

2010 年代の日本の教育用数学ソフトに必要なこと

- GC/html5 の開発と実践からの提言 -

愛知教育大学・数学教育講座 飯島 康之

Yasuyuki Iijima

Department of Mathematics Education

Aichi University of Education

1. はじめに

GeoGebra などに代表される無料のツール型数学用ソフトの開発や普及は、世界的な規模で行われ、本研究集会でも数年前からそれらに関する研究発表が増えてきた。mathematica, Maple のような数式処理ソフト, cabri, Geometer's SketchPad のような動的幾何ソフト(以下では作図ツールという言葉とほぼ同義)が商用ソフトとして開発され教育現場で利用された時代から次の時代に移ろうとしているのかもしれない。しかし、日本の数学教育での ICT 利用の状況を踏まえると、「高機能な数学ソフトが無料で使える」ということだけでは、日本の中学校・高校での数学教育で有意義な教育実践まで到達することは難しいのではないだろうか。飯島(2012)の中でも「巨大化していく作図ツールは中等教育現場に適しているのか」と疑問を投げかけたが、本稿では、作図ツール GC の開発や実践に基づいて、2010 年代の教育用数学ソフトに関する課題を明確化するとともに GC/html5 に関して試みていることを述べる。

2. ツール型ソフトから見た日本の数学教育での ICT 利用

2.1 1990 年代の素朴なパラダイム

世界的には、cabri, Geometer's SketchPad, 日本国内なら、筆者が開発した GC や日本 IBM による GeoBlock などが動的幾何ソフトの端緒といえるが、それらが生まれたのは 80 年代末あるいは 90 年代初頭である。学校のコンピュータ室の整備と合わせて考えれば、それらのツール型ソフトが使われるようになったのは 90 年代ということができる。これらのソフトを使って「いろいろな数学の問題について取り組むことができる」ことが始まった時代ともいえる。King らによる「Geometry Turned On! - Dynamic Software in Learning, Teaching, and Research -」という本がアメリカ数学会から 1997 年に出版されたが、まさに「幾何にスイッチが入った」という思いは、

当時、このような開発・研究に関わっていた人々に共通の認識だったと思う。そして、少なくとも個人的には、次のような素朴な考え(パラダイム)を抱いていた。

- (1) いい数学ソフトをつくれば(あれば), 数学的探究の世界は大きく広がる。
- (2) そのソフトの普及が適切に進み, 「必要に応じて, いつでもどこでも使える」ようになることが望ましい。(有料, 無料の別を問わず)
- (3) (1)が認知され, (2)の裏付けがあれば, いずれ, ソフトの利用を前提とした教育目標等が設定され, 21 世紀的な数学スキルが確立され, 数学教育は次のステップに移行する。

90年代は, いろいろな中学校で, GCやcabri, Geometer's SketchPadなどを使ったさまざまな実践が生まれ, その成果はいくつかの本にまとめられた(飯島(1995, 1997), 能田・中山(1996), 清水・垣花(1999), 川崎市中学校数学科研究会(1999))。

2.2 2000-2010は「失われた10年?」それとも、「新しい着地点のための10年?」

90年代に, さまざまな実践がなされたとはいっても, それは限られた学校での実践であった。中規模以上の学校では, 学校に一つしかないコンピュータ室を数学の授業ばかりすることは現実的でない。cabriのような商業ソフトでは予算の確保が必要になる。いや, GCのような無償ソフトでも, 勝手にインストールすることはできないだけでなく, 無償ソフトだからインストールできないというケースもあり, 本格的な普及・実践には大きな壁があった。

2000年前後には, 教育でのICTに関する指針が大きく変化した。たとえば, 「教育の情報化」では, コンピュータ室での利用から普通教室での利用, インターネット利用, プロジェクタ(や電子黒板)の整備, 教科書準拠コンテンツ(現在の教師用デジタル教科書)の開発などが新しい指針になった。筆者は作図ツールコンソーシアムをつくり, 教育の情報化に関する事業の一つであった, 学習資源デジタル化・ネットワーク化推進事業に関わった。ゼータ社と共同でGC/Javaを開発し, これを利用した教科書準拠コンテンツを提供するとともに, インターネット接続され, Javaが利用可能なブラウザさえあれば, どこでも動的幾何ソフトが使える環境を提供した(飯島(2001))。

