

ハイブリッド実験数学を中学校で実践してみる

国立情報学研究所 横山 重俊

Shigetoshi Yokoyama, National Institute of Informatics

1 はじめに

物理的な実体を伴った空間内で身体を使って行う実験数学、紙と鉛筆や黒板とチョークを使った実験数学、そしてコンピュータ上で数学ソフトウェアを活用した実験数学の三つの実験数学を連携させた数学教育方法をハイブリッド実験数学と呼び、その提案および実践を行っている [1].

本報告では、ハイブリッド実験数学の中学校での実践に向けた課題や実践後その中で感じた課題について述べ、それらの解決策について報告する。実践に向けた課題とその解決策としては、筆者の住む地区にある中学校におけるハイブリッド実験数学の実践に向けて実施した活動内容について紹介する。実践で感じた課題とその解決策については、地域連携活動である放課後学習ルームに科目別コースとして設置し、週1回のペースで継続的に実施しているハイブリッド実験数学実践の中で気付いた課題として、教材作成の負荷や限界について説明し、それらを克服するためのアプローチについて述べる。

2 ハイブリッド実験数学について

2.1 ハイブリッド実験数学提案の背景

GIGA スクール構想により、一人一台の端末、ネットワーク接続による情報獲得、動くメディアや個別教育への期待が高まっている。GIGA スクール構想推進の課題として良く言われるのは、人材不足、コンテンツ不足、ノウハウ不足である。これらは旧メディア（紙と鉛筆や黒板とチョーク）から新メディア（コンピュータとネットワーク）への教育環境の移行という図式を前提として、両メディアの間を飛び移ろうという発想に起因している課題認識ととらえた。

脳は出力系の器官である、と言われるように [2], ICT 機器により脳への入力を増やしても体験が上滑りになることを認識する必要がある。旧メディアから新メディアに飛び移るのではなく、両方のメディアをハイブリッドにつなぎ出力機関である脳を使って体験を定着・発展させる方法を作ることが重要である。

2.2 ハイブリッド実験数学の初期提案内容

分野は違うけれど、「体感・実感する」ことをショートカットしてしまうデメリットを補うために、コンピュータサイエンスやプログラミングの分野では Computational

Thinking/Computer Science Unplugged[3] がコンピュータを使わない情報教育実践として有名である。これは身体を使った体験を通じた情報教育であり、ここで得られた体験がコンピュータを活用した情報教育の基礎となる役割を果たしている。

算数・数学教育においてコンピュータを使わない実験数学と使う実験数学を一つのテーマに沿ってスムーズに連結することで、まず前者によりそのテーマについて体感を伴い腑に落ちる経験をじっくり得る。それを拡張する後者の実験数学を行うことで、より広い体験を通じさらに理解が進むことが期待できる。

ハイブリッド実験数学を支える構成要素は、図1に示すように、物理的な空間、紙と鉛筆や黒板とチョーク、そしてコンピュータの三つ場である。これらの構成要素それぞれの場の上で実施される実験数学を学習者にとってスムーズに連結できる枠組みを実現する必要がある。

そのことにより、学習者が時間をかけて物理的な空間で得た数学体験を、紙と鉛筆や黒板とチョークで表現し直し、その拡張的な体験をコンピュータ上で経験することで算数・数学体験が総体でより普遍的な体験となることで、ICT 導入効果が根付くと考ええる。また、そのコンピュータ上の体験が物理的な空間と関連した記憶となることで記憶が強化されると期待できる。

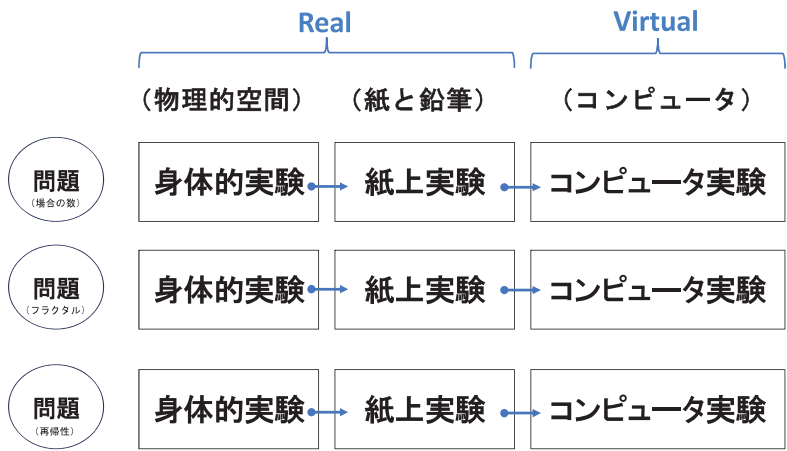


図 1: ハイブリッド実験数学の初期提案

この提案での前提は以下の三つであった。

- 身体的実験 → 紙上実験 → コンピュータ実験の移行のスムーズさに注力
- コンピュータ実験によるアーギュメンテーションが重要
- 各種実験装置はハイブリッド実験数学提供側で準備

