

ショートペーパー

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

久野 靖^{1,a)} 和田 勉^{2,b)} 中山 泰一^{3,c)}

受付日 2015年1月19日, 採録日 2015年3月22日

概要: 情報および情報技術は現代社会の基盤となっており, 社会の構成員がこれらの内容を身につけてから社会に出ることが重要となってきた。世界の多くの国がこのため, 情報教育に注力してきているが, それらの内容とわが国の現状には隔りがある。本稿では積極的な情報教育を進めている各国の状況を整理・分析し, そのうえでわが国の情報教育が目標とすべきことと, 初等中等段階における情報教育の体系的なカリキュラムについて提案する。

キーワード: 情報教育, プログラミング教育, 初等中等教育

Systematic ICT Education Throughout Primary and Secondary Schools: Necessity and Curriculum Proposal

YASUSHI KUNO^{1,a)} TSUTOM WADA BEN^{2,b)} YASUICHI NAKAYAMA^{3,c)}

Received: January 19, 2015, Accepted: March 22, 2015

Abstract: Information and information technologies are becoming fundamental infrastructures for our modern society; knowledge on and ability to use them are mandatory for all citizens. Therefore, many countries are now enhancing their ICT (information and communication technologies) curriculum. In contrast, corresponding curriculum in Japan seems to lag behind them. In this paper, we discuss current ICT education of advanced countries, and propose both (1) desirable goals for Japan's ICT education and (2) systematic school curriculums throughout Japan's primary and secondary education.

Keywords: ICT education, programming education, primary and secondary education

1. はじめに

情報および情報技術は現代社会の基盤となっており, その重要性は今後とも増大することが見込まれる。このため, 世界の多くの国が初等中等教育段階全体にわたるこれらの事項の教育 (情報教育) に注力するようになってきている。

その中でも, 2013年頃から初等中等教育におけるプログラミング学習やコンピュータサイエンス (CS) 教育が注目されてきており, 米国 [10] では多くの草の根的な活動があるほか, 英国 [8] やエストニア [22] などでは教育課程を改訂して小学校における全児童を対象としたプログラミング学習や CS 教育を取り入れている。

これまで, わが国の情報教育は, 高校では共通教科情報科 (1999年告示学習指導要領では普通教科情報科, 以下では単に情報科と記す), 中学校では技術・家庭科の技術分野 (以下では技術科と記す) が主に担当し, 小学校では各教科や総合的な学習の時間を通じて行うという状況も影響して, 必ずしも系統的・体系的には実施されてこなかった。また, プログラミングについても全員が学ぶ部分では技術科のごく一部のみが該当し, 時間数は少なくなりがち

¹ 筑波大学
University of Tsukuba, Bunkyo, Tokyo 112-0012, Japan

² 長野大学
Nagano University, Ueda, Nagano 386-1298, Japan

³ 電気通信大学
University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

a) kuno@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

b) wadaben@acm.org

c) nakayama@uec.ac.jp

である。

筆者らは情報処理学会初等中等教育委員会として、これまで高等学校段階の情報教育を中心にカリキュラムの検討などを行ってきた。しかし前記の状況をふまえて、今回新たにプログラミング学習のありかたを含め、小学校から高等学校までの初等中等教育全体を俯瞰した情報教育の体系について検討を行った*1。本稿は検討から得た知見と、その成果である情報教育の体系案について、整理し報告するものである。

以下2章では、以降の検討内容を比較対照するため、プログラミング学習を含んだ情報教育に前向きに取り組んでいる各国の状況を整理し、情報教育がどのような考え方・形で進められているかについてまとめる。3章ではわが国の情報教育の目標である「情報活用能力」について検討し、どのような手直しが必要かについて議論する。4章では、2~3章までの内容に基づき、各学校段階にどのような形で情報教育の内容を配分することが望ましいかの検討を行う。5~7章では、小学校・中学校・高等学校それぞれの学校段階について、カリキュラムの提案を行うとともに、なぜその内容が適切と考えるかの検討結果を示す。最後に8章でまとめを行う。

2. 情報教育に関する各国の取り組み

2.1 各国の情報教育の潮流

冒頭でも述べたように、現在、プログラミング学習やCS教育が世界各国で広まりつつある。ここに至る流れを簡単に整理しておく。各国の状況の詳細については次節以降で説明している。

1970年代にコンピュータの重要性が認知されると、一部の先進的な国や地域では、初等中等教育カリキュラムの中に（部分的に、選択科目などの形で）プログラミングを取り入れるところがあった。その後、1980年代になって廉価なパーソナルコンピュータが普及し始めると、この動きは広まりを見せた。わが国でも草の根的な活動ではあるが、一部の先進的な教員がBASIC言語・LOGO言語によるプログラミングを授業に取り入れるなどしていた。これには、当時のコンピュータはプログラムを自分で書かなければ何もできなかったという点が大きい。

しかしやがて、パーソナルコンピュータ向けのアプリケーションソフトウェアが充実するようになり、コンピュータはアプリケーションを操作して利用する「道具」として世間に広く普及した。この広まりを受けて1990年代以降に情報教育を計画・導入した国や地域では、アプリケーションの操作を中心とした内容が採用された。

わが国の高等学校情報科（1999年告示学習指導要領に

おいて新設）もこのグループに入る。また、初期にプログラミングを取り入れていたところでも、この時期にアプリケーション操作中心の内容に移行したところがある。

このような経緯で、操作教育中心の情報教育の時期がしばらく続いたが、最近になって再び、プログラミングやCSを中心とする、学術的な内容を学ぶことの重要性が語られるようになり、多くの国において情報教育の内容の転換が図られてきている。

たとえば米国CSTA（Computer Science Teachers Association）では、将来を担う子供たちに原理からCSを学ばせることの重要性を指摘し、その考えに基づく先進的なカリキュラム[24]を提唱している。また英国王立協会では2012年にそれまでの操作中心の学習内容を批判し、CSを中心とした教育への転換を促すレポート[3]を公表している。これらに共通する主張を簡潔にまとめると、次の2点となる。

- 今後は誰かが作ったアプリケーションを扱うことよりも、新たなものをコンピュータ上に実現できる能力が重要となる。
- そのために、すべての国民がプログラミングやコンピュータサイエンス（CS）に関する教育を受けられるようになるべきである。

これらの方針は米国・英国以外の国においても基本的に同じである。ただし、実際にこれらの学習内容を学校教育にどのように取り込むかは、以下で述べるように、国によって異っている。

2.2 英国

本節では文献[4]などに基づき、英国（イングランド）の状況をまとめる。英国では1980年代にComputer Studyの科目名でCS（ハードウェア、論理回路、2進法、プログラミングなど）を教えていた。しかし前節で述べたように、英国でも1990年代にはコンピュータの操作を学ぶ科目ICTが主流となった。この科目は低レベルで退屈だとされ、他の数理系科目より下に見られるようになっていた。

2012年に英国王立協会が「操作ではなくCSを学ぶべき」とするレポート[3]を公表したことが契機となり、教育省はCSの再導入を目指すことを決め、カリキュラム改訂に着手した。これと呼応して英国バカロレア（大学入学資格）にも、GCSE（General Certificate of Secondary Education、高卒認定）のCS分野が新たに追加された。これらにおいてはCAS（Computer At School、英国コンピュータ学会のワーキンググループ）が大きな影響力を持った。

新しい（イングランドの）Computingのカリキュラム（以前の名称ICTから改称）は2011に公開され、レビューの後2014年9月から実施された[8]。その内容を表1に示す。ごく早い段階（5~7歳）からプログラミングや論理的

*1 検討に際しては、文献[16]に記載されている、日本情報科教育学会関東・東北支部プログラミング教育委員会による提案を参考とした。

表 1 英国 (イングランド) の科目 Computing の内容 (文献 [8] から要約)

Table 1 Curriculum for “Computing” in England (from Ref. [8]).