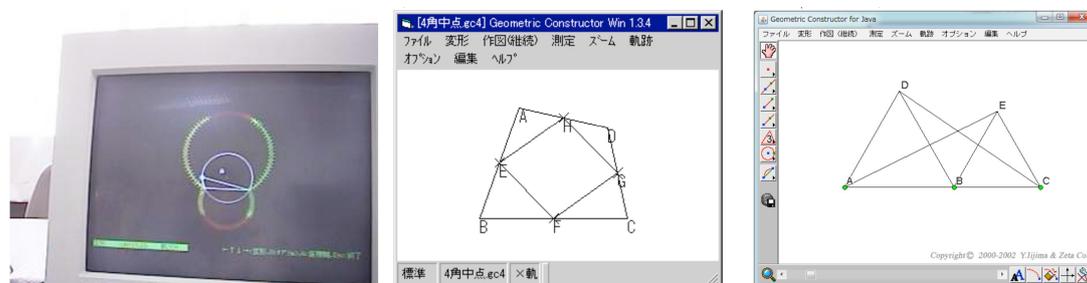


図-1 GC/DOS(1989), GC/Win(1997), GC/Java(2000)

Windows アプリケーションのインストールという壁がなくなったにも関わらず、2000年以降、ツール型ソフトを利用した実践は大きく減少した。おそらく最大の原因は、学習指導要領改訂である。時間数と内容が削減され、学力低下の懸念が生まれ、個に応じた指導として少人数指導やTTが増えた。基礎学力重視や絶対評価などの動きにも連動して、それまで以上に教科書に沿った授業が実施されるようになり、ICTを使い、教科書から少し離れた探究的な授業をすることは、難しくなったのだと思う。

90年代に、先進的な学校で行われた探究的な授業を念頭におけば、この10年はいわば、「失われた10年」である。しかも、教師集団の中に「そのような授業に接することがない世代」が生まれてしまった。

一方、この10年で進展してきたものの一つは、デジタル教科書、特に教師用デジタル教科書である。数回の改訂を経る中で、教師用デジタル教科書は、一定レベルに到達してきた。普通教室の中で普段行う授業の中で、大画面(プロジェクタ・電子黒板など)を活用するという意味で、日本の伝統的な一斉指導のノウハウに適した、新しいICT利用の着地点を確立したのが、この10年ということもできるかもしれない。

2.3 タブレットが生徒用端末になると想定される2020年代

iPadに代表されるタブレット端末の登場は、衝撃的であった。社会の中でのタブレット端末の浸透の度合いと比較すると、教育現場での利用は遅々として進まないけれども、学習者用デジタル教科書の研究開発が始まるなど、近い将来において、生徒の学習用端末としてこれらを使いこなす教育が不可欠になると思われる。その近い将来として、2020年代を想定するなら、その時点において適切な教育実践と結びつくような準備を行うために今できること、つまり2010年代における教育用数学ソフトのあり方や、準備としての教育研究・実践について提案していくことが不可欠であろう。

2.4 デジタル教科書によるICT利用に内在する問題点

今回の数学の学習指導要領改訂では、ICTという観点ではいくつかの変化があった。たとえば、中学校の「資料の活用」では、コンピュータ利用を前提としている。また、学習指導要領解説の中では、「教具としての活用」に関しては、「教具としてのコンピュータは、それを活用して教師の指導方法を工夫改善していく道具であると同時に、観察、操作や実験などの活動を通して生徒が学習を深めたり、数学的活動の楽しさを実感できるようにする道具である」という位置づけとともに、いくつかの具体的な例を示している。高校の学習指導要領解説では、数学活用をはじめとして、さまざまな部分でコンピュータ利用のためのアイデアが盛り込まれている。

