

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

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 問題の所在

1.1 GC の開発・実践の経緯から

Geometric Constructor(以下, GC と略す) は, 飯島 (2010) にまとめてあるように, 筆者が開発した作図ツールで, DOS 版は 1989 年から, Windows 版は 1998 年から, そして Java 版は, 2000 年から公開している. これらの利用は, 1990 年代は, コンピュータ室において, 2 人 1 台程度の使い方, 1 時間あるいは 2 時間構成による探究的な使い方が中心であった. その後, 学習指導要領の改訂に伴い, 中学校数学の内容と時間数が削減されたことと, 文部科学省による教育の情報化によって, 普通教室でプロジェクタと 1 台のパソコンを使った大画面での提示的な使い方が中心に切り替わったことによって, 2000 年代は, 普通教室でプロジェクタを利用した使い方が中心になった. プロジェクタを中心とした使い方の場合, 動的に図形を動かすことによって問題提示等を行うのだが, 個人あるいはグループによる追究の場面においてはコンピュータは使わない. むしろ, 紙と鉛筆によってフリーハンドの図を作図したり, 補助線を追加して証明を考えるというような授業形態が中心になった.

1990 年代のように, 生徒自身による追究の場面において, 作図ツールを使わせることはできないだろうか. しかも, 授業のやりやすさ等を考慮すると, 普通教室で, グループに 1 台程度の機器を配布し, 限られた時間であっても作図ツールを使った探究の場面を実現したい. それが 2000 年以降の一つの課題であった.

このような状態に突破口を与えたのは, いわゆるネットブックの登場である. 私たちの研究においても, 2009 年に, 普通教室に 10 台 (4 人に 1 台) のネットブックを導入してグループ 1 台による探究を中心とした授業を実施した (飯島 (2009)). この実践においては, 当初の目的は達成されたものの, 利用する機器 (ネットブック) は, パソコンそのものであることから, 次のような問題点が明らかになった.

- (1) 起動時に時間を要する (設定しておいても, 長押しで再起動してしまう生徒の存在
- (2) 個々の機器に関する設定や管理のコストは軽減されない.

1.2 iPadのインパクト = タブレット端末による解消の可能性

ネットブックがPCであることに起因する問題は、2010年に登場したiPadによって、その多くが解消されることを示唆した。つまり、「開けばすぐに使える / 閉じるだけでスタンバイになる / バッテリーが長時間使える」という性質は、PCの問題点を解消してくれる。さらに、マウスやスタイラスペンではなく、指タッチによる操作は、生徒にとって、直感的な操作を実現するだけでなく、複数の点を同時に動かすことや、複数の生徒が操作できる可能性を提供するなど、いくつかの可能性を提供していた。

一方、iPadでは、GCに関する既存のソフト (GC/DOS, GC/Win, GC/Java) が一切動作しないだけでなく、flashさえ動作しないことは、iPadを念頭に置いたソフト開発の必要性を意味すると同時に、PCと比較すると非力なiPadにとって、それらは満足する程度に動作するかどうかの検証も、一つの研究課題を与えていた。

1.3 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

一方作図ツールに関する開発の状況を見渡したとき、上記とは別の問題点を感じていた。いわゆる創成期に生まれたいくつかのソフト (cabri, Geometer's SketchPad, GC など) は、数MBに収まるものであったが、最近ではGeoGebra(<http://www.geogebra.org/cms/>)に代表されるように、高機能化・大規模化が進んでいる。それに伴って、PCに対して一定以上のスペックが必要になるだけでなく、使いこなす上で、一定の知識・スキルを必要とするようになりつつある。特に中等教育現場において、大多数の生徒が気軽に使う状況を考えたとき、果たして重装備化は適切なのだろうかという問題である。

たとえば、iPadのようなタブレット端末を生徒用学習端末の候補として考えたときに、この程度のスペックの機器において快適に動作し、一定レベルのスキルと時間によって使えるような作図ツールとはどのようなものであろうかという問題である。

