

現代科学の特色に焦点を当てた漫画教材の開発と試行

Development of a Comic Booklet as Teaching Material Focused on the Characteristics of Modern Science and Scientists

福井 智紀¹, 菊池 郷史²

¹麻布大学 生命・環境科学部, 教職課程研究室, 神奈川県相模原市中央区淵野辺 1-17-71

²元・麻布大学 環境保健学部

Tomonori FUKUI¹, Satoshi KIKUCHI²

¹Teacher Training Course, School of Life & Environmental Science, Azabu University, 1-17-71 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa 252-5201, Japan

²Former College of Environmental Health, Azabu University

Abstract: This study aimed to develop a comic booklet as a teaching material focused on the characteristics of modern science and scientists, evaluate trial materials with students, and understand and predict future problems. First, we analyzed documents in the field of history and philosophy of science that discussed the characteristics of modern science in order to examine the contents and constitution of the teaching material. Consequently, we adopted ideas such as CUDOS and PLACE; Proto-type and Neo-type; etc. The teaching material booklet “Kagaku-Konjaku-Monogatari (A Story of Present and Former Science): CUDOS and PLACE” was developed using these ideas. We used the booklet for students in order to investigate its influence on them as subjects (readers). First, the subjects answered a pre-test, read the booklet, and finally answered a post-test. As a result, it was suggested that subjects’ scientific views were affected by the teaching material. In other words, subjects’ images of science and scientists were relatively varied from CUDOS and Proto-type to PLACE and Neo-type. On the post-test, the subjects’ evaluation of the booklet indicated that the booklet was nearly satisfactory. The comic book form of the booklet received an almost favorable evaluation. However, some improvements were suggested.

Key words: Manga (comics), CUDOS, PLACE, Proto-type, Neo-type

I. はじめに

現在社会における科学の重要性については、言を俟たない。ゆえに科学は、学校教育における重要な学習対象とされ、教科「理科」では、文部科学大臣が告示する学習指導要領によって、内容とその取扱いが明確に規定されている。しかし、科学的概念・法則を生み出してきた科学者については、一部の者が登場するに過ぎず、誰をどのように取り上げるのか

という基準は明らかではない。結果として、理科教科書に登場する「科学者」たちは、実際には、現在の意味での科学者とは呼べない者も多い。なぜなら、科学者という職業が確立していくのは、ニュートン(1642~1727)やラボアジエ(1743~1794)のような近代科学の生みの親とされる人々の登場よりも、はるかに後のことだからである(村上, 1999)。しかも、科学が制度として確立して以後も、科学と科学者の姿は大きく変容してきた。特に二度の世界大戦を契機に、国家・産業・科学が三位一体となる状況が生まれている。これは、「科学の体制化」と呼ばれる(廣

重, 2002/2003)。例えば, 今日では巨額の研究資金が, 国家予算から毎年提供されている。2017年度(平成29年度)の科学技術関係予算は, およそ3.5兆にもほり, 科学研究費助成事業(いわゆる科研費)だけでも, 2283.5億円が計上されている(内閣府, 2017)。また, 政府は現在, 第5期の科学技術基本計画に基づいて, 「Society 5.0」を旗印に, 中長期的な視野で産業を振興しようとしている(内閣府, 2016)。資金面から科学や科学者を見るだけでも, 科学の誕生, 制度化, 体制化という異なる段階を経て, その姿は大きく変容してきたのである。

このように科学は, その誕生以降, 幾度かの大きな変容を経てきた。しかし, 科学の変容や, それを経た後の現代科学の特色について学ぶ機会には, これまでの科学教育において十分に保証されてきたとは言い難い。こうした問題意識のもと, 本研究では, 科学の変容を生徒に理解させるための教材開発を行った。なお, 科学の変容について, 学校教育の中でも簡単に扱えるようにするには, 焦点を絞ったものにする必要がある。本研究では, 後述するように, CUDOSとPLACE, および, プロトタイプとネオタイプ, というキーワードを中心に, 現代科学の特色を取り上げることとした。また, このような科学論・科学哲学における専門用語を使用しつつ平易に理解してもらうために, あるいは, 教師が副教材として使いやすく生徒が興味・関心を持ちやすいように, 漫画冊子の形をとることとした。

なお, 科学教育における教材としての漫画の有用性について, 筆者らは福井・菊池・福原(2007)で整理している。要約すると, ここでは理科教育における漫画教材の意義・価値として, (1) 科学的内容をわかりやすく解説できる, (2) 科学的内容について視覚的イメージを持たせられる, (3) 科学についてのイメージを伝達できる, (4) 科学者についてのイメージを伝達できる, (5) 興味・関心や親近感の喚起, の5点に整理している。本稿では, 科学的な内容というより, 科学論・科学哲学の内容に焦点を当てているため, おもに(3)と(4)の意義や効果を持つ教材であると考えられる。また, 初等・中等段階の理科教育ではあまり取り上げられていない内容であること, 現在および過去の科学者(自然哲学者)を登場させていることから, (5)の意義や効果も期待できると思われる。

したがって, 教材の試行では, 教材を読むことによって, 読者の科学観や, 科学や科学者への興味・関心の喚起に対して, どの程度の効果が見られるのかに着目して評価を行った。

以上を踏まえると, 本研究の目的は, 現代科学の特色に焦点を当てた漫画教材を開発すること, および, 試行によって教材の評価を行い, 読者の科学観(科学像・科学者像)に与える効果などを検証するとともに, 今後の課題を把握することである。

II. 研究方法

以下の方法・手順で, 研究を進める。なお, 教材の読者・対象は, 最終的には高校生レベルを想定しているものの, 今回は試作版として, 大学生を被験者として試行・評価を行うことにした。

- (1) 現代科学の特色を扱った科学史・科学論分野の文献を分析し, 教材に取り入れる内容と教材の構成を検討する。
- (2) 上記に基づいて, 漫画教材の内容・構成を決定し, 試作版の教材冊子を作成する。
- (3) 教材冊子を試行し, 被験者(読者)の科学観(科学像・科学者像)に与える影響を, プレテストとポストテストによって検証する。
- (4) ポストテストではさらに, 興味・関心の喚起などを, 質問項目を基に検討する。さらに, 教材への具体的な評価や感想なども求めることで, 教材への評価や今後の課題などを把握する。