デジタル教科書は、教科書会社を中心となって、教科書や学習指導要領に準拠して開発する。現在の学習指導要領は、資料の活用のように、コンピュータ利用を前提と

した部分もあるけれども、全体的にはそれほど大きく変わっていない。解説での記述等が変わったといっても、それらをどう具現化するかは、教科書会社に委ねられている。しかも、デジタル教科書は閉じた市場のみで流通する商品である。中学校教員であっても、使用している教科書以外のデジタル教科書に触れる機会もない。教師用デジタル教科書の価格が1学年あたり5万円程度であることを考えれば、学校以外で購入し、触れる機会もほぼないだろう。さらに生徒用デジタル教科書は、クラウド的なシステムの中で提供される可能性が高いことを考えると、学校以外の環境でそれに触れることは難しいと想像される。つまり、デジタル教科書は学校という場所に限定され、当事者以外がほとんど関わりを持たない閉じた存在になる可能性が高い。

実際、現在の教師用デジタル教科書に、90年代のソフトや実践の成果は反映されているといえるだろうか。組み込まれているコンテンツは、その問題以外のさまざまな数学的探究に開かれているものなのだろうか。現在のフランスの教科書には、cabriやGeoGebraの利用を組み込んでいるものがあることと比べると対照的なのである。

2.5 ツール型ソフトに関連する研究が2010年代にしておくべき課題

2020年代に、タブレット端末やデジタル教科書を中心とした次世代のICT利用が進んでいくと想定するならば、2010年代はさまざまな試行を多くの先生方が経験し、教育利用としての利点や欠点を実感して2020年代のための基準を構築していくべきであろう。少なくとも、GeoGebraなどのツール型ソフトに研究に関連して、今後の日本の数学教育の中で、ツール型の数学用教育ソフトの利用を推進していくためには、その利点を多くの先生方が実感できるようなソフトやコンテンツの提供をしていくことが不可欠であろう。

実際、90年代の実践を支えてきた先生方、つまり「DOSの時代から作図ツールを使ってきた方々は、探究的な授業を実現するための道具としての魅力を感じてきた。それは一定の効果と満足を実現してきたから、それらの先生方にとってはある程度定着した。しかし、残念なことに、そういう授業のため『だけ』の道具として作図ツールを考えた場合、それは『すべての教員にとっての道具』にはならない」(飯島(2001))。普段の授業の中で使う場合、学習指導要領解説にあるように、「観察、操作や実験などの活動を通して生徒が学習を深めたり、数学的活動の楽しさを実感できるようにする道具」であるべきで、その入り口は、教科書に掲載されている具体的な問題であって、汎用的なツールとしての動的幾何ソフトであること以上に、その問題に取り組むためのコンテンツであることが求められる。

3. 教育用ソフトの開発における課題と GC/html5 での解決策

3.1 基本的な問題点 = 汎用ソフト vs. 具体的コンテンツ

ツール型数学ソフトの最大の利点は汎用性にある。特定の問題に関する問題解決を支援するのではなく、いわば、新しい思考の道具を提供することにある。一方、現在の学習指導要領は、その存在を前提としているわけではない。基本的には、従来通りの枠組みの中で、観察・操作・実験などの活動を活性化するためのコンテンツを提供するものとしての役割が求められている。

3.2 研究授業を実施する上での現在の問題点

また現在、タブレット端末等を普通教室で利用した授業を中学校等で行おうと思うと、次のような問題点がある。

- (1) タブレット端末がある学校はとても少ない。
- (2) 備品としてのタブレット端末の場合、校内の無線 LAN を使うことはできるが、授業のために使いたいアプリをインストールできないことが多い。
- (3) 研究授業のために備品以外の機器を用意する場合、校内の LAN を使えない。(各地方自治体で決められた学校内のネットワーク利用ポリシーによる問題)
- (4) タブレット端末として使える機器は、Windows8, iOS, Android など多岐にわたる。

上記の問題点に関して、GC/html5 の開発や利用等に関して試みていることを以下で述べる。

3.3 html5 + JavaScript により OS に依存しない開発

Windows 用商用ソフトは、Windows アプリケーションとして開発されているものが多い。また最近の Windows 用数学用教育フリーソフトは Java で開発されているものが多いが、iPad では、Windows アプリケーションも、Java も flash も動作しない。GeoGebra のように、iPad 用のアプリを別に開発しているケースもあるが、インターフェイス等が PC 版と iPad 版で異なる。Java で開発したものは web 経由で利用するものはインストール不要だが、iPad 版のアプリはインストールが不可欠である。

