

STEM教育とComputational Thinking重視の小・中・高等学校を 一貫した情報技術教育の基準に関する日イングランド米比較研究

大森 康正*・磯部 征尊**・山崎 貞登*

(平成27年8月26日受付；平成27年10月28日受理)

要 旨

我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育とCT (Computational Thinking) を重視した情報技術教育課程の基準を検討するために、イングランドのNC (National Curriculum) 教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsの特にSTEM教育とCTに着眼し、磯部・山崎 (2013) の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準の、特に「デジタル作品の設計と制作」、「計測・制御とシステム構成」、「技術教育固有のスタンダード」を再検討した。久野ら (2015) の情報教育の新3観点の特に、(1)実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知の付加に着目し、磯部・山崎 (2013) の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」、「エ 計測・制御とシステム構成」、「技術教育固有のスタンダード」の内容を修正し、再提案した。また、「材料と加工」、「エネルギー変換」、「生物育成」に関する技術のデザインプロセスと、CTを基盤とした「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」のデザインプロセスとは、情報の収集、各要素間の明確化と構造化のプロセスが含まれ、類似性が高く、互いの連携が有効であると考えられる。

KEY WORDS

STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育, コンピューターショナル思考 (Computational Thinking), イングランド・ナショナルカリキュラム「コンピューティング」(Computing in the National Curriculum in England), CSTA K-12コンピュータ・サイエンス基準 (CSTA K-12 Computer Science Standards), デザインプロセス (Design Process)

1 問題の所在と研究目的

本小論の目的は、国内外で現在大きく注目されているSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育とComputational Thinking (以下, CT) を重視した情報技術教育基準の中で、とりわけ「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」の学習到達目標、学習活動内容・方法を提案することである。本稿では、CTを重視した、「グレートブリテン及び北アイルランド連合王国 (以下, イギリス)」のイングランドのナショナルカリキュラム (以下, NC) 教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsを検討した。国際比較研究を通して、我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM教育とCTを重視した情報技術教育課程基準を提案する。

本稿におけるSTEM教育は、Bybee (2010)⁽¹⁾にはほぼ準じて、「万人のサイエンス (以下, 科学), テクノロジー (以下, 技術), エンジニアリング, 数学に関連する科学・技術の理解増進, 21世紀の壮大な挑戦を担う全市民の科学・技術リテラシーの普及・向上と共に、特に初等教育段階から中等・高等教育段階の継続的・系統的な教育により、豊かなテクニックとスキルを個々が有する科学・技術関連の職業人と高度専門職業人育成のための教育及び教育運動」と解釈する。本稿では、Wing (2006)⁽²⁾ [邦訳: 中島(2015)⁽³⁾]のCTに着目する。Wing (2006)⁽²⁾は、CTを、「問題解決のために、コンピューティングの基礎概念を活用した、システムのデザインと人間の振る舞いの理解に関するアプローチ」と解説した。さらに、CTの重要性として、(1)CTは概念化であり、プログラミングがすべてではない、(2)CTはコンピュータ科学者だけでなく、万人に必要な問題解決の手順を掌る思考法であり、(3)CTは人間の創造性、知性、潜在的可能性を拡張すると指摘した。

本稿では、CTの問題解決プロセスの思考と、Layton (1993)⁽⁴⁾の「技術デザインプロセス (Technological Design

Process) の思考との類似性に着眼して小論を展開する。Layton (1993)⁽⁴⁾は、「技術デザインプロセス」を、「必要性の決定」、「必要性の記述」、「複数のアイデアの形成」、「最終アイデアの決定」、「作品の製作」、「作品の試験」の各過程を行き交う一連の思考様式と定義した。「一般的な問題解決プロセス」、「科学のプロセス」、「技術デザインプロセス」の類似点と差異点を、表で示した (Layton, 1993 : p.46)⁽⁴⁾。氏は、「技術デザインプロセス」を学習活動プロセスと位置づけている。技術デザインプロセス活動は、教科等を横断する汎用的な能力と、教科固有の知識やスキルの活用とが不可分の関係で機能し、学習が展開される。CTと「技術デザインプロセス」の詳細な検討については、大森ら (2014)⁽⁵⁾と山崎・磯部 (2016年刊行予定)⁽⁶⁾の先行研究がある。「技術デザインプロセス」は、例えば、イングランド、シンガポール等の教科名「Design and Technology」に代表されるように、世界の多くの国々が、技術教科固有の思考・判断・表現を伴う学習プロセスとして重視する。

久野ら (2015)⁽⁷⁾は、近年の国内外の初等中等教育における情報教育の潮流について、米国、イギリス (イングランド)、イスラエル、ニュージーランド、ロシア、フランス、スウェーデン、エストニアを対象国として、文献調査等に基づき紹介した。調査対象国では、2013年頃から、従来のコンピュータの使い方を習得する教育から初等中等教育におけるプログラミングを通じたCT育成やコンピュータ・サイエンス (以下、CS) 教育が注目されていると指摘した。さらに、英国やエストニアなどでは、ナショナルカリキュラムの改訂により、小学校段階から全学習者を対象としたプログラミング教育やCS教育を導入していることを報告した。

以上の先行知見から、本稿では、STEM教育とCTを重視しているイングランドと米国を調査対象国・地域とする。イングランドの2014年から実施のNC教科「コンピューティング」改訂に対するSTEM教育運動の影響は、大森ら (2014)⁽⁵⁾が報告した。大森らは、イギリス国家が主導した政策的なSTEM方略グループであるロイヤル・エンジニアリング・アカデミーが、コンピュータの操作法とアプリケーションソフトの使い方の習得に偏重し、多数の学習者が退屈で知的関心を持っていないと指摘した。2013年まで実施のNC教科「ICT」の目標と内容の大改革を提言した文書 (The Royal Academy of Engineering, 2012a)⁽⁸⁾と、教育省大臣 (当時) が主導したICT教科改革が、NC教科「コンピューティング」設置に、極めて大きな影響を与えたことを報告した。NC教科「ICT」から「コンピューティング」に改革された経緯に関する国内先行研究として、大森ら (2014)⁽⁵⁾と中條 (2014)⁽⁹⁾がある。2014年から実施のイングランドNC教科「コンピューティング」の教科目的・目標・内容の全邦訳は、磯部ら (2014)⁽¹⁰⁾と中條 (2014)⁽⁹⁾が報告した。大森ら (2014)⁽⁵⁾、中條 (2014)⁽⁹⁾、久野ら (2015)⁽⁷⁾は、教育課程基準の基本構造と内容について検討した。

2 STEM教育としてのイングランドのナショナルカリキュラム教科「コンピューティング」の Computational Thinking (CT)

2. 1 鍵プロセスとしてのComputational Thinking (CT)

Computing at School Working Group (2012)⁽¹¹⁾は、The Royal Academy of Engineering (2012a)⁽⁸⁾の勧告を受けて、イングランドNCのICT教科でCS教育を一層充実させるために、Computer Science: A curriculum for schoolsをまとめた。同構成は、「1 : 学校におけるCSの重要性」、「2 : CSで反復学習する鍵概念 (Key Concepts)」、「3 : 学習者が遂行しなければならない鍵プロセス (Key Processes)」、「4 : 学習者が知らなければならない範囲と内容」、「5 : CSの到達レベルの記述」であった。本論文は、題目で示すように、STEM教育とCTの2つが鍵語であり、この2つの鍵語を詳細に記述した「1 : 学校におけるCSの重要性」と「3 : 学習者が遂行しなければならない鍵プロセス」について解説する。

「1 : 学校におけるCSの重要性」の「1.2 STEM教科としてのCS」では、CSはエンジニアリング、数学、科学、技術の属性を共有する典型的なSTEM教科であることが述べられていた (p. 4)。さらに、CT、コンピューティング原理のセット、問題解決へのコンピュータ処理を組み合わせたアプローチは、人類に偉大な能力を与えると述べていた。実際の問題解決において、この組み合わせを活用する能力は、21世紀の科学、エンジニアリング、ビジネス、商業の成功をもたらす中心となる、との記述が見られた。

さらに、「1.3 CSとITは相互依存적であるが、それらは同じではない」の節では、CSとITの定義の記述が見られた (p. 5)。CSは、「コンピューテーション (computation)」の用語で、私たちを取り巻く自然と人工世界を理解し、探究をする学問分野である。しかし、CSは、コンピュータシステムの研究、デザイン、実行のみに特に関係しているのではなく、これらのデザインの根底にある原理の理解である。ITは、ビジネスニーズ、ハードウェアとソフトウェアの仕様とインストール、ユーザビリティの評価の理解を含む、実世界の問題を解決するために、コンピュータシステムの目的活用を扱う。ITは、テクノロジーの生産的、創造的、探究的な使用であると定義していた。なお、