III. 開発教材の内容

研究方法の(1)および(2)に従って, 試作版の教材冊子を作製した。本節では, 教材で取り上げた内容について, 焦点を当てた科学論・科学哲学的内容, 教材の構成, 教材の特徴, の順に述べる。

1. 焦点を当てた科学論・科学哲学的内容

教材においてまず重要な点は, 現代科学の特色として, どのような点に焦点を当てて取り上げるかということにある。この点について, 科学論・科学哲学の分野においては, 科学や科学者の姿(正確には科学者の規範やエトスなど)について述べた標語として,

CUDOSとPLACEがよく知られている。

CUDOSとは、マートンが提唱した以下の内容に基づく標語であり、科学が変容して社会と大きく相互作用する(科学の体制化)以前における科学や科学者の姿を、やや理想化して表現した言葉といえる。まず、Communality(公有性)は、科学において発見された知見は公有的な性質をもつことを指している。科学的な知見は、速やかに公表され、科学者の共同体の共有財産となる。Universality(普遍性)とは、科学的知識は普遍性を有するので、いつでもどこでも成り立つことを指している。例えば力学法則は、地球上でも月面上でも、現在・過去・未来でも、一様に働く。また、科学は国籍・人種・階級・宗教などを問わず、国境を越えるものである。Disinterestedness(無私性)とは、科学の研究は、科学者の好奇心や探究心由来しており、科学者は自己の利益にはこだわらない、ということである。Organized Skepticism(組織的懐疑主義)とは、科学は科学者共同体による集団的な営みであり、得られた知見については暫定的には認めつつ、一方ではすべてを疑う、ということを示している。これにより、誤りや不適切な知見はやがて除去され、科学は累積的に発展していくものとなる。マートンは、20世紀半ばの科学者たちの心情を表すものとして、以上のような4つの観点を提案したのである。これらの英語の頭文字は、ギリシャ語のkudos(賞賛・栄誉)と類似しており、CUDOSと標語化して呼ばれるようになった(村上, 1999; 井山・金森, 2000)。

CUDOSは、一見すると、科学や科学者があるべき姿を示している。しかし、現代のリアルな科学や科学者の姿に対するキャッチフレーズとしては、それほど実態を反映していないことが明らかとなってきた。そこで、PLACEという新しい言葉が、ザイマンによって提唱された。まず、Proprietary(所有性)は、実際の科学の世界では、発見者らが知見に対する優先的な権利を有する、ということである。例えば、現在の科学的研究によって得られた成果は、知的財産として守られ、得られる金銭的な対価も、まずは発見者(もしくは権利の所有者)が享受すべきとされる。科学者は、第一発見者としての名声だけではなく、経済的・物質的な果実についても、所有する権利があることになる。Local(局所的)とは、実際の科学の世界では、眼前の当面の問題が解決すればよい

というケースが少なくない、ということである。例えば、特定の野生生物の保護の研究では、その目的を達成することが第一のミッションとなる。産業的な意図を持った研究の場合でも、普遍的な知見を生み出すことよりも、役に立つ知見を生み出すことが優先される。Authoritarian(権威主義的)は、科学者は専門家(という権威を持った者)として振舞う、ということである。科学者は、純粋に科学的な業績の範囲を超えて、社会において一定の地位や尊敬を得ている。また、科学者内部の世界の中でも、年長者や有力者が権威的に振舞う一方で、若年者の創造的な業績が認められづらい、といったことが無いとは言えないだろう。Commissioned(請け負いの)とは、科学における研究の多くは、科学者自身の好奇心というよりも、委託や社会的使命によって駆動されている、ということである。外部から資金を得たり、企業に雇用されている科学者は、一定の成果をあげて、社会や資金提供者に還元しなければならない、といった責務を負っている。Expert(専門的)とは、科学における研究が、高度に専門分化している、ということである。同じ大学に研究室を構えていても、隣の研究室の研究内容について細部までは理解できない、ということが珍しくない。「野鳥の縄張り行動」については、「物理学者」よりも、アマチュアのバードウォッチャーの方が、明らかによく理解しているだろう。科学者とは言え、まったく専門外の分野については、素人レベルの場合も少なくないのである。以上のような現代の科学や科学者の姿を、ザイマンは、マートンのCUDOSに対比する形で、PLACEとして提案したのである(Ziman, 1995; 村上, 1999)。

CUDOSとPLACEという二つの標語の対比は、科学や科学者の姿をやや対極的に捉えたものとして、科学論・科学哲学の分野においてはよく知られている。これらに加えて、日本の村上(1999)は、プロトタイプとネオタイプという科学の区分を提唱している。重複を避けて端的にまとめるとすれば、プロトタイプは、科学者の知的好奇心によって駆動され、CUDOSに近い科学観を指している。また、ネオタイプは、科学者の社会的要請や使命感によって駆動され、PLACEに近い科学観を示している。この他にも、例えば研究の成果について、前者では科学者共同体の内部での流通やそこでの評価が重視されるのに対

して、後者ではクライアントを含む科学者共同体の外部での活用やそこでの評価が重視される傾向がある、などの違いが見られる。

以上を踏まえて、本研究では、CUDOSとPLACE、および、プロトタイプとネオタイプ、という対極的な視点から、科学の変容あるいは現代科学の特色を整理して取り上げることができるよう、焦点を絞って内容を構成とすることにした。

2. 教材の構成

前節での内容を、ただ教科書的に取り上げても、学習者(読者)の興味・関心を引きづらく、内容も難解になりやすい恐れがある。そこで、はじめに述べたように、今回は、漫画冊子の形をとることにした。

試作版の教材冊子は、表題を『科学今昔物語 CUDOSとPLACE』とし、A4判・右開きで、本文20頁と表紙からなる。主人公は、高校生の男女、マイコとタクヤである。さらに、説明役として、企業の研究所に勤める科学者である、タクヤの叔父を登場させている。この他に、進行に合わせて、歴史上の科学者(自然哲学者)なども登場させている。以下では、白紙のページを除くすべてのページを、順に紹介していきたい。

