

自己管理型学習環境のデザイン指針を求めて ～三省堂高等学校数学教科書電子版を題材に～

In Search of Design Principles of Self-Guided Learning Environments ～ Using Digital High School Math Textbooks of Sanseido

尾関智恵[†], 白水始[‡], 中山隆弘[§]

Tomoe Ozeki, Hajime Shirouzu, Takahiro Nakayama

[†]愛知工科大学, [‡]国立教育政策研究所, [§]東京大学

Aichi University of Technology, National Institute for Educational Policy Research, The University of Tokyo
ozeki-tomoe@aut.ac.jp

概要

コロナ禍によって遠隔教育の必要性が高まるなど、オンラインでの学習環境に注目が集まっている。しかし、学習環境のデザイナーやユーザの学習モデルが古いままでは、単なる教授主義での知識の伝達と受容の強化にとどまってしまう。「一人で教科書を読む」という受動的な活動になりがちな学習環境をいかに能動的な知識理解の環境にすることができるか、本稿は、三省堂教科書を電子化した20年前の試みのその後10年間の報告を基に、学習環境のデザイン指針を得る。

キーワード：数学教育、電子教科書、自己学習

1. はじめに

三省堂数学教科書電子版は、三宅ら[1,2]が1999年よりCREST事業「高度メディア社会のための協調的学習支援システム」にて当該教科書をXMLデータベース化し、ネットワーク上で誰でも必要な時に学べるコンテンツとして制作したものである(図1)。本成果物は、東京大学大学発教育支援コンソーシアム推進機構(以下CoREF)[3]のサイトにおいて2010年頃より限定公開され、10年余り経過した[4]。これまで321名の利用者が本コンテンツに利用申請を行った上で利用している。本報告では、利用申請時に申し出があった利用目的と実際の利用履歴を照らし合わせ、10年間の運用で見られたオンライン学習環境としての概要を報告する。

2. 本サイトの概要

三省堂高等学校数学教科書電子版は高等学校レベルの初等数学、具体的には三省堂が過去に出版した高等学校数学教科書をXMLデータベース化したものである。インターネット接続環境化であればWebブラウザによる閲覧が可能で、複数の利用者が自身の興味に基づいて探索できることが可能である。本コンテンツは限定的に本閲覧・使用に提供することについて、出版社ならびに執筆、表紙デザイン、挿絵などの関係全著者の

許可が得られている。この利用については、以下のような条件を満たした申請者のみにアカウントが発行される。

(1) 数学教育の質向上のために真摯に活用する目的を持つこと

(2) 活用状況、成果などについて6カ月に一度程度報告すること

利用するには申し込みフォームから登録が必要となる。その際(1)に関する以下の3つに回答する必要がある。

- ・ 活用目的
- ・ 一緒に使われる予定者の概要
- ・ 活用場所、想定される活用状況

これに対する回答を基に教科書の著者代表者及びコンテンツ管理責任者により審議が行われる。活用に関しては、非営利目的での使用については許可されている。審議の結果、公開の目的に合っていると判断されると、IDとパスワードを発行される。



図1：三省堂数学教科書電子版

3. 利用実績

2021年3月現在の申請者数は323名で、そのうち著者代表等の主要関係者による審議を得てアカウント発行をされたユーザは321名である。発行を得られなかった2件については、活用目的が本コンテンツの公開目的とミスマッチであると判断されたため、許可が得られなかった。申請者は公開開始より月平均2.56名で、申請者が0名だった月もあるが、毎年途切れることなく一定の申請が続いている。

3.1. 利用状況の推移

図2はアクセスログから得られた本コンテンツの利用状況の要約である。アクセスログは、公開サーバの移動があった2013年5月以降のデータを対象としている。アクティブユーザ数は、月毎にコンテンツに1回以上訪問しているユーザの人数である。平均11.16名(Max=27, Min=4, Median=11)が訪問していた。PV(ページビュー)数は、月毎にコンテンツ内のページが表示された件数を表しており、平均2428.34PV(Max=11387, Min=517, Median=1916.5)を記録していた。これらの結果から、本コンテンツの利用は2013年5月以降途切れることなく利用者が本コンテンツを閲覧しており、こ