Key Stage 1 (5 歳-7 歳)

- アルゴリズムとそのプログラムによる実装, デジタル機器, 命令によるプログラムの実行などの理解
- 簡単なプログラムの作成とデバッグ
- 簡単なプログラムの論理的推論による動作予測
- デジタルコンテンツの作成, 構成, 格納, 操作, 取り出し
- 技術の安全かつ他人を尊重した利用, 個人情報, ネット上の素材の利用, 誰に助けを求めるか
- 学校外での一般的な情報技術の利用

Key Stage 2 (7 歳-11 歳)

- 機器制御やシミュレーション等の特定の目標を達成するプログラムの設計, 作成, デバッグ; 問題を小さい部分に分けて解く
- 接続, 選択, 反復の使用; 変数や様々な入出力の使用
- 単純なアルゴリズムが動作する様子の論理推論; アルゴリズムやプログラムの誤り発見と修正
- ネットワークの理解; WWW など複数のサービスの存在とそれらがコミュニケーション, 協調作業を可能にするものの理解
- 検索の活用と結果の選別・ランクづけの理解; コンテンツの評価
- 多様なデバイスで動くソフトウェアの選択・利用・組合せによるプログラム構築; データや情報の収集・分析・評価・発信
- 技術の安全かつ責任を持った利用, 適切/不適切なふるまいの理解, 問題の発見やその対処

Key Stage 3 (11 歳-14 歳)

- 実世界の問題や物理系の状態・振舞いをモデル化した計算抽象の設計・使用・評価
- 計算思考を実現する主なアルゴリズム (整列や探索) を理解し, 同じ問題に対する異なるアルゴリズムを論理的に比較
- 2 つ以上の言語 (1 つはテキスト型) を用いて多様な計算的問題を解く; (リスト/表/配列等の) データ構造を適切に用い, 手続き/関数を用いて構造化されたプログラムを設計・開発
- AND/OR/NOT 等の単純なブール論理とその論理回路やプログラミングへの利用法を理解; 数値の 2 進表現を理解し簡単な操作 (加算や十進との相互変換) ができる
- コンピュータシステムにおけるハードウェアとソフトウェアの役割や相互作用, 他システムとの相互作用を理解
- コンピュータシステム上で命令がどのように格納され実行されるか, 各種データ型 (テキスト/音声/画像) がどのようにデジタル表現され操作されるかを理解
- (できれば複数の機器にまたがった) 複数のアプリケーションの選択/使用/組み合わせをおこなうプロジェクトに参加し, 特定ユーザのニーズに合ったデータの収集や分析などの目標を達成
- ユーザを想定した, 信頼性とよいデザイン/使い勝手を持つデジタル作品の創出/改訂/転用をおこなう
- 技術を安全に/他人を尊重し/責任を持って利用する方法の理解; 自己のオンライン ID やプライバシーの保護, 不適切なコンテンツやコンタクトの認識と問題の報告方法の理解

思考に注力していることが分かる。

カリキュラムの実施にあたっては十分な能力を持つ教員の確保が重要となる。1 つの方法は情報技術を学んだ人を教員採用することだが, 英国では情報技術者として働く方が収入がよいから簡単でない。もう 1 つは現職教員のスキルアップだが, これまでコンピュータ操作を教えてきたため新たに Computing を教えるのには研修が必要と感じる教員が多い。

このような状況に対応するため, CAS では Network of Excellence と呼ばれる活動を開始し, それぞれの地域で教員間のネットワークを育成し, 対面で, その地域内で (遠くに出向かなくても), 教員が教員に教えるなどの形で必要な研修が行えることをめざしている。

表 2 イスラエルの高校 CS カリキュラムの指針 (文献 [9] から要約)

Table 2 CS curriculum policy in Israel (from Ref. [9]).

- CS は一人前の内容を持つ科学の 1 科目である
- 主要概念に注力すべき: アルゴリズムで解ける問題, アルゴリズムによる解法, システム, モジュール化, 抽象化を含む
- 3 単位と 5 単位の 2 つのプログラム: 前者は一般向けで後者は興味を持つ生徒向け; 3 単位版でもこれが CS の唯一の学習となる可能性が高いため十分な範囲を含める
- 両プログラムとも必修と選択両方の部分を含む; プログラム全体として重要なものが必修, そうでないものは柔軟性のため選択
- 概念の内容 (講義) と実習の内容を組み合わせる (ジッパー方式)
- 2 つの大きく異なるプログラミングパラダイムを教える; 一方がまず母語となり他方は別の表現があることを知るため
- 整備された十分な設備の実習室を用意し適切な「画面前の時間」を各人に確保
- コースのすべての部分について CS 研究者と高校教員の共同作業によりテキストを作成
- 科目を教える教員は (教師教育と併せて) 公式の CS 教育を受けていることを必須とする

表 3 イスラエルの中学校 CS カリキュラムの指針 (文献 [10] から要約)

Table 3 CS curriculum for middle school in Israel (from Ref. [10]).

- CS の基礎的な概念を学ばせる
- 論理的思考・アルゴリズムの思考の基本を学ばせる
- 初年度のプログラミング環境は他の言語にも容易に移行可能なものにする
- プログラミング環境は (できれば) 無償で, 使いやすく, 見目が魅力的なものとする
- 少なくとも 2 つの異なる環境で教える
- 生徒が主体的な学習者になるよう動機づけする
- 評価方法は個性的・創造的な生徒に対応できるものとする

2.3 イスラエル

イスラエルは古くからプログラミング学習に注力していることで知られている。本節では文献 [10] などに基づき, 同国の状況をまとめる。

イスラエルでは 1970 年代から高校で Basic 言語によるプログラミングやその他の選択科目を提供していたが, すべての高校ではなく, 大学入学者選抜でも重視されていなかった。1980 年代末期に教育省はこの状況を変えるため, 有識者会議を招集して検討を行い, ここでまとめた指針 [9] に基づきカリキュラムが作られ実施されている。その要点を表 2 に示す (ここにあげている CS 以外に, ソフトウェア工学のプログラム群も提供され, そこではプロジェクト学習, グラフィクス, モバイルなども扱っている)。

またその後, 高校における科学系の修了試験の受験者が低迷していることに対する対策として, 教育省は中学校以降の科学系カリキュラムの刷新を行うこととした。その一環として, 中学校 (第 7~9 学年) の CS カリキュラムが実施されることとなり試行中だが, その指針を表 3 に示す。

実際の高校カリキュラム (3 単位版) に含まれるモジュール例を表 4 に示す。3 単位は週あたり 3 時間を 3 年間継続する時間数である (1 単位がおおよそ 90 時間)。

全体として, イスラエルでは CS カリキュラムの成功のために次の 4 つを重視するとしている。

- (1) よいカリキュラム

表 4 イスラエルの 3 単位版カリキュラムの例 (文献 [10] から要約)

Table 4 Example of 3-units curriculum for Israel high school (from Ref. [10]).

Fundamentals of CS1/CS2 — 全プログラムの基盤であり、アルゴリズムとそれをプログラミング言語 (最初は Pascal, 現在は Java) で表現する方法を扱う
Second Paradigm — アルゴリズムの別の視点を学ぶ。論理型言語による表現, またはより応用指向にグラフィクス, MIS(Management Information System) などの話題
Data Structures — データ構造を学習し, CS1/CS2 を補完

表 5 米国の CS 入門に各内容が含まれる比率 (文献 [6] から)

Table 5 Each topics' % of inclusion in U.S. introductory CS (from Ref. [6]).

調査年	2005	2007	2009	2011	2013
プログラミング	68%	55%	52%	69%	81%
問題解決	N/A	62%	60%	65%	78%
倫理と社会	56%	55%	58%	54%	55%
ハードウェア	60%	57%	53%	49%	47%
グラフィクス	46%	58%	49%	46%	45%
Web 開発	43%	35%	38%	37%	33%
セキュリティ	14%	38%	47%	35%	33%
ゲームプログラミング	N/A	N/A	19%	32%	42%
オフィスソフトウェア	N/A	47%	39%	27%	23%
データベース	35%	41%	39%	27%	23%
ネットワーク	21%	21%	21%	21%	19%
論理回路	11%	16%	13%	16%	17%
その他	27%	18%	7%	13%	10%

- (2) CS の教員免許には公式の CS 教育が必須
- (3) 大学が新人/現職教員に準備学習プログラムを提供
- (4) 活発な研究コミュニティ

とくに教員が必ず CS の専門家という体制は古くから制度設計をして進めてきた国ならではの特徴だといえる。

2.4 米国

米国に関しては多くの情報源があるが, 本節では文献 [10] などに基づいてまとめる。

米国の初等中等教育は基本的には州ごとに政策を決める分散型であるため, 中央政府が決めて適用ということは難しい。これに対し学校単位や教員個人では多様な情報教育がなされており, CSTA でもカリキュラム提案, 教育状況調査 [6], 教材などの資源によりこれらをサポートしている。表 5 は CSTA の調査に解答している CS 入門を提供している高校において各内容が扱われている比率を年度ごとに調べた結果である。調査に解答している高校は情報教育に積極的という偏りはあるが, プログラミングや問題解決などを扱う比率が増えていることはうかがえる。

高校によっては College Board が認証する AP (Advanced Placement) プログラムを開設するところがある (AP 修了は大学入学者選抜時に考慮される)。現在は情報系では

表 6 米国の AP CS Principles に含まれる予定の内容 (文献 [5] から)

Table 6 Planned contents of U.S. AP CS Principle (from Ref. [5]).