まず、図1に、表紙、中表紙、奥付(裏表紙)を示す。CUDOSとPLACEという用語を示しつつも、親しみやすい印象を与える表紙となっている。

図2は、冒頭の見開きページである。なお、この教材冊子は右開き綴じのため、以下では右ページ・左ページの順でストーリーが進むことに注意されたい。まず、導入部では、主人公である高校生のマイコとタクヤが、進路について会話する場面から始まる。生物学を専攻したいマイコは、タクヤの叔父が科学者であることを知り、一緒に会いに行くことにする。タクヤの叔父は、企業の研究所に勤める科学者という設定で、この教材冊子における解説者の役割を果たす。

図3以降は、展開部(教材冊子の中心部)である。図3に示した次の見開きページでは、タクヤの叔父が、CUDOSとPLACEというキーワードについて解説している。叔父は、タクヤからの「おじさんはどっちの科学者に近いの?」という問いかけに対して、「CUDOS」でありたいけど実際には「PLACE」に近いなあ」と答えている。さらに、6ページでは、近代

科学以前の「前科学」から、「プロトタイプ」そして「ネオタイプ」というように進んだ科学の歴史について、これらのキーワードの内容を表形式にまとめて示している。

図4に、続きの見開きページを示す。ここでは、上記の3区分について、ニュートンなどの科学者(自然哲学者)を登場させて、さらに詳しく解説している。まず、前科学の時期の彼らは、現代の科学者とは大きく様相が異なり、「自然哲学者」などと呼ぶべきであることを説明している。当時の科学者(自然哲学者)が、自ら実情や苦勞について語ったり、マイコやタクヤと自然な形で直接会話したりしているのは、漫画ならではの表現と言えるだろう。さらに、「プロトタイプ」と「ネオタイプ」については、叔父が、現代の科学者の姿と対比する形で解説している。

図5に、続きの見開きページを示す。ここでは、前ページのネオタイプの説明をさらに深め、科学が変容していく様子や、現代科学の姿について解説している。特に、ネオタイプの科学が登場する契機として、マンハッタン計画(第二次大戦下におけるアメリカ合衆国による原爆開発)をやや詳しく取り上げるとともに、終戦間近に出されたブッシュによる報告書についても、簡単に触れている。1945年7月に出されたこの報告書(『科学：果てしなきフロンティア』)は、マンハッタン計画のような国家による科学の動員体制の有効性を認め、その後の米ソ冷戦下における科学の姿に大きな影響を与えたものである(中島, 2008)。このような「科学の体制化」が進んで行く過程を簡潔に描いたうえで、科学の変容の過程や現代科学の特色を、大局的にまとめている。

図6に、残りの見開きページを示す。ここでは、最後のまとめとして、CUDOSとPLACEについて主人公が復習している。さらに、科学の正と負の両面に目を向けつつ、科学を深く理解することの重要性を強調して、エンディングにつなげている。また、末尾には、教材冊子の参考・引用文献も表記している。

3. 教材の特徴

以上が本教材の内容であるが、ここで教材の特徴や、工夫した点について述べておきたい。まず、漫画という形式を採用したことが、本教材の最大の特徴である。これにより、科学論・科学哲学の分野における専門用



図 1. 教材冊子の表紙 (左)・中表紙 (中央)・奥付 (右)

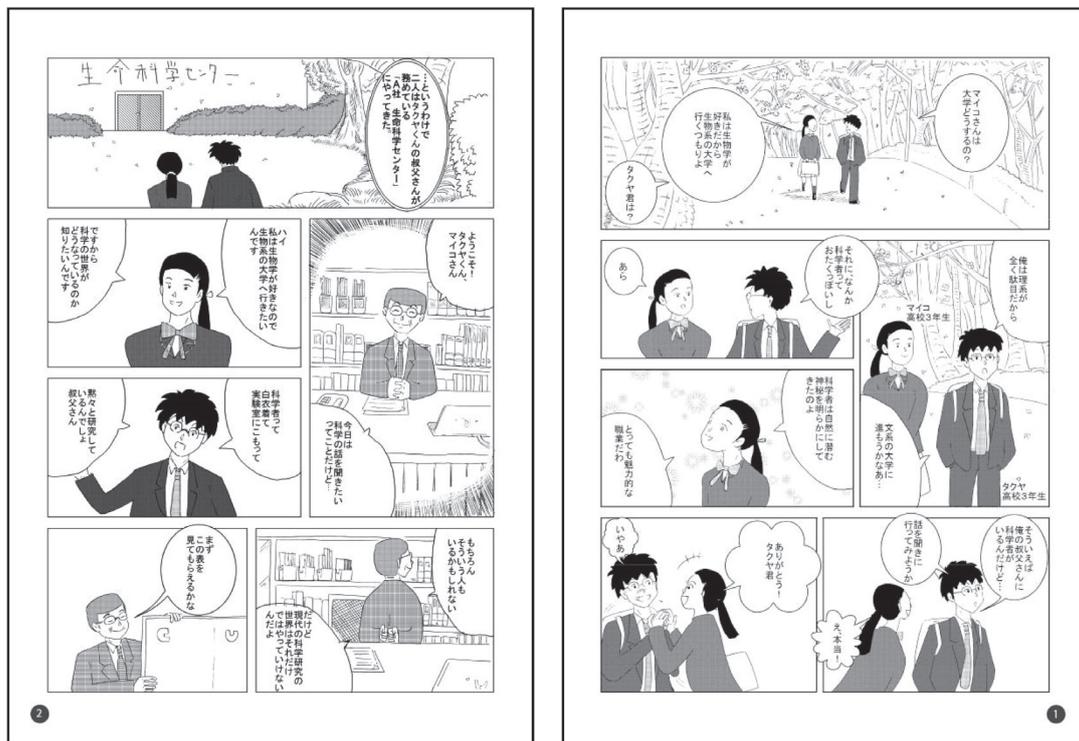


図 2. 主人公が科学者に会いに行く場面 (pp.1～2)

語を使用しているも、高校生レベルでも分かりやすく、文字だけではなくイメージ的に科学の姿について紹介することを試みている。また、読者がスムーズに読めるようにストーリー性をもたせつつ、適宜、表や解説

