

日本とウガンダの中学校理科教育方法の比較 —特に生物分野の実技試験に着目して—

A comparison of the science teaching method in junior high school between Japan and Uganda:
focusing on the performance evaluation experiments in biology

セマンダ ハケム^{1,2}・横井大輔³・三宅恵子⁴・古屋康則¹・三宅 崇¹

Semanda Hakeem, Daisuke Yokoi, Keiko Miyake, Yasunori Koya and Takashi Miyake

1 岐阜大学教育学部理科教育講座, 501-1193 岐阜市柳戸1-1

2 Bulo Parents Secondary School, Bulo, Uganda

3 岐阜大学教育学部附属中学校, 500-8482 岐阜県岐阜市加納大手町74

4 岐阜大学大学院連合農学研究科, 501-1193 岐阜市柳戸1-1

要 約

教員研修留学生として岐阜大学教育学部附属中学校での理科授業を観察した。そこで観察した生徒実験の内容や生徒の姿をウガンダのそれらと比較し、互いの改善に役立つ要素を考察した。また、ウガンダで中学校の最終学年に行われる全国统一学力試験の内容、特に実技試験に関する紹介を行い、そのような実技試験の導入を提案する。

1. はじめに

著者の1人(セマンダ ハケム)は教員研修留学生として2011年10月から2013年3月まで岐阜大学に在籍した。在籍中の2012年4月から7月の第1学期に、教育学部附属中学校の理科授業を見学する機会を得た。

中学校理科授業における日本とウガンダの大きな違いの一つに、日本は実験観察を主体として授業を構成していることが挙げられる。ウガンダでは、とりわけ都市以外の農村部では、学校に生物実験室や実験器具が整っていないところもあり、授業を進める上で実験観察が省略されることも多い。それに対して、教育学部附属中学校では、観察した授業の大半はなんらかの実験観察を交えて授業が進行していた。

日本では実験は3~4人のグループで行われることが多い。そのような実験を観察していて気になったことは、実験をする時間に生徒が好き勝手におしゃべりに興じる光景が頻繁に見られたことである。このような教育方法では、生徒の中には実験に参加しようとしないうちには実験に不参加し、危惧された。

ウガンダでも、中学校の1~2年生はあまり実験に熱心ではないが、学年が進むにつれて真剣に取り組むようになる。その理由は、最終学年に全国统一学力試験があり、その中に実験観察などの実技試験もあるからである。このため、ウガンダの中学校の理科における観察実験の導入頻度や環境は日本に比べ劣っているが(表1)、理科実験では生徒はおしゃべりをせず、個人で実験を進めて与えられる課題を遂行する。

最近では日本でも、理科等の教科で実技を評価する「パフォーマンス評価」が注目されつつある(例えば、田代, 2011)が、ウガンダに比べ日本は「生徒の実技能力を教員が評価する」という点に、重点を置いていないように見受けられる。日本でもウガンダのように実技に関する試験が導入されれば、たとえグループ実験であっても、生徒の集中と参加が向上するのではないかと考えられる。そこで、本論文ではウガンダでの実技試験の紹介を中心に、日本の理科教育法との比較を試みる。

表1 ウガンダと日本の理科授業における実験観察の扱い

| 項目 | ウガンダ | 日本 |
|---------|--|------------------|
| 実験頻度 | 少ない, 多くても月1回 | 授業によっては週に2回ほど |
| 実技試験 | 義務的な実技試験がある | 実技試験はあまり行われない |
| 実験環境 | 実験室を持つ中学校は少ない | ほぼすべての中学校に実験室がある |
| 生徒の態度 | 理論学習に対する態度はよくないが, 実験に対してはよい | 全般的によい |
| 教員 | 理科専科教員はあまりいない, 1人の理科教員が3つの学校を掛け持ちすることもある | 理科専科教員が配置されている |
| 実験の教授方法 | 実技試験で扱われる範囲に関して | どの領域も実験観察が含まれる |

2. ウガンダの全国統一学力試験

ウガンダの学校システムは, 7年の小学校, 4年の中学校, そして2年の高等学校という流れになっている。それぞれの最終学年では全国統一学力試験を受けることになっている。この試験は, その後の進路を決める上でも重要なものとなっているため, 児童生徒にとって大きな意味を持っている。