計算的思考の実践
P1: Connecting Computing — コンピューティングと人の関わり, コンピューティングの概念どうしの関わり
P2: Creating Computational Artifacts — 意図を持ってプログラムを作る; 適切な手法の選択; アルゴリズムや管理手法の選択
P3: Abstracting — データ/知識の表現と抽象化/モデル化
P4: Analyzing Problems and Artifacts — 解法の評価; 誤りを特定し修正; 解法やモデルやプログラムの適切さや正しさを示す
P5: Communication — プログラムの目的や結果の意味を説明する; 計算を正確に記述する
P6: Collaborating — 他人と協調; 作業の分担; 知識や結果のフィードバックを伝える; プログラムの改良のためのレビュー
CS の 7 つのビッグアイデア
1: Creativity — コンピューティングは創造的活動
2: Abstraction — 抽象化で情報や細部を削減し重要な点に集中
3: Data and Information — データと情報により知識を創出
4: Algorithms — アルゴリズムはコンピューティングの問題に対し解法を作り出し表現するのに用いる
5: Programming — プログラミングは問題解決, 人間的な表現, 知識の創造を可能とする
6: The Internet — インターネットは今日のコンピューティングにおいて重要な役割を担う
7: Global Impact — コンピューティングは大きな影響力を持つ

AP Computer Science A (オブジェクト指向プログラミング, 言語は Java) のみがあるが, 2016 年秋以降に AP Computer Science Principles [5] が始まる。これは言語は特定せず, 計算的思考の 6 つの実践と CS の 7 つのビッグアイデアを中心に構成されている (表 6)。

計算的思考 (Computational Thinking) [26] は, プログラミングそのものではなく, そこで使われる考え方全般を指す概念をいう。単にプログラミングという場合, API を組み合わせる望む動作を作ればよいというイメージがあり, それと対比して本質的な動作やアルゴリズムを扱うという意味でこの言葉が使われる。

米国では現在, 小学校・中学校段階でのプログラミングが広く注目され活発に実践がなされており, そこでは Alice, AgentSheet, Blockly, Kodu, Scratch などの新しい教育環境が多く使われている。しかし, それらの多くは課外/学外活動だったり単発的だったりして, 系統的な教育はあまり行われていない。

また, 高校においても CS が自立した教科とはされおらず, 数学や他の科目の一部として扱われることが多い。このため, 教員についても州により異なるが CS の免許制度がなかったり他の免許を持ったうえで追加扱いになったりするなど, 専門性を高めにくい状況にある。

2.5 ニューージーランド

本節では文献 [2] に基づいてニューージーランドの状況をまとめる。同国では過去にはコンピュータの使い方中心の教育しか行われてこなかったが, 2007 年からの技術科のカリキュラム検討をきっかけに CS 教育の気運が高まり,

表 7 ニュージーランドの科目 DT の構成 (文献 [2] から要約)
Table 7 Organizations for NZ subject "DT" (from Ref. [2]).

DT#	名称/内容	単位	評価
Level 1			
1.44	CS の基礎的概念の理解	3	外部
1.45	タスクに対する基礎的プログラムの設計	3	内部
1.46	タスクに対する基礎的プログラムの構築	3	内部
Level 2			
2.44	CS の進んだ概念の理解	4	外部
2.45	タスクに対する進んだプログラムの設計	3	内部
2.46	タスクに対する進んだプログラムの構築	3	内部
Level 3			
3.44	CS の複数の領域に対する理解	4	外部
3.46	タスクに対する複雑なプログラムの構築	6	内部

表 8 ニュージーランドの科目 DT の 2012 年結果 (文献 [2] から)
Table 8 NZ "DT" statistics for year 2012 (from Ref. [2]).

DT#	人数	不可%	可%	良%	優%
1.44 基本的概念	953	32.2	38.3	17.4	12.1
1.45 プログラム設計	2,531	29.2	33.6	17.7	19.6
1.46 プログラム構築	3,865	27.7	34.0	20.5	17.8
2.44 進んだ概念	693	30.0	43.3	19.6	7.1
2.45 プログラム設計	1,171	32.2	32.2	16.3	19.3
2.46 プログラム構築	1,482	32.0	26.9	18.1	23.2

2011 年に新たなカリキュラム DT (Digital Technologies) が高校の最後の 3 学年に導入された (表 7)。

1 単位が 10 時間 (授業+予習復習の時間) で、1 つのコースは 18~24 単位を要するので、DT の内容はその半分くらいであり、他の技術の内容と組み合わせる前提となり、教員にとって負担が少ない。内部評価は学校内での教員による評価なのに対し、外部評価は評価機関に送付するレポートに基づき、客観性を担保する意図がある。レベル 1/2 でプログラムの設計と構築が分かれているのは各内容の単位数を多くしないためだが、設計までできるが作れない生徒、設計が与えられたら作れる生徒の救済という面もある。

表 8 に 2014 年の結果を示す。最も人数の多い 1.46 は、全高校生 (約 61,000 人) のおよそ 6% が受けたという結果になる。担当教員の評価は良好で、なぜ DT を開講したかという質問の答えは「生徒により良い機会提供 (90%)」「個人的に関心 (62%)」「国にとって必要 (45%)」「教えらるべき内容だから (47%)」「管理職に言われた (8%)」となった (2012 年の調査)。

2.6 ロシア

本節では文献 [15] に基づき、ロシアの状況を解説する。ソ連時代の 1985 年にアルゴリズム思考とコンピュータリテラシーを目的とした科目 Foundations of Informatics が第 9~10 学年向けに設置された。その内容はアルゴリズムとその表現としてのプログラミングや、プログラミング言語

表 9 ロシアの Informatics 教育課程 (文献 [15] から要約)
Table 9 Curriculum for Russian informatics (from Ref. [15]).

統合国家試験 — 自由選択だが大学情報専門課程志望なら必須
高校 (16~17 歳) — Informatics は自由選択 (Basic と Advanced の 2 コース)。ほかに特定トピックの選択科目もある
目標 (Basic):
1. 情報の役割や情報処理の概念
2. アルゴリズムの記述を理解しアルゴリズム思考を使える
3. アルゴリズム記述言語の記述を理解できる。基本的な構文を理解し、1 ステップずつ実行を分析できる
4. 標準的な方法でアルゴリズム記述を組み立てデバッグできる
5. コンピュータと数値モデル、モデル化とシミュレーション
6. データベースの概念と活用
7. データの表現と分析
8. コンピュータ利用時における安全性と危険性の知識/スキル
9. コンピュータやネット利用における法的側面の基本知識
目標 (Advanced):
1. CS が今日の科学にどのように貢献しているか知る
2. 数値処理、テキスト処理、整列、探索のアルゴリズム
3. 汎用高水準言語、データ型/データ構造、制御構造の利用
4. 特定環境での開発経験 (テスト/デバッグを含む)、問題の定式化、プログラムの文書化
5. デジタルオブジェクトの生成/特性理解/分析、符号化、伝送時の損失や歪みの原因、数的オブジェクトの知識と利用
6. 今日のコンピュータの構造、コンピュータ技術の潮流、OS の基本機能、インターネットアプリケーションの作成
7. ネットワークとその原理・役割、情報倫理と法、セキュリティ、ICT ツールの安全な運用
8. データベースの概念と構造、使い方
9. コンピュータ上の数値モデル構築、実験と結果の統計処理、シミュレーション結果の評価
10. プログラムライブラリの利用、コンピュータを用いたデータの表現と分析の経験
中学校 (11~15 歳) — Informatics は必須 (通常は最後の 2 学年)
目標 (中学校):
1. 万能情報処理装置としてのコンピュータと情報/アルゴリズム、コンピュータ装置の基本的扱い
2. 情報/アルゴリズム/モデルの基本概念と特性
3. 現代社会の職業人として求められるアルゴリズム思考、特定装置のためのアルゴリズム開発/記述能力、アルゴリズムの構造、論理値と演算、1 つ以上のプログラミング言語とその構造に親しむ
4. 情報の形式化と構造化、タスクに先立つデータ表現の設計 (表、チャート、グラフ、ダイアグラム) とソフトによる扱い
5. プログラムやネットを扱う際の安全な行動、情報倫理や法の規範
小学校 (7~10 歳) — 数学と技術の中で Informatics の複数内容が必修として教えらる。ほかに自由選択の Informatics がある
目標 (小学校):
1. 基本的な論理思考/アルゴリズム思考、空間イメージと数理的言語、計測/変換/見積り/評価/視覚化/処理のスキル、アルゴリズムの記述と実行
2. 数値や数式の口述/記述での実行、記述問題を解く、アルゴリズムを利用し簡単なアルゴリズムを書く、幾何学図形の同定や探索、表/チャート/グラフ/ダイアグラム/数式/複合値の扱い、データの表現/分析/解釈
3. コンピュータリテラシーの基本の獲得
4. 情報環境で情報オブジェクトを生成することの基本知識とそれを教育活動や視覚アートで用いるスキル

を用いたプログラミングを含んでいた。

ロシアになって 1990 年代に科目名が Informatics となり、「アルゴリズム」「コンピュータモデリング」「ロジカルシンキング」の 3 系列から学校ごとにテキストを選択するようになり、また実施時期が中学に移された。その後 2010~2012 年の間に小学校までを含んだ Informatics の新たな教育課程 (FES, Federal Educational Standards) が制定された (表 9)。小中学校では全員が学び、高校では 50% が Basic、10% が Advanced のコースをとる。

2.7 フランス

フランスでは [1], 1970 年代に CS 教育が話題になり複数の中学・高校で選択科目として実施されたが, 統一されたカリキュラムはなかった. その後, 他国と同様にコンピュータの使い方が主に教えられる時代となったが, 21 世紀になって他国に遅れをとっているのではないかという懸念が出され, 2012 年から第 12 学年 (最終学年) に選択科目として ISN (Informatique et Sciences du Numérique) が新設された (内容はプログラミングによる問題解決). 2012 年度は 27%, 2013 年度は 39% の高校で開講され, 生徒の関心もそれなりにある. ISN の特徴の 1 つとしてプロジェクトベースの手法が推奨されていることがあげられる.