それに対して GC/html5 では、html5 + JavaScript で開発しているので、html5 対応のブラウザさえあれば、OS に依存することなく、多くの端末で動作可能である。また、html ファイルなので、web でアクセスすればそのまま利用可能なので、インストールは必要ない。別の言い方をすれば、html5 + JavaScript で開発すれば、OS に依存しないソフトを開発できることは自明のことであった。しかし、どの程度の規模まで実用的なものが作れるかが明確ではなかった。GC/html5(ver.2.3.1.3)では 467kB、約 15,000 行の規模だが、この程度のものならば現行のタブレット端末等でも十分に実用的なのである。

3.4 GC/html5 をコンテンツとして利用する 2 つの方法

ツール型ソフトは一般的に、一つの汎用ソフトを基に、さまざまなファイルを保存/読込を行うのが基本である。起動時には白紙の状態、必要なファイルを読み込んで利用するのが基本的なスタイルである。一方コンテンツは、教科書等の問題文等に対するリンクをクリックすると関連する図が直接開かれるべきものである。

そこで、GC/html5 ではオンライン保存した図を直接表示する方法として、次の 2 つの形式が使えるようにした。

- (1)GC 本体ファイル + クエリーで指定した図形ファイルと各種設定
- (2)GC 本体と図形・設定等の単一化ファイル

前者の場合には、次のような url をコンテンツへのリンクとして使える。GC.htm 本体をバージョンアップすることで最新版での表示が可能になる。

http://ijima.auemath.aichi-edu.ac.jp/ftp/yijima/gc_html5_test/GC.htm?file=00337-Moery.gcx

また、後者の場合には次の url または、この url で取得される html ファイル自身をコンテンツとして利用することができる。(GC 本体はデータ作成時のものがそのまま使われる。)

http://ijima.auemath.aichi-edu.ac.jp/ftp/yijima/gc_html5_test/gchtml/gc_00337-Moery.htm

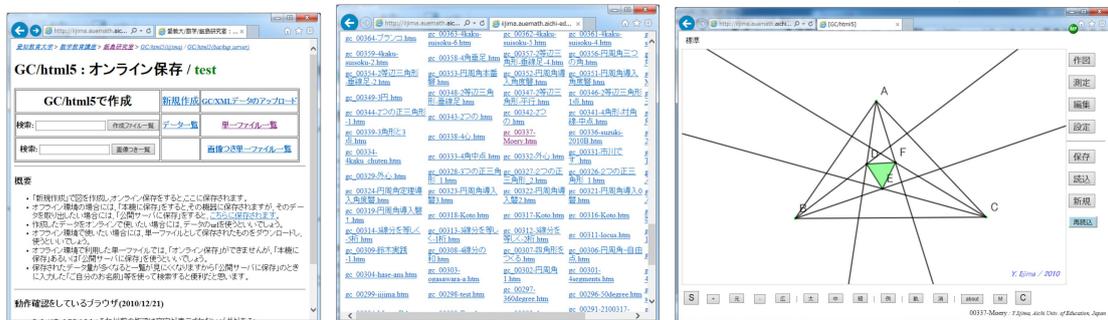


図-2 GC/html5 (2010) のオンライン保存とその利用

これらは表示すれば当該の図形を表示し、その図形に対する動的探究が可能なコンテンツであると同時に、図形のオンライン保存や新規作成なども含めてソフトの機能すべてを使える形で提供される動的幾何ソフトそのものでもある。

3.5 単一化ファイルと dropBox 等との連携による「無線 LAN なしでの運用」

大学や附属学校など、web へのアクセスが自由に行える環境で利用する場合には、上記のどちらの方法でも問題ないが、インターネット利用ができない学校に研究授業用の機器を持ち込んで利用する場合には、飯島(2012)に示したように、単一化ファ

イルが有効になる。PC の場合には、ハードディスク等に **html** ファイルを保存し、直接開くことができる。また iPad では直接ファイルを保存することはできないが、**dropBox** でファイルを配信したり、**Documents by Readdle** でファイルを保存しておくことによって、ネット環境なくてもファイルの利用が可能になる。本体のファイルと図形のファイルが分割されている場合には不可能だが、一つの **html** ファイルに単一化されていることで、それらが可能になる。