3 中学校での実践に向けて

報告者のような門外漢が中学校でのハイブリッド実験数学を実践する場を得るためにどのような方法があるのか不明であったため試行錯誤を行って実践の場を得たのでその経緯を紹介する。

3.1 実践開始に向けた課題

前回の報告の後、近隣の小中学校でのハイブリッド実験数学を実践活動への展開を考えていたけれど、その道筋が見えていなかった。その状況の中で、偶然近隣の小学校の校長先生が教育関係の研究会で自らのプログラミング教育実践例を話されているのを発見し、それをきっかけに校長室にお邪魔してハイブリッド実験数学の話ができ共感を持ていただけた。このことで、実践に向けての可能性を感じることができた。ただ、コロナ禍という状況もあり児童・生徒を巻き込んだ教育実践がすぐに始められるような状況ではなかった。そうしているうちに翌年度人事異動でこの先生が別の小学校へ移られたこともあり、そのまま話が立ち消えになってしまい、外部の人間にとって校門の先に進むことが困難である状況が続いた。

3.2 実践開始に向けた解決策

校門の中に入れない状態でもできることを探そうとして、まず手始めに近隣の小中学校の通学路にある公園でのハイブリッド実験数学の導入として、数学パズル的な問題を提供する活動を開始した。図2に近隣の小中学校とこの公園の位置関係、それと前回報告で紹介した“ハイブリッド実験数学発祥の地”，東西南北の格子路の位置関係を示す。

この位置関係から分かるようにこれらの小中学校の登下校路に面した公園で屋外での実践から始めたわけである。この公園の入り口付近にあるこの陶器でできた椅子と木製のテーブルを使ってハイブリッド実験数学の入り口として図3の左にある数学パズル問題を100題程度作成し、その問題について図3の右に例示する身体的実験を実施してもらう“装置”と、紙上実験をしてもらうためのホワイトボードを持ち込んだ。

図4がここでの実践模様である。図の右にある問題は参加者が自ら積極的に持ち込んで来た参加者作成問題例である。このハイブリッド実験数学の場を不定期に開催したが、公園によく遊びに来る小学生の中に“常連”で参加してくれる人たちが出てきて、その人たちの間で報告者は「問題さん」と呼ばれるようになった。

ここでの実践を通じて獲得した知見は以下の四つである。

- 算数・数学パズルを実験数学の入り口とすることは問題を選べば可能であった。
- 身体的実験数学装置の中には参加者の人気を得るものがあった。
- 身体的実験数学装置からホワイトボード実験への流れは作れる。
- コンピュータ実験への展開のコンテンツと環境づくりは難しい。



図 2: ハイブリッド実験数学の実践開始の地



図 3: 問題群と身体的実験装置群

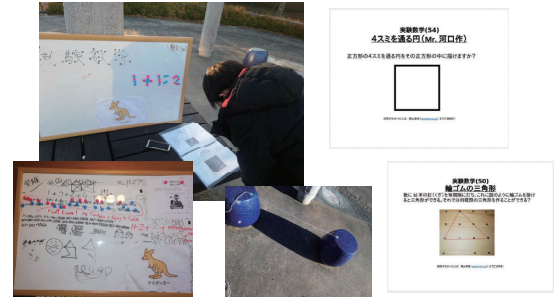


図 4: ハイブリッド実験数学の実践開始の地での実践模様

この活動と並行して、近所の知り合いの人が中学校で地域委員をしていることを聞いたので、その人に私の活動と意思を話したところ、中学校の校長先生に話を通してくれ

た．その結果，まず夏休みの補習授業で先生の補佐役として参加して良いこととなり，各学年の補習授業に参加し通常の学習教材での学習を補助する機会をいただいた．ようやく校門をくぐれたのである．

夏休みが終わってしばらくして，今度は校長先生から直接連絡をいただき，放課後に地域ボランティアの方が1名で実施している既設の「学習ルーム」へ参加しないか？とお誘いいただいた．そちらに参加し半年ほど経過した時点で，2023 年度からの新規の企画として学習ルームの数学コース（ハイブリッド実験数学実践）の企画案を作成し，2023 年 4 月にハイブリッド実験数学実践の場が承認された．

4 中学校での実践において

実践を開始し中学生とハイブリッド実験数学を共に体験して初期提案で想定していた方法で想定した効果を実感することはできた．一方で実践を通じて感じた課題も出てきた．その課題について述べるとともに，その解決に向けたアプローチについても紹介する．

