

中学生対象の「未来のスーパー科学者養成 EPOCH プログラム」 における CSU とドリトルを用いたコンピュータの仕組みの理解

並木 美太郎¹ 兼宗 進² 井戸坂 幸男³ 間辺 広樹⁴ 飯野 孝浩¹

概要：本稿では CSU(Computer Science Unplugged)とドリトルを用いて、中学生に計算機科学の原理とコンピュータの実行方式の仕組みを理解させる試みについて報告する。東京農工大学では、科学博物館において次世代の科学者を育成する JST プログラムを企画・実施している。中学生を対象に、大学の先端的な研究内容を生徒に実験とともに体験してもらい、理工系分野に対する興味を持ってもらうと同時に、EPOCH と呼ばれる、原理の理解、独創性、気づき、他人への説明力、質問力を涵養することが目的である。本プログラムは、1 回 3~4 時間程度の枠の中で、選ばれた生徒を対象に、生命工学、化学、機械工学、電気電子工学、情報工学の各分野を 1 回程度ずつ学ぶが、本稿では計算機科学・工学の原理の理解、気づき、独創性を伸ばすために、計算機科学の理解を CSU で、プログラミング言語ドリトルでその実行方式を学ぶカリキュラムを採用し、15 人の中学生生徒に CSU とドリトルプログラミング教育を実施した。教育成果については、プログラムの中でより詳細な分析を行っているが、概ね好評との結果を得た。

1. はじめに

日本の将来を担う人材育成について、底上げは重要ではあるが、同時に牽引車となる優秀な人材育成も不可欠である。特に、独創的で新規な着想と実装が求められる理工系分野では、長期的な視野で優秀な人材を育成することが必要不可欠である。第三期科学技術基本計画などでも、「出る杭人材の育成」の方針が出され、そのような人材育成については、例えば、2002 年度に高等学校を対象とした SSH(Super Science High school)は実現施策の一つである。

同様な主旨で 2008 年度に開始された「未来の科学者養成講座」[1]は

- (1) 卓越した意欲・能力を有する児童・生徒の発掘・募集と選抜方法の開発・実施
- (2) 意欲・能力をさらに伸ばす体系的教育プログラムの開発およびその継続的実施
- (3) キャリア教育の実践
- (4) 児童・生徒の意欲・能力の向上についての適切な評価手法の開発・実施により、最先端の科学技術の研究・開発を行える総合的なシステムの構築

に意欲的な大学・高等専門学校を国が支援する制度となっており、4 年間に計 18 機関にプログラムが実施された。この中では小学生から高校生までの児童・生徒を対象としている。

情報系については、文部科学省関連では、教科「情報」の導入と同時に、底上げだけではない、2004 年度から展開した「IT 人材育成プロジェクト」[2]の一環として行われた「ICT スクール」[3]において、高校生を対象に全国の高校で選ばれた生徒を対象に合宿形式で計算機ソフトウェアの人材育成を行った。経済産業省に関連については、2000 年度から実施されている IPA の「未踏ソフトウェア創造事業」(2008 年度から「未踏 IT 人材発掘・育成事業」)[4]における

「未踏ユース」などで高校生が採択された例がある。

いずれにおいても、研究者・開発者としてトップレベルの人材の発掘と育成が主眼となっており、これらの目的は ICT の利活用に重きを置くのではなく、次の時代の ICT を研究・開発できる人材を育成することにある。

「未来の科学者養成講座」は、2015 年度からは、JST から「次世代科学者育成プログラム」となり公募が行われた。このプログラムでは、第 5 期科学技術基本計画策定の答申で、次世代の初等中等教育などを通じて、次世代の科学技術イノベーションを担う人材育成を目的に、理数好きの児童生徒の拡大をはかり、理数の資質を持つ児童生徒の才能を伸ばすことを推進することを受けたものとなっている。

本方針を踏まえて、JST が、主に中学校を対象に大学が理数分野に関して意欲と能力を持つ生徒を発掘し、さらに伸ばすための体系的育成プランの開発と実施を支援することを目的としている。中学校の生徒が対象だが、一定限度内で小学校 5・6 年の児童も可能である。詳細は[5,6]をご覧ください。

本稿では、このような背景から東京農工大学が提案した EPOCH プログラムについて紹介すると同時に、中学校における情報系スーパー科学者の育成の事例を述べる。中学校においては、技術・家庭科の「情報に関する技術」領域で計測と制御は扱われているが必ずしも情報の科学的な理解に全面的に対応しているわけではない[7,8]。

そこで、現代の情報処理の方式として、コンピュータの仕組みの理解を目的として、コンピュータサイエンスアンプラグドによる実世界の抽象化と手順の抽象化を学び、プログラミング言語ドリトルによるその実行を題材として、スーパー科学者の卵となる中学生に情報科学・工学の能力を育成した。以降、各章でその内容を報告する。

