

スワジランド王国における高校理科の指導力向上に向けた教員研修

In-service Teacher Training for Improvement of Physics and Chemistry Teaching at Upper Secondary Level in the Kingdom of Swaziland

寺島幸生, 武田清, 米澤義彦, 香西武

Yukio TERASHIMA, Kiyoshi TAKEDA, Yoshihiko YONEZAWA, Takeshi KOZAI

鳴門教育大学

Naruto University of Education

1. 教員研修の背景・目的

アフリカ南部に位置するスワジランド王国（以下、スワジランド）では、中等教育修了時に卒業認定国家試験 Swaziland General Certificate of Secondary Education (SGCSE) が行われる。試験で問われる知識や技能を記したシラバスは存在するが、その中身を学習するための教科書は存在しない。大半の教師が単元指導計画や指導案を作成することなく授業を行うため、計画的な教科指導が徹底できず、SGCSEでの合格率が低迷している。

中等理科教育の改善に向けて、スワジランド教育省は、2016年から2018年までの3年間、国際協力機構（JICA）との協働事業 Strengthen INSET for Secondary Science Education in Swaziland (SISSES) を実施している。現地では、教員による教授内容のより進んだ理解が必要と考えられ、内容理解の強化を目的とした研修が始まった。2017年2月、寺島と武田がスワジランドを訪問し、中等理科教育の改善をねらいとする現職教員対象の研修を観察した。現地調査および研修の概略は別稿で報告されているため、本稿では、観察した物理・化学の研修内容について報告する。

2. トレーナー教員研修 Training of Trainers (ToT)

SISSESの一環として、全国各地から推薦、選抜された約50名の指導的教員を対象に、物理、化学、生物の授業力向上を目的とするトレーナー教員研修 Training of Trainers (ToT) が、2017年2月7日から同9日までの3日間、スワジ王立高校にて実施された。受講教員は各地域の研修トレーナーとなり、今後、地域別の教員研修を計画、実施する予定である。

研修初日には、開会行事に引き続いて、年間指導計

画の作り方などに関する全体講義・演習等が行われた後、物理、化学、生物に分かれて、研修内容に対する受講者の理解度を調べる事前テストが行われた。初日午後から2日目には、物理、化学、生物の各実験室において、多くの教師が指導に困難を感じている単元の実験・観察を行う分野別研修が行われた。最終日には、研修成果を評価するための事後テスト（問題は事前テストと共通）、指導案作成に関する全体講義と分野別の演習、閉会行事等が行われた。

2-1. ToT 研修物理分野

物理の分野別研修の様子を図1に示す。多くの教師が指導に困難を感じている単元として、熱に関する種々の物理現象を学ぶ Thermal Physics の単元が取り上げられ、以下の10種類の実験が行われた。

- 1) 金属の熱膨張 (図1 (a)) : 金属球膨張試験器を用いて、バーナーで熱した金属球が金属環を通らなくなり、水で冷やすと再び金属環をすり抜けることを確認する。
- 2) 固体の熱膨張、収縮の実例 : 野外で壁や床のひび割れを観察する。
- 3) 気体 (空気) の熱膨張 (図1 (b)) : ガラス管を通したゴム栓を付けた三角フラスコ内の空気を手で温め、ガラス管内に挿入された色水の上昇を観察する。
- 4) 液体 (水) の熱膨張 : 上記3) のフラスコ、ガラス管内を水で満たして、バーナーで加熱し、ガラス管内の液面の上昇を観察する。
- 5) 金属による熱伝導の違い (図1 (c)) : 銅、鉄、真鍮、アルミニウムの各棒の外端にワックスを塗り、そこにマッチ棒を下向きに付ける。各金属棒の内端をガスバーナーで加熱して、どの金属棒に付けたワックスが先にとけてマッチ棒が落下するかを比較する。

- 6) 気体（空気）の対流（図1 (d)）: 2本の煙突の付いた横長の直方体容器を準備し、一方の煙突下部の直方体容器内に燃焼するロウソクを入れる。もう片方の煙突の上方に、燃やして煙が出た紙を近づけ、その煙が空気の対流により容器内に吸い込まれる現象を観察する。
- 7) 水の融解: ビーカーに入れた水の温度を測定し、完全に融解するまで氷水の温度が一定に保たれることを確認する。
- 8) 蒸発: アルコール性消毒液を手にかけてその蒸発を観察、体感する。
- 9) 温度計の較正（図1 (e)）: 氷水の温度と水が沸騰する温度での温度計の液柱の各位置をそれぞれ下限0℃, 上限100℃として、目盛りのない温度計に等間隔の目盛を付ける。
- 10) 色による熱放射の違い（図1 (f)）: 温度計を挿入した表面が黒色と白色の各缶を直射日光の当たる