2 GCでの選択とビューア版開発で検証すべき課題

2.1 開発言語 = html5 + JavaScript

上記のような背景に対して、GCにおいては、html5 + JavaScriptによる開発によって、「軽い」ソフト開発を行う路線を選択した。このことが意味することをいくつかまとめておきたい。

(1) 多くの機器で動作する

iPad用のソフト開発に関しては、現在、Objective Cによるネイティブな開発と、html5 + JavaScriptによるwebコンテンツとしての開発の2種類がある。html5は実装途上の規格であるが、canvasなど数学用ソフト開発に不可欠なオブジェクトは (iPad用のSafariも含めて) すでに多くのブラウザで実装されている。そのため、この路線ならば、iPadの他、(新しいブラウザを) 搭載しているPCや、html5対応のブ

ブラウザを搭載している多くの機器 (さまざまなタブレット端末も含めて) で動作する。このような、「多くの機器で動作する」ということは、教育用ソフトにとっては重要なことである。(ただし、当然スクリプト言語は実行速度が劣るので、体感的な速度等に問題が発生しないかどうか等が付随的な問題になる)

- (2) インストール等が不要で、ソフトのアップデートもサーバ側を入れ換えるだけでよい

また、html5+JavaScript による開発の場合には、web へのアクセスのみでよいので、インストールやアップデートのような作業が必要ない。また、標準的なブラウザさえあれば、特定のプラグイン等をインストールする必要もない。これは、管理コストの大幅な削減につながる。

- (3) 現時点では開発効率は他言語に劣る

Java や .net framework などでは、これまでに膨大なライブラリが蓄積されている。また、visual studio や eclipse の統合環境は、開発の効率をかなり高めている。それらの状況と比較すると、html5 + JavaScript の開発効率は高くない。感覚的にはエディタ+ブラウザでの開発という、統合環境以前に戻った感さえある。言語仕様の発展と開発効率の増大が、大規模開発を可能にしていることを考えると、JavaScript による開発がどの程度の規模まで現実的なのか、またブラウザで読み込んで実行するファイルの規模もどの程度までが現実的なのかは、検証の必要な課題であるといえる。

- (4) ソースコードを遮蔽できないので、オープンソース的なスタンスになる

クライアントサイドで動作する形で開発する場合には、ソースコードを遮蔽することはできない。難読化などの手法もあるようだが、基本的にはオープンソースでの開発が基本になる。

- (5) スクリプト言語なので処理速度は速くない

Objective C によるネイティブな開発と比較すれば、スクリプト言語である JavaScript の動作は遅くなる。ただし、作図ツールのようなインタラクティブな利用のためのソフト開発では、数学的探究にとっての障害を感じさせるかどうかという体感速度が重要であるため、どのようなハードに対して、どのようなソフトであれば体感的に問題ないのかを明らかにすることの方が重要である。たとえば、作図ツールの開発に関して、html5+JavaScript と iPad という組み合わせによって、体感的に満足できるかどうか、それとも、Objective C などによってより速いソフトの開発をする方が現実的なかどうかは、実際に確かめる必要がある課題といえる。