を入れている。例えば、CUDOSとPLACEについて、見開きのページで対比させることで、両者を比較して理解しやすいよう工夫している。学校教材として使用する場合にも、このような図版的まとめは活用しやす



図3. CUDOSとPLACEの解説場面 (pp.3～6)

いと思われる。ただし、漫画という形式を採用したと言っても、絵のタッチはできるだけ簡素化し、不必要に凝ったものにはしなかった。また、予備知識のない

高校生レベルでも読みやすいように、言葉遣いやレイアウトも、分かりやすさを重視した(ただし後述するように、それでも難しいと感じさせた部分はある)。

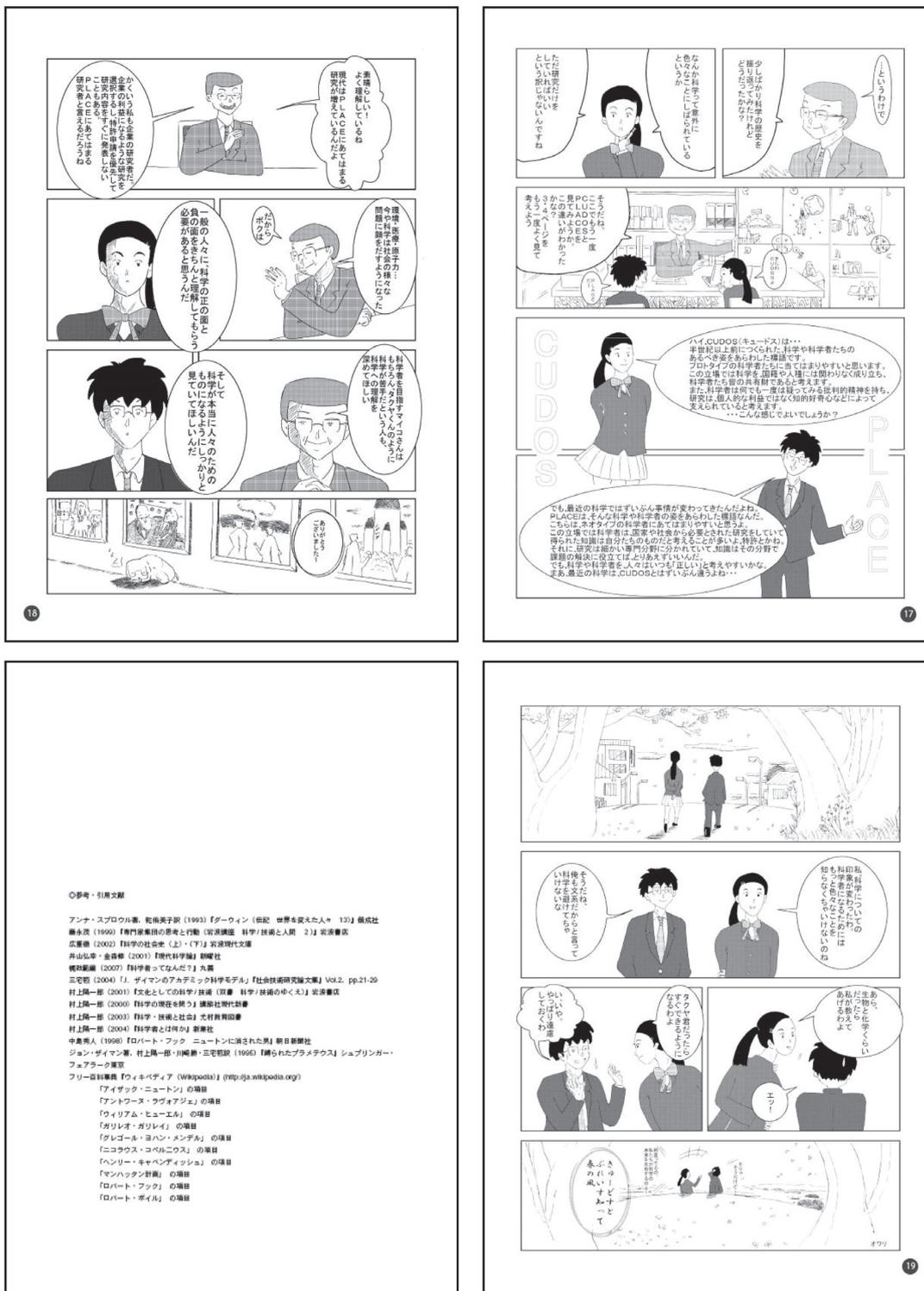


図6. 「まとめ」と参考・引用文献 (pp.17～20)

◎参考・引用文献

- アンナ・スプロウエル著、乾伸英訳 (1993) 『ダーウィン (伝記) 世界を変えた人々 13』 朝倉社
- 藤永茂 (1996) 『専門業団の思考と行動 (岩波講座 科学・技術と人間 2)』 岩波書店
- 広澤徹 (2002) 『科学の社会学 (上)・(下)』 岩波現代文庫
- 井山弘幸・金森輝 (2001) 『現代科学論』 朝倉社
- 梶坂繁 (2007) 『科学者ってなんだ?』 丸善
- 三宅節 (2004) 『「サイエンスのアムステルダム科学モディ」』 『社会技術研究論集』 Vol.2, pp.21-29
- 村上隆一郎 (2001) 『文化としての科学: 技術 (図書 科学・技術のゆくえ)』 岩波書店
- 村上隆一郎 (2000) 『科学の現在を解く』 講談社現代新書
- 村上隆一郎 (2003) 『科学・技術と社会』 文芸春秋
- 村上隆一郎 (2004) 『科学者とは何か』 朝倉社
- 中島英人 (1998) 『ロバート・フック ニュートンに誘われた男』 朝日新聞社
- ジョン・ザイマン著、村上隆一郎・川崎伸・三宅節訳 (1996) 『隠れたプラトメテウス』 シュプリンガー・フェアラーク東京
- フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』 (<http://ja.wikipedia.org/>)
- 『アインシュタイン』の項目
- 『アントワニス・ヴァリアジエ』の項目
- 『ウィリアム・ヒューエル』の項目
- 『ガリレオ・ガリレイ』の項目
- 『グレゴール・ヨハン・メンデル』の項目
- 『ニコラウス・コペルニクス』の項目
- 『ヘンリー・キャベンディッシュ』の項目
- 『マンハッタン計画』の項目
- 『ロバート・フック』の項目
- 『ロバート・ボイル』の項目