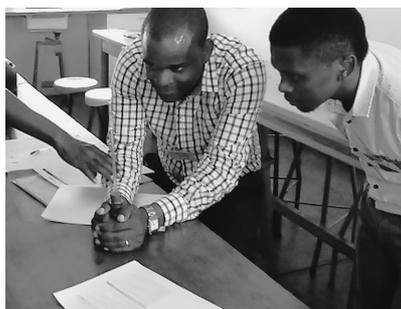
野外に置いたときの温度と、再度室内に戻したときの温度を、それぞれ10分間2分間隔で測定し、両缶内の温度変化を比較する。

本研修のコアトレーナーである教育省の視学官2人とスワジランド大学の教員1人の計3人が、全体の準備、進行を務めた。受講教員17人にコアトレーナー3人を加えた計20人が2人1組となり、各組が上記の実験を1つずつ担当し、交替で模擬授業を実践した。各参加者には、問題設定 (PROBLEM), 選択式の仮説 (HYPOTHESIS), 材料 (MATERIALS), 実験手順と結果の記録欄 (PROCEDURE), その結果の原因やこの実験に関連する現象などを問う質問とその回答欄 (QUESTIONS) がそれぞれ設けられたワークシート集、この実験を含む単元の指導案例とSGCSEのシラバスが、研修教材として配布された。図2に上記実験1)のワークシートを例示する。

模擬授業では、ワークシートの様式に基づいて、根



(a) 金属の熱膨張



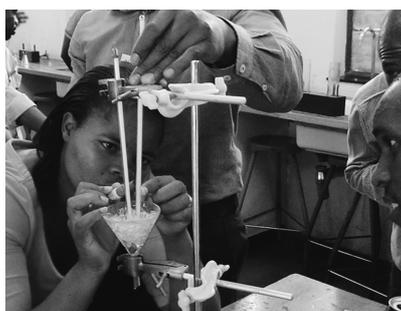
(b) 気体（空気）の熱膨張



(c) 金属による熱伝導の違い



(d) 気体の対流



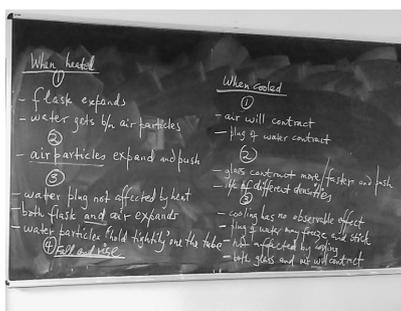
(e) 温度計の較正



(f) 色による熱放射の違い



(g) 仮説を重視した模擬授業



(h) 仮説とその理由をまとめた板書



(i) 実験授業の指導案作成

図1 ToT研修における物理の分野別研修の様子

Activity 1: Thermal expansion of solids SGCSE F4



PROBLEM: Will the ball pass through the ring after being heated?

HYPOTHESIS:

1. The ball will go through the ring.
2. The ball will go through more easily.
3. The ball will not go through
4. Other options.

MATERIALS: Ball and ring apparatus, Bunsen burner

PROCEDURE:

1. Try to put the ball through the ring before heating it. State your observations.

.....
 2. Heat the ball for some time and try to put the ball through the ring again. State your observations.

.....
 3. Now immerse the hot ball in cold water and try to put it through the ring. State your observations.

QUESTIONS: From the activity, answer the following questions:

(1) How do you explain the phenomenon?

(2) State a similar phenomenon in daily life experience?

図2 金属の熱膨張の実験に用いたワークシート

扱を示して仮説を立てる場面設定が重視されていた。教師役が発問した問題設定に対して、生徒役は、ワークシートに記された仮説の選択肢から1つを選んで挙手して応答した(図1(g))。教師役は、各仮説の選択人数を黒板に記し、その選択理由を発問して、得られた回答を板書した(図1(h))。2,3のグループに分かれて実験を行い、得られた結果をワークシートに記入した。全員が実験を終えると、教師役はワークシートに記された質問を発問し、生徒役の回答を板書しながら整理して本時の結論をまとめた。授業時間は実験テーマによって異なるが、平均して約30~40分間であった。