4.1 実践において感じた課題

実践において感じた課題は，図 5 に示した三つの課題である．

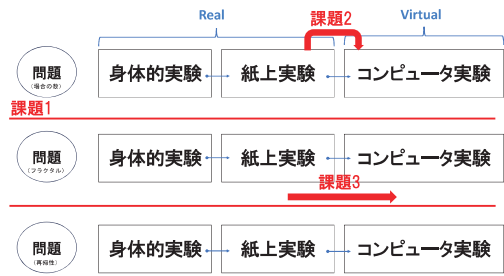


図 5: 初期提案が持つ課題

課題 1：一つ一つのコンテンツが独立

ハイブリッド実験数学の教材として用意するコンテンツをそれぞれ独立に作成するための開発コストが増加する．

課題 2：Real から Virtual への流れを作るコンテンツ作りの負荷

開発コストの中でも Real から Virtual への流れをスムーズにするための負荷が大きい．

課題 3：Real から Virtual への一方通行性

コンピュータ実験によるアーギュメンテーションが終着点になっているので，それ以上の広がりを経験できない．

4.2 実践において感じた課題解決へのアプローチ

数学的モデリングと数学的活動について述べられた [4] を参考に課題解決へのアプローチを考える際のモデルを作成した。また、実践を通じて感じたこれらの課題のうち教材作りの負荷に関連する課題 1,2 を解決するアプローチを考える際に、高校生に独創的な数学研究が行える方法の提案されている [5] を参考にした。生徒が自ら問題を変形したり、必要なプログラムを作成したりするという 7 つのステップからなる活動の実践モデルを採用し、生徒のより主体的な参加を前提とした枠組みにしていくこととした。

また、この発想の過程で一つ一つのコンテンツが独立しているという課題に対して、Virtual な世界では数学的モデルとプログラムの再利用の可能性が比較的高まることを利用して図 6 に示すように、コンテンツを Virtual な世界でつなぐことでコンテンツの連携を実現でき、コンテンツ開発コストを削減できるのではないかと考えた。

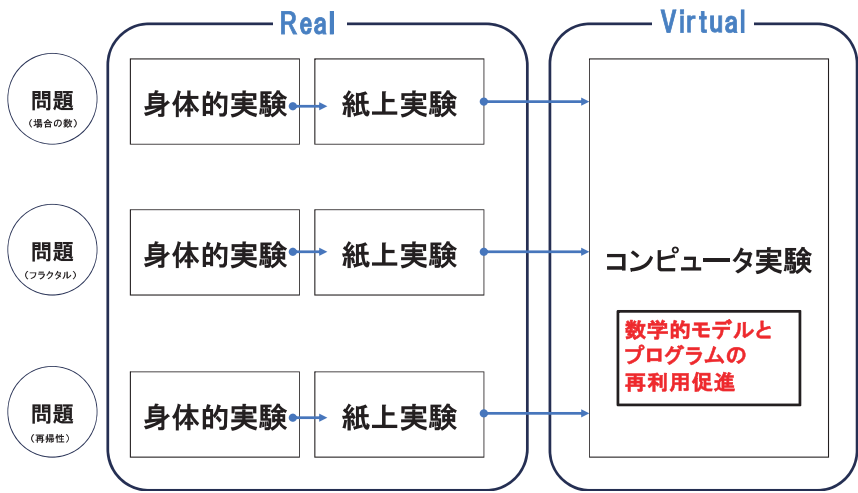


図 6: Virtual でコンテンツをつなぐ

さらに課題 3 に解決に向けては図 7 に示すように、Virtual な世界で発現する（現実の事象）を Real につなぐものとして意識的に活用することにより Virtual への 1 回きりの接続に終わらないハイブリッド実験数学の世界を作り出すアプローチを考えることとした。