3.6 授業での利用を想定した標準的な web コンテンツの提供と自由にコンテンツを作れるための工夫

ツール型ソフトの利点は、汎用性であり、自分の問題に則してさまざまな利用が可能なことである。しかし、初めて接する人は、何をしたいかがわからず、戸惑うことが多い。特に研究授業等での利用の場合、可能であれば、教科書に準拠した標準的コンテンツが提供できるといい。著作権等の問題でそれが難しい場合は、標準的なコンテンツが整備され、その **url** にアクセスする、あるいはそのファイルをダウンロードして開くだけで使える程度に整備しておくことが必要になる。(本来は、教材や授業に関して議論できるコミュニティを形成することが重要である。)

GC/html5 の場合、まず、オンライン保存可能な **GC/html5** のサイトを、一般利用向け、特定利用向け(学校・個人・授業別など)に合わせて複数用意し、目的別に利用している。インターネット経由で利用する場合には、ここで作成されているそれぞれのファイルの **url** を利用し、独自のコンテンツを作成することができる。また、オフラインで利用する場合には、それぞれの単一化ファイルをダウンロードして使うことになる。そして、標準的なコンテンツ例などを含む教材サイトとして、**GC/Resource Center**(http://www.auemath.aichi-edu.ac.jp/teacher/ijijima/gc_rc/)を構築している。

The screenshot shows the GC Resource Center website interface. On the left is a navigation menu with categories like 'はじめに', '授業の基本', '教材研究', and 'News'. The main content area is titled 'はじめに' and contains introductory text. On the right, there is a section titled 'オンライン保存 / Online Saving' which includes a table for '公開共有' (Public Sharing) and 'その他(目的別)' (Other (by purpose)).

公開共有	
test	HTML5ファイル
international	HTML5ファイル

その他(目的別)	
愛知教育大学附属名古屋中学校	HTML5ファイル
愛知教育大学附属岡崎中学校	HTML5ファイル
能本大学附属中学校	HTML5ファイル
穂巻先生	HTML5ファイル
武藤先生	HTML5ファイル
松藤先生	HTML5ファイル
宇治野先生	HTML5ファイル
鈴木清次先生	HTML5ファイル
愛知教育大学 数学CHI(2013前期全1)	HTML5ファイル
愛知教育大学 数学CHI(2013前期全1)	HTML5ファイル
愛知教育大学 数学CHI(2012後期全1)	HTML5ファイル
愛知教育大学 数学CHI(2012後期全2)	HTML5ファイル
飯島	HTML5ファイル
飯島(Resource Center)	HTML5ファイル

図-3 GC Resource Center とオンライン保存一覧

4. 授業の中で適切に使われるために必要なこととしての「生徒の数学的活動の明確化」

4.1 基本的な着目点

ソフトを使うからには、手での作業(計算, 作図)ではできないことが可能である。しかし、「ソフトで実現されるすごいこと」を見せたらいい授業が実現できるわけではない。極端な場合、「だからなんなの?」という気持ちしか引き起こさないこともある。Polya は”How to Solve It(1945)”の中で, “the students shall have a reasonable share of work”と述べているが, 生徒が果たすべき役割あるいは生徒の数学的活動を明確にしておくことが不可欠である。そして, ソフトが行うべきことと, ユーザー(生徒)が行うべきこと, そして教師が行うべきことを明確化することが必要である。

たとえば, 文部科学省は「教育の情報化ビジョン(2011)」の中で, 一斉学習(指導), 個別学習, 協働学習をあげているが, それぞれの学びの形態に合わせた使い方, 教材, 指導事例等を整備することが必要になる。

以下では, GC/html5 を使った授業事例から, 例示しておきたい。

4.2 一斉指導：フリーハンド等の図を対比的に生かす

一斉指導では, 問題の理解や予想の発表や検証などに使うことが多い。ここでは問題を理解する上で, フリーハンド等の(正確でない)図を対比的に生かす例を上げておきたい。次のような指示・行動・問いを行う。