1 東京農工大学
2 大阪電気通信大学
3 松阪市立飯高西中学校
4 神奈川県立柏陽高等学校

2. EPOCH プログラムの目的と本授業の位置付け

東京農工大学は、小金井キャンパスに科学博物館(旧繊維博物館)を有し、小学校高学年、中学生を対象に1989年から毎年6回の子供科学教室を開催し、本学工学部の先端的な研究と同時に、本学工学部の分野の楽しさ・面白さを児童・生徒に伝えてきた。この経験を活かした企画を発展する形で、西東京市・小金井市両教育委員会を連携機関として企画・立案を行った。タイトルは、「未来のスーパー科学者養成 EPOCH プログラム」(代表:松永 是学長、実施担当:梅田倫弘 科学博物館長)[6]となっており、理数分野に関して高い意欲・能力を有する中学生を発掘し、イノベーションの根幹となる質問力、気づきの精神を伸ばしていくための体系的育成プランの開発・実施を行う。同時に、気づきの精神を涵養するための講義、実験、アントレプレナー型自由研究課題の組み合わせにより、鋭く、独創的な生徒を育成するプログラムとなっている。

本プログラムの具体的な目的・目標は、

- (1) 気づきの精神をもった理系学生養成プログラムの開発
- (2) 中学生の能力の評価法の開発と評価の実施
- (3) 理科教育における中大連携

としている。特に、独創性に富んだスーパー科学者の養成を目指し、次の EPOCH の能力を重要視している。

- (a) **Exposition:**学んだことを他人に説明できる
- (b) **Principle:**科学技術の原理を理解できる
- (c) **Originality and Creativity:**独創性と創造性
- (d) **Conscious attention:** 気づき
- (e) **Habit of asking question :** 質問力

これらの能力を、実際の実験とその分析、ノートの取り方、要約、課題宿題などにより、科学者の基本手法を学ぶ。

対象は中学生、人数は18人程度とし、実施期間は単年度ごとであるが、年度が進むにつれて、発展的な内容を行う予定である。

中学生には西東京市、小金井市および周辺の中学校に説明および案内の送付を行って、参加者の応募を募り、選定を行った。課題として、原稿用紙1、2枚程度で回答する問題を二つを課し、および面接を行って適性を判断した。

本プログラムでは、東京農工大学工学部のすべての学科が参加し、生命工学、無機化学・有機化学・化学工学の化学三分野、機械工学、応用物理、電気電子工学、情報工学の8分野すべてをテーマとしている。実施期間は、2015年9月から2016年2月を想定した。実施曜日は授業のない土曜日の中で月2~3回として、一回あたり14時から17時過ぎの間の3時間程度の時間内で、上記分野の実験を行う。

中学校の教科を考えると、8分野中ほとんどすべての分野は、理科などの分野との対応付けが可能である。機械、電気も原理としては理科になる。しかし、高校には教科「情

報」はあるが、中学校には情報の教科はない。パソコンの操作については、小学校で修得するが原理などを学ぶ科目はない。もっとも近いものとしては、技術・家庭科の「情報に関する技術」領域の中で扱われている計測と制御になる。しかし、計測と制御は計算機科学・工学、情報工学の一分野ではあるが、理工系の理科に該当するほどの位置づけとはなっていない。諸外国においては、モデルやデータなどを中学校で扱う課程[9]、近年ではICTを進化させたものとして、**Computing** の概念を基に小学校高学年で教える事例などが見られる[10]。

このようなことから、理工系のスーパー科学者において、中学生に対して情報系は何を学んでもらうかは大きな課題となる。スーパー科学者の育成ならば、それはパソコンの操作ではない。また、計測と制御は、機械工学、電気電子工学などとの境界領域でもある。実際、全学科が集まったテーマの検討会議においても、ロボット、LED点灯制御(俗称「Lチカ」)、3Dモデリングとプリンタなどは他でも提案があった。情報系を特色付ける内容が必要不可欠である。

3. 本授業の目的: 計算機科学とプログラミングによるコンピュータの仕組みの理解

高校生を対象としたプログラムと異なり、中学生を対象として複雑な理論などを教えることは不可能である。しかし、本プログラムの特徴として「科学技術の原理を理解できること」が一つの目標である。特に、情報系としては、普段使用している計算機がどのように実世界を抽象化し、情報として処理できる仕掛けになっているか、また、その根底にある考え方が原理となっている。そこで、

- (1) 計算機で扱う情報の仕組みとその考え方
- (2) 手順を考案すること
- (3) その手順をプログラムとして書き下ろして、計算機で実行できるようにすること

の理解を本担当の目標とした。特に、コンピュータの理解においては、計算機科学的な内容と視点は不可欠であり、このことを EPOCH で重視することとした。

筆者らは過去に初等中等教育で、情報教育に携わってきた。特に井戸坂は中学校の技術・家庭科[11,12]、間辺は高等学校の教科「情報」[13,14]、兼宗は大学の計算機科学・工学の教育と同時に初等中等教育における情報教育に深く携わってきたことから、EPOCHプログラムの外部講師を依頼した。本プログラムは中大連携とあるが、このテーマにおいては、中高大の視点からの内容も含まれている。

筆者らの教育研究では、**Computer Science Unplugged(CSU)** [15,16]で体験的に符号化やアルゴリズムを学ぶなど、計算機科学の基礎の学習法を考案し、実践してきた。また、兼宗はプログラミング言語ドリトルとその処理系を開発し、初等中等教育においてプログラミング

