

数学用携帯端末によるインターネット上での 数学コミュニケーション環境の開発研究

石塚 学*, 李 英淑**, 青山 和裕**, 磯田 正美***
栃木県立栃木南高等学校*, 筑波大学博士課程教育学研究科**, 筑波大学教育学系***

要 約

インターネット上の数学コミュニケーションのため、パームトップ環境向けのBBC（掲示板）サイトを開発・改良した。利用実験で認められたコミュニケーションの難しさをグラウンディング（共通基盤づくり, Baker 他, 1999）と媒介手段（Wertsch, 1991）の観点から記述した。BBCのデザインの相違は強くコミュニケーションの質に影響を与えた。環境に慣れることによりパームトップ環境のもとでも数学について上手に会話し、協働できることが明らかになった。特にこの環境で慣れるべき要因として、より良い数学的な解釈を求めたり、条件を確認することを求めたり、互いに相手の言葉を確認めたり、挨拶したりするようなコミュニケーション方法の習得と、パームトップコンピュータにおけるBBCやDGSの使い方の習得があげられた。

キーワード 媒介手段, コミュニケーション, 共有, 社会的相互作用, インターネット

1. 研究目的

現在、多くの中高生がインターネットにアクセス可能な自分の携帯電話を所有している。ミレニアムプロジェクトによって、2005年までに、どの教室においてもインターネット接続が可能になる。パームトップコンピュータなどの携帯端末は数学教室における次世代数学探求環境として期待される。現在、デスクトップ・ラップトップ環境における「コンピュータ支援協同学習」「遠隔学習」「遠隔教育」

等の研究は多数存在するが、パームトップ環境での数学教育研究は始まったばかりである。

本研究の目的は携帯端末上での数学コミュニケーション環境の開発と、それがどのように働くかを分析することである。そのために、ウェブサイト上に掲示板（BBC）の運用実験を行い、媒介手段の持つ機能と制約というヴィゴツキー的視野（Vygotsky, 1962, Wertsch, 1991）および、考えを共有するための共通基盤づくり（Baker, M. et al, 1999）から分析した。



図 1. 第 1 実験時のデザイン.



図 2. 第 2 実験時のデザイン

In this picture; the rod CF is jointed to the rod ED on the point E.

The point D is fixed on the base.

The length ED is equal to the length CE and EF.

When C moves between A and B, how does F move?

Please choose one from the followings;

- a) It may wave. b) It may curve.
- c) It may draw a circle. d) It may draw a line. e) others.

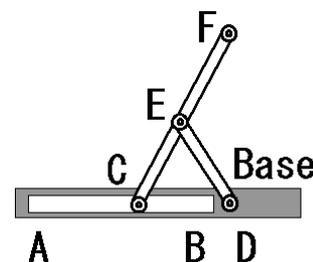


図 3 問題

2. 環境開発

実験には世界初の数学用携帯端末¹として開発されたパームトップコンピュータ CASIO Computer Extender (CEx) を使用した。その端末向け B B C サイトは、インターネットによる日豪数学教室間コミュニケーション (磯田他, <http://mcs.open.ac.uk/icme/>) での実績を前提に、CEx の画面サイズ(640×240)を勘案して設置した。サイトは問題提示場面と討議ルームの二画面で構成される。第 1 実験では二つの画面を水平に分割し (図 1), 第 2 実験においては垂直に分割した (図 2)。

B B C は自分側と相手側とのコミュニケーションの媒介手段となった。CEx は英語フォントだけ利用可能なため、被験者には英語による数学学習経験のある大学院生の中でも、

数学探求でデスクトップコンピュータを利用した経験のない初心者を選んだ (結果として留学生 2 名)。経験者なら、環境に左右されずにうまく対応すると考えられるからである。同時に使用法を教える必要性から、被験者には補助者を付け、教師と被験者がコミュニケーションする形式にした。被験者は CEx を使用し、教師はデスクトップコンピュータを使用した。被験者側の活動を V T R 記録した。初心者にとって CEx 上の数学ソフトウェアの最簡便な利用法は、作図ツール (D G S) によるシミュレーションである。問題には D G S を使えるものを選定した (図 3)。

3. 第 1 実験の結果

B B C (図 1) を使った第 1 実験は 4 つのエピソードからなる。

エピソード 1-1 : 被験者は図 4 のようにノートで取り組み、S 1 で c を選択した。教師は被験者が図 5 のように考えたと解釈し、数学的な説明を求めて、なぜ円かと理由を尋

¹ Windows CE 2.0 上で Microsoft Pocket Office でインターネットが使用可能で、Computer Algebra System (Maple), Dynamic Geometry Software (GSP) や Graphing Tool などの数学ツールを使うことができる

