

才能支援教育のための新たなパーソナルデスクラボ 開発とその教材活用

東崎健一¹⁾ 野村 純¹⁾ 米田千恵¹⁾ 飯塚正明¹⁾
板倉嘉哉¹⁾ 加藤徹也¹⁾ 林 英子¹⁾ 野邊 厚¹⁾
杉田克生¹⁾ 鈴木隆司¹⁾ 中澤 潤¹⁾ 加藤 修¹⁾
木下 龍¹⁾ 妹尾裕彦¹⁾ 野崎とも子¹⁾ Beverley Horne¹⁾
山下修一¹⁾ 友木屋理美²⁾ 川上喜久子¹⁾

¹⁾千葉大学教育学部

²⁾千葉大学大学院教育学研究科修士課程

Development of a new “personal desk laboratory” and using it as teaching material for education in fostering talent.

TOZAKI Ken-ichi¹⁾ NOMURA Jun¹⁾ YONEDA Chie¹⁾ IIZUKA Masaaki¹⁾
ITAKURA Yoshiya¹⁾ KATO Tetsuya¹⁾ HAYASHI Hideko¹⁾ NOBE Atsushi¹⁾
SUGITA Katsuo¹⁾ SUZUKI Takashi¹⁾ NAKAZAWA Jun¹⁾ KATO Osamu¹⁾
KINOSHITA Ryu¹⁾ SEO Yasuhiko¹⁾ NOZAKI Tomoko¹⁾ Beverley Horne¹⁾
YAMASHITA Shuichi¹⁾ TOMOKIYA Satomi²⁾ KAWAKAMIKikuko¹⁾

¹⁾Faculty of Education, Chiba University

²⁾Faculty of Education, Chiba University; Undergraduate Student

本稿では生命科学系実験教育のためのPDL開発について報告した。さらに開発した教材を使用した中高校生の才能支援教育での成果を報告し、その成果について考察した。

キーワード：PDL (personal desk laboratory) 生命科学 (bioscience) 科学教育 (science education)

背 景

科学技術立国の視点から理系人材の教育支援が課題となってきた。人間は知識にのみとられるのではなく、その実践過程において手を動かし、現実との対応関係を結びつつ改良・修正していくことで知的に発達・成長することができる。実際に体験することで、発達・成長することはこれまでの教育学の知見からも明らかにされている。そこで大学での科学教育においても講義による知識習得型授業から体験重視型への移行が求められている。

千葉大学では理数教育に力を入れており特に教養教育において文系・理系の様々なレベルの学生を対象に授業展開する中でパーソナルデスクラボ (PDL) 開発を進め、これを活用することで教育の質の向上を試みてきた。特に普遍教育の中における物理教育においてPDLの実用化が進んでおり、その成果が示されてきた。PDLの使用は受講生の興味関心を高める効果がある。また、文系学生には導入型の授業展開に使用し理系学生には理論の理解の促進、想像発見の楽しさを体感させる効果を示していることから、文系理系により講義の狙いを変えることも可能であり、様々なレベルの学生教育が可能となった。また、文系理系を問わず受講生は実験や科学の楽しさを体感することができ学習意欲の高まりが

認められている。

さらに、教官の立場からも小型化し、個人・小人数型実験装置により全員がいっせいに同じ実験を行うことができることで、きめ細かな指導が可能になった。また、省スペースにより多種目の教育のための教材の保管と運用が可能となっている。さらに教育経費の節減が可能である。

目 的

近年の生命科学の進歩は急速であり、それに伴い学習内容も膨大となってきた。このため生命科学分野においても体験型の授業の展開が望まれる。このような学習を可能にするためのPDLの開発を行うこととした。また開発した教材を用いて中・高校生を対象とした講座を実施したので、その成果を報告する。

結 果

今回開発した生命科学系PDLは、大きく分けて3種類あり、A) DNA (核酸) の解析システム、B) タンパク質の解析システム、C) 糖質の解析システムである。以下それぞれについて解説する。