教育を実践してきた[17,18]。本プログラムでは、この二つの教材と教授法を用いて、計算機の科学技術の原理の理解を促すこととした。

ドリトルを用いたプログラミングにより、簡単なゲームを題材として、独創性と創造性を促すこととした。受講の時間では、テキストを用いてドリトルで手順の考案と記述を行ったあと、教師から簡単なゲームのテンプレートを教わったあと、自分でその内容を拡張する指導法とした。

CSU、ドリトルともに、詳細な内容を教師側からは教えない。それは、CSU、ドリトルともにそのようなスタイルが多かったこと、また、EPOCHにおいては「気づき」を重要視しているため、受講者が自ら自発的に気付いて理解することに適合している内容だと考えたことによる。実験マニュアルにしたがって、指示された通りに実験を行うのではなく、アクティブラーニングに適した内容と指導法だと判断した。

4. CSU(Computer Science Unplugged)による計算機科学の体験的学習

CSU[15,16]は、データ、アルゴリズム、手続きの表現、解くことができない問題、暗号、ヒューマンインタフェースなど多岐に渡る題材を扱っており、元来は小学生を対象に開発された教授法であるが、大学初年次にも適用可能な内容となっている。その理由としては、必ずしも計算機を必要とせず、操作法に惑わされることなく学習できること、体験的に学ぶことができることがあげられる。本来、抽象的で仮想的な情報に対して、実世界との架け橋を持ちながら、手足を動かして学ぶことができるのが有効である。そして、一番重要なことは、科学、特に計算機科学の考え方を基盤として、その内容を伝えることにある。

本テーマにおいては、

- (1) データの表現として、「色を数で表す」の章における「こどもファクシミリ」の画像表現
- (2) 「点を数える」の章における「秘密のメッセージを送ろう」の文字符号化
- (3) 同じく「点を数える」の章における「2進数」を扱った。(1)の「こどもファクシミリ」で画像のデジタル表現の理解を、(2)の秘密のメッセージで文字の符号化による効率的なデータ表現を、そして(3)の「2進数」で現代のデジタル表現の基をなす計算機の数値表現法を理解する。

受講している生徒には、文献[16]中のワークシートを筆者らが拡張したものを用いた。いずれの内容も、トップダウンにルールを教えない。生徒自らがルールを見つけ出すことで、気づきを涵養する。また、そのルールを生徒に答えさせることで、学んだことを他人に伝える能力を育成することもできる。図1は「こどもファクシミリ」のワーク

シートの一部であるが、この例からどうなるかを考えさせる。この画像データの表現を用いて図2のワークシートで、受講者間で画像データの情報交換を体験させる。

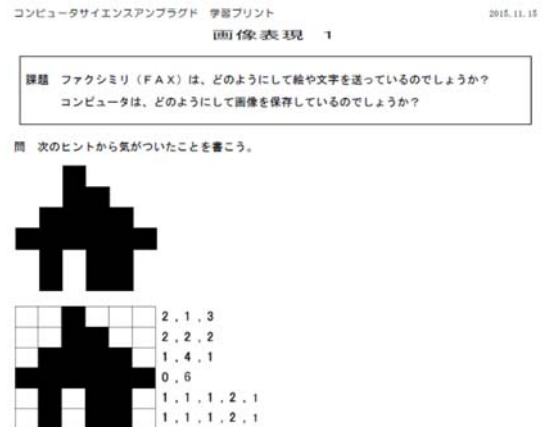


図1 「こどもファクシミリ」の冒頭

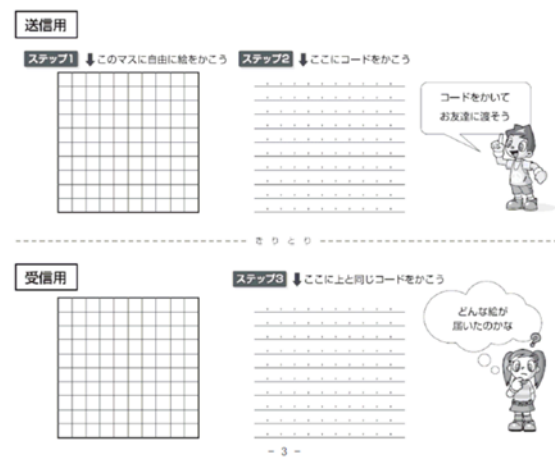


図2 生徒間での画像データ交換のワークシート



図3 「秘密のメッセージを送ろう」

文字符号化については、利用者間でどの数値がどの文字を表すかを取り決めとし、符号化文字表現だけを与えて、文字列を符号化させる。その上で図3に示すパターンで表現された符号化文字列を生徒に答えてもらう。

画像表現は任意のアナログデータを、デジタル化でき、画像や音声などを計算機処理できるが、効率は低い。対して、文字の符号化は双方で共通の文字符号化方式を取り決める必要があるが、効率は良い。このようなことを、体験的に学習してもらい、気づいてもらえることが、これらの題材を選んだ理由である。

5. ドリトルによるプログラミング

理工学において、数学および物理学が基礎的な素養であることは言うまでもない。計算機科学および工学では、抽象的なデータ表現、計算モデル、アルゴリズムとその表現が重要な点であるが、それらを計算機で実行できることが科学的には重要であり、実用上は最大の利点となっている。