2.2 GC ビューア版開発の目的

上記の背景に基づき、次のことを具体的な検証課題として、GC ビューア版を開発することにした。

- (1) GC 程度の作図ツールは、html5+JavaScript で実装可能か。

- (2) iPad 上での動作は、体感的に満足できるか。
- (3) 授業で利用した場合、ネットブック等と比較した利点・欠点はなにか。

3 GC/html5 ビューア版の開発と単体利用による検証

3.1 GC ビューア版開発のステップ

準備段階として、html5+JavaScript による習作をいくつか行った後、段階的に GC/html5 ビューア版を開発しては検証を重ねた。

(1) オブジェクトの実装

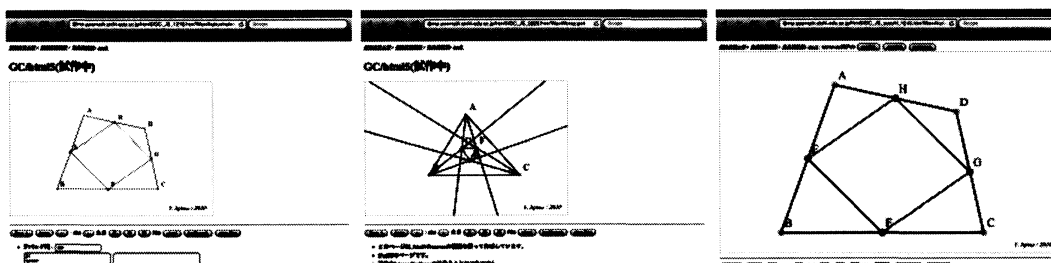
GC/Win における (visual basic での) ユーザー定義型で表現していた幾何的対象 (点, 直線, 円など) の他, GC/Win ではオブジェクトとしては扱っていなかった作図の手続きなどさまざまなものを JavaScript でのオブジェクトとして実装した。JavaScript でのオブジェクト指向は prototype を基本とするものであり, visual basic, Java などでのオブジェクトの実装の仕方と異なる点や, function における型の明示等がない部分が, 当初開発効率上での問題となったが, JavaScript なりに, 一定の規模のオブジェクト化ができることが分かった。

(2) 変形などの実装

PC におけるマウスや iPad におけるタッチなどによる変形などを実装した。なお, この機能をテストできるように, 最も基本的な図 (四角形の 4 辺の中点を結んでできる四角形の図) を作成する function を作成した。当初は, (GC/Win と同等の機能を実現するために) 一点のみを動かせるようにしたが, その後, iPad の場合には (5 つ以下の) 複数の点を同時に変形できるようにした。

(3) function のコードによる図形の表現と第一の単体検証

最も基本的な機能を実装できたので, 次のような基本的な図形を function のコードとして表現し, その動作等に関して, 複数のモニターに試してみた。

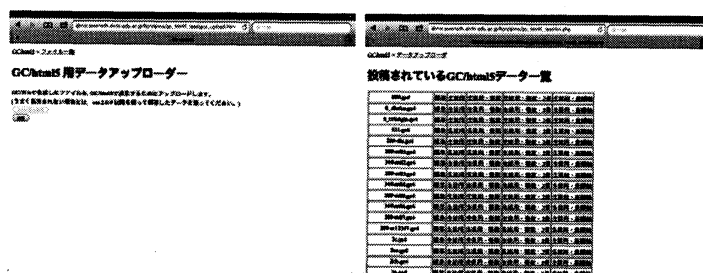


当初は, PC 内で GC/Java を使うときと同様に, 文書等の中に図を入れる形を念頭においていたが, 指で操作するには小さすぎることや線が細すぎるなどが指摘され, (大きすぎる例として作った) 全画面を使う試作が意外にも好評だったので, 問

題文等を入れることをやめ、全画面を図として表示することと、線やボタンは一定の太さ・大きさを確保することにした。

(4) GC/Win で作成したファイルの読み込み機能の実装

この時点では図形を独自に作成する機能は実装していないため、GC/Win で図形を作成・保存し、それを GC/html5 で読み込むことにした。そのため、GC/Win で作成したファイルの読み込み・変換・表示を行う機能を実装した。なお、GC/Win で作成する Shift-JIS コードのファイルは扱えないため、サーバへのアップロード・utf-8 への変換・リスト一覧の作成を行うツールも用意した。



ここまでで、授業等で検証するための最低限の機能が揃った。実際にさまざまな図を試すことで各種のバグ取りや、細かな修正を行った。

(5) 測定値などの表示

2 点間の距離や角の大きさなどを表示する機能を実装した。この機能の実装が遅くなったのには、ちょっとした理由がある。初期の iPad に搭載されていた Safari では、canvas 上での文字表示にバグがあった上、html5 上のテキストボックス等での数値表示では表示速度がとても遅くなる等の問題点があったので、実装を延期していたのだ。だが、iOS の update に伴ってそのバグが解消され、測定値も円滑に表示できるようになった。