2.8 スウェーデン

スウェーデンでは [23], 1960 年代から高校で職業教育的なプログラミング教育が開始され, その流れが現在でも続いている. CS を全員に教えるべきかどうかという議論も長くなされてきたが, 全員には不要という意見が主流だった. 近年では, 単にプログラミングを学ぶのではなく, 計算的思考を重視すべきだ, プログラミングの知識は多くの分野に関連している, などの指摘がなされてきているが, カリキュラムの本格的な改革はこれからという状態である.

2.9 各国の情報教育のまとめと日本の状況

前節までで CS やプログラミングを含んだ情報教育に前向きに取り組んでいる各国の状況を整理した. ここから見て取れる知見には次のものがあると考えられる.

- コンピュータ利用法の教育から CS やプログラミングに重点を移しつつある点は各国共通である.
- 使い方とあわせたカリキュラムを採用する国もあるが, その場合でも CS やプログラミングの比重が高い. また使い方のうちでも倫理や安全性が重視されている.
- CS 教育を開始する学校段階は各国さまざまだが, 体制が整うにつれて高校→中学校→小学校と開始が早くなる傾向にある.
- 小学校段階からでもかなりの水準で CS やプログラミングを扱っている.
- 教員の養成には多くの国が苦心している.
- 学校・教員・生徒は CS を主体とする情報教育におおむね前向きである.
- 多くの国では大学入学資格に情報科の内容を含めることでその普及を牽引している.

これらをわが国の状況と比較した場合, わが国では情報の内容を小学校の各教科において扱い, 中学では技術科, 高校では情報科で扱うという形であり, 分量的にはさほど見劣りしない. しかし, その実情は (1) CS やプログラミン

グがほとんど扱われていない, (2) 各学校段階間の連携に乏しい, (3) 学校現場で情報教育が全般に軽視されている, (4) 学校間で到達水準に差異が大きい, という問題がある.

このうち (1) については, 過去においては (1989 年告示学習指導要領, 1999 年告示学習指導要領), 高等学校数学の中にアルゴリズムの内容が含まれていた. しかし現行学習指導要領では, 情報科に譲ったためかなくなっていて, 一方で情報科は必修だが, その科目は選択制になっていて, 「情報の科学」にのみアルゴリズム・プログラミングが含まれ, この科目は全生徒の 16.5% 程度^{*2}しか履修していない. このため全員が学ぶのは中学校技術科の情報部分 (表 12) に含まれるもののみで, 授業時間数としてはごくわずかである. 内閣は 2013 年 6 月に公開した世界最先端 IT 国家創造宣言 [21] において「初等中等段階からプログラミング等の IT 教育」の実施をうたっているが, 具体的な施策にはまだつながっていない.

(2) については, 上述のように学校段階ごとに情報教育の受け持ちの形態が異なることに加え, 小学校 (各科目), 中学校 (技術科), 高等学校 (情報科) の内容が相互に十分なつながりを持って設計されていないように思える.

(3), (4) については, 情報科の内容が大学入試にほとんど含まれないことが間接的な要因となっている (一部の大学では 2006 年ごろから情報入試を行っているところがあり [12], 最近では 2014 年から明治大学, 2016 年から慶應義塾大学のそれぞれ一部の学部・学科で情報入試が選択可能となったが, 全体としては広がっていない).

このほか, 情報を教える教員に対する現職教員研修なども, 他国と比較して十分に注力されていないように感じられる. 入試や教員の採用・支援など制度的な問題は本稿の主題でないので扱わないが, 対応が求められる問題であることは指摘しておきたい.

3. わが国の情報教育の将来指針

3.1 コンピューティングの必要性

前述のように, 積極的に情報教育に取り組んでいる各国は, 教育内容の重点を CS・プログラミングに置いている. この内容を表す言葉として, 多くの国では CS (Computer Science) という用語をあてているが, 米国では計算的思考 (Computational Thinking) [26], 英国ではコンピューティング (Computing) としている. 詳細は違うものの, 実質としてはこれらは「計算の原理的側面」という同じ概念を指すものとして使われている.

本稿では英国にならって「コンピューティング」を用い

^{*2} 平成 26 年度の情報科 (共通教科情報) 教科書販売数は (各出版社の合計で) 情報の科学が 153,839 冊, 社会と情報が 778,287 冊であり [25], これから計算すると情報の科学を学ぶ生徒の比率は 16.5% となる (両方を学ぶ生徒もいるが, ごくわずかである).

ることとし、定義は文献 [7] にならって、次のものとする*3。
定義： コンピューティングの学問分野は、情報の記述や変換のアルゴリズム的な処理に関する体系的な研究である。
 なお、日本学術会議において作成中の情報学の参照基準 [11] でもこれに対応する概念として「計算」を次のように定義している。

定義： 計算とは形式化された手続きであるアルゴリズムを用いて情報を扱うことである。計算に関わる原理としては、計算モデル、アルゴリズムの設計方法、計算の限界や効率に関する原理、計算の表現方法、計算の正しさを示す原理が含まれる。

文言の詳細は異なるが、両者が意味するところは同じであり、またこの定義による「コンピューティング」は上述のように、教育場面では各国における CS や Computational Thinking ともおおむね対応している*4。

なぜコンピューティング (CS, Computational Thinking) に重点を置くことが必要かについて、多くの意見表明がなされている。たとえば文献 [1] では CS 教育を推進する英国政府高官の言葉を紹介している。

個々の技術は日ごとに変化するのに対し、それら (CS の内容) は何十年にもわたって不変の基本概念や基本原理によって支えられている。今日の生徒が学校を去り職に就いてからずっと後 — 彼らが学校で接した技術がとくに過去のものとなった後 — であっても、学校で学んだ CS の内容は依然として正しいものであり続ける。

また文献 [24] では CS を学ぶ理由として次のものをあげている。

- 知的能力として — 論理的推論、アルゴリズム的思考、デザイン、構造化された問題解決が学べ、これらは CS の外でも価値を持つ。
- 多様なキャリア — 今の子供の多くは現在まだ存在しないような職に就くが、そこでは今よりずっと CS との関わりが増すと思われる。
- 問題解決を学ぶ — CS はビジネス・科学・芸術その他の問題解決に使われ、CS を通じて問題を明確化し解法を生み出すことができる。
- 他の科学領域とのつながり — あらゆる科学の領域においてコンピュータが強力な手段として使われるようになっていく。
- すべての子にとって魅力的 — CS はあらゆる方面に使われるのでどの子供にとっても関心ある題材となり

*3 ACM ではより新しい文書 CC2005 [13] ではコンピューティングをより広い意味のものとして定義しているが、そこでもこちらの定義を使う場合もあるとしている。

*4 単にプログラミングとしない理由は、プログラミングと記した場合、ソフトウェア部品を組み合わせて動くものを作るという意味も多く含まれるためである。

学びを最大化できる。

筆者らも上記の意見に同意するが、さらに自分たちのこれまでの知見に基づき、コンピューティングを学ぶことの価値として次のものを追加したい。

能動的学習 (アクティブ・ラーニング)： コンピューティングの学習を通じて、自ら探究したい課題を見出し、その課題解決に必要な事柄を調べ、深く考え、試行錯誤しつつ、最終的な目標に到達する活動が自然に行われる。またその過程を通じて、受身的な知識授与型の授業では起こらないような、深く幅広い学びが実現されるとともに、そのような学習姿勢を継続的に身につける機会となる。

上記をあげる理由を簡潔に述べる。筆者らの経験では、基本的なプログラムの書き方など初歩の段階を通過した学習者は、自分が考えた動作をプログラムによって実現できることを理解する。この段階で教員が課題などを通じて適切に導くことで、学習者は「自分が解きたい問題」を設定して「自分の問題として」それを解こうとする。