初学者向けのプログラミング言語については、Squeak[19]、Scratch[20]、Viscuit[21]などがあるが、本テーマにおいては兼宗らが研究開発を行ったドリトルを採用した[17,18]。タートルグラフィクスを基調とし、現代的なオブジェクト指向パラダイムを取り入れた点の特徴である。

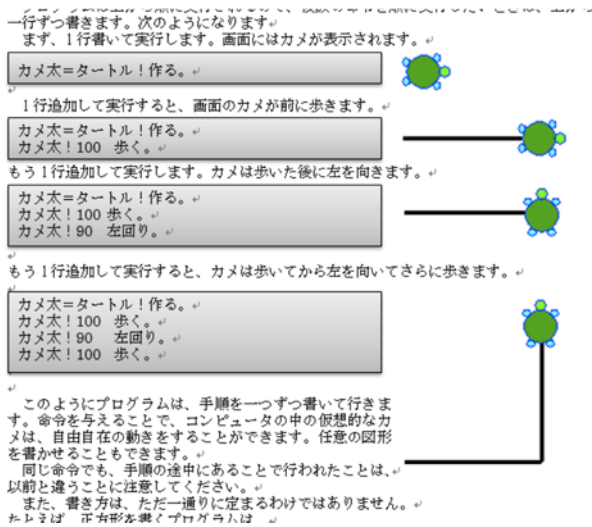


図4 ドリトルの最初の実習

本テーマにおいては、文献[22]にあるドリトルの教本を参考書として紹介し、基本的な記述法を最初に教えることが目的である。

本カリキュラムの実施においては、最初の試みであったこと、生徒の能力についても、手引きの作成段階では、未知数であったことから、文献[22]の入門を参考に手引きを作成した。

実際は、当日CSUの結果を見て、能力があることがわかったので、手引きにしたがうのではなく、すぐにドリトル

による簡単なゲームの作成に切替えた。

6. 実施

EPOCHプログラム全体の実施内容を表1に示す。本稿執筆時点においては、テーマすべては完了していない。

表1 EPOCHプログラムの実施内容

回	日	セミナー・実験テーマ・報告会
1	9/5	商品開発セミナー
2	9/12	3Dプリンタで、図面をカタチにしていこう
3	9/19	科学者に必要なチカラとは？ (技術者倫理、実験ノート)
4	9/26	3Dプリンタで、図面をカタチにしていこう
5	10/3	3Dプリンタで、図面をカタチにしていこう
6	10/10	温かいけど熱くない!?化学カイロのしくみ
7	10/17	目で観る“葉”の化学反応
8	10/31	カップリング反応を体験しよう -蛍光分子の合成-
9	11/7	自分で考え、走る手作りロボットにレースをさせよう
10	11/14	コンピュータの動く仕組みを確かめよう
11	11/28	沸騰した泡の不思議な性質
12	12/5	水のしずくを水面に浮かせてみよう！ -身近な流体力学の不思議体験-
13	12/19	モーターをつくらう (電流と磁界)
14	2/13	シルクの科学 -シルクから再生医療材料をつくらう-
15	3/5	ナイロンの合成と染色
16	3/26	成果報告会

本テーマについては、2015年11月14日に開催した。EPOCHプログラムは、東京都周辺の中学生18名が参加しており、選抜方法は第2章で述べたとおりである。内訳は、1年生11名、2年生6名、3年生1名である。所属は、市立中学校11名、私立中学校3名、高校附属中学校2名、大学付属中学校2名となっている。本テーマの11/14については、このうちの3名欠席の15名が参加した。部活動などがあり、毎回数名は欠席している。

会場は、工学部情報工学科の計算機実習室において、CSUおよびドリトルの実習実験を行った。生徒は、一人一台のWindows/Linux 端末で実習する。図5から図7はその風景である。図5はこどもファクシミリの説明画面で、端末の画面と教室の大型ディスプレイの両画面に、教師の説明画面が配信される。図6は、2進数の説明である。生徒が前の白板を用いて、自分の考えを解説している。図7は、ドリトルプログラミングの風景である。教師が前で説明しながら、生徒は自分で割り当てられた端末で、その内容を確認する。また、自分でプログラムを改変して新しい機能を追加している。なお、当日、20名ほどの引率のご父兄にも生徒と同様のワークシートおよび最後列の端末で実験実習に参加いただいた。当日の現地で様子を観察すると、年齢や性差に大きな区別がなかったのが興味深い。



図5 こどもファクシミリの説明画面



図8 生徒の学習支援



図6 生徒による2進数の解説



図7 中学生生徒によるドリトルプログラミング

当日は、筆者らのほかに科学博物館の担当者3名が支援を行った。実習実験中に、生徒達のつまずき、質問などを随時受け付けながら実習実験を支援した(図8)。

当日のスケジュールは次のとおりである。

(1) 14:00～14:40 前回テーマの発展と応用

EPOCHでは毎回前回のテーマについて、それらを発展させた内容を課題と課しており、事務局で優秀な内容数件を次回の冒頭で説明させている。この日も2件ほど生徒から発表があった。