(6) 軌跡などの機能の実装 / 「記録」ボタン

点や直線などの「跡」を残す機能である軌跡を実装した。しかし、GC/Win の場合とは違った実装が必要となり、軌跡が増えると表示速度が遅くなる問題が生じた。(この問題に対しては、まだ根本的な解決には至っていない。)

一方、この問題は(後述する授業の設計の段階で)新たな使い方や機能の追加を生んだ。もともと軌跡には、幾何的対象が動いた跡という意味と条件を満たす点の集合という意味の2種類がある。後者として使う場合、条件を満たす場合のみプロットすればよい。そしてそのような使い方ならば、軌跡を残す回数も激減するので、動きの鈍化もほとんど問題なくなる。そのため、「条件を満たす点の集合」を求める場合には、既存の軌跡機能ではなく、必要な場合だけにプロットする「記録」ボタンを実装することで、探究が円滑に行えるように改善を行った。

これらの機能を実装することによって、事前に用意された図を読み込み、表示し、変形・測定・軌跡等によって図形に関する生徒の探究を支援するための基本的な機能が揃った。

3.2 GC ビューア版の単体利用による検証

細かな検証と修正は、上記に示したステップの中で随時行ったが、ビューア版としての機能が整った中で2.2での項目に関してそれぞれ評価すると、次のようになった。

- (1) GC 程度の作図ツールは、html5+JavaScript で実装可能か。

問題なく実装可能で、iPad 用の Safari, PC 用の Internet Explorer 9, FireFox7, Safari 5, chrome 16, Opera 11 など主要ブラウザでの動作が確認できた。ソースコードにして130kb 程度(その後の正式版では360kb 程度)のものならば、十分実用的に開発することができることが分かった。

- (2) iPad 上での動作は、体感的に満足できるか。

PC のブラウザと比較すれば、点のドラッグに伴う幾何的対象の動きは多少緩慢になるが、インタラクティブな数学的探究の中で使う上ではほとんど問題ない。なお、大量の軌跡のように、大量な図形データの再描画を必要とするような場合には、支障が発生するので、それらに関しては、対策を講じる必要があることも分かった。

もっとも、これは GC/html5 と iPad の組み合わせに関してのことであって、他のデバイスや他のソフトにも通用するわけではない。実際、sony tablet の場合には、図形の動きが緩慢で、単体としての動作においても大きな不満を感じる結果となった。

4 授業実践による検証

単体としてのテストにクリアしたので、実際の授業で実践を行い、当初のねらいを達成できているかどうかの検証を行った。以下にその概要を示す。なお、以下の二つの実践は、2011年1月に、愛知教育大学附属名古屋中学校において、鈴木幸浩教諭と後藤義広教諭によって、5クラス、合計10実践を行った。

4.1 主な検証内容

- (1) 「5分間のみの利用」は可能か。

ここで言う「5分間」というのは、配布・グループごとの探究の時間を指す。たとえば、ネットブックをスタンバイ状態から使い始めた実践の中では、「長押しによる再起動」への対処などの必要から、むだな時間が発生し、5分で収まることはとても難しかった。むだな時間を削減し、生徒の作業を的確に指示できるなら、5分間のみの利用が可能ははずである。また、多くの学校現場にとって、50分の中で、「5分だ