の期間のアクティブユーザ総数でPV総数を割った割合も271.6PVであることから、一見ではなくある程度コンテンツを閲覧していることが予想される。

3.2. 利用されているコンテンツの種類

本コンテンツで閲覧可能な14冊の教科書とそれらに対応する指導要領14冊の計28冊のうち、どのコンテンツが利用されているかを集計した。図3は2013年5月から2021年3月までアクセスされたページの上位30位の中に28冊の教科書と指導要領はあった場合「利用があった月」としてカウントしたものである。結果は、第一に、利用期間(95ヶ月)中、数学Iがよく利用されていた。ただし、28冊の教科書と指導要領は図1のような順序で掲載されているため、単に毎月追加される新ユーザーによって一番上に掲載されている数学Iが開かれていた影響である可能性が高い。第二に、教科書に比べ指導要領の利用が低かった。この要因として、3.3に後述するが、指導要領を利用すると想定される高校教員が全体の約1/3であり、自主学习で利用する個人利用や大学等での学び直しの利用が多かったことが考えられる。つまり、授業デザイン用の利用者より、教科書を使った学習活動が主流であったと考えられる。

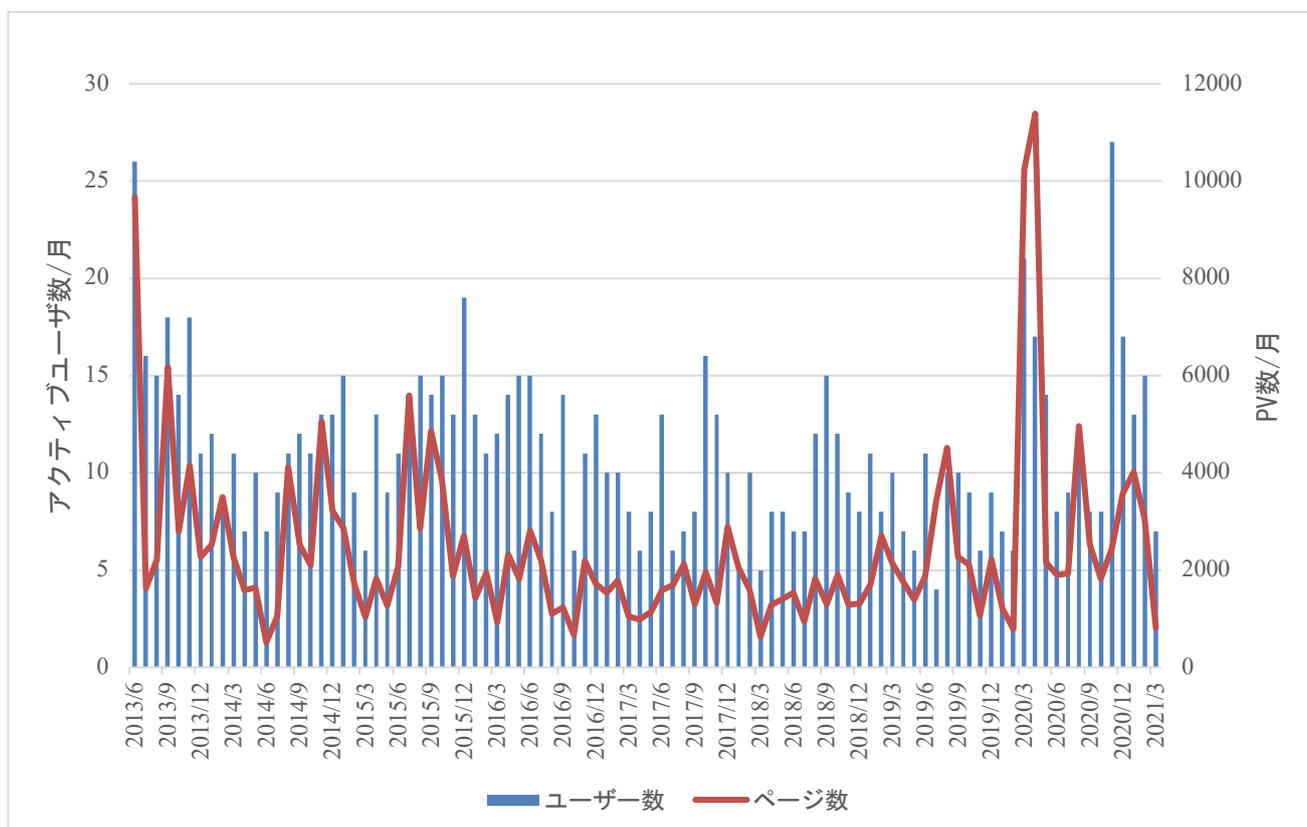


図2：教科書サイトの月毎のアクティブユーザー数とPV数の推移



図3：利用されているコンテンツの種類