The Royal Academy of Engineering (2012a, 2012b)^{(8),(12)} では、CSとITの相互依存性と差異性について、ほぼ同様の記述がなされていた。

「3：学習者が遂行しなければいけない鍵プロセス」において、CSにおける鍵プロセスは、CTに焦点を当てるとする。CTは、私たちを取り巻く自然と人工の両方の世界のシステムとプロセスに関する、コンピューテーションの認識プロセスを理解し、推論するためのコンピューティングに由来するツールとテクニックの活用である (p.9) と説明していた。

2. 2 Computational Thinking (CT) 枠組みと、イングランドNC教科「コンピューティング」のカリキュラム・マップ

Computing at School Working Group (2014a)⁽¹³⁾ は、「Developing computational thinking in the classroom: a framework」で、「ステージ1：CTの定義事項」、「2：概念」、「3：授業テクニック（以下、授業技法）」、「4：アセスメント」を解説した。「1：CTの定義事項」では、Wing (2006)⁽²⁾ のCTの定義を解説した。「2：概念」では、Selby & Woollard (2013)⁽¹⁴⁾ に基づき、「アルゴリズム思考」、「評価 (evaluation)」、「分解」、「抽象化」、「一般化」の鍵概念を解説した (Computing at School Working Group, 2014a: pp. 3-4)⁽¹³⁾。

アルゴリズムの思考とは、偶然ではなく、確実な手順の定義付けに基づいて、解決策を発見する一連の方法である。

評価とは、アルゴリズム解法が目的に合致した良い解法であることを保障する過程のことである。

分解とは、問題、アルゴリズム、人工物、プロセス、システムの各部分に関する思考方法を意味する。

抽象化とは、問題やシステムを一層簡単に思考し、問題解決する際の、一つの方法である。

一般化とは、私たちが解決した以前の問題に基づき、新しい問題を速やかに解決する方法である。

Computing at School Working Group (2014b)⁽¹⁵⁾ は、2014年から実施のイングランドNC教科「コンピューティング」5～16歳の学習プログラムにおけるカリキュラム・マップを示した (表1)。カリキュラム・マップとは、教科の育成すべき学習能力と「学習範囲 (scope)」を明確にした上で、各学習範囲において、ある一定の学習期間をかけて進捗する学習到達水準の系統性を明確にした二次元表である。カリキュラム・マップは、教育課程基準の基本骨格となるものである。

表1に示したように、イングランドでは、5歳からCT育成のために、アルゴリズムに基づくプログラミングと、ネットワーク通信の原理の理解、デジタル作成の設計・制作、プログラムを用いた計測・制御が重視されている。なお、大森ら (2014)⁽⁵⁾ と中條 (2014)⁽⁹⁾ が指摘したように、イングランドの2014年から実施のNC教科コンピューティングは、ハイレベルのSTEM方略グループによるICT教科の大改革提言を受けて、教育省主導による速いペースによる大幅な改革提案があり、教員組合等からの反対意見や批判も強く出された。

イングランドのコンピューティングの教育課程基準や表1は、我が国の情報教育に多くの有益な示唆を提供している。一方、我が国では、久野ら (2015)⁽⁷⁾ 等の指摘のように、小学校段階におけるCT育成のための教科が未設置、中学校技術・家庭科技術分野 (以下、技術分野) の著しい時数不足、高等学校普通教科情報の「情報の科学」履修率が、わずか16.5%程度という実態がある。我が国が、イングランドと同レベルのCT育成を小学校から導入するには、CT育成のための新教科あるいは教科構成の見直しをはじめ、現行学習指導要領の大幅な改革が前提となる。

表1. コンピューティング進行経路 (出典：Computing at School Working Group, 2014b)^{(15)*}

進度	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL (Digital Literacy)
1	<p>アルゴリズムが何であるかを理解し、簡単な直線型 (非分岐性) アルゴリズムを記号的に表す。コンピュータは、正確な命令を必要とすることを理解する。エラーを避ける留意事項と正確さが必要であることを説明する (AL)。</p> <p>ユーザーが、独自のプログラムを開発すると共に、テキストなどに依存しない環境 (例：プログラミング可能なロボット) で単純なプログラムを創り出し、それを実際に動かし説明することができることを知る。プログラムを実行・確認・訂正する。プログラムは、正確な指示によって実行することを理解する (AL)。</p> <p>コンピュータが知能を有していないことや、コンピュータはプログラムが実行されなければ、何も実行しないことを理解する (AL)。</p> <p>デジタル装置上で実行される全ソフトウェアが、プログラムされていることを認識する (AL) (AB) (GE)。</p>	<p>デジタルコンテンツが多く形態での表現が可能であることを認識する (AB) (GE)。これらの形態の区別をしたり、伝達する情報に応じて方法が異なることを説明したりすることができる (AB)。</p> <p>ウェブブラウザを用いてワールドワイドウェブからの内容を獲得する (AL)。</p> <p>教師の指示に基づき、ソフトウェアを活用したり、適切なファイルやフォルダ名を用いてデジタルコンテンツを開発・保存・出力したりする (AB) (GE) (DE)。人間がコンピュータで交流することを理解する。</p> <p>実習活動について話し合い、実習活動を変更する (EV)。</p>	<p>安全かつ責任を持ってオンラインで通信することへの重要性と、個人情報保護の必要性を理解する (EV)。内容への関心を示したり、オンラインへの接続の際、すべき事柄を知っておいたりする (AL)。</p> <p>教室外の情報技術に関する共通の活用を知る (GE)。学校内における技術の活用を共有する。</p>

*表中のAB, DE, AL, EV, GEは、Computational Thinking 概念のAB＝抽象的概念、DE＝分解、AL＝アルゴリズムの思考、EV＝評価、GE＝一般化を示す。また、進行度は、出典に基づき、数字で示した。

表1 (続き). コンピューティング進行経路 (Computing at School Working Group, 2014b)^{(15) *}

進度	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL(Digital Literacy)
2	<p>アルゴリズムが、プログラムとしてのデジタル装置上で実装されることを理解する。簡単なアルゴリズムは反復と選択(if文)によってデザインする。結果を予測するために、論理的推論を用いる。アルゴリズム中にあるエラーの削除・訂正(デバック作業)を行う(AL)。</p> <p>プログラム内でループ、if文及び算術演算子を用いる。プログラムの動作を予測するために、論理的推論を用いる。プログラム上の簡単な論理のエラーなどの検出・訂正(デバック作業)を行う(AL)。</p> <p>デジタル装置はコンピュータと考えることができる(AB)(GE)。一連の入力・出力装置を認識し活用することができる。プログラムは、汎用コンピュータの機能をどのように指定しているのかを認識する(AB)。</p>	<p>テキストや数などの異なるデータタイプを認識する(AB)(GE)。プログラムが、異なるデータタイプを扱うことの良さがわかる(GE)。役に立つデータは、表中に構築されることを知る(AB)(DE)。一連のデジタル装置がコンピュータに関連があることを知る(AB)(GE)。一連の入力・出力の装置を認識・活用する。</p> <p>ウェブにより、簡単なウェブサーチを実行し、デジタルコンテンツを収集することができる(AL)(EV)。</p> <p>デジタルコンテンツに対して、目的意識を持って構成するために、独自性を持って技術を活用する(AB)。</p> <p>様々なソフトウェアでデジタルコンテンツ(データや情報)を操作・発表する(AL)。学校内や教室外の技術経験を共有する(GE)(EV)。実習内容を話し合い、フィードバックに基づいて解決策を修正する(EV)。</p>	<p>オンライン中のアクセスできない内容を報告する方法を知った上で、コンピュータの活用を安全かつ責任を持って実行する。</p> <p>収集されたデジタルコンテンツの品質への意識を示す(EV)。</p>
3	<p>「if」「then」「else」などの二者択一や反復などを用いて、(アルゴリズムの)解決策をデザインする(AL)。解決策を表現するために、ダイアグラムを使用する(AB)。論理的推論を用いて、入力についての認識を示しつつ、出力を予測する(AL)。</p> <p>提示された目標を達成するためのアルゴリズムを実行するプログラムを作成する(AL)。変数を宣言し、割り当てる(AB)。プログラムの中に、例えば「until」などの後判定ループと、「if」「then」「else」などの命令を含む(AL)。</p> <p>コンピュータは、センサを含む多様な入力デバイスや応用ソフトウェアからデータを収集することを知っている(AB)。ハードウェアとアプリケーションソフトウェアの違いや、それらのコンピュータシステム内での役割を理解している(AB)。</p> <p>インターネットとWWWのようなインターネットサービスの両者の違いを理解する(AB)。</p>	<p>データと情報の違いを理解する(AB)。プラットフォーム内のデータの並び変えが、情報のために検索を改善する理由を知る(EV)。フィルターの使用や、情報のための簡単なサーチ規準を実行する(AL)。</p> <p>VOIPのようなインターネットサービスの存在に気づき、活用する。</p> <p>デジタルコンテンツのデータや情報を収集・整理・提案する(AB)。ブログのような広範囲な対象との通信用として、ソフトウェアのパッケージとインターネットサービスを組み合わせ、提示された目標を達成するデジタルコンテンツを開発する(AL)。フィードバックに基づき、解決策に関する修正を適切に行い、解決策の成功する点をコメントできる(EV)。</p>	<p>技術とオンラインサービスを使う際、容認行動とそうでない行動とを認識する。</p>
4	<p>人間または、コンピュータによって達成された最適な問題解決活動への意識を示す(EV)。問題を分解することによって、解決策をデザインしたり、(分解による)各要素の部分的な解決策を開発したりする(DE)(AL)(AB)。同一問題であっても、異なる解決策があることを認識する(AL)(AB)。</p> <p>「if」「then」「else」の違いを理解すると共に、適切に活用する(AL)。ループの終了を判断するために、変数と関係演算子を活用する(AL)(GE)。</p> <p>手続きを用いたモジュラープログラムのデザイン・記述・デバックができること(AL)(DE)(AB)(GE)。</p> <p>手続きは、サブ解決策によって詳細を隠すために使われることを知る(手続きの抽象化)。(AL)(DE)(AB)(GE)。</p> <p>コンピュータがどうして、いつ使われているのかを理解する(EV)。オペレーティングシステムの主たる機能を理解する(DE)(AB)。</p> <p>サーチエンジンの効果的な使い方の理解と、サーチ結果がどのようにして選択されるのかを知る(サーチエンジンが「web crawler programs」を使用することを含む)(AB)(GE)(EV)。</p>	<p>ブール演算子や関係演算子などを用いて、複雑な情報サーチを実行する(AL)(GE)(EV)。データや情報を分析・評価し、信頼性のない結果や不正確な結論を誘導する質の低いデータを把握する(AL)(EV)。</p> <p>物理的かつ、ワイヤレス、モバイルネットワーク間の違いを知る(AB)。</p> <p>デジタルコンテンツをデザイン・開発する際、その対象ユーザーを認識する(EV)。解決策の質を評価するための規準を活用し、解決策や次の解決策に関する幾つかの改良点を含む改善点を確認することができる(EV)。</p>	<p>指定された対象者のために、評価したり、再目的を持ったりするために、デジタルコンテンツを判断する(EV)(GE)。</p> <p>技術とオンラインサービスの責任のある活用を実行し、概念事項を報告する方法を知る。</p> <p>インターネットサービスを選択・組み合わせ・活用する(EV)。</p> <p>コンピュータがネットワークに接続された際、協働のための情報技術の可能性を理解する(GE)。</p>