A) DNAの解析システム

DNAの制限酵素切断

DNAの制限酵素による切断は遺伝子工学の基礎となるものであり、生命科学におけるさまざまな遺伝子操作技術を理解する上で必須の知識である。このためこの操作を体験するとともに、その仕組みと基礎的知識の習得を目的とする実験教材を開発した。教材は教材用サンプルDNA、制限酵素（Hinf IおよびEcoR I）、DNAサイズマーカー、泳動用色素、アガロースゲル、電気泳動槽、泳動バッファーより構成される（写真1）。また、微量サンプルを扱うためのマイクロピペッターとチップも含まれる。



写真1 DNA解析用PDL

DNAの可視化と観察は以下の2つの方法により行った。DNAの可視化にあたっては従来の臭化ブロマイド法では、訓練が十分でない学生の教材としての実施には危険を伴うため、より安全な方法の開発が必要となった。従来の方法では危険が伴う理由としては、まず、DNAを染色する蛍光色素である臭化ブロマイド自体が強い変異原性を有する発がん物質である。さらに、臭化ブロマイドにより染色されたDNAを可視化する際に用いる紫外線照射装置がUVC（254nm）を発生することより、発がんや眼・皮膚へのダメージを起こすことが知られている。したがって今回PDL教材において十分な感度を持ち、安全性を兼ね備えており使用可能と判定した方法を開発した。

1) ミュービッドブルーによる染色

ミュービッドブルーは新たに開発された可視光でDNAを可視化可能な色素である。DNA染色液として電気泳動後にアガロースを染色液に浸すことで染色するものである。染色後、エタノールおよび純水による脱染色操作を行うことによりDNAを可視化する。

2) MidoriGreenによる蛍光染色とLED照射装置を用いた観察。

MidoriGreenはDNAを染色する蛍光色素であり、現時点では明確な変異原性が検出されておらず安全性が高いと考えられている。また、アガロースゲル作成時にゲルに混合可能であり、サンプルの電気泳動後すぐに観察可能なものである。また、蛍光の観察に用いるLED照射装置は可視光を照射するため安全性が高い。さらに、安全なため実習に用いる上で機材を受講学生分準備することが容易である（写真2）。

これを組み合わせることで十分な感度が得られること



写真2 LED照射装置

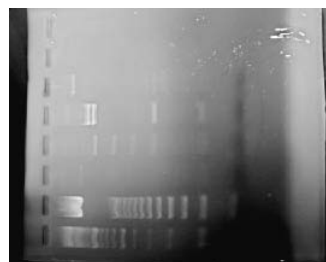


写真3 MidoriGreenにより可視化したDNAのデジタルカメラによる記録

が示された。また、デジタルカメラを用いて容易に記録することもでき、観察及び記録に優れている（写真3）。

DNA可視化方法についての考察

ミュービッドブルーは100円ショップで購入可能なプラスチックのコンテナを使用することもでき、また実際に染まっていくところを観察しながら操作可能な点、さらに色素自体は何度も再利用可能な点でコスト削減が可能であるというメリットがあった。一方、感度が低いことと脱染色の操作が煩雑であり、受講生によってはゲルを損傷し、観察が困難になる例が見られた。

MidoriGreenは操作の上でも簡便であり、感度もよいことから使用する上で優れていた。しかし、コスト的にはミュービッドブルーの倍以上かかり、1度きりの使用であることから、実習コスト的には高価である。また、LED照射装置もUVCを使用するトランスイルミネーターの4分の1程度ではあるが初期投資としてはある程度の資金が必要となる点が課題となる。

（ポリメラーゼ連鎖反応）PCR産物のアガロースゲル電気泳動

PCRは犯罪捜査におけるDNA鑑定などで一般にも知られており、その他、さまざまな遺伝子解析において多用される方法となってきた。したがって、この方法を知することは生命科学における実験技術を学び理解する上で必須の知識である。