3.3. 利用者の属性

利用申請時に収集しているユーザ情報及び活用目的に記載された内容から推測される利用者の属性について集計を行なった結果を示す。

申請者はどのような所属や単位での利用を希望していたかを見ていく。「一緒に使われる予定者の概要」の内容から「単独」・「グループ」・「家族」に種類分けを行った(図4)。その結果、自学自習や生涯学習などであくまで個人で利用するという「単独」が一番多かった。

次いで学校や教員間で共同利用するような「グループ」が大半を占めた。少数ではあるが家庭内教育やホームスクーリングに利用する「家族」が見られた。

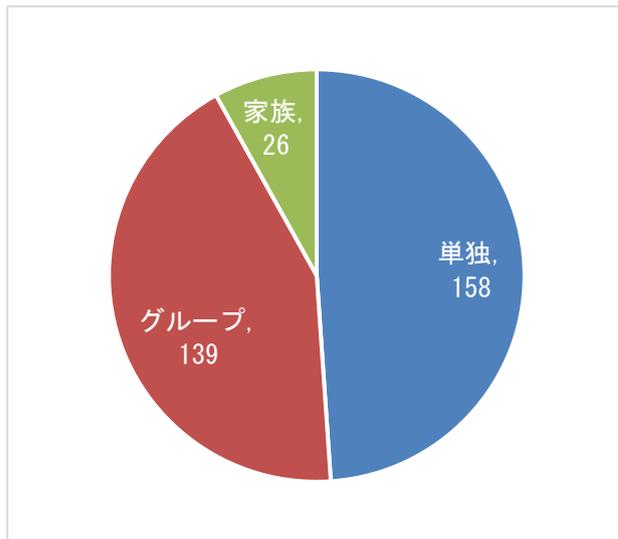


図4:利用者の単位

次に、「活用目的」やその他の項目で明示的に申請者の所属や職業、立場が分かる内容から利用者がどのような所属にいるか割合をまとめた(図5)。高校向け教科書であることから、「高校教員」が多く見られた。これに加え「大学教員」「その他の教員」に分類された所属の活用目的は授業研究や授業内容を検討しているものが大半を占めた。これに対し、どこにも所属していない立場としての「個人」の利用が多く見られた。「個人」は自己研鑽や学び直し、趣味で数学を学んでいる等の多様な活用目的が見られた。併せて教員免許取得の勉強や受験・資格取得に関わる勉強も見られた。「個人」の中には上述した「家族」での利用が含まれている。

