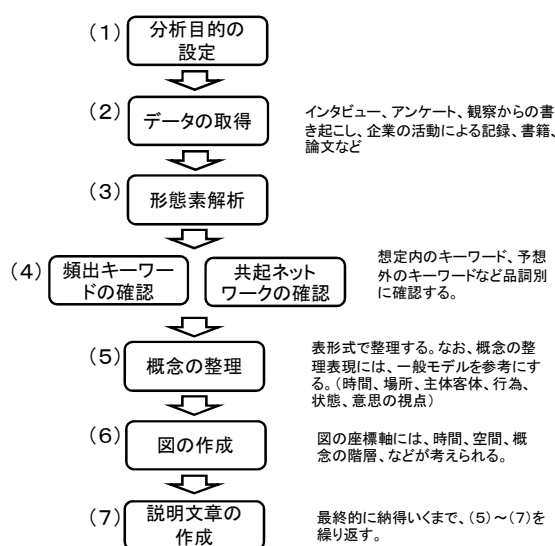
また、以下の質問項目にもとづきインタビュー調査を実施した。

- ・なぜ、理系に進もうと思いましたか？（K12 から大学まで）
- ・得意な科目は、何でしたでしょうか？（K12 から大学まで）
- ・ご家族、親戚に、理系の女性はおられますか？
- ・将来、どのような仕事につきたいですか？
- ・勉強で気をつけてきたことはありますか？
- ・大学のプログラムで、役立ったことは何でしょうか？

c. インタビュー対象者

ハービーマッド大学の女性学生、女性卒業生および女性教授 計 5 名

3. テキスト解析を用いたモデル作成法の手順例



概念モデル抽出の手順例

手順の詳細

(1) 分析目的の設定

はじめに、分析の目的、目標を明確にする。

ここでは、仕事の流れや、状態の変化を知りたいのか、あるいは思考を知りたいのかななどを明確にする。この設定により、以降の分析において着目すべきキーワードの品詞や適した図表が決まる。

(2) データの取得

分析のための文章データを入手する。

形態素解析ソフトウェアが利用可能な言語であれば種類は問わない。英語であっても日本語であっても良い。入力となる文章にはインタビューの書き起こし、アンケートの自由記入欄、書籍、論文などが考えられる。

(3) 形態素解析

形態素解析ソフトウェアを用いて、解析を実施する。

なお、解析を行う前に、文章データのクリーニングを行う。クリーニング作業では、

解析ソフトウェアが処理できる文字コード変換、特殊記号、改行、空白など、必要に応じて修正する。また、専門用語の辞書設定を行う。

(4) 頻出キーワード、共起ネットワークの確認

形態素解析を実施した後、品詞別頻出キーワードを確認する。頻出キーワードの確認では、想定していたキーワードが出力されているか、また、新たな気づきをもたらしてくれそうなキーワードがないかを確認する。次に、共起ネットワーク図を作成する。共起ネットワークでは、概念のかたまりを確認する。

頻出キーワードや共起ネットワークを確認するときに注意すべきポイントは、重要なキーワードや概念が必ずしも上位に位置するとは限らないことである。そこで、共起ネットワークを作成する場合は、上位のキーワードから始めて、次第に分析対象とするキーワードの頻出回数を下げていき、下層まで確認することが望ましい。

(5) 概念の整理

頻出キーワードや共起ネットワーク図から見えてくる概念を整理する。概念を整理するためには、以下の観点で行う。

1. 登場人物を洗い出す。

主語、目的語になりえる物体や概念を洗い出す。

なお、通常、人物、物体、概念は、名詞であることが多い。英文法では、名詞の種類として、普通名詞、集合名詞、固有名詞、物質名詞、抽象名詞がある。

2. 述語（行為）に相当するキーワードを洗い出す。

一般的に、動詞、サ変名詞に含まれていることが多い。これらは、行為や変化を表す用語か、状態を表す用語である。

3. 人物、物体、概念の「状態」を表すキーワードを整理する。

4. 人物、物体、概念、行為の「属性」で重要なものを整理する。

これらは、形容詞、副詞に含まれることが多い。

5. 人物の感情を表すキーワードを整理する。

6. 空間、時間を表す用語を整理する。

名詞（人物、物体、概念）を中心として、状態、感情、行為（述語）のセットとして記述されるのが理想である。

(6) 概念関係図の作成

上記で整理した概念を表に整理し、図にする。

このとき、場所についての考慮が必要であるのか、時間についての考慮が必要であるのか、そして、主体、行為、状態のどこに主眼を置くかによって、表記に適した図の形式が決まってくる。