PCR産物の作成に関しては、DNA抽出キット、PCR酵素Mix、サーマルサイクラーが必要となる（写真5）。

PCR産物の解析には前述のアガロースゲル電気泳動法を用いる。

PDL装置による実験実習の実施の手順

PDL専用開発されたテキストをもとに講義、DVD教材による実験手技の解説、実験実習、観察とまとめ、考察という流れで進行する。また、訓練を受けたTAを



写真5 サーマルサイクラー

各テーブルあたり1～2名配置し、安全確保に努めるとともに実験操作の指導、理解促進のための支援を行った。

B) タンパク質の解析システム

タンパク質は生命現象の基本となる物質であり、生化学反応を理解する上で必須である。したがって、タンパク質を分子量により分離する解析方法（SDS-PAGE解析）とタンパク質を酵素抗体法によって同定する解析方法（Western Blot解析）のPDL化を試みた。

SDS-PAGE解析

SDS化したタンパク質をアクリルアミドゲル電気泳動法により分離し、比較分子量により観察する方法である。機材等としては電気泳動槽、SDS化バッファー、泳動バッファー、タンパク質分子量マーカー、試料（卵白アルブミン、ウサギ血清、口腔粘膜細胞）、クマシーブルー染色液を使用した（写真6）。



写真6 タンパク質解析用PDL

試料は購入が容易なものを選ぶとともに、自分自身の細胞をサンプルとして使用することで受講生の関心が高まるように工夫してある。泳動後のタンパク質可視化はクマシーブルー染色であるが、安全性を高め染色感度も高いATTO社のEzStainAquaを使用した。

Western Blot解析

酵素抗体法によりタンパク質を同定する方法は、基本的技術であるが、今まで初学者の実習として行うには時間がかかるなど様々な課題があった。この点に関してはセミドライプロッターによる短時間での転写と新規に開発されたSNAP i.d.（ミリボワ社）を用いることにより、実習として実施可能なプロトコルを作成した（写真7）。

機材等としてはセミドライプロッター、パワーサプライ、SNAP i.d.、ペルオキシダーゼ標識抗ウサギIgG抗



写真7 酵素抗体法反応装置SNAP i.d.

体、4クロロ1ナフトール発色液を用いた。

タンパク質の電気的転写とその転写物の酵素抗体法による検出はかなり高度な知識を要求する解析法であった。

C) 糖質の解析システム

デンプンの酵素消化

デンプンをヨウ素を用いて染める実験は古くからおこなわれているものであるが、今回これを酵素消化と組み合わせ、さらに吸光度計を用いた測定を行うことで、デンプンの構造と消化のしくみについてより高度な理解を可能とするPDL教材として開発した。デンプンの消化は、唾液を用いた消化実験など中学校、高等学校の理科の実験題材としても取り上げられることが多い。酵素反応を精度高く、定量的にとらえるためには、適切な温度管理と、この場合、反応生成物である還元糖の定量が必要となる。温度管理に関しては、実験用の小型恒温槽の導入も考えたが、予算や実験スペースを考慮して酒樽器を活用した。また還元糖の定量は銅試薬による比色法が一般的であるが、実験講座の時間の制約や廃液処理を考慮して、反応生成物を定量するのではなく、デンプンのヨウ素呈色法による定量化を試みた。機材等としては酒樽器を活用した個人用恒温槽、消化薬、パソコン接続型の比色計センサー（PASCO社PS-2121）（写真8）、ヨウ素液、デンプン液などである。まず、デンプン液にデンプン分解酵素タカジアスターゼを加えて37℃で20分間まで反応させた。経時的に反応液を取り出し、ヨウ素液と混合した。デンプンの分解が進むにつれて、ヨウ素デ



写真8 比色計センサー

ブン反応による紫色の呈色が弱くなり、20分後はほぼ無色に近い状態となった。これを比色計センサーで565nmにおける吸光度を測定し、反応時間と吸光度の関係をグラフにして結果を考察した。酵素反応の進行を視覚だけでなく数値としてとらえることで、酵素化学への理解を促し、またデンプンが消化されて体内で利用される過程を実感できていた。

PDLの開発と実施の成果

1) PDL開発の成果

様々な生命科学系PDLの開発に成功した。また、このPDLを使用することで受講生が小グループで実験可能なことより、受講生の興味が喚起され、自主的に様々な取り組みを行う姿が観察された。また、お互いにコミュニケーションをとりながら実験を進めており、ソーシャルスキルの向上にも働くと考えられた。さらに、観察力が伸長することが示された。