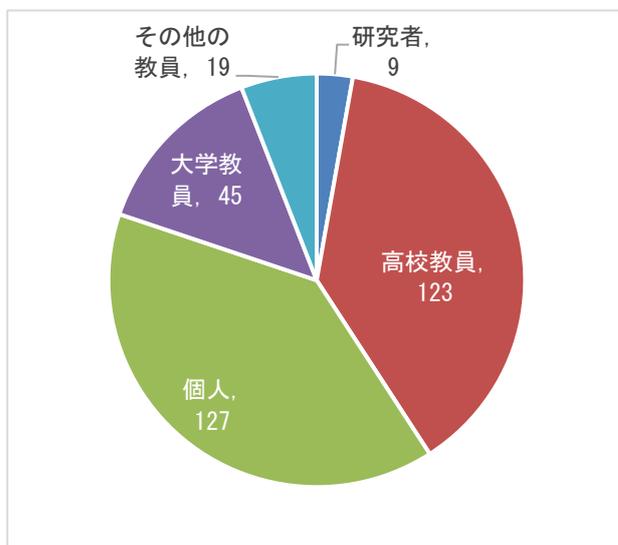


図5：利用者の所属

3.4. 利用者の目的

活用目的と想定される活用状況で書かれた内容から3つのカテゴリに種類分けをした(図6)．学習教材は教材開発などの授業利用目的のことで、グループでの利用がほとんどであった．次に多いのは数学自体や数学教育について学びたい自学自習で個人での利用が圧倒的に多かった．「自己研鑽」や「再勉強」などが理由として挙げられ、そのほかは生涯学習という観点の書き込みも見られた．この中には高校生の時もしくは教員として利用していたなどの過去の関わりや経験から利用申請を行い、三省堂数学教科書に対する思いや評価を述べるものが見られた．

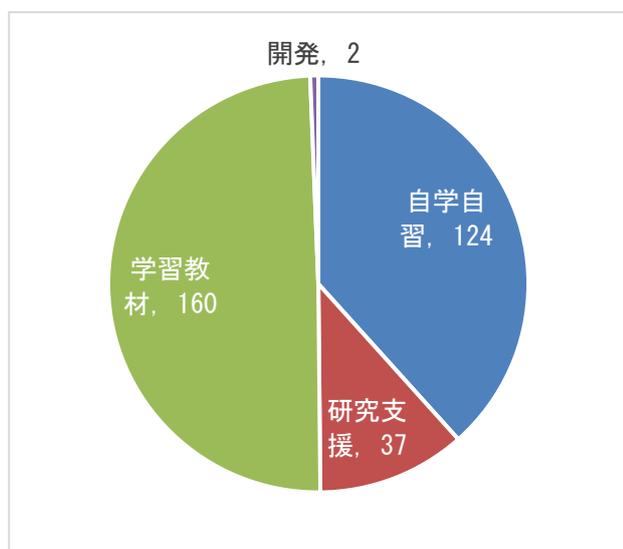


図6: 利用目的 (活用目的) の分類

また、数は少ないが「ベクトルを幾何ベクトルとしてではなく数ベクトル(多次元量)として導入していたと言われる唯一の教科書(数B 576)に大変興味があり、高校生がベクトルを初めて学ぶときに、どのように紹介したらよいものを検討したいため。」といったものや「指数の微分法を研究していて、指数から切り込んでみたところ、貴社の教科書にその話が載っているのではといわれ確認したい。」などの教科書の内容を言及した利用目的もみられ、純粋な数学の探求につながる学習に利用された可能性も予想される。

そして3つ目としては大学教員や研究室などを中心に研究調査や受験対策の勉強会利用などの目的があった。また、数学同好会などの趣味やサークル活動での利用もみられた。

3.5. 利用する場所

利用する場所は高等学校の授業など学校での利用が一番多く、次は自宅での利用であった(図7)．実際は自宅と学校と2箇所以上書かれることが多かった．そのため、今回は利用目的との関連性を明確にする目的から自宅以外を書いている場合は、その場所として数え(自宅・学校なら学校に数える)、自宅だけの場合は自宅として数えている。

その結果、学校での利用は学習教材としての利用が主な目的であった．授業内で利用したり、授業構築に利用したり、そして数学科教員同士や同僚と一緒に使うなどグループでの利用が多数を占めている。

自宅利用者は自学自習での利用が中心で、仕事や研究活動なども含むが、純粋に数学を学習するために電子教科書が家庭で利用されている様子がうかがえる。

そのほかはデジタル教材開発の参考として閲覧を得る会社・研究施設やグループメンバーによる遠隔利用であったり、塾での利用や趣味のサークルで利用する公共施設がみられた。