なお、図を作成するときには、以下の点も合わせてチェックする。

- ゆらぎ、不確実性を図に表記する必要があるかどうか。
- 組織化の要素として、物体や概念の階層を意識する必要があるかどうか、また、制御方法を意識する必要があるかどうか。

- | | |
|--|---|
| | <p>(7) 概念関係図説明文章の作成
モデル図が完成したら、そのモデルを説明する文章を作成する。</p> |
|--|---|

インタビューから抽出された要素

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • favorite subjects; mathematics and science • accessible role-models • opportunities (experiences) • social affirmative (encouragement / support) • feelings of security (community) |
|---|

4.2 教育実践（全国的女子高校生を対象とした応用プログラムの実証研究）

本国際協働プログラムの目的は、教員海外研修を通して開発された「アクティブ・ラーニング型フィールドワークモデル」の導入信頼性の検証であり、とりわけ将来の理系キャリアをめざす女子高校生向け教育の充実に向けた WISTEAM (Women's Introduction to Science, Technology, Engineering, Art (創造性), Mathematics) モデルを開発することである。

高校教諭により設計され、海外研修を通して開発された2フィールド研究課題（ソルトン湖をフィールドとしたエネルギーと生物多様性の2テーマ）について、実際的女子高校生を対象として、応用プログラムとしての信頼性を確認するため、現地 PBL/フィールドワーク、「2018 年度 筑波-WISTEAM プログラム(カリフォルニア)」を実施した。

全国公募により選抜された女子高校生 13 名が参加し、2019 年 3 月 21 日（木）～29 日（金）にかけて実施した。以下に、「2018 年度 筑波-WISTEAM プログラム(カリフォルニア)」の詳細を紹介する。

（1）設計方針

2018 年 11 月に高校教諭が実際にソルトン湖に訪問し、事前研修において設計した2つのフィールドワーク（プログラム展開案）の妥当性と実施可能性を確認し、得られた知見をもとに修正を加えた実装プログラムを開発した。

さらに、ハービーマッド大学においてインタビューを実施し、分析結果にもとづき、女子高校生向けに学習目標を絞り込み、筑波-STEAM プログラムの全体案を作成した。本プログラムでは、米国のソルトン湖を題材としているが、将来、日本のフィールドで実践できることを加味し、日本国内において探究的学習に使えることにも配慮した。また、生徒の自主性を活かせること、体験から学習することに主眼を置き設計した。

本プログラムでは、女子高校生が STEM 分野、理系キャリアへの興味を持つことに配慮し、女性の理系キャリア人材育成の輩出を教育目標に掲げているハービーマッド大学のキャンパスの雰囲気を経験するようにした。

ハービーマッド大学の研修では、エンジニアリング・デザインをはじめとした実際の授業への参加、女性教員には、自身のキャリアについて紹介いただいた。さらに、クレアモント高校との交流

においては STEM 系に興味のある同校の女子高校生とのペアによるスクールバディを編成し、一日を通してバディと通常授業に出席し、昼食を一緒にして学習面、生活面での交流を深めた。