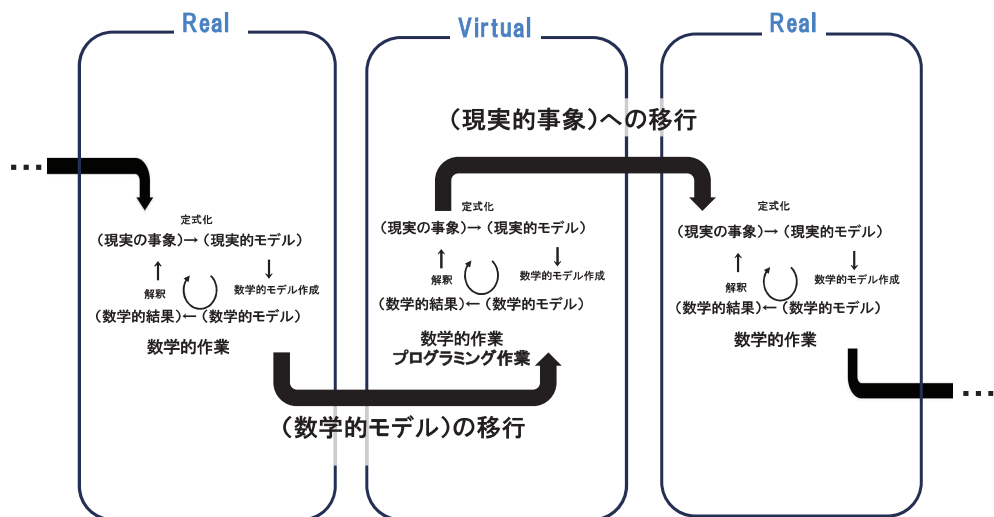


図 7: Virtual から再び Real へ

5 ハイブリッド実験数学の中学校で実践例

学習ルームの数学コースとしてハイブリッド実験数学実践を承認いただけたことで、2023 年 5 月から毎週水曜日の放課後にコンピュータ室をお借りして、現在まで 20 回ほど開催している。ただ、お借りしているコンピュータ室に常備されているコンピュータやネットワーク環境は、ハイブリッド実験数学実践には使用できない制約もあることから、図 8 に示すように報告者のデスクトップ PC やノート PC、それとネットワークをコンピュータ室に持ち込むことでハイブリッド実験数学実践環境を構築している。現状ではまだ参加者が少数なのでこの構成で問題なくハイブリッド実験数学の実践は可能であるけれど、今後参加者が増加することに向けた対策は考える必要がある。

これまでの実践を通じて得た課題とその解決に向けたアプローチ案を現在本実践の中で継続的に試している。具体的には図 9 に示すように、場合の数やパスカルの三角形などとフラクタル構造を Virtual な世界で接続して、それを Art とつなぐことで Real への接続も実現しようとしている。これは参加者の一人が芸術部に所属していて絵を描くことが好きな生徒であったことにも起因している。



図 8: ハイブリッド実験数学の中学校での実践模様

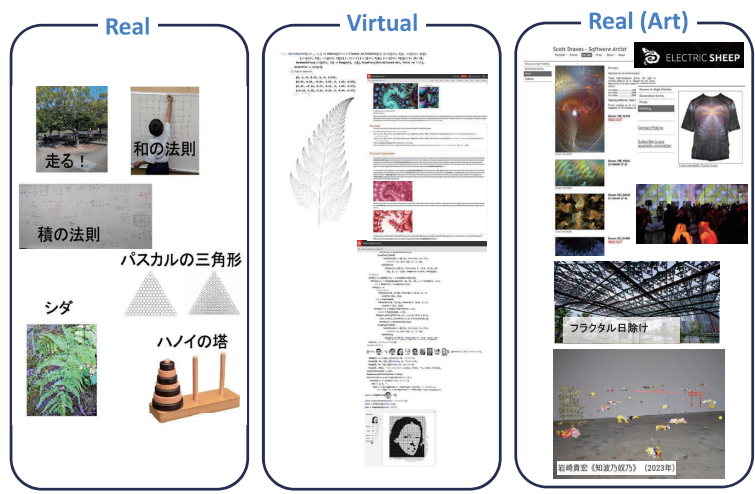


図 9: ハイブリッド実験数学の実践中の改良

6 今後の進め方

実践開始に向けた課題を克服し、中学校における実践の場を得られたことでハイブリッド実験数学が初期の提案からさらに現実味を帯びた提案に進めて行ける可能性を感じている。まだまだ、コンテンツや実施方法の整理が十分ではないけれど、実践を継続的に改良し、参加者とともに前に進むことで更なる改善につなげたい。

その一つの例として参加者が実験のために作成する Wolfram 言語などでのプログラムを ChatGPT を使って作成することも試行している。参加者が自らプログラムするという枠組みを支える方向を後押しする技術としての可能性は持っていると感じることができている。



図 10: ChatGPT によるプログラム作成支援例

参考文献

[1] 横山重俊, ハイブリッド実験数学をやってみる, 数理解析研究所講究録, 2208, pp.10-19, 2021.

[2] 布川拓也, 算数・数学教育と ICT の不適合性 – 異端者の考え –, コンピュータ&エデュケーション, Vol.33, pp.22-27, 2012.

[3] T. Bell, J. Alexander, I. Freeman, M. Grimley, Computer science unplugged: School students doing real computing without computers. The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology, 13(1), 20-29, 2009.

[4] 柳本 哲, 数学的モデリングと数学的活動, 数学教育学会誌, 49 巻, 3-4 号, pp. 9-16, 2008.

[5] 宮寺良平, 福井昌則, 高校生が数式処理システムを用いて数学研究を行うための方法の提案, 数式処理, vol. 26-2, pp.3-23, 2020.