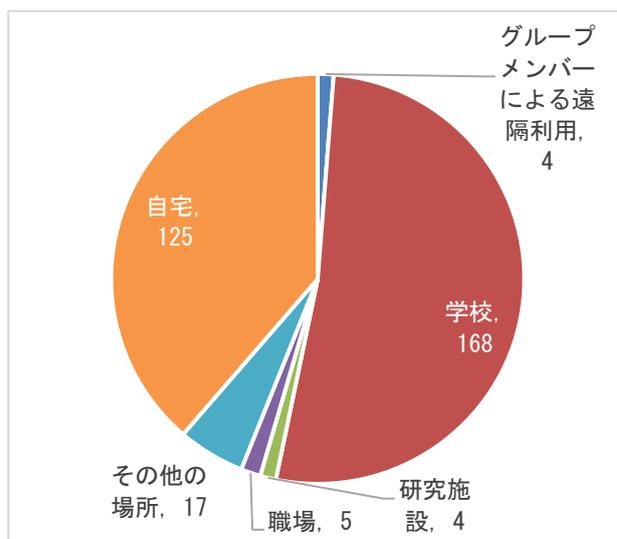


図7: 利用する場所 (活用場所)

本コンテンツの期待されていた利用方法の特徴を探索するため、「利用目的」に回答された文章を統計処理[5]し、共起ネットワークグラフを作成した(図8)．分析対象とした逐語録の内訳は、859文から総抽出語数5861語(2690語(以下カッコ内は分析使用語数))・種類数1066語(831語)であった．描画数は上位60語として最小出現回数は5回以上で作成した．言葉同士の結びつきのパターンを探るため、お互いに強く結びついているグループ同士を色分けするサブグ

ラフ検出 (modularity) でグラフ化を行なった. このグラフは言葉の出現回数が多いほど円が大きくなり, 言葉同士の結びつきを表す線は強い共起関係ほど濃く, 弱いほど線が薄く表現されている. この結果, 抽出後同士の結びつきの程度を表す Jaccard 係数は 0.16 で, 表示されたグラフは程度の軽い関連性であることが示された. この結果, 比較的大きな円が出現した「授業」や「活用」「教材」など学校現場で活用されるグループが形成されたことから「高校教員」「大学教員」「その他の教員」など教える立場の所属者による活用が述べられている様子が確認された. これらと同じくらいの大きさの円として出現している「数

学」は本コンテンツの中心概念であることから当然であるが, これを形成する緑色のグループには「教科書」「考える」「使用」そしてその先に「理解」「教える」「学ぶ」最後には「物理」と教科を横断した共起も形成されていた. さらに, 「復習」「知識」「自身」といった言葉のある黄色のグループに波線につながっており, ゆるい繋がり共起関係が確認された. これらは「高校教員」だけでなく「個人」としての利用目的も数学の理解や知識を深めたいという利用目的が主流であったと解釈できる. 3.1 および 3.2 で示した本コンテンツの利用状況と合わせても, 授業資料というより学ぶ目的の申請者が大半だったと考えられる.