(2) 14:45～15:40 CSU

先の内容の実習実験だけでなく、生徒同士でファクシミリの画像の交換を行い、正しく画像の内容が交換されたかを検証した。また、課題として、秘密の暗号を課してCSUを終了した。

(休憩)

(3) 15:50～16:50 ドリトル入門とゲームプログラミング

手引きによる簡単な入門とステップ的なゲームプログラミング入門。端末を用いて動作検証および自分のアイデアをプログラムとして表現した。

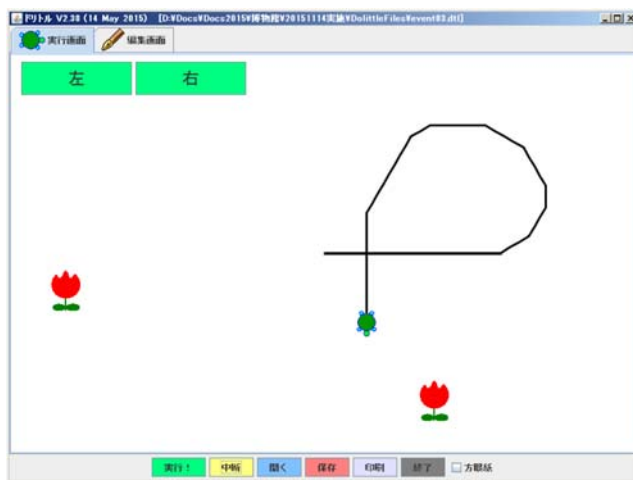


図9 ドリトルによる簡単なゲームプログラミング
かめたを動かして花を取る

(4) 16:55~17:20 頃まで サマリ

本プログラムでは、毎回授業の最後にその日の内容のサマリを一人一分程度で説明させることで、理解の程度と説明力を養っている。

(5) 17:20 頃から解散 アンケート

本テーマについて、個別にアンケートを実施した。

本テーマに関する課題として約2週間後の11/26までに

(1) 秘密の暗号を解読

(2) ドリトルで六角形を書くプログラム作成、発展課題として、円を書くプログラム作成

を課した。また、EPOCHプログラムとして、毎回課している課題として、各テーマに対して

(1) 新用途提案：そのテーマをどのような新分野に応用や展開ができるか

(2) 自発実験の提案：毎回実験した内容に対してさらに自分で新たな実験内容が考えられるか

を課している。すべての生徒が提出する訳ではないが、本テーマに対しても同様の課題を課して、この回を終了した。

7. 受講者の反応

本テーマについて、事務局とは別に個別のアンケートを実施した。まず、CSUについては次の内容である。表2に結果を示す。

1. コンピュータサイエンスアンブレグド
 - (1) コンピュータが画像や文字をどう扱うかわかりましたか？ はい または いいえ
 - (2) 面白かったところと難しかったのはどこですか？
 - (3) コンピュータの画像の縦横を大きくしたら、必要なマスは何倍になりますか？
 - (4) コンピュータの画像のぎざぎざをなめらかにするにはどうしたらいいですか？

ドリトルについては、

2. ドリトルによるコンピュータプログラム入門
 - (1) コンピュータがどうやって動いているかわかりましたか？ はい または いいえ
 - (2) かめ太はどうやったら動きましたか？
 - (3) かめ太が思ったとおりに動かなかったときに、どうしましたか？
 - (4) 面白かったところと難しかったのはどこですか？
 - (5) ほかの実験と違った点はどこでしたか？

をアンケートの項目とした。結果を表3に示す。

いずれも概ね好評である。CSUについては、画像の解像度とピクセルの関係については、特に説明していない項目であったためか、全員が正解できているわけではない

表2 CSUのアンケート結果

	CSU			
	1(1)	1(2)	1(3)	1(4)
1	はい	二進法を工夫して使うのが面白かったです。		マスを小さくする。
2	はい	FAXがどうやって受信しているか気になっていたのが知ることが出来たところが面白かった。今日やったことをまとめるのが難しかった。		マスを細かくする。
3	はい	FAXの仕組みが面白かった。2進数が難しかった。		
4	はい	ゲームを作ることが面白かったが面白かった。	少なくとも。	マスを多くする。
5	はい	数を図に変換するところ。	4倍	マスをより細かくする。
6	はい	自分がコンピューターになったつもりで絵の変換を行ったところが面白かった。また、最後の英語を使う問題が難しかった。	縦に大きくした倍率×横に大きくした倍率	ピクセルの数を増やす。
7	はい	面白かったところは、数字から絵を書くのが面白かったです。難しかったのは、2進法によって位が増える度に数字が大きくなり、計算が大変になったところです。		画像を縮小する。
8	はい	数2つのもや色で言葉や絵を伝えることができることが面白かった。二進法はふだん使っている十進法とはかなり違うので難しかった。	画像を2倍にした場合は3倍になる	マスを小さくしてドットの数を増やす。
9	はい	二進法でメッセージを解読した事。	1倍	マスを小さくする。
10	はい	FAXが1と0で送られているのが分かり、それを利用した問題が面白かった。二進法は知らなくて、一番初めにやったプリントは理解するのに少し時間がかかった。	縦横を大きくした分の2乗	画面を大きくする。(コンピューターの画像を小さくする)
11	はい	友達とFAXを交換したり、問題をといたのが面白かった。	大きくした1辺の比の2乗倍	「赤・青・緑」の1マスを小さくする
12	はい	指と2進法	ほぼ2倍	もっと細かくする。画像を増やす。
13	はい	面白かったことは白黒を暗号かして、もう一つのファックスに送っているのだなということです。難しかったことは、2進法という計算の仕方です。でも、パソコンは全ての命令に答えるのですごく仕組みなのだと思いました。	2倍にしたら4倍になると考えられる。	1つ1つのマスを細かくする。
14	はい	プログラミングをするところ		1.5 角度を調節する。
15	はい		縦横をそれぞれ2倍にするとマスは4倍になる	数を多くする。ピットをあげる