ねた。この時点で、教師は被験者と正しいイメージの共有ができていたと考えていた。確かに、被験者はS3で図6のように考えて返信した。ところが、そのS3の moving around AB から、教師は図7のように被験者は考えていたのかと解し、そのようなメッセージ内容の解釈でいいかを知り、被験者の表現を数学的に切り替え、誤った考えを更新すべく、円の中心はどこかと条件を尋ねた。その問いに対する被験者のイメージは図8のようで、教師からすれば、動点であるCが円の中心という教師からすれば、どうしても解しがたい返信を得た。T6で教師は、被験者が問題を正



図4. S1での予想

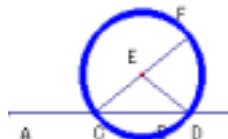


図6. S3での図

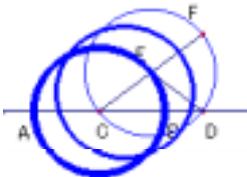


図8. S7での図



図9 S11での鉛筆模型

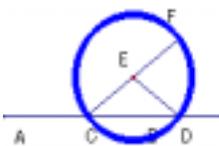


図10 S11でかいた図

しく解してないものと察して、問題を読むように求めた。しかし、S7では、教師からすれば、問題文からは解しがたい返信がかえってきた。T8では、教師は、被験者が問題文を正しく解していないこと確認し、コミュニケーションに際して共有すべき基盤 (Baker, M. 他 1999) を失っていることがわかった。そこで、彼女に問題を読み直すことを求めて、このセッションを終えた。

エピソード1-2: 教師はT10で被験者が考えを改めることを期待した。S11で、被験者は鉛筆模型で考え直し、図10を得た。S11で、被験者は先回の自分の解答は誤りである

エピソード1-1 教師は生徒の考えを混同する

S1(5/23,13:19) It will be a circle. (図4)

T2(5/23,13:23) Yes, Nah. Why did you choose the C (circle)?
(図5を想像した)

S3(5/23,13:28) Cause of $DE=CE=EF$, F is moving around AB.
(図6のような図を書く)

T4(5/23,13:39) Hi Nah? You thought point F is moving around AB, did not you? Please let me know which point is the center of the circle? (図7をイメージした)

S5(5/23,13:44) Here C is the fixed point. (図B)

T6(5/23,13:50) My question is "Which point is the center of the circle?" You did not read the problem; the C of rod CF moves between AB, do you? Please read the problem.

S7(5/23,14:01) EF is the fixed rod, C, D is the base point. So I think that the center is C while CF is moving around AB (図B)

T8(5/23,14:03) Dear Nah. Thank you very much. We want to continue it next session. Please consider the problem for a while and let me know. With Best Regards, Masami
(教師は生徒が何を想像しているかイメージ不能)

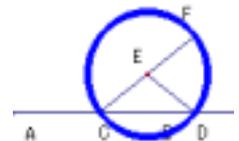


図5. T2での想像

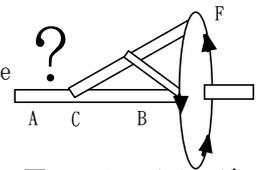


図7 T4でのイメージ

?

エピソード1-2 鉛筆模型で実験

S9(5/25,9:29) Let me know what is the problem.

T10(5/25,9:35) Please let me know your solution is changed or not.

S11(5/25,9:40) My previous answer was not correct. This will be a circle. (図9のように鉛筆模型で実験し、図10をかく)

T12(5/25,9:44) Please let me know your answer mathematically. If it is a circle, please let me know the center and radius. Please read the problem, once more.

?

とは答えたが、被験者の答えは依然、円だった。しかし、被験者がどのような円をイメージして答えているのか、教師側では解せない。T12で、教師は、数学的に表すよう注文し(四度目)、問題をもう一度読むように指示した(三度目)。

エピソード1-3：教師は共通の足場をつくろうと様々に共通基盤づくりを試みたが、このエピソードでは被験者側もそれに参画し始める。T13で、教師はこれまで同様に挨拶から始めたが、S14で、被験者は挨拶に応じ(これが最初!)解決への意欲を表した。イメージ共有抜きのコミュニケーションの限界を認めた教師は、T15でDGSファイルを送信した。ところが、S16で初めてDGSを操作した被験者は、点Cをドラッグしたり、直

線ABをドラッグしたりするうちに、点Fに注目せずに、点Cの動きに注目して、S16で点Cの動きが直線であると返信する。T17で、教師は図13の考えを共有できたと思って、点Cをドラッグすると、点Fが直線上を動くことを返信した。

挨拶に答える余裕から、エピソード1-3までには、被験者はBBC上のコミュニケーションに慣れたことがわかるが、このイメージの行き違いは、被験者が、DGSは何を表すものかわかっていなかったことに起源している。

エピソード1-4：彼らはお互いに彼らの考えを同調することに成功した。彼女もまたDGSに慣れて、S18で彼女は彼女の挨拶からコミュニケーションし始めた。

エピソード1-3 生徒はGSPでシュミレートした



図11 GSPを利用して

T13(5/28,8:56) Good Morning, Nah. Did you have any new idea while these days?