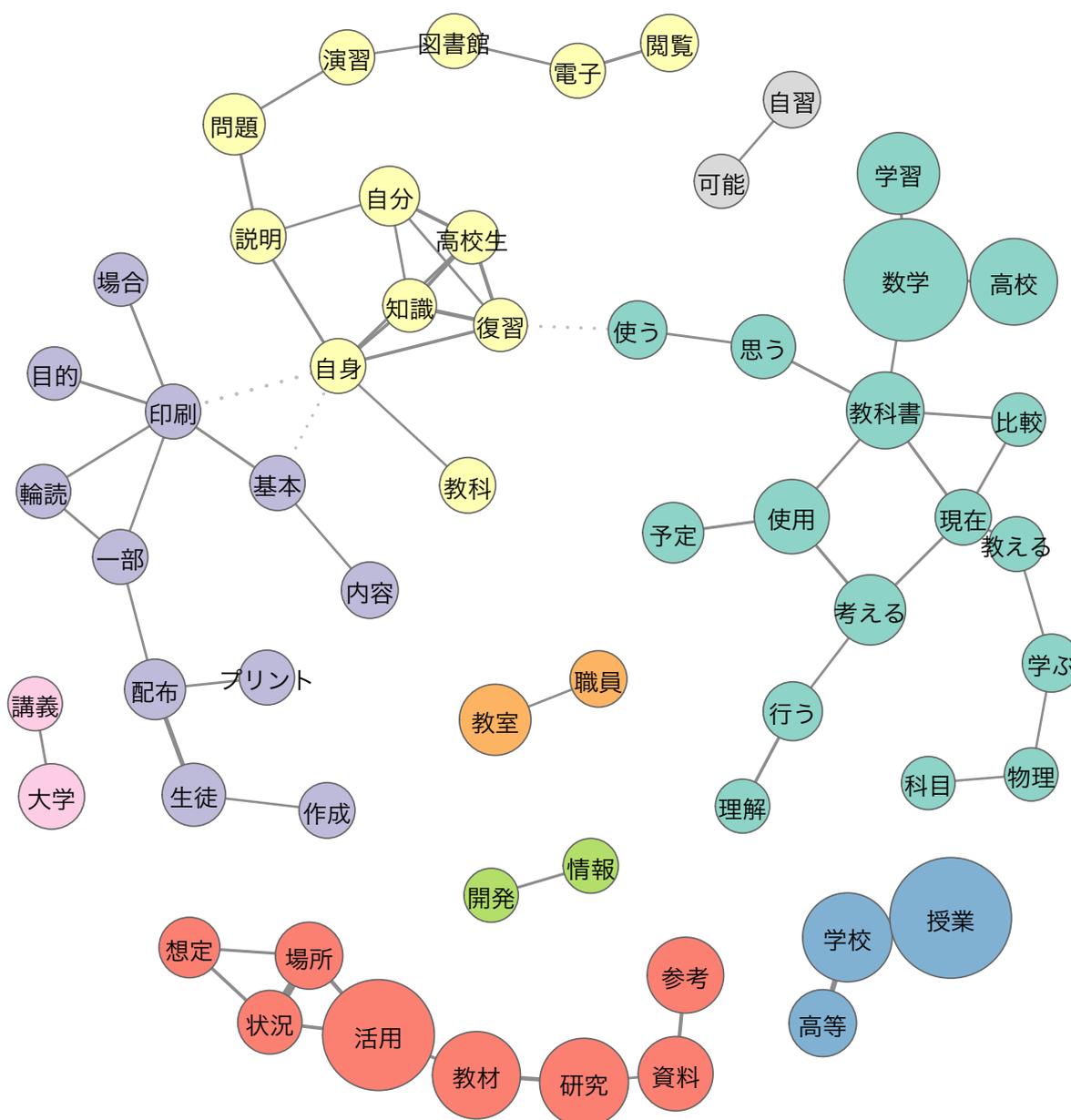


図 8: 「活用目的」の回答から得られた共起ネットワークグラフ

4. 利用者へのヒアリング調査

利用申請者の中には冊子の三省堂数学教科書に影響を受けたエピソードを長文にわたって報告するユーザがいた。これらは三省堂数学教科書の数学的な考え方に重点を置いた解説が学習者の理解に影響を与え、その理解を持続させていた可能性が考えられる。更には「また読みたいから閲覧を許可してほしい」とわざわざ申請フォームに書き込む行動を引き起こしていることから、過去の学びの再訪を促していたように見える。

こういった三省堂教科書および本コンテンツに対する解釈を改めて捉えるため、2021年3月～4月に愛知県三河地区で活動を行なっている大学教員・高校教員で構成される授業研究コミュニティ「西三数学サークル」に対してヒアリングを行なった(図9)。この結果、三省堂数学教科書は授業のような限られた利用では、特に決められた時間内に数学の得点を向上させるような活用は困難であるコメントがみられた。また、本来の狙いである読み手に考えを促すような使い方が適しており、学習者が中心で多様な学習方略を想定した活用が適していると考えられているようであった。