が、自分で考えて正しく答えている生徒もいる。ドリトルについては、ドリトルの基本機能については概ね理解していると思われる。また、デバッグの基本的な仕方も理解している生徒が多い。他の分野との違いについては、分野と言うよりは、CSUとドリトル、さらには計算機科学・工学の特性が反映されている。物理世界対象ではなく、仮想世界が対称なこと、出てくる解が必ずしも唯一にならないこと、考え方を学ぶこと、プログラミングは試行錯誤が必要なこともあるなど、比較的多くの生徒が本分野とCSUとドリトルの内容を理解している。

いずれにせよ、筆者のほとんどは、優秀な生徒であったとの感想を持っている。それは、CSUとドリトルがこのようなプログラムに適していること、理工系に興味のある生徒であったこと、事前回答の課題と面接を行いある程度の能力を認めた生徒が参加したことによる。

表3 ドリトルのアンケート結果

		ドリトル			
	2(1)	2(2)	2(3)	2(4)	2(5)
1	はい	指示を書きこんだら動いた。	指示を見なおした。	ゲームのプログラミングが面白かった。難しかったのは実験の説明が難しかった。	仮想空間を使った。
2	はい	「かめ太!130歩く!」や「左ボタン!右ボタン!」を打ち込み『実行』を押す。すると、マウスでかめ太が動かせるようになる。	数字を変えたり、文をつけたりした。	速度や障害物をつけられるところが面白かった。	自分で製作が出来て、与えられた方法が多かったという点。
3	はい		先生に聞き、分からなかったところを直しました。	面白かったのは思い通りに動くこと。難しかったのはいちいち数値化しなければならないところ。	自分で好きなように出来ること。
4	はい	名前と動作を書く。	タイマーを動かしたりした。	どうすれば動くという事が分からなかったこと。	現実の世界ではないこと。
5	はい	プログラムを組んで「実行」ボタンをクリックした。	プログラムを変更した。	少しの間違いでエラーがおこるところ。	二次元で作業をする点。
6	はい	かめ太をつくり、歩くよう命令を送ると動いた。	先生に対処法を聞いた。	命令を入力するだけでかめ太が動いたことが面白かった。また、	実際に作業をするだけでなく、そのための考え方も学んだこと。
7	はい	ドリトルの編集画面で、指示する文字を打つことによって指示を出すことで動いた。	スペースを加えたり、最後に句点を打った。	速度を変えたり障害物をつくることでゲームを作ることが面白かったです。	様々な実験器具等は無く、デスクトップPC1台だけだったこと。テキストに書いたことだけをやるのでは無く、主に自分で考えて行ったこと。
8	はい	かめ太を動かすようにプログラムをすした。(例)時計!「かめ太!10歩く!」	プログラムを見直して書き直した。(例)エラーの場合、や!などを忘れていないか、間違いないかどうか。	プログラムをうまく書くことができると、かめ太が動いてくれたことが面白かった。しかし、や!を忘れていたり間違えていたりするとエラーになってしまうので難しかった。	・器具がない点。 ・白衣を着ない点。 ・3次元でなく2次元である点。
9	はい	プログラムを編集して編集通りに動いた。	編集画面を見て、問題がある所を直した。	自分の思い通りにプログラムを作る事。	薬品や水などを使わずにパソコンで行った事。
10	はい	「かめ太!10歩く。」という風に入力する。	前に提示してあるものと少し自分で変えてみた。	かめ太が自分の思い通りに行くのが面白かった。「!」や「=」などを覚えていかに一つずつ打ち込むところ。	機材を何も使わなかったところ。
11	はい	名前を指定して動作を詳しく教えた。	空白や「!」「:」「」の抜けがないか確認した。	自分の思うままに「かめ太!」が動いて面白かった。少しの間違いで「かめ太!」が変になってしまったところが難しかった。	みんなで手を動かして、失敗から学ぶ点。
12	はい	動作「○○!...」。	エラーコードの通りにした。	動いた事。	パソコンしか使わない。
13	はい	編集画面に命令すると動いた。	は空白の確認。	面白かったことは、文字を打つことでかめ太が動くということです。難しかったのは、チューリップを置く位置まで数字で考えないといけないことです。	自分自身が決めるので、できるものが1人1人がうることです。
14	はい	プログラムを作る。	編集画面を見る。	かめ太を動かすところ。	プログラムを作るところ。
15	はい	タートルを「!」で呼び出して、それを10歩動かした。	スペースを入れた。	思い通りに動かないところが、面白かったところと難しかったところ。	白衣を着なかった。