自分の問題を解こうとする学習者は、強い動機づけを持ち、教員が提供する (その問題に関係する) 知識や、調べたり考えたり試行錯誤することを積極的に受け入れ、これが結果として深い学習体験につながるのと同時に、学習者自身もそのような学習の価値を身をもって理解できる。

このようなことが可能なのは、コンピュータが持つ汎用性のため、学習者が構想するほとんどのような問題でも、学習者の水準や要求に合った形の解法として、プログラムにより実現可能であることによる。また、作成したプログラムを動かすことにより、学習者の考えがどこまで合っているかのフィードバックが容易に (他者の手を煩わせることなく、気兼ねなしに) 得られ、試行錯誤を繰り返せることも大きな要因である。

言い換えると、コンピューティングの学習は能動的学習を具体的に実現する有力な手段となりうる、というのが、筆者らの考えである。また、能動的学習についてはその学習評価が課題とされることが多いが、コンピューティングの場合はプログラムという成果物が得られるとともに、その中の各々の記述や全体としての動作について「なぜそうなっているのか」という問いが立てられ、きちんと考えてきた学習者はそれに適切に答えられるため、適正な学習評価が行いやすい。

これらの事柄を総合するなら (結論としては 2 章であげた各国と同じだが)、これからの情報教育においてはコンピューティングの内容を充実させることが不可欠だというのが、筆者らの考えである。

3.2 情報活用能力の再規定

これまでわが国の情報教育は、文献 [20] に記されている、情報活用能力の3観点「情報活用の実践力」「情報の科学的な理解」「情報社会に参画する態度」を学習目標として推進されてきた(表 10)。しかし、公表から14年が経過した現在、前節で述べたように、コンピューティングの内容を充実できるような内容の改訂が必要だと考える。

従来の3観点ではアルゴリズムやプログラミングは「科学的な理解」の中で「情報手段の特性理解」を目的に学ぶとしていたが、それでは原理を理解した段階で学習目標は達成済みとなる。しかし前節で述べたコンピューティングを取り入れる目的に照らすなら、実際にものを作って動かしたり問題解決に用いるところまでを含める必要がある。

そこで我々は、新たな情報活用能力の3観点として、表 11 を提唱する。主な違いは、(1)「コンピューティングの理解と活用能力」を新たに設けたこと、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれてきた評価とメタ認知(自らの活動の評価・改善)の内容を含めたこと、(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(自らが作成したソフトウェアに責任を持つこと)を追加したことである。

抽象化された目標として簡潔に記されているが、提案する新・3観点を各国のカリキュラム指針や内容(表 1, 表 2, 表 3, 表 6, 表 7, 表 9)と対照した場合、欠落していると

表 10 文部科学省による情報教育の3観点

Table 10 3 Goals for informatics education by MEXT Japan.

A 情報活用の実践力
課題や目的に応じて情報手段を適切に活用することを含めて、必要な情報を主体的に収集・判断・表現・処理・創造し、受け手の状況などを踏まえて発信・伝達できる能力
B 情報の科学的な理解
情報活用の基礎となる情報手段の特性の理解と、情報を適切に扱ったり、自らの情報活用を評価・改善するための基礎的な理論や方法の理解
C 情報社会に参画する態度
社会生活の中で情報や情報技術が果たしている役割や及ぼしている影響を理解し、情報モラルの必要性や情報に対する責任について考え、望ましい情報社会の創造に参画しようとする態度

表 11 本稿で提案する情報教育の3観点

Table 11 Proposal: New 3 goals for informatics education.

A コンピューティングの理解と活用能力
今日の情報技術の基盤であるコンピューティングの概念・原理・適用例を理解し、これを手段として活用できるとともに、自ら新たなものを創造できる能力
B 新・情報活用の実践力
必要な情報を主体的に収集・判断・表現・処理・創造し、受け手の状況などを踏まえて発信・伝達できる能力、および、その際使用する情報手段の特性を理解し、自らの活動を評価・改善する能力
C 情報社会に参画する態度
社会生活の中で情報や情報技術が果たしている役割や及ぼしている影響を理解し、情報モラルの必要性や情報およびコンピューティングに対する責任について考え、望ましい情報社会の創造に参画しようとする態度

判断される内容はなく、これからのわが国の情報教育の指針として適切であると考え*5。

4. 各学校段階の位置づけ

新・3観点を高等学校卒業時まで身に付けるには、小学校から高等学校までの各段階にわたる系統的な学習が必要である。このため筆者らは、各段階の内容配分と教科の位置づけについて検討した。

まず、高等学校には情報科が設置済みであるが、現在の高等学校情報科の内容 [17] は、他の教科(数学科・理科・公民科など)と比較した場合、やさしい内容となっている。また、他国の高校段階での情報教育カリキュラム(表 1, 表 4, 表 6, 表 7, 表 9)と比べても、CSとプログラミングに関してはかなり見劣りがする。一方で、取り扱う範囲は時間数に対してきわめて多くなっている(しかも、「情報の科学」「社会と情報」の選択であり、一方の科目にしか含まれない部分がある)。これは、中学校までの学習を前提とできる部分が少ないことが大きな原因になっている。

次に、中学校では技術科の一部が情報の学習にあてられているが、時間数は技術の全時間数の4分の1程度であり、きわめて不足している。また、内容(表 12)も比較的平易な部分にとどまっているとともに、プログラミングは計測・制御の一環としての扱いである。

そして小学校では、情報に割り当てられた時間はなく、各学校および教員の判断に任されているため、扱う内容・範囲ともに大きなばらつきがある(中学校で一定の水準を前提にできない)。

これらのこと考慮し、筆者らは望ましい情報教育の体系として次の方針に基づくものを提案する。

- (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

表 12 中学校技術科現行学習指導要領の情報部分(文献 [19] から要約)

Table 12 Informatics part of course of study for middle school's technology subject (from Ref. [19]).

(1) 情報通信ネットワークと情報モラル ア コンピュータの構成と基本的な情報処理の仕組み イ 情報通信ネットワークにおける基本的な情報利用の仕組み ウ 著作権や発信した情報に対する責任を知り、情報モラルについて考える エ 情報に関する技術の適切な評価・活用について考える
(2) デジタル作品の設計・制作 ア メディアの特徴と利用方法を知り、制作品の設計ができる イ 多様なメディアを複合し、表現や発信ができる
(3) プログラムによる計測・制御 ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知る イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できる

*5 データベースについては一見対応していないように見えるが、旧3観点に基づく情報科の内容にもデータベースは含まれている。データベースの理解は情報を取り扱う実践力に対応し、データ操作はコンピューティングの理解と活用に対応するものとする。

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ぶようにする。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。

小学校から開始することについては、ロシア（以前から小学校で実施）、英国（2014年から実施）、米国（制度上、正式な科目はないが草の根的に実施）の例を見れば、発達段階的な問題はないと考える。中学校以降で実施している他の国も、今後は小学校にまで広めてゆく流れにあると予想する。単独の科目（英国型）、数学等の一部（ロシア型）のいずれかについては、今後の段階的な移行を考えると、わが国では後者が適切と考えた*6。時間数については、次節で個別の内容ごとに述べるが、取り込む科目の既存内容と置き換えられる前提で、本提案による時間数の増減はないものと考えている。

中学校については、現在の技術科の中で実施する方法では十分な時間が確保できないことと、現在の高校情報科程度の水準をめざすという点からも、単独の教科が必要と考える。時間数については、現在の高校情報科では時間がきわめて不足していることを考えると、より多くの時間を割り当てることが望まれる。

高等学校については、現行内容の多くを中学校に移し、高校にふさわしい水準の部分に注力するため、全員が学ぶ部分は現在と同程度の時間数でよいと考える。ただし、この分野に興味・関心を持つ生徒がより深く学べる機会も提供すべきだと考えるので、そのための科目も必要である（前記科目と同程度以上の時間数を想定する）。

以下では各学校段階ごとに、まず全体目標を説明し、続いて内容案を示した上で議論していく。

5. 小学校段階

小学校段階での情報教育の学習目標としては、次のものを提案する。

目標：コンピュータや情報通信ネットワークなどの特性の理解や積極的な活用を通じて、その基本的な原理・特徴、操作・活用方法、情報モラルに関わる基本的な考え方を習得する。また、情報が日常生活や社会に与える影響を考える。

この目標は、英国やロシアの小学校段階の内容と比べて穏健だが、段階的に発展させて高校までで新・3観点の達成をめざすには十分だと考えている。具体的な内容案を表 13（低学年）、表 14（中学年）、表 15（高学年）に分

*6 また、多くの国では国語科の中で検索やワープロソフトなどの内容を扱っているのに対し、わが国ではこの部分が遅れているため、それを克服するという意味もある。

表 13 小学校第 1・2 学年の学習内容提案

Table 13 Curriculum proposal: Elementary school grades 1-2.