これ以外の数学教育関係者に対するヒアリングで出てきた話題として、M.ランパートの授業実践との比較がある[6]。ランパートの数学教育の実践は、認知的・社会的の2つの側面から特徴づけられ、評価されている。つまりは、日常生活で身につけた直感的な知識と意味を尊重することを起点とし、数学教育において「数学する (doing mathematics)」活動を導入し、「数学する」文化を創出することが重要だと示唆している。これに対して、三省堂数学教科書の著者も含む「数学教育協議会」のアプローチは、数学的概念を構築する過程に違いはあるが、学習者のもつ知的好奇心から創出される直感的な知識と意味を尊重する起点には共通性がある。本コンテンツの申請者の質問への回答やヒアリングの結果からも、三省堂数学教科書の著者らが教科書及び指導要領でまとめた内容が日常的に数学的概念を習得していく学習者中心の過程を重視しており、それがこれを読んだ学習者のみならず教員までも熱っぽく語る要因として働いた可能性が考えられる。

5. 調査から考えられるサイトの意義

利用する場所は高等学校の授業など学校での利用が一番多く、次は自宅での利用であった。学校での利用は学習教材としての利用が主な目的で、数学科教員同士

や同僚と一緒に使うなどグループでの利用が多数を占めている。自宅利用者は自学自習での利用が中心で、仕事や研究活動なども含むが純粋に数学を学習するために電子教科書が家庭で利用されていた。この他にデジタル教材開発の参考とする会社・研究施設やグループメンバーによる遠隔利用や、趣味のサークルで利用する公共施設がみられた。海外在住者からの申請もあり、海外でも数学教科書を利用できることを喜ぶコメントが見られた。

以上の利用傾向の把握をもとに、「閲覧開始から一定期間すぎると訪問しない」という問題に対して、以下の支援を行った。例えば授業利用での実践から本コンテンツを補助資料として利用できるようにした場合、計算結果のほかに自分なりの根拠を説明できるようになり、学習者間の議論も活発化した[7]。個人学習での利用状況を探るため、2名の工学部学生に本コンテンツを補助資料として授業外課題に取り組みさせた学習プロセスを観察したところ、度数法と弧度法の対応を整理する表を埋める課題で本コンテンツの閲覧と表のある列(特に 90° と 180° の列)を頻繁に行き来して確認している様子と、その前後に時間をかけて本コンテンツを読む様子が観察された。そしてそれ以外の列(教科書にない半端な数値の角度)は本コンテンツを閲覧せずにスムーズに算出していた。この参加者らは「本コンテンツは読み物としておもしろい」と調査後の感想を報告している。つまり本コンテンツは内容の確認というよりは、課題を解く際に解釈した理解と本コンテンツの解説を往還しながら理解を深める助けとなった可能性がある。

6. これからの時代に向けて

本コンテンツは20年以上前に開発されたものであり、当時の技術的制約を大きく受けていた。しかし、理解重視の意欲的な内容と、それをリソースとして使って解くべき課題があれば、冊子の時代に教科書の著者らが挑戦した「数学の野原を自由にかけ回る」ような学びが実現される可能性も期待できる[8]。

昨今、ICT技術の発展により知識伝達や情報共有の方略が動的かつ多様化する中、学習者が主体的に自由な方略で学習活動ができる自己管理型学習環境のために、教科の本質を求めて対話的に編まれた優良なコンテンツとそれを使って解くべき課題がデザイン指針として求められるのではないかと。