1. 科学者は、国や社会が必要としている研究課題を外部から与えられて研究を行う
2. 科学者は、偏見や先入観にはとらわれず、客観的に研究を行う
3. 科学者は、社会の中では、正しいことを語る人物としてふるまう
4. ある科学者がどんな価値観や信念を持っていても、研究にはあまり影響しない
5. 科学者は、発見したことをすみやかに公表する
6. 科学の世界では、ものの見方や考え方の枠組みが、ときどき大きく変化する
7. 科学は、科学者の国籍や人種には関係ないものである
8. 科学者は、研究を進めるにあたって、自分の利益や損得を気にしない
9. 科学者は、社会の中では、尊敬されるべき人たちである
10. 科学は、ひとつではなく、たくさんの専門分野に分かれている
11. 科学者は、社会で起きていることはあまり気にせずに自分の研究に没頭する
12. 科学者は、真理を追求するよりも、とりあえず目の前の研究課題の解決をめざす
13. 科学は、社会のしくみや制度とは関係なく、独自に進歩をとげてきた
14. 科学者は、成果をあげれば、それに見合った金銭的利益を得てもよいと考えている
15. 科学者は、自分の専門分野以外の科学については、それほど詳しくない
16. 科学者は、お金のためではなく自分の知的好奇心にしたがって、研究を行う
17. 科学者は、新しい発見や理論を簡単には認めずに、慎重に検討する
18. 科学によって得られた知識は、発見者ではなく科学者みんなの共有財産である
19. 科学は、国家の威信をかけて行われるものである
20. 国や企業の経済的な利益が優先されて、成果がすぐには公表されないことがある
21. 科学者は、何に対しても一度は疑ってみるといった批判的精神を持っている
22. 科学と技術とは、ほとんど一体化していて区別できないものである
23. 科学の成果は応用されて、国家や社会のために役立てられる
24. 科学は、知識が少しずつ積み重ねられながら、連続的に発展してきた
25. 科学の知識は、科学者の集団内で流通するので、一般の人々にはあまり関係がない
26. 科学者が用いる理論や方法は、専門分野によってかなり違っている
27. 科学は、技術がそうであるほどには、社会や人々に影響を与えない
28. 科学者は、外部から研究資金を獲得し、指定されたテーマの範囲で研究を行う
29. ある科学者が発見した知識の所有権は、その科学者が持っている
30. 科学の知識は、いつ、どこでも成り立つ、普遍性をもったものである

図7. 科学像・科学者像を表現した30項目

注) 各項目は、CUDOS・プロトタイプ(2, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 18, 21, 24, 25, 27, 30)とPLACE・ネオタイプ(その他すべて)、どちらかの科学観に基づく。

IV. 教材の試行結果

開発した教材について、学生を対象に試行し、あわせてプレテスト・ポストテスト(質問紙法)を実施した。被験者は、筆者が担当していた麻布大学の「教育学概論」受講生65名(男14名・女51名)で、ほとんど(61名)が1年生であった。なお、これは学芸員課程に設置された科目で、学科の分布は、獣医学科9名、動物応用科学科51名、衛生技術学科2名、健康環境科学科1名、環境政策学科2名、であった。現在は、学芸員課程の廃止に伴い、この科目は開設されていない。調査は、2008年1月に実施した。

被験者は、まずプレテストに回答し、続いて教材冊子を自分のペースで黙読し、その後にポストテストに回答した。プレテストとポストテストでは、科学像・科学者像を表現した30項目を提示し、それぞれに「強くそう思う」「そう思う」「少しそう思う」「あ

まりそう思わない」「そう思わない」「全然そう思わない」の6点尺度で回答させた(図7)。なお、30項目には、CUDOS・プロトタイプの科学観に基づく15項目と、PLACE・ネオタイプの科学観に基づく15項目とを、同数になるようにランダムに配置した。図7のうち、2, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 18, 21, 24, 25, 27, 30が前者に、残りが後者に該当すること想定して作問している。

これに加えて、ポストテストでは、教材の感想などに関わる質問項目を追加した。

1. 教材読後の科学観の変化

教材冊子を読んだことにより、読者の科学観にどのような変化が見られたのかを分析するため、図7の各項目に対するプレテストとポストテストの比較を行った。そのために、まず、6点尺度の回答を、1点刻みで得点化した。CUDOSとPLACEの各15項目に

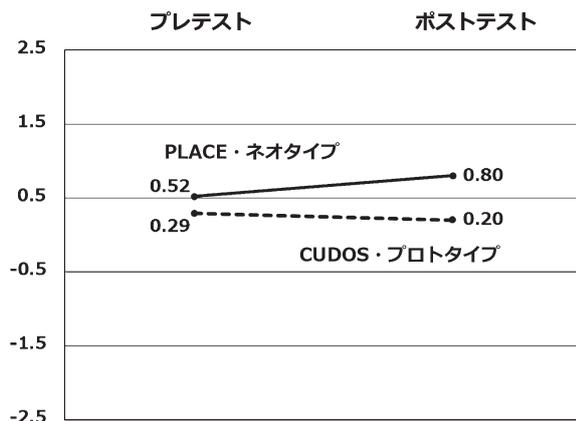


図8. 教材通読の前後での両科学観に対する支持度（平均値）の変化

おける平均値を算出することで、両者に対する支持度と、読後の変化を明らかにすることができると考えた。図8に、中央値を0とし、「強くそう思う」を+2.5、「全然そう思わない」を-2.5とした場合の、CUDOSとPLACEの各15項目における平均値の変化を示す。

これによると、冊子教材の読後には、CUDOS・プロトタイプという伝統的・古典的な科学観については、若干の低下が見られる。一方で、PLACE・ネオタイプという現代科学の実態をより反映している科学観については、上昇が見られる。