S14(5/28,9:02) How are you. Yes, I am thinking the previous matter. Please let me know the problem again.

T15(5/28,9:05) Yes, Nah. Please use the attachment file "GSP" to understand the problem. Move the point C! (65.gsを転送)

S16(5/28,9:15) Today I think the previous problem and take a conclusion that if the point C moves around the rod AB then it will be a line and coincide the rod AB. (図11のように開き、図12, 13のようにドラッグする)

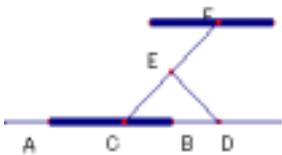


図12 S16で点Cではなく直線をドラッグ

T17(5/28,9:18) Yes, Nahar. If you move the point C, F moves on the line. Please let me know the reason, next day. (教師は、生徒が図13のようにドラッグして直線を見いだしたと解釈したが、生徒は図12の直線を見ていた)

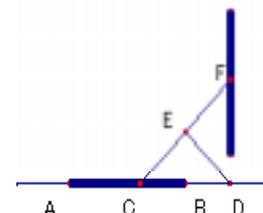


図13 教師の期待

エピソード1-4 同調

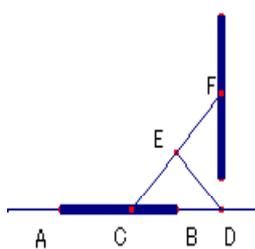


図14 S18でのシュミレート

S18(5/30,10:17) How are you. What are you doing now? I am now thinking the previous matter. The previous matter I mistook a little. That was the point F. Let me write- If the point C moves around AB then it is line and coincide with AB but F moves around DF, is a perpendicular.

T19(5/30,10:23) Yes, I am fine and you. Oh, you were thinking about only point C. The problem is the motion of point F, is not it? Thus, as you wrote, the point F moves on the perpendicular line to AB.

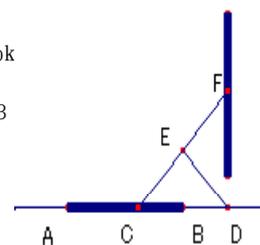


図15 教師の期待

4. 第一実験結果に対する議論

エピソードは、開発された環境(媒介手段、図1), イメージを共有するための選ばれた方略などの要件に依存した数学コミュニケーションの難しさを示している。その難しさを、ヴィゴツキー的視野と協同への共通基盤づくりから分析する。

Baker 他(1999)は共通基盤づくり(グラウンディング)を互いの理解, 知識, 信念, 仮説, 前提などやコミュニケーションと協同の多くの面で必要な共通基盤(グラウンド)を得る過程と定義した。多くの研究が共通基盤の欠落によるインターネット上のコミュニケーションまたは協同の難しさを指摘している。前述のエピソードもそれを例証している。このエピソードで、最も有力な共通基盤要因はイメージ(指示的意味内容)である。

エピソード1-1と1-2で、教師は被験者の考えがイメージできないがゆえに、被験者に数学的に説明し、問題を読むよう求めた。しかし、図1の環境では、被験者は問題画面を容易に開くことができず、しかも、問題画面と討議画面を同時に開くことができなかつたために、その問題に沿って運動の様子を検討することがかなわなかつた。この段階での共通基盤づくりのための教師が利用した方略は、数学的にイメージを説明することと、状況を確認するために問題をもう一度読むことを求め続けることであつた。それでもイメージを共有できなかったため、教師は、エピソード1-3で、次の方略としてDGSによるイメージ共有をねらつた。教師は、そのイメージが、数学的証明ないし機械的動きによる説明をする以前に、議論する上で必要な擬概念(Vygotsky,1962)を被験者が構成するのを助けると予想した。予想に反して、エピソード1-3で、彼女はCをドラッグし、FではなくCの動きを答えた。DGSに慣れた後エピソード1-4でイメージの共通基盤を得た。

Roschell と Teasley (1995) は、協同を、

問題に対する共有概念を構成し維持するための継続的試みの結果として、共応・同期した活動と定義した。Lee 他(2000)は数学的問題解決の中で協同は、課題志向の活動と相互作用志向の活動という二面で分析し得ることを例証した。共通基盤づくりから同期するまでの過程を分析すると、被験者の反応には注目すべき変化があつた。エピソード1-1と1-2で教師は、挨拶のような相互作用志向のメッセージを、数学的に説明すること・問題を読むことなどの課題志向のメッセージと同様に送っている。相互作用志向のメッセージは、かように制約の多い媒介手段では、コミュニケーションを続けるための方略として非常に重要と考えられるが、被験者は、それに応えず、課題志向の解答のみを返信した。エピソード1-3で、被験者ははじめて課題志向のメッセージにあわせて、相互作用志向のメッセージに応えるようになり、エピソード1-4では相互作用メッセージをはじめて送信した。教師と同期するまでの被験者の変化は、エピソードにみるような難しさを乗り越える経験が必要であつたことを示している。その経験を経て、被験者は、数学コミュニケーション環境のユーザーになつたのである。