「調べた時間を用意する」という使い方は、普段の授業のノウハウを大きく損なうことなく、普段の授業とあまり変わらずに行えるという提案の意味も持ちうる。

(2) 初めての利用でも迷わないか。

授業者が基本的な使い方を電子黒板等で提示する程度で、生徒が円滑に使えるかどうかを確認する。

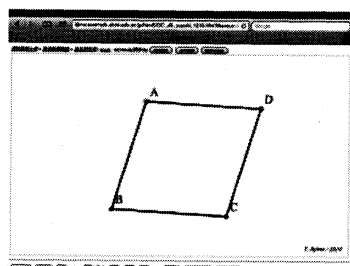
(3) グループでの探究に適しているか。

今回 iPad の利用は個人の探究の道具としてでなく、グループでの探究の道具として想定している。4人1台での利用が妥当かどうかを確認する。

4.2 実践1：いろいろな四角形(ひし形・長方形・正方形)をつくろう

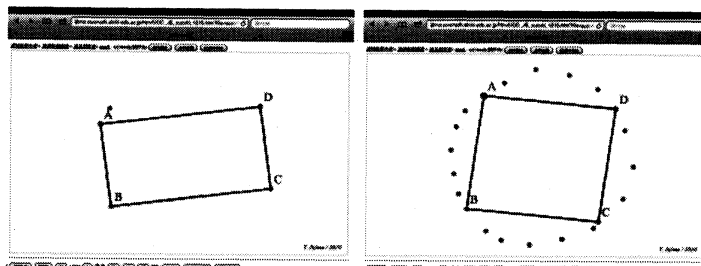
(1) 問題と図

問題：次の図の点Aを動かすと点Dも動いて四角形ABCDの形が変わる。点Aをどこにとると、ABCDはひし形になるだろう。また、点Aをどこにとると、ABCDは長方形になるだろう。(この図では、Aのみが動くように設定しており、BDの中点に対して、Aと点対称になる位置に点Dをとることで、ABCDは常に平行四辺形になるようにしている。作図に関する説明は問題提示の中では行わず、図を動かすことで生徒が推測するようにした。)



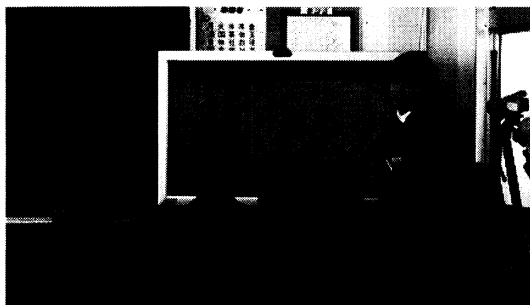
(2) iPad と GC/html5 利用のねらい

条件を満たす点の集合を実験的に見つけ、グループごとにOHPシートの上にプロットし、授業者がそれを重ねて提示することで、推測を得るために使う(授業の中ではOHPシートに書き込んだが、「 $\angle A = 90^\circ$ になるAの位置」の軌跡を記録すると、次のようになる。)。

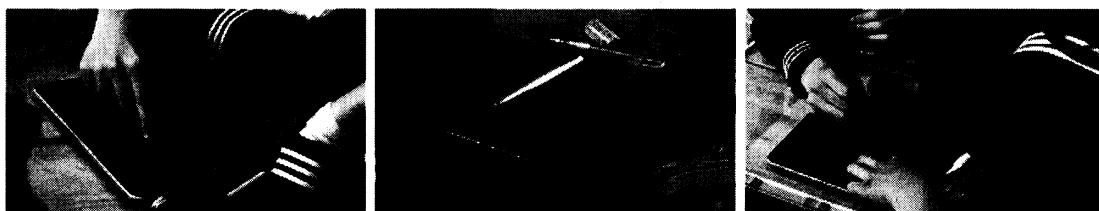


(3) 授業実践の様子

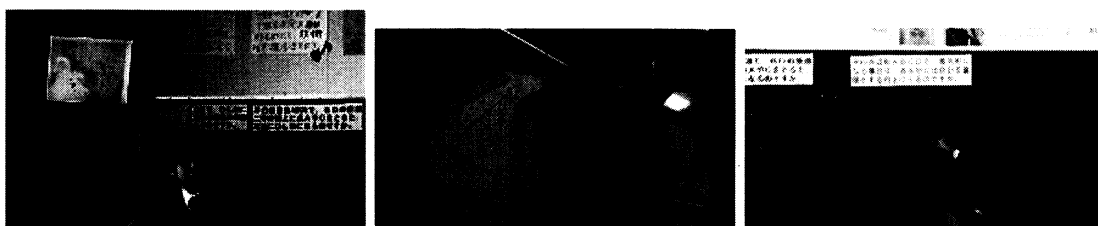
問題の提示や基本的な操作の仕方は、iPad と同じ画面を PC のブラウザ上で表示し、電子黒板を使って提示した。最初に、「ひし形をつくろう」と提示し、BC の垂直二等分線になることを調べた上で、「長方形をつくろう」という課題を提示した。(その共通部分において正方形ができることを生徒が気づくことも想定している。)