1つの実験が終わる毎に、実験教材やワークシートの内容、授業方法等について、評価できる点や改善すべき点について議論する授業研究会が20分程度行われた。全実験を終えた最終日には、今回の実験を取り入れた授業の指導案を2人1組で作成した(図1(i))。各組が作成した指導案を全員で共有し、今後の課題や改善策について議論した。

2-2. ToT 研修化学分野

化学分野の研修では、電気分解を取り上げている。電気分解は、高校化学の中でもやっかいな単元の一つであり、日本の教員でも苦手意識を持っているものは多いのではないかと推察される。その主な原因は、電気分解反応では、電流が流れることで、物質系は非平

衡状態にあることから、平衡に対する化学変化の理論が適用できないことによる。このため、一般理論による理解が難しく、少ない原理で広い現象を扱うことが困難なことによる。つまり、根本的な理解に困難が伴う教材であることによる。しかしながら、アルミニウムの生産に電解精錬が用いられるなど、工業化学的に重要な知識であるため、日本と同様、高校レベルでの化学教科書には必ず含まれる内容である。研修では、以下の内容で実験を行った。

- 1) 硫酸銅(II)の電気分解: 0.1Mの硫酸銅(II)水溶液を作成し、炭素棒を電極として電気分解を行った。陰極での銅の析出と陽極での酸素の発生を確認した。溶液を作成する段階で、天秤の使用に困っている参加者があったが、Core Trainerによる指導で解決する場面があった。
- 2) アルコール水溶液の電解の試行: 当初の予定には含まれていなかったが、第二段階として、アルコール水溶液に電圧をかけ、何もおこらないことを確認した。この実験は、電気分解が起こるには電解槽内に電解質が存在しなければならないことを確認する目的で急遽入れた活動であるとのことであった。
- 3) 塩化銅(II)水溶液の電気分解: 陽極で塩素ガスが発生し、陰極で銅が析出することを確認した。塩素ガスが発生すると言うことで、室外に出て実験を行っていた。リトマス紙で塩素による漂白作用を確認用としたが、うまくいかなかった。代わりに、リトマス試験紙を陽極側の溶液に接触させ、赤変することを確認するよう提案し、塩素が水に溶けて酸性を示すことを確認した。
- 4) 食塩水の電気分解: 2Mの食塩水にフェノールフタレインを加えて電気分解した。塩素が発生するため、この実験も屋外で行った。水素と塩素の気体が発生し、陰極側で溶液が赤く染まり、塩基性を示すようになることを確認した。陽極側では塩素が発生した。塩素によるリトマス試験紙の脱色を確認しようとしたが、むしろ青色リトマス試験紙が赤く変色し、図らずも塩素水が酸性であることを確認する結果となった。
- 5) 水の電気分解: 0.1Mの硫酸を作成し、白金電極を用いて電気分解を行った。発生した酸素により、燃えさしのマッチが赤みを取り戻すことを確認した。水素はマッチの火を近づけると、音を立てて燃焼するのを観察して確認した。
- 6) アルミニウムの電解精錬: 実験条件が高校レベルでは難しいため、アルミニウムの電解精錬の原理について、演習を通じて確認した。
- 7) 電解生成物の予想: 各種電解質および電解質水溶液について、電解生成物を予想する演習を行った。

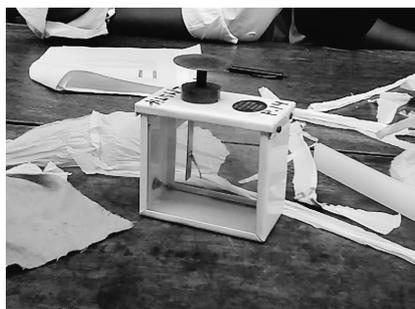
各実験活動終了後、結果の共有や原理の確認など、振り返りの演習が行われた。演習はCore Trainerの司会・主導で行われたが、参加者から積極的に発言もあり、研修員は全体としてよく内容を理解している様子が感じられた。実験を行う様子を観察していると、基本的な実験スキルは身に付いているように思われる。ただし、電流が流れすぎているのに気がつかないなど、気の配り方に課題を感じる場面もあった。各地域から選ばれたregional trainer候補であるからか、総じて参加者の能力の高さを感じた。

3. スワジランド大学での現職教員ワークショップ UNISWA In-service Workshop

2017年2月14日、スワジランド大学（UNISWA）において、全国から選抜された現職の高校教員による物理、化学、生物の各指導法に関するワークショップが開催された。スワジランド大学には、現職教員の研