次に、プレテストとポストテストでの回答傾向の変化を、項目ごとに検討した。具体的には、各項目のプレテストとポストテストの平均点の差について、*t*検定（両側検定）を行った。その結果、全体の3分の

1にあたる10項目が有意であった。

まず、有意であった項目のうち、CUDOS・プロトタイプに対応するものを、表1にまとめて示す。なお、項目No.は、図7の各質問項目に対応する。同様に、有意であった項目のうち、PLACE・ネオタイプに対応するものを、表2にまとめて示す。

これらを見ると、CUDOS・プロトタイプという伝統的・古典的な科学観については、読後に平均値が上昇した（質問項目への肯定的な回答が増加した）ものが1項目、低下したものが3項目であった。このことは、CUDOS・プロトタイプの項目については、全体的な傾向として、否定的な回答の方向への変化が見られたことを示唆している。一方で、PLACE・ネオタイプという現代科学の実態をより反映している科学観については、読後に平均値が上昇したものが6項目で、（有意に）低下したものはなかった。このことは、PLACE・ネオタイプの項目については、全体的な傾向として、肯定的な回答の方向への変化が見られたことを示唆している。これらをまとめると、少なくとも冊子教材の読後すぐにおいては、読者が持つ科学像・科学者像は一時的にであれ影響を受け、CUDOS・プロトタイプからPLACE・ネオタイプへと、相対的に変化したことが示唆された。

2. 教材冊子に対する評価

ポストテストでは、前節で取り上げた項目だけではなく、教材の感想などに関わる質問項目を追加した。まず、被験者の科学や科学者に対する興味・関心と、その変化について検討する。

表1. CUDOS・プロトタイプに対応する項目における変化

項目No.	平均値の増減	<i>t</i> 値	自由度	有意確立
4	+0.51	4.37	64	<.01
7	-0.34	2.64	64	<.05
8	-0.37	2.02	64	<.05
16	-0.43	3.15	64	<.01

注) CUDOS・プロトタイプに対応する各項目におけるプレテストとポストテストの平均点の差について、*t*検定（両側検定）を行った。表には有意なもののみを記載した。

表2. PLACE・ネオタイプに対応する項目における変化

項目No.	平均値の増減	<i>t</i> 値	自由度	有意確立
1	+1.23	7.88	64	<.01
3	+0.59	4.12	64	<.01
12	+0.69	4.38	64	<.01
19	+0.83	6.12	62	<.01
23	+0.45	4.44	64	<.01
28	+0.37	2.64	64	<.05

注) PLACE・ネオタイプに対応する各項目のプレテストとポストテストの平均点の差について、*t*検定（両側検定）を行った。表には有意なもののみを記載した。なお、N=65だが、欠損値を除外したので一部の項目では自由度が異なっている。

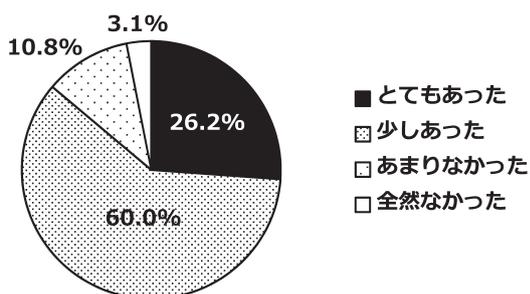


図9. 科学や科学者に対するこれまでの興味・関心 (N = 65)

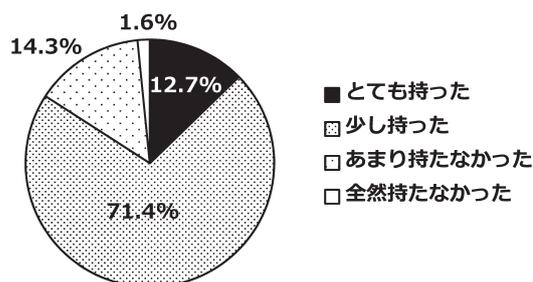


図10. 教材による科学や科学者に対する興味・関心の喚起 (N = 63)

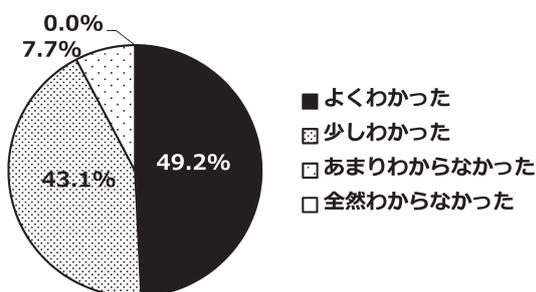


図11. 教材の内容のわかりやすさ (N = 65)

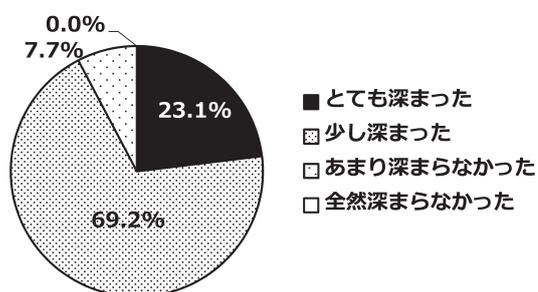


図12. 教材による理解の深化 (N = 65)

図9に、「あなたはこれまで、科学や科学者について、興味・関心がありましたか」という質問への回答結果を示す。また、図10に、「このマンガ冊子を読んで、科学や科学者について、興味・関心を持ちましたか」という質問への回答結果を示す。

図9を見ると、今回の被験者が理系大学の学生ということもあってか、科学や科学者への興味・関心は、もともとある程度高かったことがわかる。また、図10では、そうした被験者の多くが、今回の教材を読んだことによって、さらに興味・関心を喚起されたことがわかる。

次に、教材のわかりやすさや、理解度への影響について検討する。図11に、「このマンガ冊子の内容は、よくわかりましたか」という質問への回答結果を示す。また、図12に、「このマンガ冊子を読んで、科学や科学者について、理解が深まりましたか」という質問への回答結果を示す。