三省堂の教科書は非常にユニークなものでした。

特に「基礎解析」「代数幾何」の時代の教科書は際立っていました。

今から30年ほど前に私はあの教科書を使って教えたことがあります。

読み物としては面白いのですが、あれを使って教えようとする人を選ぶ教科書でした。（他社の教科書と違いすぎるためです）

定積分の導入方法などは他社と全く異なるので、今となってはとても貴重な資料です。

〇〇（学校名）は小学校以来全く学校に通学していない生徒たちをベースに授業を行うので、与えられたテーマにより教材を組み立てなければいけません。

毎時の授業を生徒の感性をベースに組み立てるとき、三省堂の問題例がたいへん使いやすいです。

実は、三省堂の導入法は新しい教育課程が今進行中ですが、先取する共通テストの問題も含めて

「対話型」「問題提起型」としてスタイルが入ってきてるのではないのでしょうか。

当時からも授業で使うよりは、教師の教材研究の参考として言われましたが、自分で教材を考えるには有効です。

三省堂の「明解数学Ⅰ」はもう30年くらい前に新任から赴任していた、今は閉校となった〇〇（学校名）で採用したことがあります。

例えば三角比を実際に使う時に中途半端な角度にして正弦定理を使う問題が載っていたりして、とても面白いと思って自分が採用を提言しました。

しかし、翌年にクラスの持ち方の関係で実際それを使ったのは定年後の非常勤の先生でした。

変な教科書だと文句を言われていたのを覚えています。むしろタブレットなどを活用して授業ができる今の時代のほうが使い道があるのかもしれない。

我々教員は読んでみて面白い切り口だなと思ったのですが、実際教科書として使うとなるとやっぱり使いにくかったかなという気がします。

副教材として活かす道はあるのではないのでしょうか？

1) 当時としては珍しい大判の教科書は見せていただきましたが使用する状況にはなりませんでした。

2) それは当時の学習指導要領に沿うように努めていたとは思いますが、展開に他の教員に違和感があったので、数学科の教科書として使うということではできないと思います。当時の会議で候補になりませんでしたし、今教科会議で検討するという事は学習指導要領も違ってきますし。

3) 塾、生徒の学習会などで使うということは、受験を度外視した集まりであれば（たとえば超一流受験校、職業課程、芸術スポーツ等の専門的課程、通信制など）では可能かもしれません。学習指導要領に沿った形での受験内容が学校の柱になっているようなことを考えているようなところでは、教員の意識も学校の体制もそのようになっているので難しいと思います。そのため受験の枠を外した形での塾、学習会等では活用法があると思います。

4) 以上のように書いてくると受験体制に負けているようですが、この教科書では例えば関数についての一般的定義を与え、それに条件を付け加える形で、具体例、学習指導要領の内容（1次関数、2次関数、 n 次関数、指数対数関数、三角関数）と展開していったように思います。その展開は連続性や、微分可能性などへの広がり保証していて、生徒たちにひろがり、展望を与えるものであり、数学史からの話題もあって、全体的にとらえられるものであったように思います。

5) 教員志望者が減っているようですが、モット自由に教員が教科内容や学習指導要領についてその存廃も含めて議論できるような体制をとっていかないと日本の数学教育に未来はないと思っています。

図9：三省堂数学教科書および本コンテンツに対するコメント

謝辞

本報告の作成にあたり，三省堂数学教科書および電子版の運用にご理解・ご協力いただきました著者の先生方及び申請者の皆様に感謝の意を評します。

文献

- [1] 三宅なほみ.(2004). “高度メディア社会のための協調的学習支援システム”. 戦略的創造研究推進事業 CREST 平成15年度研究年報.
- [2] 三宅なほみ.(2007). “高度メディア社会のための協調的学習支援システム”. 戦略的創造研究推進事業発展研究(SORST) 終了報告書, p27.
- [3] 東京大学 CoREF: <https://coref.u-tokyo.ac.jp>
- [4] 尾関智恵.(2016). 数学電子教科書の多様な活用から見る遠隔協働学習の再考: CoREF 三省堂教科書電子版の利用状況から (日本教育情報学会第 32 回年会)-(教育資料研究会). 年会論文集, 32, 74-77.
- [5] K. Higuchi., (2007). “A Two-Step Approach to Quantitative Content Analysis: KH Coder Tutorial Using Anne of Green Gables (Part II),” *Ritsumeikan Social Science Review*, 53(1): 137-147.
- [6] 石井英真.(2004). < 研究論文> 「基礎・基本」 を豊かに学ぶ授業の創造: M. ランパートの計算指導に学ぶ. 教育方法の探究, 7, 11-20.
- [7] 尾関智恵.(2011). “電子教科書を利用した学習活動を活性化させる試み”. 日本教育工学会研究報告集, 2011(1), 107-110.
- [8] 何森仁, 江藤邦彦, 小沢健一, 黒田孝郎, 小島順, 小林道正, 近藤年示, 新海寛, 時永晃, 野崎昭弘, 増島高敬, 武藤徹, & 森毅.(1981). “高等学校の数学 I” まえがき. 三省堂印刷株式会社.