生徒にとっては今回の利用が初めてだったが、戸惑うことなく、指で点を動かし、iPad 上に OHP シートをおき、点をプロットしていた。



各グループのシートを集めて、順次重ねながら「どういうことが分かりますか」と、実物投影機で撮影した映像をテレビ画面に提示した。BD を直径とする円になるという予想を得てから、紙上の図に補助線を書き込んで証明を考える活動になり、黒板を使った発表等を行った。



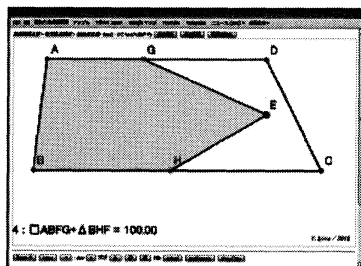
4.3 実践2：境界線の引き直し

(1) 問題と図

問題：次図のような境界線の畑がある。面積を変えないように境界線を引き直したい。

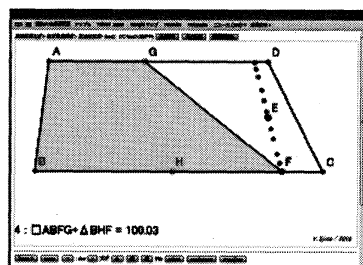
ア 点Eだけを移動するとしたら、どういう引き方が可能か。

イ 他の点も動かしてよいとすると、どういう引き方が可能か。



(2) iPad と GC/html5 利用のねらい

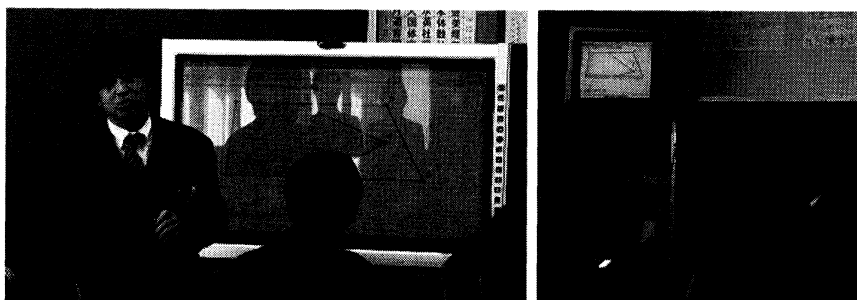
点 E を動かしたとき、条件を満たす点の集合を実験的に見つけ、グループごとに OHP シートの上にプロットし、授業者がそれを重ねて提示することで、推測を得るために使う。

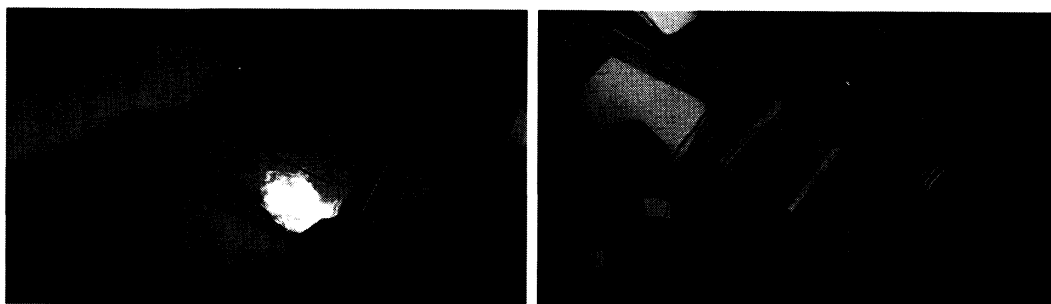


なお、この授業では単に等積変形をして問題解決が終了するのではなく、さらに発展的な考えられるように、 $AD \parallel BC$ にしているが、そこでは iPad や GC/html5 は使わないことを想定している。