A コンピューティングの理解と活用	
ア	適切なプログラミング環境を使用して、簡単な自動処理の手順実行を体験する。手順が動作するようすを観察し、意図したものと異なる場合に、修正方法を考える。(算数)
イ	手順実行のふるまいについて、なぜそのようなふるまいか説明する。手順を修正したとき動作も変化することを観察し、簡単な動作を計画した上でその動作を実現するように手順を組み立てる。(算数)
B 情報活用の実践力	
ア	仮想キーボードなどを持ちいて、保護者や教師にあてたメッセージを作成し、送信する。保護者や教師にあてたメッセージの返信を受け取り、それに対してさらに返信をおこなう。(国語)
イ	保護者や教師からのメッセージを受け取って読み、その内容を他人に説明する。特定の用件や質問について、保護者や教師とやりとりし、その答えを得る。(国語)
C 情報社会に参画する態度	
ア	保護者や教師に送ったメッセージについて、受け取った保護者や教師がどのように受け取るかを想像し説明する。表現のしかたを複数通りに変えてみて、それらの比較をおこなう。(生活科)
イ	保護者や教師からのメッセージを受け取って読んだとき、自分がどのように感じたかを説明する。同じ内容で表現が異なるメッセージについて、感じかたの違いを説明する。(生活科)

表 14 小学校第 3・4 学年の学習内容提案

Table 14 Curriculum proposal: Elementary school grades 3-4.

A コンピューティングの理解と活用	
ア	適切なプログラミング環境を使用して、条件判断のある自動処理の手順を記述し、ふるまいを観察する。3つ以上の場合分けになった自動処理の手順を記述し、ふるまいを観察する。(算数)
イ	まず動作させたい内容を記述し、その後で手順を作成する。手順を実行させたようすと、もとの計画との合致を確認する。(算数)
B 情報活用の実践力	
ア	自分が考えたことについて、400文字程度の文章をひらがなや漢字まじりで入力し、必要なら編集機能により修正をおこなって完成させる。(国語)
イ	最初にあらすじを項目単位で入力し、続いてそれぞれの項目を文章の形に修正することで、400文字程度の文章を完成させる。必要に応じて順序の入れ替えを含む修正・推敲をおこなう。(国語)
ウ	グラフや写真などの画像(図)を文書やスライドに取り込み、それについて説明する内容の文書を完成させたり、プレゼンテーションをおこなう。(国語)
C 情報社会に参画する態度	
ア	生徒どうしでメッセージのやりとりがおこなえ、用件の伝達や質問に対する応答ができるようにする。3人以上のグループでのメッセージを交換をし、簡単なことがらについて議論をとりまとめたり合意を得たりする。(国語)
イ	ネット上のニュースやそれに関するやりとりを見て、どのようなことが伝えられているか、どのようなことが分かるかを考え、文書としてまとめたり、プレゼンテーションで報告する。(社会科)

けて示す。

なお、「適切なプログラミング環境」については、少なくとも低学年では Viscuit, Scratch など「テキスト型でない」教育用言語を用いるのがよく、一方で高学年では中学校以降への接続を考えドリトル [14] などのテキスト型（文字で記述する）教育用言語を取り入れるのがよいと考える。

コンピューティングについては、算数科の中で低学年では図形的な自動処理実行環境、高学年に進むにつれてより

表 15 小学校第 5・6 学年の学習内容提案

Table 15 Curriculum proposal: Elementary school grades 5-6.

A コンピューティングの理解と活用
ア 繰り返しのある自動処理の手順を記述し、そのふるまいを観察するとともに、繰り返しによって手順は増えなくても大量のデータが扱えることを理解する。(算数)
イ 繰り返しと場合分けが組み合わさった自動処理の手順を記述し、その正しさを検討する。(算数)
ウ ある程度込み入った手順について自分で構想し、その構想した手順を実際に記述する。想定される入力と出力の組みを準備し、入力を与えたときに実際の出力が想定と一致することを確認する。(算数)
B 情報活用の実践力
ア 自分の考えた内容やグループでの話し合いの内容などを、キーボードから入力し、まとめのレポートを作成する。グループで話し合った結果を、まとめのレポートとして打ち込み、互いにレビューして違っているところや不足しているところを指摘し修正する。(国語)
イ グループでプレゼンテーションを計画し、スライドを作成して発表するとともに、聞き手からフィードバックをもらって改良する。(国語)
ウ 簡単な Web サイトを計画し、素材の画像や文章などを用意して組み立て、完成させる。画像や文章の内容について、適切かどうか、意図とあっているかを考えさせる。(国語)
C 情報社会に参画する態度
ア コンピュータや情報技術によるコミュニケーションが持つ特性や、それらをうまく活用する方法について、検討する。(国語)
イ コンピュータや情報技術が社会に与えている影響について、意見をまとめ、仲間と意見交換する。コンピュータや情報技術が社会に与える影響について、グループでテーマを決めて裏付けとなる情報を調べ、プレゼンテーションを作成し、発表する。(社会科)

構造化された環境に進むことで、スパイラル的に手順の考えになじむようにする。時間数は各学年ごとに 5 時間程度を想定し、必ずしも専門性を持たない(クラス担任制の)教員を前提に、テキストを学んだうえで体験することを重視する。

小学校の算数科は現行学習指導要領 [18] では「数と計算」「量と測定」「図形」「数量関係」の 4 内容を関連させて扱うとしているが、これに「コンピューティング」を追加することを想定する。ただし、現行学習指導要領では 4 内容について「算数的活動」を通して指導することとなっているので、その活動の一部を振り向けることにより(例:加算の意味は、画面上の物体が「X 移動した後 Y 移動する」ことと対応)、時間数の増減はなくても対応できるものと考えられる。

実践力については、国語科の中で低学年ではメッセージをやりとりする体験と技能獲得に重点を置き、中学年以降でローマ字学習と合わせてキーボード入力や文書編集を実際に活用していくことで、以後の各学年において情報機器を適切に利活用する力を養うようにする。

参画する態度については、教員や保護者とのやりとりからはじめて、次第に広い範囲でのコミュニケーションに進みつつ、情報社会について考えることで、情報技術やネットワークに対する適切な理解と態度を身につけさせる。

小学校の国語科は現行学習指導要領では「聞くこと・話

すこと」「書くこと」「読むこと」の 3 内容を「伝統的な言語文化と国語の特質に関する事項」と関連づけて指導し、生活科や道徳との関連も含めて指導するとなっている。この各内容について、一部を情報機器を適切に使うことで(記録が残る、繰り返し改訂できるなどの利点を活かした)より質の高い読み・書き・コミュニケーションに置き換えることで、時間数の増減はなしに、以後の学習活動においても有効な考え方やスキルを身につけるように考える。

小学校の生活科は現行学習指導要領では「具体的な活動や体験を通して人や社会、自然とのかかわる」「気付きの質を高める、科学的な見方・考え方の基礎を養う」「安全教育・自然の素晴らしさ・生命の尊さを実感」を基本方針としてあげている。低学年において情報技術を用いたコミュニケーションを通じて人と関わる体験を、安全に留意しつつ行うことは、生活科の目的にならなっている。

小学校の社会科は現行学習指導要領では第 3・4 学年で地域社会のようす、第 5・6 学年で国土のようす、社会的現象、先人の業績、政治の働きを扱うが、これらを調べたり意見をまとめたりする手段として(国語科の中で学んだ考え方やスキルに基づき)情報機器を活用したり、現代社会に不可欠となった情報技術そのものについて社会との関わりを考えさせたりすることは現行内容の自然な発展・改良であり、時間数の増減なしに取り込めると考える。

6. 中学校段階

中学校段階での情報教育の目標として、次のものを提案する。

目標: コンピュータや情報通信ネットワークの原理を学び、その理解に基づいてこれらを問題解決のために主体的・実践的に活用できるようにする。情報モラルの必要性や意味を学び、適切な判断・行動が行えるようにする。マルチメディアやプログラミング、計測・制御などの原理を学び、これらを実践において活用できるようにする。

この目標は、中学校段階で現行学習指導要領の高等学校情報科の 2 科目「社会と情報」「情報の科学」の共通部分と、中学校技術科の情報関係の内容、および CS・プログラミングについては 2 章であげた各国程度の水準を想定したものである。これに対する具体的な内容案を表 16 に示す。

コンピューティングでは、コンピュータやネットワークの原理および、計測・制御の理解と、アルゴリズムに基づくプログラム構築までを扱う。アルゴリズムについては他国では小学校から扱っているが、本提案では専門性を持つ教員による指導の必要性を考慮し、中学校で導入することとしている。

実践力については、デジタル表現の理解やネットワークの適切な活用と、問題解決活動の体験(アルゴリズム的なものを含む)を扱う。参画する態度では、メディアやコ

表 16 中学校段階の学習内容提案

Table 16 Curriculum proposal: Middle school.