*表中の AB, DE, AL, EV, GE は, Computational Thinking 概念の AB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズム的思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また, 進行度は, 出典に基づき, 数字で示した。

表1 (続き). コンピューティング進行経路 (Computing at School Working Group, 2014b)^{(15) *}

進捗	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL(Digital Literacy)
5	<p>反復とは、ループのようなプロセスの繰り返しであることを理解する (AL)。様々なアルゴリズムが同一問題に存在することを認識する (AL) (GE)。構造表記法を用いて解決策を表現する (AL) (AB)。状況に応じて、類似点・相違点の確認ができ、それらを用いて問題解決できる (パターン認識) (GE)。</p> <p>プログラミングが、アルゴリズム的な解決とコンピュータとの間の差を埋めることを理解する (AB)。ハイレベルなテキスト言語の実践経験を持つ (プログラミングにおける標準ライブラリーの使用を含む) (AB) (AL)。ブール演算のような一連の式や演算子を用いたり、それらをプログラム制御の条件に適用したりする (AL)。適切なデータタイプを選択する (AL) (AB)。</p> <p>実数や論理値など、データタイプを定義する (AB)。デジタルコンピュータが全データを示すために2進法にそったビット列を用いていることを知る (AB)。どのようにして、ビットパターンが数や画像を示しているのかを理解する (AB)。コンピュータがデータを2進法に沿ったビット列に変換していることを知る (AB)。2進法にそったビット列とファイルサイズ (非圧縮) との関係を理解する (AB)。</p> <p>基本的なコンピュータアーキテクチャのメイン内部部品の機能を認識・理解する (AB)。フェッチ実行サイクルにおけるコンセプトを理解する (AB) (AL)。</p> <p>サーチエンジンが、検索結果をどのようにランク付けしているのかを理解する (AL)。HTMLやCSSを用いて静的なウェブページを構築する方法を理解する (AL) (AB)。ネットワーク (インターネット、すなわちIPアドレスやパケット交換含む) を介したデジタルコンピュータ間のデータ送信を理解する (AL) (AB)。</p>	<p>典型的なクエリー言語を用いて一つのテーブル内のデータを問い合わせる (AB)。</p> <p>同一のハードウェアにおいて、一連のオペレーティングシステムとアプリケーションソフトウェアがあることを知る (AB)。</p> <p>提示された目標を達成するために、デジタル装置とインターネットサービス、アプリケーションソフトウェアの妥当性を評価する (EV)。解決策の質を批判的に評価して規準をデザインし、改善点を確認するための評価規準を用いて、解決策のための適切な改良版を制作することができる (EV)。</p>	<p>学校外における情報技術のアプリケーションの環境における倫理面を認識する。</p>
6	<p>問題の再帰的解決法は、問題の小さな実体に対して同じ解決策を繰り返し適用する方法として理解する (AL) (AG)。同一問題は、同じ特徴を共有しており、両方の問題を解決するために同一アルゴリズムを用いること (汎化) を理解する (AL) (AG)。アルゴリズムの性能に対する概念を理解し、幾つかのアルゴリズムが同一タスクに対し、異なる性能を有している特徴を正しく評価する (AL) (EV)。</p> <p>入れ子になった選択文を用いる (AL)。パラメータの活用を含む、カスタム関数の必要性を正しく評価・記述する (AL) (AB)。手続きと関数の違いを知っており適切に用いる (AL)。1次元のデータ構造を活用・操作する (AB)。構文エラーを発見・修正する (AL)。</p> <p>数・画像・音・文字セットが同一ビットパターン内でどのようにして活用されるのかを理解する。2進加算のようなビットパターンを用いた簡単な操作を実行する (AB) (GE)。ファイルサイズの結果を含む解像度と色深度との関係を理解する (AB)。簡単なプログラムによるデータ (変数) とそのデータのための格納構造とを区別する (AB)。</p> <p>データがいかにしてメモリに保存されるのかを含む、フェッチ実行サイクルに関連するフォン・ノイマン・アーキテクチャを理解する (AB) (GE)。アドレス可能なメモリの記憶場所に関する基礎的な機能と操作を理解する (AB)。</p>	<p>ハブ・ルーター・スイッチのようなハードウェアの名称や、ネットワークングコンピュータシステムに関連したプロトコル (例: SMTP, IMAP, POP, FTP, TCP/IP) の名称を知る (AB)。</p> <p>提示された目標を達成するために、多機能性のあるデジタル装置やインターネットサービス、アプリケーションソフトウェアを個々に組み合わせたり、選択したりして正当化する (EV)。</p> <p>デジタルコンテンツの信用性を評価したり、ビジュアルデザインの有用性を考慮に入れたりして、よく知る相手のためにデジタル製品をデザイン・開発する (EV)。解決策の質を評価するためにユーザーのための規準をデザインし、ユーザーからのフィードバックを用いて改善を確認しつつ、解決策に関する適切な改良版を制作する (EV)。</p>	<p>技術やオンラインサービスセキュリティを用いて、不適切な行為に関する確認・報告方法を知る (AL)。</p> <p>技術の活用が社会にどのようなインパクトを与えるのかを確認・説明する。</p>

※表中の AB, DE, AL, EV, GE は、Computational Thinking 概念の AB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズム的思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また、進行度は、出典に基づき、数字で示した。