全国統一学力試験は, ウガンダの文部科学省にあたるThe Ministry of Education and Sportsの国立試験委員会 (the Uganda National Examinations Board/UNEB) が管轄している (UNEB, 2013)。試験は毎年10~11月に実施される。小学校から中学校に移行する際の試験はPrimary Leaving Examination/PLEと呼ばれ, 中学校から高校への移行時の試験はUganda certificate of Education/UCE, 高校から大学への移行時の試験はUganda Advanced Certificate of Education/UACEと呼ばれる。これらの試験は全ての学校で同じ日の同じ時間に行われる。公正を期すために, 試験監督は別の学校から招集されるか, UNEBが用意する。

3. 中学校再終年度の全国統一学力試験における生物分野の試験

中学校再終年度に行われるUCEでは, 生物学の試験はPaper 1とPaper 2の2つで構成されている。Paper 1は2時間半の筆記試験で, 成績の40%を占める。Paper 2は2時間の実技試験であり, これが残りの60%を占める。両方を受けることが義務となっており, 一方でも受けな

と生物学の成績がつかないことになる。

実技試験は次の3つのパートから成る。パート1は「食品実験」と生理学的な質問から成る。前者については後に詳しく述べる。後者は生命活動に関するあらゆる領域から出題される。例えば, 食物に含まれる酵素活性や, 浸透圧, 拡散過程などである。従って, 生徒は授業で学んだ知識を用いて解答することが求められる。

パート2は植物・植物学に関する質問から成る。ここでは植物の一部 (花や葉, 貯蔵器官など) が取り上げられる。例えば貯蔵器官であれば, 根瘤や, 根茎, 塊茎, 吸枝などを渡される。ここでは生徒はその器官を同定し, その同定根拠と, 植物におけるその器官の重要性について言及することが求められる。例えば, タマネギが提示された場合, 「タマネギ」ではなく「球根 (もしくは鱗茎)」と解答する必要がある。同時に, 指示されるスケッチを行い部位名称を記入する。例えば, タマネギの縦断面を描き名称記入を行うよう指示される。この場合, 生徒は試料を縦方向にカットし, 鉛筆でスケッチして正しく名称記入しなければならない。

パート3は動物・動物学に関する質問から成る。ここでは, 何らかの動物が渡される (例えば, ゴキブリなど)。生徒はこの動物の界, 門, 綱, 目, そして種名を答える。中学生レベルであれば, 答えたものと同じカテゴリー (同じ界, 同じ門など) に属する生物を最低2つ答える必要がある。また, その試料をその目や綱に位置づける理由を答える必要がある。さらに, 生徒はその動物の全体像, あるいは頭部や前翅といっ

た部位を簡潔にスケッチし、部位名称を記入することが求められる。例えば、生徒はゴキブリの前翅を切除しそのスケッチを描くよう要求される。

実技試験で用いられる試料は同じ年の試験に関しては全生徒に同じものが渡される。UNEBは少なくとも試験の2週間前までに国内の学校に機密書類を配布する。それにより、教員は必要な材料・試料を準備する。教員が生徒に試験内容を漏らすことのないよう、校長や主任が監視している。

4. 「食品テスト」に関わる「養分」単元

ウガンダでは、学習する全ての内容が詳しく教えられている訳ではない。例えば、「養分」の単元では、養分となる物質の化学構造は教わらない。従って、中学校の内容の多くは、高校でより詳しく教わることとなる。

「養分」が中学校で最初に出てくるのは、中学校2年次の「植物の養分nutrition in plants」である(Omoding and Matovu, 2007)。ここでは、光合成の過程として光合成の化学の概要、光合成に影響する要因(光-光合成曲線や温度-光合成曲線)、植物や光合成の重要性などを教わる。この単元で、葉内のデンプンの存在を調べる実験が行われる。

また、「人の養分」の単元では、ヒトの消化器官の模式図が示される。このような模式図を描くことも実技試験で課されることがある。従ってウガンダでは、ヒトの消化器官を描いて部位名称を記入する、といったことも全ての生徒ができるようになるべき課題である。日本で授業を見ている限りでは、そのような課題が課されることはないように思われた。