A コンピューティングの理解と活用
<p>ア コンピュータの仕組みや万能性(プログラムを変更すれば何でもおこなえる)について理解し、コンピュータによる処理の特性とそれがどのような効果をもたらすかを理解する。また、情報通信ネットワークのなりたち、原理、しくみ、安全性の概念を理解する。</p> <p>イ コンピュータを用いた計測・制御の基本的な仕組みを知り、プログラムによる計測・制御を体験する。</p> <p>ウ アルゴリズムやデータ構造の概念を理解し、自分が構想した処理をおこなうプログラムを組み立てる。また、整列、探索などに関する代表的なアルゴリズムを知り、同じ結果をもたらすアルゴリズムが複数あることを理解するとともに、それらの比較・検討をおこなう。</p>
B 情報活用の実践力
<p>ア さまざまな情報のデジタル表現のしくみを理解し、情報通信ネットワークを用いた情報の収集や、マルチメディアを活用した情報発信をおこなう。</p> <p>イ 問題解決のプロセスについて理解し、グループでコンピュータや情報通信ネットワークを活用しながら問題解決活動を実践し、結果の評価や改善のための検討をおこなう。</p> <p>ウ プログラムやアルゴリズムを活用した問題解決を体験する。</p>
C 情報社会に参画する態度
<p>ア さまざまなメディアの特性・メディアを通じてもたらされる情報の特性やそれらを活用する姿勢について理解する。また、ネットワーク上のコミュニティを含むさまざまなコミュニティに、適切な姿勢・態度で参画でき、コミュニティにおける自分や他者の行動について、後から振り返って評価できる。</p> <p>イ 情報社会に関する法律や個人の責任について学び、安全性に対する技術的・社会的な考え方やアプローチを理解し、情報技術を使う際に人間のどのような特性に注意すべきかを考える。</p> <p>ウ 情報社会において情報技術・情報システムが果たしている役割や、その効果・影響について考え、理解するとともに、よりよい情報社会に向けて個人がどのような貢献ができるかを考える。</p>

コミュニケーションに対する適切な姿勢、法と個人の責任や安全性、社会への影響と個人の貢献を扱う。これらの部分は(アルゴリズム的な問題解決を除けば)おおむね現行の高校情報科から移行してきた内容だといえる。

全体として、本提案のCS・プログラミングに関する到達水準は英国(表1)、イスラエル(表3)、ロシア(表9)と比べておおむね同水準にある。また、コミュニケーションや情報倫理に関する丁寧な扱いはわが国の情報教育の良い点を引き継ぐものと考えられる。

7. 高等学校段階

高等学校段階での情報教育の目標として、次のものを提案する。

目標: コンピュータや情報通信ネットワークの原理理解に基づいて、プログラミング、アルゴリズム、モデル化、シミュレーション、ソフトウェア開発、ネットワーク技術、データベースとデータ管理などの知識を有効に組み合わせて、実際に問題解決のために役立てられるようにする。情報社会やその上のコミュニティ、規則、安全性などについて理解したうえで、個人や集団の目標達成・よりよい情報社会の実現にむけて考え、行動することができる。

表 17 高等学校段階の学習内容提案

Table 17 Curriculum proposal: High school.

A コンピューティングの理解と活用
<p>ア プログラミング言語を用いて、自分の興味・関心に応じて、実際に役に立つソフトウェアを作成できるようにする。</p> <p>イ 問題解決に必要なアルゴリズムを考えられるとともに、計算量や計算可能性の概念を理解し、アルゴリズムの実用性を判断できるようにする。</p> <p>ウ モデル化とシミュレーションの概念を理解し、問題解決のために必要なモデルの構築やシミュレーションがおこなえるようにする。</p> <p>エ 問題を解決するためのソフトウェアが持つべき要件を整理できるようにする。また、そのようなソフトウェアを設計・構築するプロセスを理解させる。</p>
B 情報活用の実践力
<p>ア コンピューティングを活用した問題解決を実践できる。問題の発見・記述・解法の検討において情報手段を適切に活用でき、コンピュータを活用した解決方法を選択・実現・評価できるようにする。</p> <p>イ 問題解決のプロセスやその実践結果について、自らの活動を含めて、適切に評価でき、必要な改善に着手できる。また、これらを他人にわかりやすく説明できるようにする。</p> <p>ウ 情報通信ネットワークを経由した情報の収集や発信の原理・しくみを理解し、効果的な情報の収集や発信のやり方を検討し実践できるようにする。</p> <p>エ 情報社会におけるデータの重要性や、データを蓄積・管理するデータベースの機能としくみを理解し、目的に応じたデータの蓄積方法の設計や、問題解決に必要なデータの抽出・加工・分析・整理ができるようにする。</p>
C 情報社会に参画する態度
<p>ア 情報社会においてコンピュータが果たしている役割やその効果・影響を理解した上で、将来に向けてこれらの役割・効果・影響の変化の予測や、望ましい変化のあり方を考えられるようにする。</p> <p>イ ネットワーク上のコミュニティを含むさまざまなコミュニティに、適切な姿勢・態度で参加した上で、必要な場合はリーダーシップを取ってコミュニティの目的達成や合意形成に貢献できる。</p> <p>ウ 情報社会における規則や個人の責任、安全性とそれをおびやかす要因について理解した上で、個人や集団が安全・安心に活動するための指針や規則を考えることができる。</p>

この目標は、現在の高校情報科に含まれている内容に(1)ソフトウェア開発の視点、(2)実際に役立つものが作れる、という2点を追加した形になっており、CS・プログラミングに関する水準でいえば、他国の高校段階の内容と比べて遜色はない。表17に対応する学習内容案を示す。

全体的な内容・水準は現在の情報科より強化されているが、中学校段階の学習を前提とすれば無理のない内容・水準だと考える(中学校の案に含まれないデータベース、ソフトウェア開発、モデル化とシミュレーションなどが新たに学ぶ内容となる)。

コンピューティングについては、プログラミング言語を用いたソフトウェア開発を実践するとともに、計算量などの基本概念とモデル化・シミュレーションとそれらに基づく問題解決について扱う。実践力では、情報技術を活用した問題解決活動と、データの扱いやデータベースによるデータの蓄積などを扱う。参画する態度では、コンピューティングの果たす役割や個人の責任を理解するとともに、コミュニティでの適切な態度やリーダーシップまでを扱う。

以上は全員に学んでほしい内容だったが、興味・関心を

表 18 高等学校段階のより高度な内容案

Table 18 Proposal: Advanced course for high school.

A コンピューティングの理解と活用
<ul style="list-style-type: none"> ・変数と代入および順次実行の本質 ・数値の表現と限界, 数値計算と誤差 ・制御構造を持つ意味, 分岐と反復の本質 ・プログラムの意味/表現の多様性, 仕様とテスト・テストケース ・1変数方程式の求解, 数え上げ, 2分探索, Newton 法 ・手続きと抽象化, 手続きの定義と呼び出し, 再帰手続き ・素数の列挙, さまざまな工夫による改良 ・データ構造, 配列, 合計/最大/最小/探索, 順列の生成 ・2次元配列, 画像の生成, 画像の加工 ・整列: 挿入法/選択法/バブルソート/マージソート/... ・時間計算量, 空間計算量 ・乱数と擬似乱数, 乱択, モンテカルロ法, ゲームと乱数 ・動的計画法, 文字列の編集距離, パターン認識 ・抽象データ型, オブジェクト指向 ・動的データ構造, 線形リスト, 二分木, グラフ ・スタックとキュー, 深さ優先/幅優先の辿り, 状態空間の探索

持つ生徒には, より進んだ内容・概念を学び, コンピューティングに関する学習をより深める機会を提供することが重要だと考える. そのような機会は, 前述したコンピューティングが持つ能動的学習の側面を考えるなら, これらに興味・関心を持つ生徒の学びを大きく進める可能性も考え, すべての学校において提供されるべきである. その内容案を表 18 に示す.

この内容は, CS の基礎部分を中心としており, 一部の大学で1年次教育の内容として提供されているものを参考にしている. ここで重要なのは, これらの内容を単に講義形式などで学ぶのでは意味がなく, 実際に各テーマを自分でプログラムの形にして演習することにより, 調べたり考えたりする力をつけさせることが必須だという点である. したがって, これらの内容を扱う教員にはそれに対応する専門性と技量が必要となる.

8. まとめ

近年の初等中等段階における情報教育において, 意欲的な各国では早い段階(小学校段階や中学校段階)からCS(コンピュータサイエンス)・プログラミングの学習に注力することが多くなってきている. このことをふまえ, 本稿では, わが国の情報教育のカリキュラム体系を新たに提案することをめざした.

そのため, まず2章において進んだ情報教育に着手している各国の状況について整理とまとめを行い, 以降の検討における比較のものさしを準備した.