表1 (続き). コンピューティング進行経路 (Computing at School Working Group, 2014b)^{(15) *}

進度	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL(Digital Literacy)
7	<p>アルゴリズムのデザインが、プログラミング言語 (利用可能なプログラミング構築による) の表現と異なることを認識する (AL) (AB)。アルゴリズムの効果と同様の問題のモデルを評価する (AL) (AB) (GE)。問題解決策 (抽象的概念) を一般化する際、情報がどこで周知されるのかを認識する (AL) (AB) (GE)。アルゴリズムがどのように機能するのかを説明するために論理的推論を用いる (AL) (AB) (DE)。構造化言語でアルゴリズムを表現する (AL) (DE) (AB)。</p> <p>ローカル変数が他の関数からアクセスできないという事例のような変数の有効範囲に関する効果を評価する (AB) (AL)。パラメーターの受け渡しを理解・応用する (AB) (GE) (DE)。「while」のような前判定と、「until」ループのような後判定の違いを理解し、活用する (AL)。エラーの検出・訂正に関するモジュラーアプローチを適用する (AB) (DE) (GE)。</p> <p>データ表現とデータの品質と関係を知る (AB)。ブール論理を含む2進法にそったビット列と電気回路間を理解する (AB)。プログラム内の操作の際、データ数値が多言語でいかにして入力されるのかを知る (AB)。</p> <p>プロセッサが、命令セットを有していることと、これらのプロセッサがコンピュータによって実行される低いレベルの命令と関係していることを知る (AB) (AL) (GE)。</p> <p>動的なウェブページは、サーバーサイドスクリプト記述、ウェブサーバープロセスとユーザー入力したデータの保存を含むクライアント・サーバーモデルであることを理解する (AL) (AB) (DE)。</p>	<p>ハードウェアと、ネットワーキングコンピュータシステムに関連したプロトコルの目的を知る (AB) (AL)。よく知られるユーザーグループのニーズに応じるために、データを収集・分析・評価する創造的なプロジェクトに着手する (AL) (DE) (EV)。広範囲な対象者または、遠方の対象者用のデジタル製品を効率的にデザイン・開発する (AL) (DE)。メディアをデジタル製品に導入する際、それぞれの特性を考慮する (AB)。解決策をつくるためのユーザーフィードバックや修正版、改良版を記録する (AB)。</p>	<p>オンライン上の独自性やプライバシーの保護が十分に求められているインターネット上にデータが残ってしまうことを認識しておく。</p> <p>技術の活用が、社会的・経済的・政治的・法的・倫理的・道徳的な側面に基づき、一般社会にどの程度のインパクトを与えるのかという正当性を説明する (EV)。</p>
8	<p>同一問題 (再帰) の小さな実体に依存する問題の解決策をデザインする (AL) (DE) (AB) (GE)。幾つかの問題がコンピュータ上で解決できないことを理解する (AB) (GE)。</p> <p>可能な範囲内で、再利用性のあるサブルーティンを利用した入れ子になったモジュラープログラムを設計し、書くことができる (AL) (AB) (GE) (DE)。ループカウンターを用いて「while」ループと「For」ループ間との違いを理解する (AL) (AB)。2次元データ構造を理解・活用する (AB) (DE)。</p> <p>2進法と16進法間の変換と、2進減算のようなビットパターンを用いて演算を実行する (AB) (AL) (GE)。データ圧縮の必要性を理解・説明し、簡単な圧縮方法を実行する (AL) (AB)。</p> <p>(仮説に基づく) 低いレベルのプログラミング言語に関する実践的な経験を有する (AB) (AL) (DE) (GE)。ムーアの法則を理解・説明する (GE)。コンピュータによるマルチタスクを理解・説明する (AB) (AL) (DE)。</p>	<p>リレーショナルデータベースが何かを知り、複数のテーブルにデータを保存していることの利点を理解する (AB) (GE) (DE)。</p> <p>WANやLANを含むネットワーキングコンピュータシステムに関連のあるハードウェアや、それらの目的やMACアドレスを含めそれらがどのように動作するかを理解する (AB) (AL) (DE) (GE)。</p>	<p>情報技術のアプリケーション環境の倫理面、及びデータ保護法・コンピュータ乱用に関する法律・著作権などの政府関係の法的な枠組みの存在を理解する (EV)。</p>

*表中の AB, DE, AL, EV, GE は、Computational Thinking 概念の AB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズムの思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また、進行度は、出典に基づき、数字で示した。

3 米国CSTAのK-12 Computer Science Standards (CSS) のComputational Thinking (CT)

3.1 STEM教育の影響によるCSTA (Computer Science Teachers Association) の改訂

米国のCSTA (Computer Science Teachers Association) (2011a)⁽¹⁶⁾の「K (幼稚園) - 12 (学年) Computer Science Standards (以下, CSS)」の概要については、横山・松原 (2014)⁽¹⁷⁾、久野ら (2015)⁽⁷⁾、中條 (2015)⁽¹⁸⁾の先行研究と、松原 (2014)⁽¹⁹⁾の詳細な先行研究がある。2011年改定のCSSの諸言では、経営情報システム、情報技術、数

学、諸科学のSTEM教育からの連携の視点から、CS教育の改革の必要性を提起した（CSTA, 2011a : p. 1）⁽¹⁶⁾。さらに、「幼稚園から第12学年までのCSコースの広範囲な責任を伴う綿密な実行により、CSは、国民への理解が広まるであろうし、国際的に通用する労働力に対する一層のニーズに対応する役目を担うであろう。小・中学校では、このニーズに応じる特別な機会と責任感を有している（p. 1）」の記述があった。また、CSSでは、最終的に以下の4点を目指していた（CSTA, 2011a : p. 1; 中條, 2015 : p. 6）^{(16), (18)}。

1. 初等学校の入学段階におけるすべての児童生徒に、CSの基礎的な概念を学習させること
2. 中等学校段階での必修科目として、CS、数学、科学のいずれかとして、卒業要件を満たす教科として設置すること
3. 中等教育に、先進的なCSコースの導入を奨励すると共に、興味を示す生徒には、CSの内容を一層深く学ぶために、CSを活用する職業への就職や、大学入学への準備を認めること
4. 全ての生徒、卓越した生徒の双方に、CSの履修を促進すること

CSは、アルゴリズム的な問題解決や計算手法・手段に関する学習も重視すると共に、その特徴が主に5点述べられていた。「CSは、知的活動として重要である」、「CSは、多重なキャリアパスに導く」、「CSは、問題解決法を教える」、「CSは、他の諸科学と連携・応用できる」、「CSは、全ての児童生徒を魅了する」であった。

3. 2 CSTAのK-12学年の学習到達水準

CSSによると、学習到達水準は、幼稚園から第12学年まで3つの水準で構成されていた（図1）。

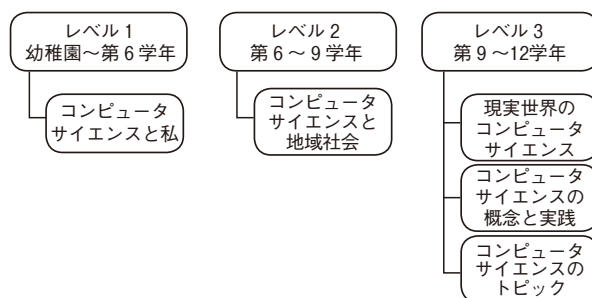


図1. コンピュータ・サイエンス基準のための組織構造（出典：CSTA, 2011a : p. 8 のFig.1）⁽¹⁶⁾

図1に示すように、レベル1は幼稚園から第6学年を対象とし、レベル2は第6～9学年、レベル3は第9～12学年を対象としていた。レベル1では、CTに関する簡単なアイデアを伴う技術の基礎スキルを統合することにより、CSの基本的概念を入門的に学習する（p. 8）。レベル2では、問題解決の手段として、CTを活用し始める。学習者は、自分自身だけではなく、学習者を取り巻く現実世界に所在する解決策が唯一ではない問題を、CT法で解決する経験の学習を開始する（p. 8）。レベル3は、「概念の応用と現実世界における解決の創造（Applying concepts and creating real-world solutions）」と総称していた。同レベルに示された3コースは、推奨学年を設定していた。レベル3Aの「現実世界におけるCS」コースは、第9または10学年が推奨されていた。同コースは、全学習者を対象として、学習者のCSの基礎と実践に関する確かな理解の基盤を固め、個々が志す職種に関わらず、計算ツールや計算方法を適切に選択・活用できることを目的としていた。レベル3Bの「CSの概念と実践」コースは、第10または11学年が推奨されていた。同コースは、CS学習に関する一層深い学びと、CSと他分野との関係、重要な情報処理の手順を利用した問題解決と関連する活動を含んでいた。レベル3Cの「CSにおけるトピック」コースは、第11～12学年が推奨されていた。同コースは、コンピューティングの特有な分野について、深い学びを提供する選択科目コースであった。

3. 3 CSTAの学習内容構成

CSSは、3.2で述べた3レベルのスタンダードを通じて、相互に補完し合い本質的な学習内容の構成となる柱（five complementary and essential strands）を5つ提言している（CSTA, 2011a : pp. 9-12）⁽¹⁶⁾。5つのストランドとは、「CT」、「協働（Collaboration）」、「コンピューティングの実践とプログラミング（Computing Practice & Programming）」、「コンピュータとコミュニケーション装置（Computers and Communications Devices）」、「地域、グローバル、倫理的な影響（Community, Global, and Ethical Impacts）」であった。

3. 4 CSTAのCTに関する指導資料

CSTA刊行のCTに関する指導資料 (teacher resources) における, CT 育成のための評価規準 (観点クライテリオン) と基準 (スタンダード) 別の評価語表, すなわちルーブリック (Vocabulary and Progression Chart) を, 表2に示す (CSTA, 2011b)⁽²⁰⁾。