養分に関するトピックは、ウガンダでも日本でも小学校から中学校にかけて導入されるが、詳しく見てみると、取り扱う学年が異なっている。ウガンダでは、中学2年次に、いくつかの異なる側面から生物の養分について扱う。例えば、1) 植物の養分と光合成、2) 光合成の重要性、3) 炭水化物、タンパク質、脂質、ミネラル、ビタミン、水および食物繊維といった養分の各要素、などである。炭水化物(デンプンやショ

糖)とタンパク質、脂質、ビタミンCは実験の対象となる。ここで生徒は、後述するようにヨウ素液やベネディクト液といった指示薬を用いて溶液中の物質を同定する方法を学ぶ。

前述の内容に加え、以下の内容が続く: 4) バランスの取れた食事とその重要性、5) 酵素と人の体における酵素のはたらき、6) 従属栄養性、7) アメーバや昆虫、鳥といった他の生物の採餌(例えば、口器や嘴の形態と性質)。

日本では、消化作用と養分の構成要素が中学校2年次に扱われるのを除き、他の内容は異なる学年で扱われている。例えば、光合成の導入は小学校および中学1年次に行われる一方、光や二酸化炭素の光合成に対する影響、葉緑体の構造などは高校2年次に行われている。養分の個々の要素についていくつか(デンプン、タンパク質、脂肪など)は中学2年次に導入される一方、それらの化学構造は高校で、ミネラルやビタミンについては酵素反応の中で若干触れられているだけである。また、従属栄養や寄生といった栄養摂取様式は高校で扱われ、鳥や昆虫の採餌についてはほとんど扱われない。

5. 実技試験としての「食品テスト」

まず教科書に解説されているいくつかの実験を簡単に紹介した後、全国統一学力試験の生物分野における実技試験としての食品テストの例(実際のものではなく、模擬的に作成した)を紹介する。

デンプンの検出

材料: 1%デンプン溶液(デンプンの粉と水を沸騰させて作る)と水(液体XとYとする)、試験管2本、ヨウ素液、メスピペット

方法: ①各液体を別々の試験管に2mlずつ取り、ヨウ素液を3滴加える。

②液体が黒変したら、デンプンの存在を示す。もしヨウ素液の色のみであれば、デンプンは存在しない。

還元糖・単糖の検出

材料: グルコース溶液と水(液体XとYとする)、2本の試験管、ベネディクト液、ガスバーナー、メスピペット

方法：①各液体を別々の試験管に3 mlずつ取り、それぞれにベネディクト液を3 ml加える。

②1分間加熱し沸騰させる。

③もし液体が青から緑、黄色、そして赤褐色に変われば、還元糖・単糖の存在を示す。もし青色のままであれば、還元糖は存在しない。

非還元糖・二糖（ショ糖）の検出

材料：3% ショ糖溶液と水（液体XとYとする）、試験管4本、ベネディクト液あるいはフェーリング溶液、0.1M 希塩酸、0.1M 水酸化ナトリウム水溶液、ガスバーナー、お湯の入ったビーカー、メスピペット

方法：①各液体を別々の試験管に1 mlずつ取り、それぞれにベネディクト液を1 ml加え、沸騰させる。

②もし青色のままであれば、以下の非還元糖試験を行う。

③各液体を別々の試験管に1 mlずつ取り、希塩酸を3滴加え、湯の入ったビーカーに入れて数分間湯煎をする。

④蛇口の水で冷やし、水酸化ナトリウム水溶液を少しずつ、泡立たなくなるまで加える。

⑤ベネディクト液を1 ml加え、沸騰させる。もし液体が青から緑、黄色、赤と変化するなら、ショ糖の存在を示す。もしベネディクト液の青色のままであれば、単糖も二糖も含まれない。

タンパク質の検出

タンパク質の試験には、ビュレットテストとミロンズテストがあるが、後者は毒性があるため、あまり用いられない。

材料：卵白溶液（卵白をビーカー内の温水に加えて冷ます）と水（液体XとYとする）、0.1M水酸化ナトリウム水溶液、5% 硫酸銅(II)水溶液、試験管、試験管立、ピペット