3章ではこれまでのわが国の情報教育における学習目標であった「情報活用能力の3観点」について見直し, コンピューティングを主要な要素として取り込んだ「新・3観点」を提案した. さらに4章では, 各学校段階に学習内容を配分する方針を提案した. その要点は, (1) 小学校では算数科・国語科・生活科・社会科の各教科に情報教育の内容を追加する, (2) 中学校では情報科を新設し, 現在の高校情報科より多い時間数を全員が学ぶようにする, (3) 高

校では中学校までの学習を前提とし, 現在の情報科と同程度の時間数を全員が学ぶことで他国と遜色ない水準までの学習を行うとともに, 興味・関心を持つ生徒に向けた内容も追加し, ここではプロジェクト型などで進んだ内容を扱う, というものである.

5~7章では小学校・中学校・高等学校の各段階ごとに学習目標と学ぶ内容の提案を行うとともに, その適切さや実現性について他国の状況や現在のわが国の情報教育の内容に基づき検討した.

本提案は情報科の望まれる内容という観点からの全体像の検討が中心であり, これを実際に実施するとした場合の細かい検討はまだ行えていない. とくに中学校での新教科設置, 小学校での算数科・国語科・生活科・社会科の中での単元割当てについては難しい問題があることは了解している. ただし, 冒頭で述べたように, 体系的な情報教育の実施はわが国にとってぜひとも必要なことであり, 今後関係各位のご意見をうかがいながら提案を精選したい.

謝辞 本研究の内容について, 日本情報科教育学会関東・東北支部プログラミング教育委員会, 情報処理学会情報処理教育委員会, 情報処理学会初等中等教育委員会において多くの議論をいただいたことを, ここに感謝します.

参考文献

- [1] Baron, G.-L., Drot-Delange, B., Grandbastien, M. and Tort, F.: Computer Science Education in French Secondary Schools: Historical and Didactical Perspective, *ACM TOCE*, Vol.14, No.2, Article 11 (2014).
- [2] Bell, T., Andreae, P. and Robins, A.: A Case Study of the Introduction Computer Science in NZ Schools, *ACM TOCE*, Vol.14, No.2, Article 10 (2014).
- [3] British Royal Society: Shutdown or Restart: The Way Forward for Computing in UK Schools (2012), available from (<http://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-Computing-in-Schools.pdf>).
- [4] Brown, N.C.C., Sentance, S., Crick, T. and Humphreys, S.: Restart: The Resurgence of Computer Science in UK Schools, *ACM TOCE*, Vol.14, No.2, Article 9 (2014).
- [5] College Board: Computer Science Principles (2013), available from (<http://www.collegeboard.com/html/computerscience/>).
- [6] CSTA: High School Computer Science Surveys (2013), available from (<http://csta.acm.org/Research/sub/HighSchoolSurveys.html>).
- [7] Denning, P.J. et al.: Computing as a discipline, *CACM*, Vol.32, Issue 1, pp.9-23 (1989).
- [8] Department of Education: National curriculum from September 2014 (2013), available from (<http://www.gov.uk/government/collections/national-curriculum/>).
- [9] Gal-Ezer, J., Beer, C., Harel, D. and Yehudal, A.: A High School Program in Computer Science, *IEEE Computer*, Vol.28, No.1, pp.17-29 (1995).
- [10] Gal-Ezer, J. and Stephenson, C.: A Tale of Two Countries: Successes and Challenges in K-12 Computer Science Education in Israel and United States, *ACM*

- TOCE, Vol.14, No.2, Article 8 (2014).
- [11] 萩谷昌己：情報学を定義する—情報学の参照基準，情報処理，Vol.55, No.7, pp.734-743 (2014).
 - [12] 情報入試研究会：情報入試フォーラム 2012 資料集 (2012)，入手先 (<http://jnsj.jp/?p=18>).
 - [13] Joint Task Force for Computing Curricula 2005: Computing Curricula 2005: The Overview Report (2005)，available from (<http://www.acm.org/education/curricula-recommendations>).
 - [14] 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.SIG 11 (PRO 12)，pp.78-90 (2001).
 - [15] Khenner, E. and Semakin, I.: School Subject Informatics (Computer Science) in Russia: Educational Relevant Areas, *ACM TOCE*, Vol.14, No.2, Article 14 (2014).
 - [16] 久野 靖，小泉力一，宮寺庸造，夜久竹夫：コンピューティングを基盤とした情報教育の再規定，情報処理学会情報教育シンポジウム SSS2014 論文集，pp.111-118 (2014).
 - [17] 文部科学省：高等学校学習指導要領解説情報編 (2004)，入手先 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/1282000.htm).
 - [18] 文部科学省：小学校学習指導要領解説 (2008)，入手先 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/syokaisetsu/).
 - [19] 文部科学省：中学校学習指導要領解説 (2008)，入手先 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chukaisetsu/).
 - [20] 文部省：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 (1997).
 - [21] 内閣：世界最先端 IT 国家創造宣言 (閣議決定) (2013)，入手先 (http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/pdf/it_kokkasouzousengen.pdf).
 - [22] Olson, P.: Why Estonia Has Started Teaching Its First-Graders To Code, *Forbes* (2012)，available from (<http://www.forbes.com/sites/parmyolson/2012/09/06/why-estonia-has-started-teaching-its-first-graders-to-code/>).
 - [23] Rolandsson, L., Skogh, I.-B.: Programming in School: Look Back to Move Forward, *ACM TOCE*, Vol.14, No.2, Article 2 (2014).
 - [24] Tucker, A., Seehorn, D., Carey, S. et al.: CSTA K-12 Computer Science Standards (Revised 2011), CSTA Standards Task Force (2011)，available from (<http://csta.acm.org/Curriculum/sub/K12Standards.html>).
 - [25] 渡辺敦司：2014 年度高校教科書採択状況文科省まとめ (下)，内外教育，2014-01-28, pp.10-19 (2014).
 - [26] Wing, J.M.: Computational Thinking, *CACM*, Vol.49, No.3, pp.33-35 (2006).

推薦文

本論文は，情報教育，とくに小学校，中学校，高等学校における教育を，内容のみならず具体的な科目構成についてまで考え，諸外国における状況分析もふまえて考察している。わが国における情報教育は，多数のネガティブな社会的かつ教育的な諸要因により，きわめて劣悪な状況に置かれている。2003 年度開始の高等学校教科「情報」は，ありとあらゆる方面からの批判と無視により，いまだその成果をあげたというには程遠いのが現状であろう。この状況を

打開するには様々な方策や活動が必要であるが，本論文のような，(1) 世界的視点に基づく考察，(2) コンピューティング教育の本質的な重要性，(3) 初等中等教育における具体的な教育内容と科目，という正攻法はまず第 1 に重要である。また，このような内容に賛同する教員や教育行政に携わる人々を増やしていく努力，および学会の関与も欠かすことができない。そのような活動の原動力として本論文の内容は大変貴重なものである。

(論文誌「教育とコンピュータ」アドバイザー 川合 慧)



久野 靖 (正会員)

1956 年生。1984 年東京工業大学大学院理工学研究科情報科学専攻博士後期課程単位取得退学。同年同大学理学部情報科学科助手。筑波大学講師，助教を経て，現在，同大学ビジネスサイエンス系教授。理学博士。プログラミング言語，ユーザインタフェース，情報教育に関心を持つ。情報処理学会情報処理教育委員会・初等中等教育委員会委員。ACM, IEEE-CS, 日本ソフトウェア科学会，日本情報科教育学会各会員。



和田 勉 (正会員)

1955 年生。1978 年早稲田大学理学部電気工学科卒業。1983 年筑波大学大学院博士課程数学研究科単位取得満期退学。同年東京大学生産技術研究所技官。1984 年長野大学産業社会学部専任講師。同助教授，同教授。現在，同企業情報学部教授。2006 年大韓民国高麗大学師範学部コンピュータ教育学科招聘教授。本会情報処理教育委員会初等中等教育委員長，シニア会員，代表会員。ACM, CIEC, ソフトウェア技術者協会各会員。



中山 泰一 (正会員)

1965年生。1988年東京大学工学部計
数工学科卒業。1993年同大学大学院
工学系研究科情報工学専攻博士課程修
了。博士(工学)。同年電気通信大学
情報工学科助手。現在、同大学大学院
情報理工学研究科准教授。北陸先端科

学技術大学院大学教育連携客員准教授。オペレーティン
グ・システム, 並列処理, 情報教育等に興味を持つ。情報処
理学会論文誌編集委員会主査, 論文誌「教育とコンピュ
ータ」編集幹事, 情報入試WG幹事, 教員免許更新講習WG
幹事等を務める。2014年度学会活動貢献賞受賞。電子情
報通信学会, IEEE-CS等の会員。