図11を見ると、科学論・科学哲学の分野のやや専門的な内容であったにもかかわらず、被験者のほとんどが、わかりやすいと感じたようである。また、図

12を見ると、今回の教材を読んだことによって、被験者のほとんどが、科学や科学者への理解が深まったと感じていることがわかる。

さらに、もう少し詳細なレベルで、教材への感想や評価を検討する。図13に、「このマンガ冊子について、あてはまると思う項目に○を付けてください(○はいくつでも構いません)」という質問への回答結果を示す。つまり、図に示した選択肢を提示して、複数回答を求めたものである。なお、図中の選択肢は、提示した順のままにしている。

図13を見ると、被験者の8割以上が「勉強になった」を選択した。また、「面白かった」が26.2%だったが、「難しかった」も同率であった。この他の肯定的な評価等としては、「イラスト・マンガがよかった」「セリフや説明文がよかった」が比較的多く、漫画の形式を採用したことが効果をあげたものと考えられる。また、1割超の被験者は、「配布したものの以外も読んでみたい」を選択した。しかし、「内容が多すぎる」が15.4%であり、正確性を期すためにやむを得ず、説明的文章や専門用語の使用が増えてしまったこと

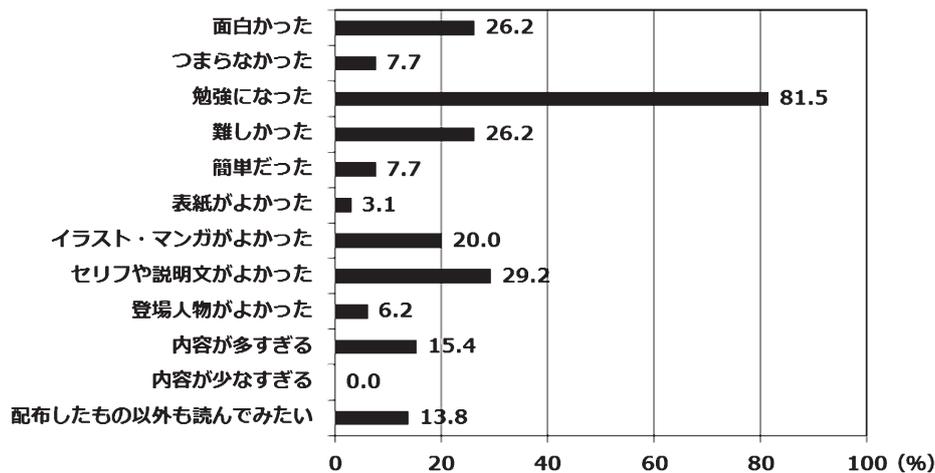


図 13. 教材への感想・評価等 (N = 65, 複数回答)

が、一部の被験者には否定的に捉えられたものと考えられる。以上をまとめると、教材への感想・評価等は、おおむね良好であり、漫画という形式も一定の評価を得たものの、改善すべき点も残っていることが明らかになった。

ポストテストの最後では、「本日のマンガ冊子について、意見や感想を書いてください。どんなことでも構いません」という項目を設けた。図 14 には、得られた回答をすべて、肯定的回答、否定的回答、両面的回答（肯定的と否定的の両方を含むもの）、その他の回答、無回答、として分類したうえで、ほぼ原文のまま掲載した。図 14 を見ると、肯定的回答が約半数と最も多く、否定的回答は 8 件に留まることから、教材が高い評価を得たことが示唆される。両面的回答も、「難しい印象や読みづらさがあるものの、よくできていて勉強にはなる」という趣旨の、改善点と一定の評価とを併せて言及したコメントが多いように思われる。また、否定的回答、両面的回答、その他の回答には、字やセリフをもっと減らすことや、色がうすいことなど、具体的な改善点への言及があり、学習者目線からの改善点を把握するうえで有意義な指摘が多く得られた。以上の図 14 の自由記述回答の結果をまとめると、全般的には本節のここまで（図 9～13）で見られた傾向と一致しており、教材には改善点も残るものの、おおむね肯定的な評価を得た、と言ってよいものと思われる。

V. まとめ

本研究の目的は、現代科学の特色に焦点を当てた漫画教材を開発すること、および、試行によって教材の評価を行い、読者の科学観（科学像・科学者像）に与える効果などを検証するとともに、今後の課題を把握することにあつた。

まず、現代科学の特色を扱った科学史・科学論分野の文献を分析し、教材に取り入れる内容と教材の構成を検討した。その結果、CUDOS・プロトタイプとPLACE・ネオタイプという対極的な視点から、科学の変容あるいは現代科学の特色を整理して取り上げることができるよう、焦点を絞って内容を構成とすることにした。試作版の教材冊子は、表題を『科学今昔物語 CUDOSとPLACE』とし、A4判・右開きで、本文 20 頁と表紙からなるものが完成した。開発した教材について、学生を対象に試行を行い、被験者（読者）の科学観（科学像・科学者像）に与える効果などを、プレテストとポストテストによって検証した。その結果、少なくとも冊子教材の読後すぐにおいては、読者が持つ科学像・科学者像は一時的にであれ影響を受け、CUDOS・プロトタイプからPLACE・ネオタイプへと、相対的に変化したことが示唆された。さらに、ポストテストでは、被験者（読者）による教材への具体的な評価や感想などを求めた。その結果から、教材への感想・評価等はおおむね良好であり、漫画という形式も一定の評価を得たが、改善すべき

【肯定的回答】計 33 件

勉強になりました／こんなふうに科学について考えたことがなかったのでとても勉強になりました。あらゆる視点から物事を見る楽しさもわかった気がします／さっぱりとしたイラストと、簡潔な説明で科学について良くわかった。マンガの登場人物が、今日アンケートをもってきた人と、先生なのかな、と思いながら読んで／とても勉強になりました／非常に勉強になりました。ありがとうございました／ちょっとした会話がおもしろかった／図があったので解りやすかった／はじめて聞いた 2 語だったがよく分かった／とても勉強になりました／とてもわかりやすくまとまっていたと思います／文章のみだと読む気にはなれなかった内容だと思った。マンガ・イラスト付きだと多少難しめの内容でも理解しやすかった／がんばってください／ロボット犬が可愛かった／おもしろかったです／しょうぞう画がうまいですね／面白かったし、読みやすく細かい所にも気を配ってて良かったです。歴史上の人物が特に面白かったです／とても勉強になりました／なかなかよかったです／きれいにまとまっていたと思った／科学者の過去と現在のあり方がわかって面白かった／科学史の勉強になり大変参考になった／マンガがおもしろいし絵が兄ちゃんに似てる／絵が上手でした。読みやすかったです／最後がまとめられてよかったと思います／普段はあまり考えない科学について理解が深められたのでよかった／今まで知らなかった科学者の背景とかがわかってよかった／勉強になりました／わかりやすかったです／勉強になりました／こんなできるのかあ／絵がうまかった／よくできていると思いました。他の作品も読んでみたいです／科学がおちいているジレンマが分かった