(2) 実施スケジュール

【参加者募集】

説明会：日時：2018 年 11 月 17 日（土）15:00-15:50

2018 年 12 月 3 日（月）10:00AM 申し込みフォームによる応募締め切り

2018 年 12 月 10 日（月）一次選考結果発表

2018 年 12 月 26 日（水）二次面接試験（日本語および英語による集団面接、
遠方の場合はウェブ面接等に対応可）

2018 年 12 月 27 日（木）10:00AM 最終合格者発表

【事前研修】

2019 年 3 月 2 日（土） 14:00-17:00 337 教室

開会の挨拶

旅程・準備に関する説明

レゴを用いたアイスブレイクの演習

ソルトン湖・サンアンドレアス断層に関する説明

実験器具の使い方演習

電子距離計・赤外線温度計

水質調査のパックテスト

検知管式気体測定器

顕微鏡

その他連絡事項

※遠方により参加できなかった生徒向けに、当日のビデオを作成し、ネットでの配信を行った。

(3) 旅程

筑波-WISTEAM プログラム 旅程

日次	月日 (曜)	地名	現地時刻	スケジュール
1	3/21 (木)	東京（羽田）発 ロサンゼルス着 ロサンゼルス	19:20 13:47	空路、ロサンゼルスへ（所要時間10:27） ——日付変更線—— 到着後、ホテル空港近くのホテルへチェックイン ＜宿泊：ホリデーインロサンゼルス国際空港＞
2	3/22 (金)	ロサンゼルス パームスプリングス	08:00 18:00	インデアンキャニオン 観察・フィールドワーク ホテルチェックイン ＜宿泊：クオリティインパームスプリングスダウンタウン＞
3	3/23 (土)	パームスプリングス ソルトン湖 パームスプリングス	09:00 17:00	ソルトン湖 実験・フィールドワーク 地熱発電所 見学 泥火山 実験・フィールドワーク ＜宿泊：クオリティインパームスプリングスダウンタウン＞
4	3/24 (日)	パームスプリングス クレアモント	午前 午後 夕方	パームスプリングスからクレアモントへ移動 ハービーマッド大学 顕微鏡により、ソルトン湖で採取した水の中の生物を観察 クレアモント高校の先生宅のお庭 フィールドワークで実施した内容の発表 クレアモント高校の生徒、ハービーマッド大学教授を交えての懇親会 ＜宿泊：ダブルツリーヒルトンクレアモント＞
5	3/25 (月)	クレアモント	午前午後	ハービーマッド大学 訪問 授業参加 ＜宿泊：ダブルツリーヒルトンクレアモント＞
6	3/26 (火)	クレアモント	午前午後	クレアモント高校 訪問 授業参加 ＜宿泊：ダブルツリーヒルトンクレアモント＞
7	3/27 (水)	ロサンゼルス	午後	グリフィス天文台 外 ＜宿泊：ホリデーインロサンゼルス国際空港＞
8	3/28 (木)	ロサンゼルス空港発	早朝 10:57	空港へ 空路、東京（羽田）へ（所要時間12:23） ——日付変更線—— ＜機中泊＞
9	3/29 (金)	東京（羽田）着	15:20	着後、解散

(4) 実施結果と参加者のコメント

「2018年度 筑波-WISTEAM プログラム(カリフォルニア)」を予定通りに実施することができた。参加した生徒は、日本各地から参集し、同じ高校に通う参加者はいなかった。そのため、全員が事前研修もしくは出発当日に初めて出会うという状態であったが、現地初日から活発な会話が行われ、非常に実りの多い1週間であった。筑波-WISTEAM プログラムでは、夜に全員で振り返りを行うとともに、毎日課題として、1日の中で感じたこと、学んだことについての日記(コメント)の提出をしてもらった。その内容を確認すると、各自が非常に多くの観察を行い、自ら学ぶ姿勢を持ち、生徒同士、現地の先生方、現地の高校生と交流したことがわかる。紙面の都合上、全て記載できないので、ここでは、一部の具体的な記述を中心としたコメントを紹介する。

コメント例

- ・ 泥火山ではビデオでしか見たことのなかったガスの噴射を実際に見学することができてとても有意的な体験をすることができました。
- ・ 班での共同作業はスムーズに進めることが出来、一人で行う論文実験に比べて多くの発見や考察がありとても楽しかったです。
- ・ インディアンキャニオンでは、普段は絶対に見られない生物の光景が見られて楽しかった。
- ・ 大学の施設で活動した。自分が普段学校で使っているものより繊細で多くの微生物を観察することができ、とても貴重な体験ができました。
- ・ 学部長のリズ先生からご自身の体験談などを聞かせていただき、とても面白かった。
- ・ 個人的にはトヨタのプロジェクトの話がとても面白くて、企業と学生との信頼関係があってこそ成り立っているものだと感じました。
- ・ 最後に行ったミーティングでは、一人ひとりの視点が異なっているところがとても面白く、様々な意見の共有が出来て楽しかったです、このプログラムならではの体験と思いました。