方法：①各液体を別々の試験管に2 mlずつ取る。
②等量の水酸化ナトリウム水溶液を加え、攪拌する。

③硫酸銅水溶液を3滴加え、穏やかに混ぜる。

④紫色に変われば、タンパク質の存在を示す。

青色のままであれば、タンパク質は存在しない。

脂質の検出

脂質や脂肪のテストには2つの方法がある。

(1) 濾紙法

材料：料理用油と水（液体XとYとする）、濾紙、スポイト

方法①それぞれの液体を一滴濾紙に垂らし、数分間おく。

②それぞれを垂らした位置を光にかざして確認する。

③油分を含んでいると半透明になり、それは時間が経っても消えない。水によってできた半透明なマークは時間が経って乾くと消える。

(2) アルコールエマルジョン法

材料：料理用油とショ糖水溶液（液体XとYとする）、エタノール、試験管2本、1 mlの水の入った試験管2本

方法：①2本の試験管それぞれに、1 mlのエタノールを入れる。

②それぞれの試験管に別々の液体を3滴を入れる。

③口を親指で押さえて試験管をよく振る。

④混合液2～3滴を、1 mlの水の入った試験管に入れる。

⑤油とエタノールの混合物は水に入れると濁る。これをエマルジョンと呼ぶ。

これらの実験は中学2年次に学習する。この時点では、液体XとYの一方は検出物質を含んでおり、他方は含んでおらず、どちらに対象となる物質が含まれるかを実験結果から判断する。含まれる物質は検出対象となる1種類である。しかしながら、全国統一試験の実技試験では、複数の物質が含まれるため、4年次に学習する際には、溶液中に2つ以上の物質が含まれている。

実技試験のスタイル

実際にスタイルに従って作成した例を紹介する。未知の液体（液体Xと液体Y）を準備する。液体Xには食品を構成する養分を入れる。場合によっては、液体Xに2つ以上の物質を入れておく。液体Yには1種類の養分あるいは酵素（例えば唾液のアミラーゼ）を入れる。以下の例では、液体Xにデンプンを入れ、液体Yにはアミラーゼを入れている。

生徒は、図1のような用紙を配布され、用紙の表に従って実験を進めることで、液体XとYに含まれる物質を同定する。その後、表の下にあるいくつかの質問に答える。

まず、生徒は指示された検出方法に従い、液体Xの中の物質を同定することになる。観察結果を完結に記入し、そこから言える結論も書く。図1の①ではデンプンの有無を調べ、②では単糖の有無、③～④では二糖の有無を調べる。これらから、液体Xに含まれる物質を表の下のaで答える。また、⑤では、液体Xに液体Yを加えて液体Xに含まれるデンプンを分解させ、グルコース等を生じさせている。その後、生徒はデンプンの検出テスト⑤-a)を行う。この結果が陰性であることにより、もともと溶液Xに含まれていたデンプンが、溶液Y中の酵素によって分解されたと判断される。また⑤-b)でグルコースが生じたことも確認できる。これにより液体Yにアミラーゼが含まれると結論づけられる。なお中学校レベルでは、酵素としてはアミラーゼのみが実験対象となる。

実際には、液体Yに含まれるものが酵素でなく食品を構成する養分ということもある。従って生徒は、この溶液に含まれるのが食品を構成する養分なのか酵素なのかを判断し、同定することになる。例えば、液体Yについて糖とビタミンCの実験を課し（酵素が含まれる場合は、いずれの結果も陰性である）、その上で⑤のような実験を課すことも可能である。

6. パフォーマンス課題としての実技の難易度

課題をどのように設定するかは、生徒の習熟度や、どのような能力を評価したいかによって変えるべきであろう（田代, 2011）。

例えば、西岡（2011）では、中学校第3学年の課題として「黒い粉の正体を調べる」という課題を設定し、実験室にあるもので物質を調べる実験を考えて実験計画書を作成させた上で実験をさせている。このように実験計画から課すという方法もあり、当然難度は高くなる。ウガンダでは、このような形式の実技試験が高校第2学年の全国統一試験で行われている。