米国では, 各州が大綱的な教育課程の基準を定め, 各地方学区が所管の公立学校に適用される教育課程の基準を定めている。久野ら (2015)⁽⁷⁾ 等が指摘するように, 米国のCS教育は, 各州・各地方学区等により極めて多様な実践が展開されている。しかし, CSを正規の学校教科として設置し, 複数校種段階で系統的に学習させている学校は少ないようである。イングランドの2014年から実施のNC教科コンピューティングと米国CSTAに基づく表2「CTの各重要概念の定義と各教育階梯別の到達目標」を比較すると, CSTAの学習内容は, 社会, 数学, 科学等をはじめ, 通常設置される各教科内容に基づいてCS教育での到達目標が示されている。一方, イングランドNCでは, 教科コンピューティングを設置し, CSの学習内容を学習する点で, 米国とは異なる特徴を有している。換言すると, 米国CSTAでは, 国語, 数学, 科学等の各教科において, CTを育成することが重視されていた。一方, イングランドでは, 教科コンピューティングでの学習により, 5~16歳の義務教育段階における教科としての目標・内容の一貫性・系統性が明確になっていた。イングランドの中等教育学校は, 原則として教科担任制である。コンピューティング専科教員が指導する利点を有する。イングランドの初等教育学校は, 学級担任制が一般的である。各初等教育学校で原則配置されている専科コーディネータ (教科主任) やテクニシャンが, 学級担任の指導を支援することが多い。このため, イングランドでは, 特に, 初等教育学校教員の教科コンピューティングの継続的専門職能発達 (Continuing Professional Development: CPD) の支援体制が大きな課題となっている (大森ら, 2014)⁽⁵⁾。

久野ら (2015)⁽⁷⁾, 中條 (2015)⁽⁴⁸⁾等の指摘のように, 米国では, CT学習, プログラミング学習を, 正規の学校教科活動ではなく, 課外/学外活動を始め, 多種多様な形態で実施されている。そのため, 学習の質や水準が学校・地域間で大きなばらつきがあるようである。そのため, CT学習やプログラミング学習が単発的であったり, 初等中等教育段階を通じた各校種間の一貫性・系統性の確立が図りにくかったりする等, 大きな課題が生じているようである。

表2. CTの各重要概念の定義と各教育階梯別の到達目標 (出典: CSTA, 2011b: pp. 8-9)⁽²⁰⁾

	定義	PK~第2学年	第3~5学年	第6~8学年	第9~12学年
データ 収集	適切な情報収集のプロセス	おもちゃの車が傾斜を下り, 図上のゴールラインを通り抜けた車を順番に記録し, 一番速い車を見付ける実験を行うこと	随筆を記述する方略を確認するために, 記述例を参考にすること	聞き取りにより, 適切な情報を集めるための質問調査をデザインすること (例: 学校を過去に欠席した友人に, インフルエンザにかかっていたかを尋ねること)	学習者は, 調査用紙を作成し, 聞き取りによる量的かつ質的なデータを集めること, 「地球温暖化により, 日常生活に変化が起きていますか?」
データ 分析	データの意味の理解とパターンの発見, 結論の記述	車量に焦点を置き, おもちゃの車レースのゴールする順番の一般化を図ること, 結果を変えるために, 重量を増やし, 結論を検討すること	ルーブリックを開発するために, ルーブリックの記述例の長所と欠点を分類すること	デジタル調査で収集したデータに基づき, 図を制作・評価し, 図に表現されている傾向やパターン, 種類, 外れ値を説明したりすること	以下の仮説の検証に最適な試験をするため, 適切な統計法を用いること。仮説: 「地球温暖化は, 生活の質に変化を起こしていない」
データ 表現	適切なグラフ, 図, 単語, イメージに関するデータ表現と構成	おもちゃの車の重量を変えた時, その車のスピードの変化の様子を示す図や線を作成すること	ルーブリックの各評価尺度に最も相当する評価語例とルーブリックの図表を作成すること	異なる図のフォーマットを用いてデータをプロットし, 最も効果的な視覚表現例の図表を選択すること	複数グループの学習者は, 以下の質問に関連して同一データを用いるが, 異なる方法で解答を導く「地球温暖化で, 生活の質に変化が起きているか?」
問題 分解	問題解決をやすくするための, 問題の要素化と明確化	学校への道順を要素化し, わかりやすい道順図を作成すること。各要素の道順図を統合して, 全体道順図として表現すること	学校緑化計画を立てる際, リサイクルペーパーや空き缶, 電気使用量の減少, 生ゴミの堆肥化などの作戦とは切り離すこと	毎月発行されるニュースレターの計画として, プロジェクトを遂行する必要な役割・義務・予定表・資料を確認すること	「ロックスターになるには, 何が必要か?」という, 大規模問題をスモールステップに分けること, 学習者が統制できる要素と, 外部要因によって決定される要素は何かを議論すること

表2 (続き). CTの各重要概念の定義と各教育階梯の到達目標 (出典: CSTA, 2011b: pp. 8-9)⁽²⁰⁾

	定義	PK～第2学年	第3～5学年	第6～8学年	第9～12学年
抽象的概念	観念(アイディア)の本質を定義する複雑さの軽減	多様な大きさや色を持ち、同一直線上にない3点と、それらを結ぶ3つの線分からなる多角形を、三角形と呼ぶこと	物語を聞き、本質となる用語を反映させ、適切な物語のタイトルを決定すること	ある時代の歴史を勉強した後、その時代を最も代表する象徴・テーマ・行事・重要な人物・価値観を確認すること(例:紋章)	今日の本質的特徴を分析するために、ある時代の政治を選択すること
アルゴリズムと手順	問題解決または、幾つかの目的を満たすために必要な一連の手順	学校から近所の主要な歴史的建造物に行くまでの一連の道順図を作成すること	ボードゲームをデザインし、ゲームの説明書を書くこと、ゲームをしようとするペアに、説明書を試行すること。ゲームを行ったペアの振り返りを基に、説明書を見直すこと	ある迷路が与えられた際、その迷路の脱出方法を見付け、特定の時間内に無事に脱出するロボットの動作プログラムを作成すること	大学を選ぶ意思決定プロセスを議論し、プロセスを説明する手順を作成すること、その手順は、友人の存在の有無、学資援助の利用、合否のような、未知の変数を扱うことができること
自動化	コンピュータや機械を用いて、繰り返しや単調な課題をさせること	手紙の代わりに、インターネットをベースとしたツールを用いて、別の州または外国の学級と対話し、お互いの文化を学ぶこと	バーコード、自動預払機、図書用バーコードのような、現実世界にある自動化の事例を調査すること	汚染データを集めるセンサー(試験用タイマーのセット)をプログラムし、コンピュータプログラムを用いて、二酸化炭素レベルの最大値から最小値までを分類すること	自動化に伴い、今日必要とされていないスキルと情報を学ぶメリットを討論すること、これらのスキルには、平方根を含む長い割り算、スペルチェック、統計の公式、または、歴史的なデータの記憶など、大きな分類を含むこと
シミュレーション	プロセスの表現またはモデル。シミュレーションは、モデルを用いた実行中の実験も含むこと	一連の道順図を作成した後、自分たちが正しいと考える道順を実行すること	プロセスの理解を実演するために、アニメーションを制作すること	簡単なエコシステムのモデルを用いて実験を行い、手順の数パーセントが機能しなかった場合、エコシステムに生じる事態を明らかにすること、ユーザーは、そのパーセント以外の範囲で操作すること	「誕生問題(少なくとも2人が同じ誕生日である確率が50%であるためには、その部屋に何人の人が必要なのか)」をシミュレーションするために集計表を創造すること、同じ誕生日の3名のために、質問に答える同一モデルを用いること
並列化	共通の目標に到達させるための課題の実行と同時に、リソースを準備・構成すること	一連の規準に基づき、学級を2つのグループに分けること、あるグループには大きな声で読ませ、もう一方のグループは、バックミュージックのハミングを提供すること。目標は到達されるが、個人の離別行動よりも全体が良くなること	教師は、計画中のチームプロジェクトの予定表・役割・仕事内容を調整し、各々を完成させるために一緒に働くこと(私たちは、どのようにして活動を中断するか、何れの活動を連続して行い、それと同時に、他の何れの活動を締め切りに間に合わせるのか)	生徒で構成されるチームは、ビデオ(ビデオをプロデュースする際の台本・小道具・チームでの役割を含む)の制作を計画すること、そして、同時に実行する活動の確認と、生徒が一緒にチェック・計画し、各活動を組み合わせる指標を確認すること	ワートルローの戦いを導く各軍隊の一連の活動を述べる(例:一団を採用すること)、理知的な活動(例:一団の配置を選定すること)の両方を含むこと