困難さの分析から、選択されたそれぞれの媒介手段の機能・制約(Wertsch,1991)を説明できる。

第一に、図1の画面設計はテキストコミュニケーションの機能・制約を与えている。イメージはテキストで交換することを求められるのである。テキストでイメージを共有する必要があるがゆえに共通基盤づくりが必要になる。教師は条件を尋ねるという方略を選んだが、被験者は問題とメッセージを同時に読み、図と対照することができなかつたため、条件を正確に記述するに至らなかつた。

第二に CEx 上のDGSはイメージを共有するために機能する。しかし、共有するには、ユーザーはDGSの使い方と見方を知らなけ

ればならない。それが制約となった。もし初心者のユーザーがDGSのファイルを使えるならば、彼女は熟練者が行うと同じように同じ点を観察できただろう。

第三に被験者には慣れ親しんだ道具である紙と鉛筆を使うことが必要である。特にエピソード1-3において、鉛筆は機械模型として機能した。この模型は彼女の考えを補助したが、媒介手段であるBBCはコミュニケーションにおいてそれを表すことを阻害した。

5. 第2実験の結果概要と結果

第1実験における画面分割による問題文と議論が対照できない制約をなくすために、第2実験では、図2のように縦に2分割するデザインが採用された。被験者は、問題文に立ち返って条件推論することができるようになり、コミュニケーションは著しく変わった。その相違から、次のことがいえる。

第一に、BBCデザインの違いはコミュニケーションを極端に変えた。図2のデザインで、被験者は、教師からのメッセージと問題条件を対照して自らの考えをその都度修正することができた。第1実験では、このように初めから同調したコミュニケーションはできなかった。第2実験の場合、仮にイメージを共有できなかったとしても、イメージを共有するための教師の方略は機能した、すなわち、被験者は、教師からの問いかけと問題条件を対照して、考えを変えたのである。ただし、教師も、第1実験から学び、方略が多様になった。例えば、教師は、先方が記したことに対する解釈を必ず書いてから、自分のメッセージをはじめようになった。

第二に、DGSは、第2実験でも当初は機能せず、機能するまでに経験が必要であった。第1実験同様に、第2実験でも図のどの部分を観察してよいのか被験者はわからなかった。テキストで教師がいくら指示しても、そのメッセージからは初心者が何を観察すべきか読みとめることは困難である。

第三に、第2実験でも、鉛筆模型という慣れ親しんだ道具は必要であった。

6. 結び

開発BBCサイトは、携帯端末上でも、その環境に慣れれば数学コミュニケーションも可能なことを実証した。ただし、その慣れには、イメージを共有するための共通基盤づくりへの努力が必要になる。実験結果からすれば、慣れ要因が示唆される。まず、コミュニケーションの方法に関わって、一つは、より数学的な表現や説明を求めたり、もともとの条件を確認することを求めたりする課題志向の方略であり、一つは、受け手側が先方の言葉に対する解釈を返したり、挨拶したりする相互作用志向の方略が、面と向かったコミュニケーション以上に必要になる。そして、環境の使い方に関わって、BBCの操作、DGSの操作、携帯端末の操作である。

参考文献

- Baker, M., Hansen, T., Joiner, R. and Traum, D., (1999) ., *The Role of Grounding in Collaborative Learning Tasks.*, Dillenbourg, P., Edited, *Collaborative Learning: cognitive and computational approaches*, Amsterdam: Pergamon, pp.31-63
- Lee, Y-S., and Nohoda, N., (2000), *The Process of Collaborative Mathematical Problem Solving: Focusing on Emergent Goals Perspective*, Japan Society of Science Education, *Journal of Science Education*, vol.24, No.3, pp.159-169
- Roschelle, J. and Teasley, S. (1995) , *The Construction of Shared Knowledge in Collaborative Problem Solving*, O'Malley, C. Edited, *Computer-Supported Collaborative Learning*, NY: Springer-Verlag, pp.69-97
- ヴィゴツキー, 柴田義松訳(1962), 「思考と言語」上, 下, 明治図書
- ジェームス V. ワーチ, 田島信元 [ほか] 訳 (1995), *心の声: 媒介された行為への社会的文化的アプローチ*, 福村出版