しかし、使用に当たっては生命科学系では薬品などの消耗品が高額であることもあり、コスト削減に関しては物理系PDLに比べ効果的ではなかった。また、受講生の指導に関しても安全性の確保を優先しさらに学習効果を上げるためには、例えば観察に関しても単純に観察させるのではなく、ある程度の知識を持って観察することが必要であり、TAによるサポートが必須であった。

PDLを使用した講座の実施

PDLは主としてステップアップコースで使用し、一部マスターコースでも使用した。ステップアップコースは月1から2回実施し、定員10～20名の範囲で行った(表1)。

ステップアップコースには第1期から第3期までに合計190名が進級し、実験講座に参加した。受講生は熱心に実験に取り組んでおり、感想でも「難しいが楽しかった」というものが多く寄せられた。

表1 ステップアップコースの例

日 程	千葉市科学館	西千葉キャンパス	環境健康フィールド科学センター 柏キャンパス
4月25日	ボルタの振子 ガリレオが発見した振子の等時性を再体験 地球の万有引力が引き起こす重力加速度を求めよう		犯人を探せ DNAを実際に見てみる 現在、犯罪捜査でも使用されているアガロースゲル電気泳動などのDNAの解析技術に触れてみる
5月16日		色の変化で、酸化還元を見る 青インクの顔料であるプルシアンブルーは酸化状態と還元状態で色が大きく変わります。茶色の溶液から、プルシアンブルーを電気分解で析出させたり、試薬で還元して析出させたりして、酸化還元反応を電子のやりとりとして実感します。	
5月23日	DNA抽出 身近にあるさまざまなものからDNAを抽出してみよう その試料の組織、細胞の構造を調べよう		ボルタの振子
6月6日		消化酵素の働きーデンプンの酵素分解ー でんぷんは、エネルギー源として重要な栄養素です。わたしたちは、でんぷんを体内でどのように消化しているのでしょうか。でんぷんの酵素分解を実験し、酵素が働きやすい条件や市販胃腸薬の作用について調べます。	遺伝子診断 あなた自身の遺伝子を取り出し、調べてみましょう。ここではアルコールの分解酵素の遺伝子を調べます。
6月13日		飛行の原理入門 1. 模型飛行機に作用する空気力の測定します。 2. 主翼周りの空気の流れを目で見て観察します。	
6月20日	バネ振子		消化酵素の働きーデンプンの酵素分解ー でんぷんは、エネルギー源として重要な栄養素です。わたしたちは、でんぷんを体内でどのように消化しているのでしょうか。でんぷんの酵素分解を実験し、酵素が働きやすい条件や市販胃腸薬の作用について調べます。
6月27日			色の変化で、酸化還元を見る
7月11日	遺伝子診断		ばね振子

さらに、2011年度にはサマーサイエンスキャンプDXを実施した。この中でタンパク質解析PDLとDNA解析PDLを使用して講座を行っている。この参加者の中から生物オリンピック日本代表候補が3名選出されている。彼らによるとこのキャンプで行ったPDL実験に関する問題が出題され、キャンプで学んだ知識と技術を生かすことができたとの報告を受け取っている。

したがって今回開発した生命科学系PDLは理系才能支援教育において有効に活用可能であることが示された。今後さらに応用方法の開発などに努めたいと考えている。

参考文献

- 野村純ら（2010）未来の科学者養成講座におけるプログラム開発とその実施，千葉大学教育学部研究紀要，第58巻，pp. 160-164
木下龍ら（2011）未来の科学者養成講座における学習プ

ログラム体系，千葉大学教育学部研究紀要，第59巻，pp. 165-169

野村純ら（2011）未来の科学者養成講座における受講生の養成とその課題，千葉大学教育学部研究紀要，第59巻，pp. 170-175

千葉大学教育学部（2011）「輝ける未来の若者へ向けて—高等教育への連続性を持つ科学体得プログラム「ラボon theデスク」によるタウンアカデミアの展開」，千葉大学「未来の科学者養成講座」報告書

謝 辞

この事業は，科学技術振興機構「未来の科学者養成講座」「サマーサイエンスキャンプDX」および日本学術振興会科学研究費補助金挑戦的萌芽研究により実施いたしました。