- (1) 紙の上に $\triangle ABC$ をかきなさい。
- (2) AB, BC, CA を直径とする 3 つの円をフリーハンドでかきなさい。
- (3) 教師がそれぞれの図に対して, 「ある観点に基づいて」口頭で採点する。
- (4) 今の採点の基準はなんでしょう。
- (5) (図-4 のような例を示して) どうしてこの図は減点されているのだろう。
- (6) GC で「正しい図」を観察し, 「起こってはいけないこと」を発見し, なぜ「起こってはいけないのか」を証明する。

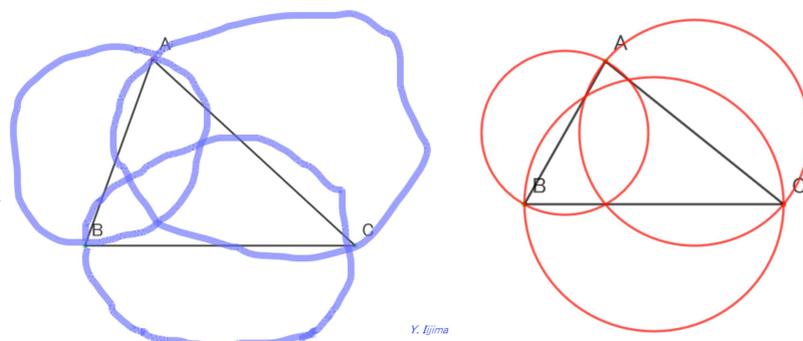


図-4 手書きの3つの円と GC/html5 で作図した3つの円

一斉指導の場では、 $\triangle ABC$ に対して円を一つずつ追加しながら、「どこに注目するのか、次に円を追加するとどこがどうなると思うか」等に焦点を当てながら、進めることが重要である。また、中学生の場合、「なぜ2つの円と線分が一点で交わるのか」という、正しい図を基にした問いに対する証明を考察することは難しい。むしろ、正しくない図を基に、「どうしてこの図ではまずいのか」を考える方が適切である。

4.3 協働学習：条件を満たす場所を探す

4人1台でiPadを使って、与えられた条件を満たす場所を探すのは、代表的な使い方の一つである。動点Pを動かして一つの場所を見つけることもあれば、条件を満たす点をプロットし、軌跡を見つける事例もある。少し複雑な事例を紹介する。

- (1) 図-4のような4地点A,B,C,Dに水を供給する水道タンクPを設置したい。
- (2) どういう条件を満たす場所にタンクを設置すればいいだろう。
- (3) ほとんどの場合、「平等な場所がいい」という発言があり、その明確化を求めると、「 $PA = PB = PC = PD$ 」という条件が発表される。
- (4) 実際にGCを使ってそのような場所を探す。
- (5) しかし、見つからない。2つの線分の長さが等しくなる場所はたくさんあり(垂直二等分線)、3つの線分の長さが等しくなる場所は1つずつ(合計4つ)見つかるが、4つの線分の長さが同時に等しくなる場所は見つからない。
- (6) 上記の観察を踏まえて、「そのような場所はない」ことを証明(説明)する。
- (7) この問題状況に対して、「 $PA = PB = PC = PD$ 」という条件は適切だったのかを検討する。すると、水道なのだから、等距離であることは必要ないことに気づく。むしろ、工費を考えると、「 $PA+PB+PC+PD$ を最小にする」ことが条件として適切であることがわかる。
- (8) 改めて動かしながら調べてみると、和を最小にする場所が見つかり、それを証明する。