修を目的とする学科 Department of In-service があり、教育省と連携して、全国の教員を集めて定期的に研修を行っている。化学では、指導計画や授業案の作成と利用法に関する討論会、生物では、遺伝の法則の指導に関するワークショップとSGCSE試験の問題分析がそれぞれ行われた。物理では、多くの教師が指導に困難を感じている実験を体験し、授業での活用法について話し合うワークショップが行われた。約50名の教員が約5人1組に分かれて、実験室内に設けられた各実験ブースを巡回しながら、以下および図3に示す9種類の実験を体験した。

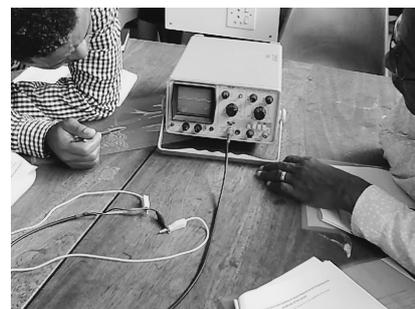
- 1) 静電気の検出 (図3 (a)) : 擦ったセルロイドの定規を、はく検電器に近づけると中の箔が開くことや、レジ袋で作った短冊に定規を近づけると、同種電荷間の斥力により短冊が遠ざかることを確認する。
- 2) レンズの性質 (図3 (b)) : 燃焼するロウソク、



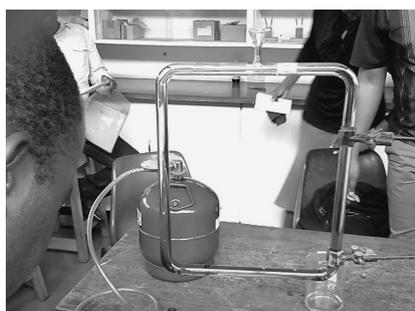
(a) 静電気の検出



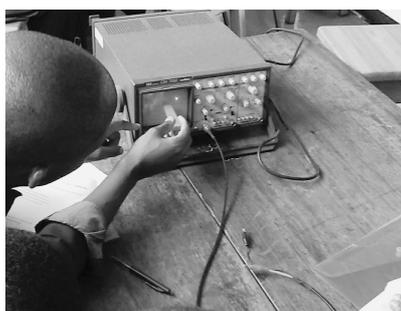
(b) 凸レンズを通してできる実像



(c) 音波の可視化



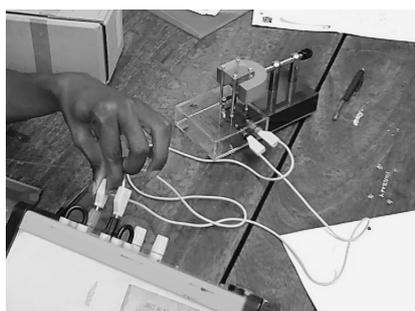
(d) 水の対流



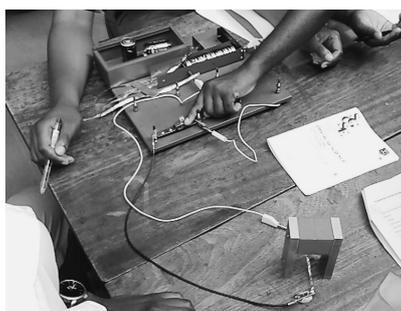
(e) 陰極線の性質



(f) 電磁誘導の実験



(g) 直流モーターの原理



(h) フレミングの左手の法則



(i) 熱電対による熱起電力

図3 スワジランド大学での現職教員ワークショップで行われた物理実験

- 凸レンズ、スクリーンを一直線上に設置し、この3物体間の距離を調節しながら、スクリーンに映る反転したロウソクの炎の実像を観察する。
- 3) 音波の波形 (図3 (c)): オシロスコープを用いて、高さや大きさの異なる音の波形 (振動数, 振幅) の違いを観察する。
 - 4) 水の対流 (図3 (d)): 循環した正方形のガラス管内に水を満たし、一端に少量のインクを滴下する。その下部をガスバーナーで加熱し、インクの色動きから水の対流を観察する。
 - 5) 陰極線の性質 (図3 (e)): オシロスコープの表示面に棒磁石のN/S極を直接近づけ、左から右に流れる信号が上下に曲がることを確認する。
 - 6) 電磁誘導の実験 (図3 (f)): 棒磁石のN/S極を素早くまたはゆっくりとソレノイドコイルに近づけたり遠ざけたりして、検流計が振れる大きさや向きの違いを観察する。
 - 7) 直流モーターの原理 (図3 (g)): U字型磁石内に設置した円形コイルに電流を流すと、コイルが回転することを確認する。
 - 8) フレミングの左手の法則 (図3 (h)): U字型磁石内に置いたアルミホイルに電流を流すと、フレミングの左手の法則に従う向きに力が働き、アルミホイルが上下に動くことを観察する。
 - 9) 熱電対による熱起電力 (図3 (i)): 銅-コンスタンタンの熱電対の一端を室温に放置し、他端をロウソクの炎で加熱したときに生じる熱起電力を、電圧計をつないで確認する (実際は適当な電圧計がなく、検流計を使用)。