【否定的回答】計 8 件

もう少し話題を掘り下げてほしかった／最後の 5・7・5 をもっと良い感じに。かっこよく決めてほしい「ぶれいすと、きゅーどす知った その後の 未来をになう 子供たちかな」とかどうですか？／CUDOS と PLACE の説明部分が少しよみづらい。コマわりと説明文をもう少し変えたほうがよいと思う。また、一部ふき出し部分の文章が長すぎる感じがした。／字が多すぎるのと、構成的にちょっと読みづらかった／普通のマンガみたいにもっとセリフみじかくしたほうがよみやすい／字数も多いのでいっそマンガじゃない方がいいと思う／あまりわからなかった／色がうすかった

【両面的回答（肯定的・否定的の両方を含むもの）】計 10 件

あまり考えたことがなかったので少し難しかったけれど科学者の立場や考え方が少しわかってよかったです／説明文が長くて読みづらいところもあったけれど科学者の姿がわかりやすく書かれていて勉強になった／少しセリフが難しかったが、科学や科学者についてわかりやすいマンガだったと思う／少し文字が多かった気もしますが、解りやすかったです／絵も上手だったけど、一文が長いなと思った／すぐていねいに作られていると思いました。でも、読んで疲れました／イラストが上手だった。少し内容が難しかった／言葉が多かったが勉強になるマンガでした／よくできていると思いますが、字が多く、読んでて退屈でした／セリフが少し多かったです、全体的にわかりやすかったです

【その他の回答】計 3 件

人をえがくのではちびキャラ的マスコットの存在にしてみれば／字の入れ方をくふうするともっと読みやすいと思う／特になし、書いた人はお疲れ様でした

【無回答】計 11 件

図 14. 教材への意見や感想など（自由記述回答、N = 65）

点も残っていることが明らかになった。

注

以上から、本研究によって作成された教材は、科学教育において一定の有用性を持つことが示唆された。しかし、高校などでの実際の理科授業において活用するためには、今回指摘された点を踏まえた修正、もしくは、指導者による補足が必要となるだろう。それでも、本研究のような教材開発は、これまでの科学教育界においては、ほとんど試みられてこなかった。近年は、科学・技術と社会との関係性が鋭く問われ、一般の人々も科学や科学者について多面的に理解することが必要となっている。現代科学の特色も含め、科学や科学者について深い理解を促すための教材は、これからますます求められるようになるのではないと思われる。

本稿に示したおもな結果については、2008年9月13日に日本理科教育学会第58回全国大会において口頭報告した。また、日本理科教育学会が編集する一般誌である『理科の教育』の2010年6月号では、他の教材とともに本稿の教材についても、一部を紹介した。しかし、試行結果を含む教材の詳細については、これまで学術雑誌等に投稿・掲載していなかった。理科教育・科学教育にとって有用なデータを含むため、今回の機会にとりまとめて投稿させていただいた。

また、本研究および教材冊子の作成において、本稿ですでに示した文献の他、次の文献も参照・引用した。

藤永 (1999), 梶 (2007), 三宅 (2004), 村上 (2000, 2001, 2004), 中島 (1998), 野家 (2001), Sproule (1993), および, ウィキペディア (<http://ja.wikipedia.org/>) の以下の各項目。「アイザック・ニュートン」「アントワーヌ・ラヴォアジエ」「ウィリアム・ヒューエル」「ガリレオ・ガリレイ」「グレゴール・ヨハン・メンデル」「ニコラウス・コペルニクス」「ヘンリー・キャベンディッシュ」「マンハッタン計画」「ロバート・フック」「ロバート・ボイル」.

謝辞

調査にご協力いただいた方々に、この場を借りて、深く感謝申し上げます。

文献

福井智紀・福原悠果・菊池郷史. 2007. 「理科教材としての漫画に関する基礎的考察」『日本科学教育学会研究会研究報告』21: 63-68.
藤永茂. 1999. 「専門家集団の思考と行動」岩波書店.
廣重徹. 2002/2003. 「科学の社会史」岩波書店.

井山弘幸・金森修. 2000. 「現代科学論」新曜社.
梶雅範編. 2007. 「科学者ってなんだ?」丸善.
三宅菫. 2004. 「J. ザイマンのアカデミック科学モデル」『社会技術研究論文集』2: 21-29.
村上陽一郎. 1999. 「科学・技術と社会」光村教育図書.
村上陽一郎. 2000. 「科学の現在を問う」講談社.
村上陽一郎. 2001. 「文化としての科学／技術」岩波書店.
村上陽一郎. 2004. 「科学者とは何か」新潮社.
中島秀人. 1998. 「ロバート・フック ニュートンに消された男」朝日新聞社.
中島秀人. 2008. 「社会の中の科学」放送大学教育振興会.
内閣府. 2017. 「科学技術関係予算 平成29年度当初予算案及び平成28年度補正予算について」<http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/h29yosan.pdf> (2017年8月18日最終確認).
内閣府. 2016. 「科学技術基本計画」<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html> (2017年8月18日最終確認).
野家啓一. 2001. 「科学の哲学」放送大学教育振興会.
Sproule, A. 著, 乾侑美子訳. 1993. 「ダーウィン (伝記 世界を変えた人々 13)」偕成社.
Ziman, J. 著, 村上陽一郎・川崎勝・三宅菫訳. 1995. 「縛られたプロメテウス」シュプリンガー・フェアラーク東京.