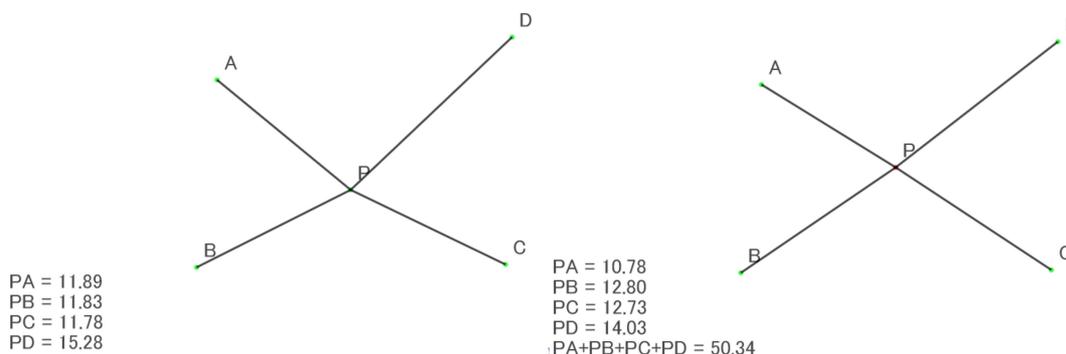


図-4 4辺の長さが等しい場所や合計の最短になる場所を探す

この事例の場合では、前半では「いくら探しても見つからない」ことを実感するために、そして後半では条件を満たす点を見つけるために使っているが、もう一つの重要なねらいは、最初の問題の定式化が適切でないことを実感し、問題を定式化しなおすという活動(数学的モデル化過程)を可能にするために GC を使っている点である。

5. おわりに

ツール型ソフトは、いわば思考の道具である。道具がよくなれば、(同じ時間と労力で実行可能な)数学的活動はより深く、より広くなるのを実感し、いずれ数学教育は変わっていくはずだと思った。90年代のことである。でも現実には、教育はそう簡単には変わらない。長期的にみれば、ツール型ソフトは生徒にとっての思考の道具として扱われるものになっていくのではないかと思う。しかし、現在の日本の教育にも部分的に受容され、教育実践が蓄積されていく上では、汎用ソフト vs コンテンツという対立軸を解消していくことが必要になる。あるいは、汎用ソフトをコンテンツ生成ソフトとして使ったり、コンテンツそのものが汎用ソフトとして使えるシームレスな状況を目指したい。また、現実的な学校の状況を考えると、ネットが使える環境、使えない環境であっても、それほど不便を感じることなく使えるノウハウを提供していくことも必要になる。そして、授業者にとって本質的でないところで負担を感じることを軽減していくことが必要になる。そのような改良はツール型ソフト開発の核心部ではないかもしれないが、教育用ソフトであるためには不可欠な部分である。

教育用ソフトであるためにさらに重要なのは、どのような教育目標の実現に結びつくのか、どのような教材でどのような授業をすることができるのか等の基本的な知識・スキルを確立し、人のコミュニティを形成しながら共有していくことである。特にこの領域を確固たるものにしていくには、数学者・数学教育者・教育実践者など、さまざまな立場の人々のコラボレーションが不可欠であり、今後もこの研究集会などを核として進めていきたい。

参考文献

- [1] 飯島康之, 作図ツール GC/html5 ビューア版の開発と iPad を使った教育実践, 京都大学数理解析研究所講究録, 1780, pp.243-254, 2012.
- [2] King, J.R., Schattschneider, D. (eds), *Geometry Turned On! – Dynamic Software in Learning, Teaching, and Research*, The Mathematical Association of America, 1997.
- [3] 飯島康之・磯田正美・大久保和義編著, コンピュータで数学授業を変えよう - 作

- 図ツール GC による図形の指導 - , 明治図書, 1995.
- [4] 飯島康之編著, GC を活用した図形の指導, 明治図書, 1997.
- [5] 能田伸彦・中山和彦編, 自らが学ぶ図形の世界・先生・生徒・コンピュータが作る新しい授業 -, 筑波出版会, 1996.
- [6] 清水克彦・垣花京子編著, コンピュータで支援する生徒の活動・数学科・図形分野での新しい展開 -, 明治図書, 1999.
- [7] 川崎市中学校数学科研究会, 図形が動くと授業が変わる・平面図形の探究学習事例集 -, 明治図書, 1999.
- [8] 飯島康之, 教育用ソフトと教材のインターネット上での整備 - 作図ツールコンソーシアムが行ったことの報告と提言, 算数教育, 日本数学教育学会誌, Vol. 83, No. 12, pp.13-24, 2001.
- [9] Brault, R. et al. Mathematiques 3e, Hachette Education, 2008
- [10] 飯島康之, 作図ツール GC/html5 の利用形態について - 現在の学校のネットワーク状況を踏まえて -, 日本科学教育学会研究会研究報告, Vol.26, No.8, pp.35-38, 2012
- [11] 文部科学省, 教育の情報化ビジョンについて, 2011, http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/1305484.htm