先述のToT研修と同じ3人のコアトレーナーが、ワークショップの準備、進行を務めた。全員に各実験のワークシートが配布され、参加者はワークシート記載の手順に従って実験に取り組んだ。各ワークシートは、先述のToT研修とはほぼ同様に、問題設定、仮説、器具、実験手順、質問、ノートの形式であった。実験前後には、参加者に対して、今回の実験内容に対する理解度を問う事前、事後テストが実施された。各班が全実験を体験した後、個々の実験に対して各班の実験結果を全員で共有し、実験教材や実験方法において評価できる点や改善点、実際の授業で導入する際に注意すべき点等について全員で議論した。コアトレーナーは事前・事後テストの結果や参加教員の意見を踏まえて、さらなる教材開発や授業方法の改善を検討する予定である。

一方、化学分野の活動は、これまで学校現場で行われてこなかった、スクールカレンダーの作成と授業案を作成する演習をおこなった。まず、Core TrainerのDr. Manyatsiによりスケジュールの説明の後、

Core TrainerのMs. Futhiがスクールカレンダーの作成の重要性について講義された。とくに、学校行事と定期試験の作成・採点に年間どれだけの日数が必要なのか試算し、必要な授業時間の確保が難しくなる原因を再認識している様子であった。その上で、授業日数を確保するためにどのような対策が必要かを話し合った。

さらに、2年間の授業計画を立てた。化学のシラバス全体を対象として、参加者を3~4名程度ずつ15のグループに分け、シラバスに現れる各単元をグループごとに割り当て、単元内の授業計画を立てた。授業計画には、具体的な生徒向けのアクティビティを盛り込むよう要請されていた。授業計画全体を作成するのは、半日間という制約のある時間内での活動として、過剰な仕事量になっていないか危惧があった。実際1時間程度のグループ活動の中ですべてを完了させることは難しかったものの、いくつかのグループは大まかなかたちができあがるまで到達した。これは、各参加者がシラバスの内容・構成について、かなりよく理解していることを示していると思われる。この点でもスワジランドの高校教員の質の高さを感じた。

観察者は、活動開始時に、授業計画・単元計画・指導案を通じて、一つのストーリーを描くことが大切であることをアドバイスした。言うまでも無く、一つの他者に何かを伝えるためには、多かれ少なかれ、一つのストーリーに則った話としなければ通じない。このことを授業者に認識した上で計画を立ててもらい必要があると感じたからである。とはいえ、現場の教員は、これまでスクールカレンダーの作成や計画的に授業を進める習慣がなかったことを鑑みると、そもそも授業計画とは何か、授業案とは何かについて、もう少し詳しい解説などをしておいた方がよかったのではないかと感じた。

4. 指導力向上に向けた今後の課題

各研修に参加した教員は、授業力向上への目的意識が強く、実験およびその後の討論に意欲的に参加していた。また、大半の教員は、研修で取り扱われた実験に関する現象について、豊富な知識を習得しているように感じた。コアトレーナーが準備、計画した各実験は、安価で身近に入手できる素材や器具を用いており、簡単な操作手順で対象とする現象やその原理・法則が明確に確認できるように工夫されていた。また、根拠を示して仮説を立てる展開を取り入れ、知識だけでなく、科学的に推論する能力を習得するための指導が重視されていた。

一方、現象を定性的に観察する場面は多いが、結果

を定量的に測定して物理量間の量的関係に着目する活動は少なかった。温度計の使い方など一部の実験器具の使用法が不適切であったり、条件を制御した対照実験に不備があったりする場面も見られた。また、実験の目的が共有されない状況や、生徒に注目させる視点が明示されず、見通しのないまま実験が終始することもあった。

知識だけでなく、科学的推論能力を習得させる授業ができる教員を増やすには、内容面の知識に加えて、それを授業に生かすための能力を身に付ける教員研修が必要である。2017年8、9月に本学で実施したJICAのスワジランド国別研修では、現地の授業でより有用となる、物理、化学、生物の各分野の実験・観察の開発、改善を図り、その指導法について検討した。