本テーマの課題については、秘密の暗号については9名が、ドリトルについては6名が六角形のプログラムを作成して提出した。4名が繰り返しを用いたプログラムであり、基本的な内容を理解して作成を行った。発展課題については、5名が円を作成し、さらに1名がこちらから特に指示をしなかったが、木の作成、音の鳴らすプログラムを作成して課題として提出した。全員ではないが、興味を持った生徒は自主的に自宅で課題を進めた。

EPOCHの応用と新用途提案については、15人中11人から回答を得られた。言語処理、自動車の自動運転、ロボットへの応用、タイピングソフトなどがある。

たとえば、次のような提案があった(原文のまま)。受講生徒には、本学以外でも類似の研修などを受講していることがうかがえるものもあった。いずれにせよ、新用途提案については、この分野に興味を持った生徒は、ある程度のア

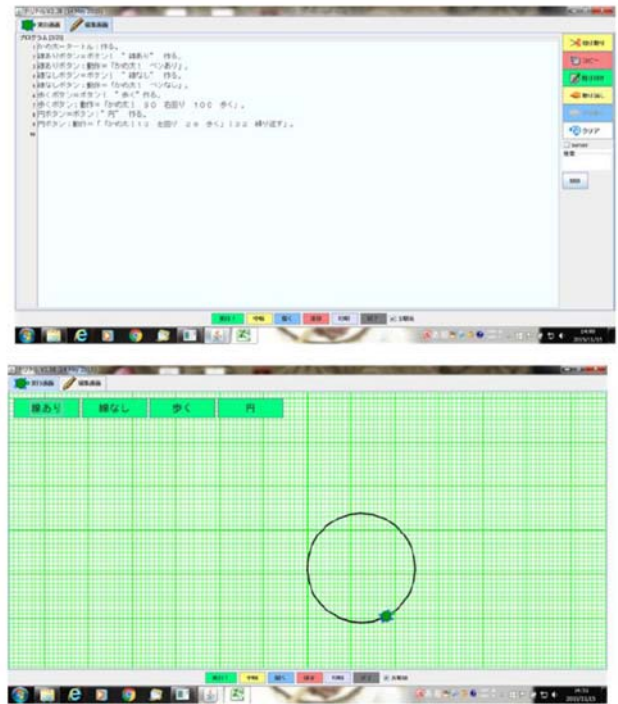


図10 課題とした円のプログラムの提出例

アイデアを自分で考えることができると思われる。

- ・この新製品は設定を変えることで、日本語や英語、中国語など、様々な言語でプログラムを組めるというもの。これなら、どんな国の人でも、簡単にプログラムが組める。ただし、自分の国の言語でない、知らない言語を見て言語変換ができるかという問題がある。
- ・ドリトルを人命救助用のロボットや、作業用のロボットに組み込む。そして、ドリトルで作った亀のように、パソコンから指示を出す。そのようにすれば、人間が入って作業ができないような場所でも作業ができる。(今の時点で、遠隔操作の技術はあるが、コントローラーを使ったものなので、ロボットの動かし方を覚えなくてはならないが、ドリトルを使えば、細かい指示などを送れるし、指示を出すのはパソコンなので、使い方をわざわざ覚えなくても済むため)
- ・先日筑波大学でコンピュータの機能が一つの基盤になったマイクロコントローラー「Arduino」についてプログラミング実習を受けLED点灯を行ったが、関数を扱うためある程度プログラミングに慣れないと難しく感じた、今回ドリトルについて学習し、ドリトルは命令も日本語でプログラミングできるのでArduinoをドリトルでプログラミングできるようにすればより多くの人(子供や老人などプログラミングを苦手とする人)が自分に必要なプログラミングを設定できる。Arduinoは赤外線センサーや超音波センサー、温度センサーなど様々なセンサーのインプット情報でモーターを動かしたり音声を出したりしてアウトプットでき安く購入できるので、聴覚・

視覚に障害のある人が訪問者のチャイムを感知し光や音で知らせるシステム、ジェスチャーを感知して動くドローンなど可能性はいろいろ考えられる。ただし、ドリトルのプログラミングを習得する必要がある。

- ・僕が思いついたのは病院に行くとき、今は病院ごとに診察カードを持っていきますが、一枚のカードや携帯電話などにすべての病院の情報を記録できないかということです。そのカードにもらった薬の情報や検査結果などを記録します

自発実験のテーマについては、15人中6人からの回答があった。プログラミングの別の機能の追実験がほとんどであったが、CSUのファクシミリと融合したものが一件あった。ゲーム関連については、音との融合による提案があった。

- ・ゲームに音楽を付けた方がゲーム感が出ると思った。
 - (1) 障害物が消えると音楽が流れるようにする。
 - (2) 障害物の個数を10個程度に設定する。
 - (3) ゲームを1~5段階の難易度に分けて制限時間を1分程度にする。(難易度に合わせて障害物の配置を難しくする)
 - (4) 難易度に合わせて音楽を鳴らす。例…「ドレミファソラシド」という音を作り、レベル1では「ド・レ」しか流さないようにしてレベルが上がるほど長く音楽を流す