また、先に紹介した実験では、実験の結果が

問：液体 X と Y がある。液体 X に含まれる食品構成物質を同定し、Y に含まれる物質の特性を決定しなさい。

| 実験 | 観察結果 | 結論 |
|--|------|----|
| ① 3 cm ³ の X を試験管に入れ、ヨウ素液を 2 滴たらしなさい。 | | |
| ② 3 cm ³ の X に 3 cm ³ のベネディクト液を加え、加熱しなさい。 | | |
| ③ 3 cm ³ の X に 2 cm ³ の希塩酸を加え、加熱しなさい。水道水で冷やし、2 cm ³ の希水酸化ナトリウム水溶液を加え、ベネディクト液を加え、加熱しなさい。 | | |
| ④ 3 cm ³ の X に 2 cm ³ の希水酸化ナトリウム水溶液を加え、その後硫酸銅水溶液を滴下しなさい。 | | |
| ⑤ 3 cm ³ の X に 2 cm ³ の Y を加え、攪拌した後 40°C の恒温槽内で 3 分静置しなさい。その後この混合液を 2 つにわけなさい。 ⑤-a) 2 cm ³ の混合液にヨウ素液を 2 滴たらしなさい。 ⑤-b) 2 cm ³ の混合液に 2 cm ³ のベネディクト液を加え、加熱しなさい。 | | |

a. 液体 X に含まれる物質を答えなさい。
.....

b. 液体 Y に含まれる物質を答えなさい。
.....

c. b でそう答えた理由を述べなさい。
.....

d. 液体 Y の物質の特性を 2 つ答えなさい。
.....

図 1. ウガンダの中学校最終学年に行われる全国統一学力試験の、生物実技試験（パート 1）で生徒に配布される用紙の例。

何を意味するかを記憶している必要がある。しかし、例えば、パフォーマンス課題の中で、最初にデンプン溶液やグルコースの入っていることを明示した溶液を用意し、それぞれの溶液でデンプンの検出実験や単糖の検出実験を行わせることで、結果の意味をその場で理解させることができる。このようにすれば、記憶力の影響を除外して試験を行うことができる（例えば、ドランほか, 2007）。

7. 実技試験は必要か？

上に紹介したような実技実験では、生徒は学習した知識・理論と実技を関連づけることができる。日本では、「実験した結果はどうなるか？」といったことも筆記試験ですませてしまうことがあるが、そのような評価方法のみでは、学習者が問題を解決する上でのcreativity（自発性・創造性）と objectivity（客観性）が制約されてしまう。実技試験をパフォーマンス課題と位置づけるならば、以下のような利点があると思われる。

1) 知識・技能を活用して課題に取り組むことで、

それらの価値を再認識し、一層の定着が図られる(田代, 2011).

- 2) 主体的に学習に取り組む態度が養われる.
- 3) 目的をもって思考するので、単に詰め込むような学習にならない.

このような利点がある一方、もちろん課題もある。例えば、この実技試験は義務化されているので、そのための取り組みはどうしても「試験対策」になりがちである。加えて、実験に対する日々の生徒の態度も「統一試験で良い成績をとること」が目的となっており、その意味では「理解するよりも丸暗記」を促進している一面もないとはいえない。

8. 終わりに

岐阜大学教育学部附属中学校の理科授業で観察した実験の多くは、非常に簡潔で理解しやすく、ウガンダの生徒に意欲を植え付ける上でもよいものであった。一方で、ウガンダの生物学統一試験のような実技試験は、内容のより深い

理解を促進する上で、日本の生徒にとってよいものになると思われる。

日本はウガンダに比べて中学校の理科実験の環境が整っており、もし実技による評価が導入されれば、日本の未来の科学者の育成はひと味違ったものになる(would be an added ingredient) ことだろう。

9. 参考文献

- ドラン, R., チャン, F., タミル, P., レンハート, C. 2007. 理科の先生のための新しい評価方法入門. 北大路書房.
- 西岡加名恵. 2011. パフォーマンス課題の位置づけとつくり方. 理科の教育 60:9-12.
- Omoding, S. and Matovu, D. 2007. New Biology: Student Book for S1 and S2. Pearson Longman Ltd, Essex, England.
- 田代直幸. 2011. 理科におけるパフォーマンス課題とは. 理科の教育 60:5-8.
- UNEB. 2013. <http://www.uneb.ac.ug/> (参照2013-10-29).