4.3 成果の共有・普及活動

本事業を通して、多くの学術的知見を得ることができ、また、実践的な成果を得ることができた。その成果の共有・普及活動として、以下を実施した。

(1) 「新時代の教育のための国際協働プログラム」合同シンポジウム

2019年3月6日(水) 14:00~17:00、筑波大学 東京キャンパス文京校舎 134 講義室にて、筑波大学、埼玉大学、CRET の共催で、シンポジウムを実施した。プログラムの詳細は、以下のとおりである。

「新時代の教育のための国際協働プログラム」合同シンポジウム

1. 日時 2019 年 3 月 6 日（水） 14 時～17 時
2. 場所 筑波大学 東京キャンパス文京校舎 134 講義室
3. 主催 教育テスト研究センター（CRET） 埼玉大学 筑波大学

4. プログラム

14:00－14:10 開会の挨拶

14:10－15:40 3 団体（CRET、埼玉大学、筑波大学）による活動報告

15:40－15:55 休憩

15:55－16:55 パネルディスカッション

○テーマ『これからの日本の STEM 教育に必要なものとは』

○パネリスト：

さいたま市教育委員会 細田真由美 教育長

筑波大学 木野泰伸 准教授

埼玉大学 野村泰朗 准教授

文部科学省 小田沙織 科学技術・学術政策局人材政策課課長補佐

○モデレータ：CRET 神前達哉 研究員

16:55－17:00 閉会の挨拶

（2）初等中等教育機関の教育現場への成果の共有・普及実績

派遣に参加した、高校教員が各高校での教育の中で実践するとともに、2019 年 8 月 23 日（金）、筑波大学東京キャンパスで、「グローバルに活躍できる生徒を育てよう！ ～筑波大学の海外フィールドワーク研修の取り組み実践例～」として、行われる教員免許状更新講習を実施した。

（3）国際会議 WERA2019（World Education Research Association 2019 Focal Meeting）で、女性 STEM 人材へのインタビューとその分析内容を発表（2019 年 8 月 5 日～8 日、学習院大学で開催）

（4）第 10 回横幹連合コンファレンスで、女性 STEM 人材の育成を目指した海外フィールドワークについて発表を行った。（2019 年 11 月 30 日～12 月 1 日、長岡技術科学大学で開催）

5. おわりに

本事業では、米国カリフォルニア州にあるハービーマッド大学、クレアモント高校との国際協働で、STEM 分野における高校生向け PBL/フィールドワークの設計方法の開発、そして、ソルトン湖を題材として、実際に「自然環境とエネルギー」「生物多様性」の二つのプログラム展開案を作成した。

さらに、女性 STEM 人材の育成を目的に、ハービーマッド大学において 5 名の女性 STEM 人材にインタビューを実施・分析した。これらの内容を踏まえ、教育実践として「2018 年度 筑波-WISTEAM プログラム」を開発し、2019 年 3 月に 9 日間の海外研修を実施した。高校生海外研修プログラムは、事前に 10 名の高校教諭と内容を作り込んでいたこと、ハービーマッド大学、クレアモント高校との協力体制のもと、非常に内容の濃いプログラムを実施できた。そのことは、研修後に行われた満足度調査にも表れている。

また、プログラムとして、T-STEAM モデルに依拠することにより、学習テーマ、学習目的、学習方法、獲得されるコンピテンシー間の一貫性にもとづく、系統的な STEAM 学習が実践されることが確認された。

以上、本プログラムを通じた高校教員の事前研修、海外研修、およびハービーマッド大学、クレアモント高校訪問にもとづき開発された女性 STEAM プログラムについて、教育効果の妥当性および信頼性がある程度確認されたといえる。

今後、日本および国際社会は、ますます国際間の交流が活発化し、女性 STEM 人材の活躍が期待されている。本事業を通し、新しい時代に対応できる女性理系人材の育成に向け、設計から実践までを実施する方策を提示することができた。本事業から得られた知見が、これからの日本の高校教育の現場における STEM 教育推進とプログラム開発に寄与することを願う。

以上