どちらも各テーマ1回で3,4時間の実験、中学生とすることを考えれば、順当な提案であろう。最後の成果報告会の結果を受けてより詳細な分析と評価を行う予定である。

8. おわりに

本稿ではCSU(Computer Science Unplugged)とドリトルを用いて、中学生に計算機科学の原理と計算機の実行方式の仕組みを理解させる試みについて報告した。特に、次世代の科学者を育成するために、中学生15人を対象に情報科学・工学の原理の理解、気づき、独創性を伸ばすために、計算機科学の理解をCSUで、プログラミング言語ドリトルでその実行方式を学ぶカリキュラムを採用した。短い時間の中の1回限りのテーマであるが、生徒からは概ね好評であり、アンケートと提出課題からではあるが、当初の目的を達成できたと考えている。能力評価と本内容の妥当性については、今後の分析から実際の能力を客観的に判断したい。事例として、参考としていただければ幸いである。

参考文献

- [1] 次世代科学者育成プログラム推進委員会, 理系トップ人材育成事業の拡充に向けて, JST 理数学習支援センター, <http://www.jst.go.jp/cpse/fsp/about/miraiseika/miraiseikafulltext.pdf> (2013).

- [2] “第4節 世界に誇れる国づくりに向けて”, 平成19年度科学技術白書, 第11章高度情報通信ネットワーク社会における新たな展開, http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpab200701/002/011/005.htm, 文部科学省 (2007).
- [3] 並木美太郎, ITスクールによる高度IT人材育成事例について(その1)~高校生にeToysとSmalltalkでオブジェクト指向プログラミングを教えてみて~, 情報処理学会誌, Vol.47, No.2, pp.109-115 (2006).
- [4] “未踏事業とは”, 未踏/セキュリティキャンプ, https://www.ipa.go.jp/jinzai/mitou/portal_index.html, IPA.
- [5] 次世代科学者育成プログラム, <http://www.jst.go.jp/cpse/fsp/>, 科学技術振興機構(JST).
- [6] <http://www.jst.go.jp/pr/info/info1089/besshi1.html>
- [7] 村松浩幸, 中学校技術・家庭科技術分野における情報の学の動向, プログラムによる計測と制御学習の必修化を受けて, ICT Education, No. 50, pp. 6-9 (2013).
- [8] “中学校学習指導要領解説: 技術・家庭編”, 文部科学省 (2008).
- [9] 李元揆, 海外の情報教育の動向, 情報処理学会誌, Vol.48, No.11, pp.1207-1212 (2007).
- [10] 石塚 丈晴, 堀田 龍也, 英国の公立小学校における教科「Computing」におけるプログラミング教育の内容, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-CE-131, No.10, p.1-15 (2015).
- [11] 井戸坂幸男, 西田知博, 兼宗進, 久野靖, 中学校におけるCSアンプラグドの授業提案. 情報処理学会 コンピュータと教育研究会, CE(98), pp.163-170 (2009).
- [12] 井戸坂幸男, 中野由章, 紅林秀治, 兼宗進, 教材の共同利用を可能にする中学校向け制御学習システムの提案. 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J96-D, No.11, pp.2728-2736 (2013).
- [13] 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進, 「コンピュータを使わない情報教育」の学習法とそのデジタルコンテンツに関する研究. 情報処理学会コンピュータと教育研究会, CE(98), pp.179-184 (2009).
- [14] 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎, アンプラグド学習法を取り入れた情報A「デジタル化」単元の実践報告. 日本情報科教育学会誌, Vol.3, No.1, pp.44-53 (2010).
- [15] Tim Bell, Jason Alexander, Isaac Freeman, Mick Grimley, Computer Science unplugged: school students doing real computing without computers, The NZ Journal of applied computing and information technology, Vol.13, No.1, pp.20-29 (2009).
- [16] Tim Bell 著, 兼宗進監訳, コンピュータを使わない情報教育~アンプラグドコンピュータサイエンス~, イーテキスト研究所 (2007). <http://www.etext.jp/unplugged.html>
- [17] 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井真吾, 久野靖, 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装, 情報処理学会論文誌プログラミング, Vol. 42, No.SIG11(PRO12), pp.78-90 (2001).
- [18] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井真吾, 久野靖, 初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.SIG13, pp.58-71 (2003).
- [19] Dan Ingalls and Ted Kaehler and John Maloney and Scott Wallace and Alan Kay. Back to The Future: The Story of Squeak, A Practical Smalltalk Written in Itself. In Proceedings of the 12th ACM SIGPLAN Conference on Object-oriented Programming (OOPSLA) 1997, pp.318-326 (1997).
- [20] Rizvi, M., & Humphries, T., A Scratch-based CS0 course for at-risk computer science majors, 2012 Frontiers in Education Conference Proceedings, IEEE, pp.1-5 (2012).
- [21] 原田康徳, 子供向けビジュアル言語 Viscuit とそのインタフェース, 情報処理学会研究報告 Vol.2005-HI-116, pp.41-48, (2005).
- [22] 兼宗進, 久野靖, ドリトルで学ぶプログラミング[第2版], イーテキスト研究所 (2007). <http://dolittle.eplang.jp/>