4 我が国のComputational Thinking (CT) を重視した小・中・高校を一貫した技術・情報教育の基準

4.1 久野ら(2015)、日本産業技術教育学会(1999, 2012)、磯部・山崎(2013)の小・中・高等学校を一貫した技術・情報教育の基準

現行の2009年告示高等学校学習指導要領では、普通教科「技術」はなく、普通教科「情報」が設置されている。そこで、本節の現行の高校の普通教科「情報」を対象とした文脈では、「技術・情報教育」と表記する。久野ら(2015)⁽⁷⁾

は、文部省（1997）⁽²¹⁾の情報教育の3観点を見直し、新3観点として、(1)従来の「情報の科学的理解」を、実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」の新たな設定、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知を付加、(3)「情報社会に参画する態度」にコンピューティングに対する責任の追加を提案した。さらに、望ましい情報教育の体系として、次の3点を提案した（久野ら、2015：pp.55-56）⁽⁷⁾。

- (1) 小学校では算数科・国語科・生活科・社会科などの教科中に情報教育の単元を埋め込み、確実に学習することで、中学校情報科の学習を一定の水準から開始できるようにする。
- (2) 中学校に情報科を設置し、全員が現在の高等学校の情報科程度の内容・水準で学べるようにする。
- (3) 高等学校の情報科では、中学校での到達水準を前提として、新3観点の完成までを全員が学べるようにする。さらに、興味・関心を持つ生徒が進んだ内容を学べる機会も提供する。

新3観点「コンピューティングの理解と活用能力」は算数科、「情報活用の実践力」は国語、「情報社会に参画する態度」は低学年では生活科、中・高学年では国語科と社会科での取り扱いを提案した。しかし、特に国語、算数は、現行学習指導要領の時数と内容量は現在でも多い。久野ら（2015）⁽⁷⁾の提案する学習内容を国語と算数の現行の時数で取り扱うのは、各教科の教育目標・内容の検討と整理が必要である。特に、新3観点「コンピューティングの理解と活用能力」を現行の算数の指導内容と指導時数に加えることには困難が予想される。代替策として、小学校段階の「総合的な学習の時間」において、情報活用能力の新3観点の内容（久野ら、2015）⁽⁷⁾の必修化や、現行の図画工作科における造形（クラフト）内容に加えて、技術（テクノロジー）・情報技術（IT）教育内容を重視させて、ロボット工作等を通じた課題解決的なデジタルものづくりを通じた、情報活用能力育成を図る内容の新設等が必要のように思われる。

日本産業技術教育学会（1999）⁽²²⁾、同（2012）⁽²³⁾は、「21世紀の技術教育」の幼稚園から高等学校までを一貫した技術・情報教育として、「教育目標1：技術教育固有の対象と内容構成（内容知）」、「教育目標2：技術教育固有の方法（方法知）」を提案した。同（2012）⁽²³⁾では、教育目標1は、「材料と加工技術」、「エネルギー変換技術」、「情報・システム・制御技術」、「生物育成技術」、「発明・知的財産とイノベーション」、「社会安全と技術ガバナンス」であった。教育目標2は、「創造の動機」、「設計・計画」、「製作・制作・育成」、「成果の評価」、「各過程の評価と修正（メタ認知）」の各過程から構成された、「技術的課題解決力」であった。同（2014）⁽²⁴⁾は、「21世紀の技術教育（改訂）－各発達段階における普通教育としての技術教育内容の例示－」を提案した。

磯部・山崎（2013）⁽²⁵⁾は、2004～2006年度文部科学省研究開発学校であった東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校（2007）⁽²⁶⁾「2006年度小中一貫したTechnology Education教育課程の開発 ～よりよい社会を創造し、支えていく技術的素養の育成～」と、2007～2009年度文部科学省研究開発学校新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校（2009）⁽²⁷⁾「豊かな未来を切り拓く力をはぐくむものづくり学習 ～地域の『ひと・もの・こと』とかかわる学習を通して～」を、日本産業技術教育学会（1999）⁽²²⁾の技術教育課程基準に依拠した実践研究成果をまとめ、幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準として報告した。磯部・山崎（2013）⁽²⁵⁾では、日本産業技術教育学会（1999）⁽²²⁾と同様に、教育目標1は、「材料と加工技術」、「エネルギー変換技術」、「情報・システム・制御技術」、「生物育成技術」でまとめた。磯部・山崎（2013）⁽²⁵⁾の教育目標2は、「教育目標2-1：技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」、「教育目標2-2：技術の適切な評価・活用能力のスタンダード」としてまとめた。

4. 2 Computational Thinking (CT) を重視した小・中・高校を一貫した情報技術教育課程基準

本小論4.1で記述したように、久野ら（2015）⁽⁷⁾は、文部省（1997）⁽²¹⁾の情報教育の3観点を見直し、新3観点として、(1)従来の「情報の科学的理解」を、実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」の新たな設定、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知を付加、(3)「情報社会に参画する態度」にコンピューティングに対する責任の追加を提案した。STEM教育とCT重視の技術・情報教育課程基準には、久野ら（2015）⁽⁷⁾の新3観点は、重要な構成原理となる。さらに、1960年代前半における米国UCLA（カリフォルニア大学ロサンゼルス校）のアシモウが提唱したデザインプロセス等のエンジニアリング・デザインを考慮したLayton（1993）⁽⁴⁾の技術デザインプロセスの思考法は、技術課題の不易な解決思考法であり、課題解決に必要な情報を構造化するプロセスを重視する。21世紀中葉の成熟化社会では、新たな職種が多数創出することが予想される。社会の変化に主体的・協働的に対応し、社会を持続発展可能にさせるための技術イノベーションとグローバル人材の育成が求められている。Layton（1993）⁽⁴⁾の技術デザインプロセスの過程は、材料と加工に関する技術、エネルギー変換に関する技術では、製作品の「創造の動機－構想設計－製作－評価・修正－製作品の活

用」, 生物育成に関する技術では, 「動機-構想計画-育成-成果の評価-育成生物の活用」, デジタル作品では, 「構想-設計-素材の準備・加工-素材の統合-制作品の評価・修正-制作品の表現・発信」が考えられる。CTを伴うプログラムの作成のデザインプロセスでは, 「プログラムの仕様決定-プログラム設計-プログラムのコーディング-プログラムのデバック-プログラムの実行-成果の評価-プログラムの活用」が考えられ, 技術デザインプロセスの思考手順が基盤となる。したがって, 技術デザインプロセスの思考手順と, CTを伴うプログラム開発のデザインプロセスの思考手順とは, 情報の収集, 各要素間の明確化と構造化のプロセスであり, 類似性が見られ, お互いの連携が有効であると考えられる。

そこで, 久野ら (2015)⁽⁷⁾の新3観点を考慮し, 磯部・山崎 (2013)⁽²⁵⁾の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」と「エ 計測・制御とシステム構成」の内容に加除修正した(表3)。加えて, 磯部・山崎 (2013:p.340)⁽²⁵⁾の教育目標2-1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」教育課程基準表を, 本稿で修正した表3に対応させるために一部加筆修正し, 表4に示す。

表3. 磯部・山崎 (2013)⁽²⁵⁾の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」を修正し再構成した表*