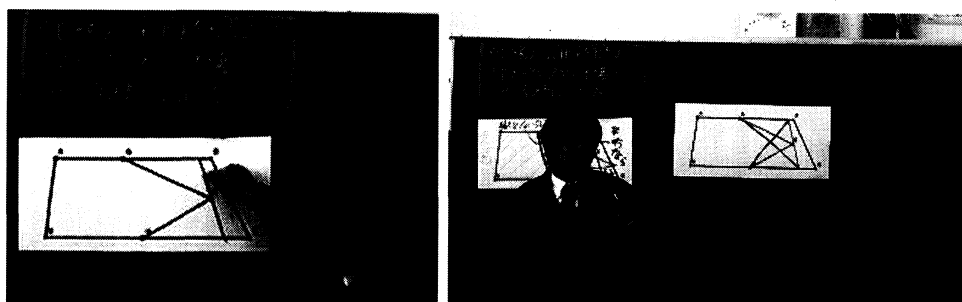
(3) 授業実践の様子

基本的な流れは実践 1 に準じている。問題の提示等は電子黒板を使い、iPad でグループ別探究を行い、ここでも OHP シートへの書き込みを行った。その結果 (iPad 自身や、OHP シート) を実物投影機を使ってテレビに結果を写している。

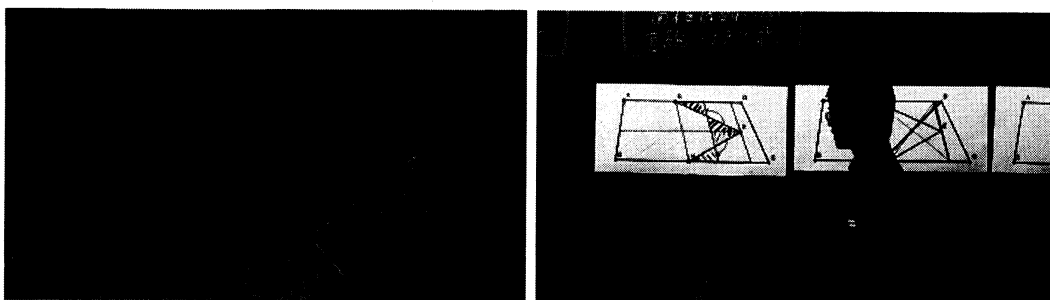




GHに平行でEを通る直線上に点Eがあればいつでも平行になることを推測・証明し、両方の端点が有力な候補になることを生徒が納得した。



本来はその図を見て、生徒の側から「もっといい境界線がある」という指摘を待ちたかったのだが、なかなか出なかったもので、教師側で、「あれっ、先生、すごいことに気づいちゃった。そうか。もっといい線を引くことができるんだ。みんな探してみて。」と指示した。ここでは紙面上での作業や黒板上での議論を中心として行い、上記の考察で現れた平行四辺形の対角線の交点を通る直線ならば、面積が等しくなることが議論された。



4.4 考察

二つの実践とも、授業の中での利用は限定的に扱った。いずれの実践においてもほぼ5分以内、長くても5分30秒であった。当初から使う画面でスタンバイしていたこともあり、配られたiPadのロックを解除して使うことに生徒の戸惑いはなく、操作法などを教師がサポートする必要はなかった。

ネットブックでは覗き込む方向が限定されたり、操作可能なのはマウスを持っている生徒に限定されるのと対照的に、iPad を回り中から覗き込むことができ、手を伸ばせば誰でも操作できる。OHP シートを押さえたり書き込む作業も円滑に行われ、話し合いが活発になった。しかも、机 4 つの面積に比較すると iPad は小さいので、ノート等を広げて書き込む上では邪魔にならない。従来のように、ノートの上で数学的作業を進めることを中心にしながら、必要に応じて実験をするための道具として使う上では、グループでの探究を活性化する道具として使えることが実感できた。