	幼稚園	小学校1, 2年	小学校3, 4年	小学校5, 6年	中学校	高等学校
情報に 関する 技術	ウ (デジタル作品の設計と制作) ・マウスの操作に慣れること (例: 自分の顔を描く, 動きのある様子を描く)。 ・見付けたことや思ったことなどを絵に表すこと。	ウ (デジタル作品の設計と制作) ・マウスを用いて, 文字の入力や簡単な作図をすること。 ・絵や短い文章で, 簡単なデジタル作品を制作し, 発表すること。	ウ (デジタル作品の設計と制作) ・マウスを用いた作図や, キーボードからの文字入力, 簡単なデジタル作品を構想・制作すること。 ・制作した作品を使って, 相手に分かりやすく伝達すること。	ウ (デジタル作品の設計と制作) ・メディアの素材の特徴と利用方法や, 適切なソフトウェアを選択し, 多様なメディアを複合した発表作品を構想・設計・制作して, 相手に分かりやすく伝達すること。	ウ (デジタル作品の設計と制作) ・デジタル作品の使用目的や使用条件を明確にし, 社会的, 環境的及び経済的側面などから, メディアの素材の特徴と利用方法を比較・検討した上で, デジタル作品の設計と制作ができること。 ・多様なメディアを複合して設計・制作した作品を他者に発信し, 効果を自己評価・相互評価すること。	ウ (デジタル作品の設計と制作) ・著作権などの知的財産権の保護, 発信した情報に対する責任, 及び情報モラルに配慮し, デジタル作品を設計・制作, 情報の表現・伝達をして, 作品の効果を自己評価・相互評価すること。
	エ (計測・制御とシステム構成) ・遊具用・教材用ロボット (ブロックおもちゃなど) を使って, 先生と一緒に組み立てたり, 動かしたりして遊ぶこと。	エ (計測・制御とシステム構成) ・自分の思いや願いを込めた動作の実現を学習課題として, 教材用ロボットを組み立てて, モーターの回転の時間や速さなどを変える易しいプログラムの作成で, ロボットの動きを変えること。	エ (計測・制御とシステム構成) ・コンピュータを活用し, 課題解決するために, 処理手順を考える必要性に気付くこと。 ・教材用ロボットを組み立てて, 目的とする動作を実現する課題を達成するために, タイル型プログラムの作成に必要な, 順次・条件分岐・反復の情報処理の手順を活用すること。	エ (計測・制御とシステム構成) ・教材用ロボットを使って, 課題の目的を児童が主体的に設定し, 4, 5人の班を構成して, 仲間と協力し簡単なロボットの構想・設計・製作と, 制御プログラムの作成・工夫で, 課題を解決すること。 ・プログラムを効率良く記述し, 誤りを最小限にとどめる設計方法論として, 構造化プログラミングがあることと, 処理手順は, 順次・条件分岐・反復の組み合わせの記述であることを知ること。 ・処理手順を視覚的に明確化するために, 簡単なフローチャートを作成できること。	エ (計測・制御とシステム構成) ・コンピュータを用いた計測・制御システムの構成と働きを知り, 目的とする技術課題を解決するために, 情報処理の手順を考え, 計測・制御プログラムを作成すること。 ・プログラミング言語 (少なくとも, 一つはテキスト言語) を用いて, コンピュータを活用して, 問題解決すること。 ・計測・制御の目的や条件を明確にし, 社会的, 環境的及び経済的側面などから情報処理の手順を変更した場合の効果を比較・検討したプログラムの作成ができること。	エ (計測・制御とシステム構成) ・テキスト型プログラミング言語を用いて, 問題をシステムとしてとらえ, 構造化して問題解決すること。 ・分類や検索など, 主たるアルゴリズム (処理手順) が複数あることを理解し, それらのアルゴリズムを比較・検討・評価すること。 ・問題解決の処理を自動化するアルゴリズムを構想し, 計算量や計算可能性の概念を理解しつつ, アルゴリズムの実用性を判断できること。 ・モデル化とシミュレーションの概念を理解し, 問題解決に必要なモデルの構築とシミュレーションの実行・評価を行うこと。

*磯部・山崎 (2013)⁽²⁵⁾に基づき, 下線部の内容を付加した。紙幅の関係上, ア (コンピュータとシステムの扱い) とイ (ネットワーク利用) は, 省略した。

表4. 磯部・山崎 (2013: p.340)⁽²⁵⁾の教育目標2-1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」
教育課程基準表を一部修正し再構成した表*

	幼稚園	小学校1・2年	小学校3・4年	小学校5・6年	中学校	高等学校
目 標	身近な材料から、自分が作りたい作品の完成図を簡単な絵に表わし、製作・制作・育成を楽しめることができる。	発想に基づく作品を簡単な絵図に表し、必要な材料や手順を考え、技術ののづくり(製作・制作・育成を含む)に取り組むことができる。	発想や発明に関心を持ち、目的の作品を仕上げるための必要条件を見つけて、技術の製作・制作・育成過程や活動に生かすことができる。	技術創造に関心を持ち、様々な必要条件を考慮し、設計から製作(制作・育成)までの手順や方法を考え、製作(制作・育成)後、自らの活動を評価することができる。	技術創造を目的とし、様々な必要条件を考慮し、社会生活に必要なものやシステムを設計、工夫、提案、製作(制作・育成)し、その評価・改善を行うことができる。	技術創造や工夫を重視し、様々な必要条件と制約条件を考慮した比較考量と技術評価から、持続可能な社会を支えるために必要な製品を設計、工夫、提案、製作、評価、改善し、学習過程を生涯学習能力として活用することができる。
学習範囲と各段階の学習到達水準	ア(課題の設定) ・自分が作りたい作品で、どのように遊びたいかを話すこと。	ア(課題の設定) ・製作・制作・育成したい理由を述べること。	ア(課題の設定) ・製作・制作・育成する目的を、話し合いや情報収集により、明確にすること。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を意識して、取り組むこと。	ア(課題の設定) ・製作・制作・育成する目的・動機を、便利さ、リスク、生活への影響などを考えて、明確にすること。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、簡単な図表で表現すること。	ア(課題の設定) ・技術課題の遂行と製作品(制作品・育成生物)に関連する必要条件と制約を明確にし、課題に取り組むこと。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、図表で表現すること。	ア(課題の設定) ・ブレインストーミングなどの創出技法や多様な調査技法を取り入れながら、技術課題の遂行と製作品(制作品・育成生物)に関連する必要条件と制約を明確にし、課題に取り組むこと。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、図表で表現し、自己評価・他者評価により、手順や工程を改善すること。
	イ(設計・計画) ・自分の作りたい作品の完成図を、簡単な絵で表現すること。	イ(設計・計画) ・作品の見本から、使われている材料や使用した道具について考えること。 ・自分の製作・制作・育成したい作品の発想・アイデアを、簡単な絵日記等で描けること。	イ(設計・計画) ・自分が作りたい作品の発想・アイデアを、簡単な構想図と部品図、絵図などで表現すること。	イ(設計・計画) ・自分が作りたい作品の発想・アイデアを、簡単な構想図と部品図、絵図、育成計画表などで表現し、使用する材料や道具、工夫点などを表現すること。	イ(設計・計画) ・自分が作りたい作品の発想・アイデアを、構想図、第三角法による正投影図、フローチャート、育成計画表等で表現すること。 ・自ら提案する作品について、実物または見本製作でモデリングし、具体的な工夫点を示すこと。 ・使用する材料、安全、費用など、トレード・オフした結果を生かした設計すること。	イ(設計・計画) ・技術課題の遂行と製作品(制作品・育成生物)に関連する必要条件と制約を満たす工夫点を示すこと。 ・機能や構造などを要素・要因に分解し、要素間の構造を明確にすること。模型や試作などのモデリングにより、設計仕様の問題がないかを試験し、評価して、必要な改善を施すこと。
	ウ(製作・制作・育成) ・先生や仲間と一緒に、各活動内容と手順を確認しながら進めること。	ウ(製作・制作・育成) ・課題を達成するために必要な、一つひとつの活動内容を知り、順番に製作(制作・育成)をすすめていくこと。 ・班やグループを通して、協力して製作・制作・育成活動すること。	ウ(製作・制作・育成) ・作品を完成させるために、どのような順番で各活動を行えばよいか、見通しをもつこと。 ・友達と相談して、工夫を意識しながら製作・制作・育成すること。	ウ(製作・制作・育成) ・作品づくりの経験を基に、自ら各活動手順や工程について見通しをもち、計画をたてること。 ・作品を説明し、工夫点について意見を聞き、互いの情報を共有すること。	ウ(製作・制作・育成) ・作品づくりの経験を基に、創造・工夫を取り入れた手順・工程を立てること。 ・作品の工夫点や改善点について意見を出し合い、共有した情報をもとに新たな方策を見いだすこと。	ウ(製作・制作・育成) ・持続的発展が可能な社会を支えるという視点から、技術を創造・活用するための実践・評価・改善を行うこと。 ・製作段階の途中で中間発表会を行い、寄せられた意見を基に、設計図や手順・工程を変更したり、新たな方策を導入したりすること。
	エ(活動のまとめと提案) ・活動の様子や作った作品を、簡単な絵に表すこと。	エ(活動のまとめと提案) ・簡単な活動記録をとり、発表すること。	エ(活動のまとめと提案) ・活動記録をとり、発表し、振り返ること。	オ(活動のまとめと提案) ・活動記録をとり、発表をして、自己評価と相互評価すること。	オ(活動のまとめと提案) ・活動全体を総括し、発表をして、自己評価と相互評価することで、今後の技術ののづくり活動に生かすこと。	オ(活動のまとめと提案) ・成果報告書の作成と発表会を実施し、技術ののづくりの学習過程を、生涯学習で活用する方法を提案すること。

*磯部・山崎 (2013)⁽²⁵⁾に基づき、下線部の内容を加除修正した。

5 まとめ

本小論は、我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM教育とCT (Computational Thinking) を重視した情報技術教育課程の基準を検討するために、イングランドのNC教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsの特にSTEM教育とCTに着眼し、磯部・山崎 (2013)⁽²⁵⁾ の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準の、特に「デジタル作品の設計と制作」、「計測・制御とシステム構成」を再検討した。本研究のまとめは、以下2点に集約される。