これらのことから、4.1 の 3 点に関して、いずれも肯定的な結果を得られたと考えた。

5 まとめと今後の課題

今回の研究で最も基本的な成果は、GC 程度の機能のソフトならば、html5+JavaScript という手法によって実装することができ、初めて利用する生徒に対して、5 分間の利用で円滑に実践することができたということである。このことが意味することとそこから導かれる課題について、いくつかの観点から以下で考察する。

5.1 教育用数学ソフト開発の複数の選択肢

GC 固有の問題意識としては、今後の生徒用学習端末のプロトタイプとしての iPad で動作する形に、GC を移植したかったということがある。一方、作図ツール (動的幾何環境) の最近の動向でいえば、GeoGebra に代表されるような、大規模化・高機能化がある。研究用数学ソフト開発でいえば、高機能化し、多くの数学的問題を深く、広く扱える方が望ましいのは当然である。しかし、教育用数学ソフト開発に関していえば、必ずしもそれが妥当かどうかは分からない。それは教育目標との整合性によるからだ。たとえば、今回のように、「初めての生徒が 5 分間だけ使う」のは、数学的活動の深さは限定されるが、多くの教育現場で気軽に実践する上では重要である。また、html5+JavaScript による開発で実現できるソフトは限られたものになるかもしれないが、PC, iPad など、html5 準拠のブラウザが使える機器ならば、どの機器でも使えるソフト開発を実現してくれる。つまり、大規模化・高機能化とは違った教育用数学ソフト開発の可能性があることを示唆しているといえるだろう。

5.2 html5 + JavaScript でのソフト開発の可能性と制約

今回、GC/html5 のビューア版を、iPad や PC で使う上ではほぼ実用的なレベルで開発できたことを示すことができた。作図・保存なども含めた正規版を実用的なレベルで開発できることは本研究の次のステップである。iPad などのタブレット端末が生徒用数学学習端末のプラットホームとして機能するためには、さらに多くのソフトが同様の手法で開発され、それを使ったコンテンツや授業実践が積み重ねられていくことが必要である。そしてその中で、既存の開発方法論 (Java, flash, .net framework) や、html5+JavaScript の適性や使い分けの指針が明確になっていくことを期待している。

5.3 GC/html5 を核とした様々な学習環境の開発

今回の GC/html5 は単体として使っているが、それにとどまるものではない。実際、GC/Java は、pukiwiki との組み合わせなどにより、複数の学習環境を構築した (飯島 (2005))。つまり、web アプリケーションの一つの部品として利用した (飯島 (2004))。GC/html5 も同様に、それを一つの部品として多様な使い方を模索できる可能性があり、それを明らかにすることは今後の課題として残っている。

5.4 幅広い学習目標・学習形態に合わせた実践の蓄積

今回の実践では「5 分間の利用」という、かなり限定した使い方だが、もちろんそれだけを念頭に置いているわけではない。様々な学習目標、また様々な学習形態に合わせた実践を蓄積していくことも、今後の課題である。

参考文献

- [1] 飯島康之, 多様な利用形態に対応するための学習環境・コンテンツの開発: 作図ツールの「部品化」とそれによって広がる可能性, 日本数学教育学会, 数学教育論文発表会論文集 37, pp.529-534, 2004
- [2] 飯島康之, 作図ツール GC/Java を利用した多様な学習環境の開発, 科学教育研究 29(2), pp.110-119, 2005
- [3] 飯島康之, 普通教室での 1 時間の授業でグループ 1 台の GC を使う授業の設計と実践 - 附属名古屋中学校での伊藤実践: 「共同井戸を掘るべき場所を探せ」, イプシロン 51, pp.5-16, 2009
- [4] 飯島康之, 作図ツール Geometric Constructor を使った探究事例と教育実践について (数式処理と教育), 数理解析研究所講究録 1674, pp.99-111, 2010