- 1) 久野ら (2015) の情報教育の新3観点の特に、(1)実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知の付加に着目し、磯部・山崎 (2013) の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」と「エ 計測・制御とシステム構成」、教育目標2-1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」教育課程基準表の内容の一部を加除修正し、再提案した。
- 2) Layton (1993) の技術デザインプロセスの過程は、材料と加工に関する技術、エネルギー変換に関する技術では、製作品の「創造の動機-構想設計-製作-評価-修正-製作品の活用」、生物育成に関する技術では、「動機-構想計画-育成-成果の評価-育成生物の活用」、デジタル作品では、「構想-設計-素材の準備・加工-素材の統合-制作品の評価-修正-制作品の表現・発信」が考えられる。CTを伴うプログラム開発のデザインプロセスでは、「プログラムの仕様決定-プログラム設計-プログラムのコーディング-プログラムのデバック-プログラムの実行-成果の評価-プログラムの活用」が考えられ、技術デザインプロセス思考が基盤となる。したがって、技術デザインプロセスと、CTを伴うプログラム開発のデザインプロセスとは、情報の収集、各要素間の明確化と構造化のプロセスが含まれ、類似性が見られる。ものづくりの技術と情報の技術デザインプロセスとして、お互いの連携が有効であると考えられる。

謝 辞

本研究は、2013~2016年度兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科共同研究プロジェクト「システムの思考に基づいたイノベーション力の育成を図る技術・情報教育体系に関する研究」(チームリーダー: 森山 潤兵庫教育大学教授)と、2013~2015年度JSPS科研費25350240の助成を受けている。文献(26)と(27)の2004~2006年度東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校と、2007~2009年度新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校の研究は、文部科学省研究開発学校の指定を受け、文部科学省の指導の下で、日本産業技術教育学会、同学会小学校委員会、全日本中学校技術・家庭科研究会の研究支援を受けて行われた。実践データを提供して下さった関係教育行政機関・学校関係者各位(当時、以下同じ)、前述学会・研究会の会長はじめ関係者各位、研究にご協力いただいた関係者各位に謝意を表す。

引用及び参考文献

- (1) Bybee, R. (2010) "What Is STEM Education?", Science, vol.329, Issue.5995, p.996.
- (2) Wing, M. J. (2006) Computational Thinking, Communications of the ACM, Vol. 49, No.3, pp.33-35.
- (3) 中島秀之 (2015) 計算論的思考, 情報処理, Vol.56, No.6, pp.584-587.
- (4) Layton, D. (1993) Technology's challenge to science education, Open University Press, U.K.
- (5) 大森康正・磯部征尊・寒川達也・山崎貞登 (2014) 2014年実施のイングランドのナショナルカリキュラム「Design and Technology」と「Computing」の改訂に対するSTEM教育運動の影響, 日本産業技術教育学会誌, Vol.56, No.4, pp.239-250.
- (6) 山崎貞登・磯部征尊 (2016刊行予定) 「第1部4章 イギリスにおける技術教育の動向」, 森山 潤・菊地 章・山崎貞登 (編著) 『イノベーション力を育む技術・情報教育の展望 (所収)』, 第1分冊, ジアース教育新社
- (7) 久野 靖・和田 勉・中山泰一 (2015) 初等中等段階を通じた情報教育の必要性和カリキュラム体系の提案, 情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ, Vol.1, No.3, 48-61.
- (8) The Royal Academy of Engineering (2012a) Shut down or restart? The way for computing in UK schools <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf>
- (9) 中條道雄 (2014) イギリスにおける情報科教育再生の最新動向, 情報教育資料, No.39, pp.5-8. <http://www.jikkyo.co.jp/download/detail/61/9992656682>

- (10) 磯部征尊・大森康正・山崎貞登 (2014) 2014年9月実施版イングランドナショナルカリキュラム「デザインと技術」と「コンピューティング」の学習プログラム, pp.149-155, 山崎貞登 (研究代表者):平成25~27年度科学研究費補助金(基盤研究(C))「防災・エネルギー・リスク評価リテラシーの科学・技術連携カリキュラムの開発」第1年次成果報告書(所収)
<http://kaken13.techjuen.ac.jp/>
- (11) Computing at School Working Group (2012) Computer Science: A curriculum for schools
<http://www.computingschool.org.uk/data/uploads/ComputingCurric.pdf>
- (12) The Royal Academy of Engineering (2012b) Computing Programme of Study
<http://academy.bcs.org/content/computing-programme-study>
- (13) Computing at School Working Group (2014a) Developing computational thinking in the classroom: a framework
<http://www.community.computingschool.org.uk/files/3517/original.pdf>
- (14) Selby, C. & Woollard, J. (2013). Computational Thinking: The Developing Definition. Available:
<http://eprints.soton.ac.uk/356481>
- (15) Computing at School Working Group (2014b) Computing Progression Pathways - Mapped to Computer Science, Information Technology and Digital Literacy strands of the National Curriculum Programme of Study
<http://www.quickstartcomputing.org/secondary/Resources/section2/Progression%20Pathways%20-%20strands.pdf>
- (16) CSTA (Computer Science Teachers Association) Standards Task Force (2011a) CSTA K-12 Computer Science Standards, CSTA
<http://csta.acm.org/Curriculum/sub/K12Standards.html>
- (17) 横山成彦・松原伸一 (2014) 米国におけるCSTA K-12 Computer Science Standardsと我が国の技術教育の考察, 日本産業技術教育学会第29回情報分科会(大阪)研究発表会講演論文集, pp.43-46.
- (18) 中條道雄 (2015) アメリカにおける情報科教育カリキュラム標準化の動向 - ACM/CSTAの「K-12 Computing Standard」を中心に -, 情報教育資料, No.40, pp.5-8.
- (19) 松原伸一 (2014) 米国のCSTA K-12 Computer Science Standardsと情報学教育のコア・フレームワーク, 情報学教育研究, 2014, pp.5-14.
- (20) CSTA (2011b) COMPUTATIONAL THINKING teacher resources second edition,
http://csta.acm.org/Curriculum/sub/CurrFiles/472.11CTTeacherResources_2ed-SP-vF.pdf
- (21) 文部省 (1997) 体系的な情報教育の実施に向けて, 情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議第1次報告
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/002/toushin/980801.htm
- (22) 日本産業技術教育学会 (1999) 21世紀の技術教育, 日本産業技術教育学会誌, 第41巻3号別冊, pp.1-10.
<http://www.jste.jp/main/data/21te.pdf>
- (23) 日本産業技術教育学会 (2012) 21世紀の技術教育(改訂), 日本産業技術教育学会誌, 第54巻4号別冊, pp.1-7.
<http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf>
- (24) 日本産業技術教育学会 (2014) 21世紀の技術教育(改訂) - 各発達段階における普通教育としての技術教育内容の例示 -
<http://www.jste.jp/main/data/21te-nex.pdf>
- (25) 磯部征尊・山崎貞登 (2013) 幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準, 上越教育大学研究紀要, 第32巻, pp.331-344.
- (26) 東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校 (2007) 「2006年度小中一貫したTechnology Education教育課程の開発 ~よりよい社会を創造し, 支えていく技術的素養の育成~」, 文部科学省研究開発学校(2004~2006年度)最終年次研究紀要, 200p.
- (27) 新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校 (2009) 「豊かな未来を切り拓く力をはぐくむものづくり学習 ~地域の『ひと・もの・こと』とかかわる学習を通して~」, 文部科学省研究開発学校(2007~2009年度)最終年次研究紀要, 110p.

※本小論におけるインターネット情報の最終アクセス日は, 2015年8月3日

A Comparative Study between Japan, England and the USA of Curriculum Standards in Information and Communication Technology Education fostered Science, Technology, Engineering and Mathematics Education and Computational Thinking from Elementary to Upper Secondary School

Yasumasa OMORI*, Masataka ISOBE** and Sadato YAMAZAKI*

ABSTRACT

This study was re-examined to develop curriculum standards in technological education from kindergarten to upper secondary school by Isobe and Yamazaki (2013). In other words, “designing and digitization,” “measuring, controlling and system structure” and “learning processes in technology education” based on technological design process to conduct information and communication technologies education fostered Science, Technology, Engineering and Mathematics Education and Computational Thinking (CT) and focus on “Computing” in the National Curriculum in England and CSTA K-12 Computer Science Standards in the USA. The results are summarized as follows:

- (1) The study utilizes “designing and digitization” and “measuring, controlling and system structure” of a curriculum standard for “Information, System and Controlling Technology” by Isobe and Yamazaki (2013) according to three new viewpoints for information and communication technologies education established by Kuno, et al. (2015).
- (2) The concept of the technological design process for three learning areas: that is, materials and their processing, as well as the energy convention and nurturing of living things have many similarities when compared with one of “designing and digitalization” and “measuring, controlling and system structure”. This is based on CT and the notion that it is effective and essential to utilize these design processes.