

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23501052

研究課題名(和文) 科学者の伝記集の作成とその活用方策の確立

研究課題名(英文) Making of scientist's biography and investigation of utilization method

研究代表者

東 徹 (Azuma, Toru)

弘前大学・教育学部・教授

研究者番号：30132939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：伝記の内容を構成する個々の教材の開発を行った。それらは、以下のような特徴のいずれかを満たすものであった。一つは、科学者の考え方や思考のプロセスが理解できる教材である。もう一つは、科学者や技術者が行った観察や実験の様子、あるいは工夫されている点を理解できる教材である。ガリレオやリンネを取り上げた教材は前者の要求を満たすものである。後者を満たすものとしては、熱機関を取り扱った教材などがある。

研究成果の概要(英文)：We have developed each teaching materials of which the contents of a biography are composed. Those have the following feature. One are the teaching materials which can understand a process of scientist's way of thinking. Another are the teaching materials which can understand contents and ideas of the experiments or observation performed by scientist. The teaching materials on Galileo and Linne satisfy the former request. The teaching materials on a heat engine satisfy the later request.

研究分野：科学教育

キーワード：理科教育 物理教育 科学技術史の活用 生物教育

1. 研究開始当初の背景

理科教育における科学史の活用は、以前ほど活発であるとは言えないが、しかし着実な歩みも見られる。例えば、表紙に科学者の写真を掲載している例をはじめとして、理科の教科書のなかでも、少しずつではあるが、科学者の伝記が取り上げられるようになってきた。

また、参考文献が豊富であり、自然科学的事績にも多くのページが割かれ、これまでから科学者の伝記としては最も優れたもの、底本となるべきものとしての評価を受けてきた18巻よりなるDSB (*Dictionary of scientific biography*) は、著名な科学者について加筆修正が加えられ、さらに20世紀以降に活躍した科学者を大量に付け加えられ、2007年に新版が出版されるなど、個々の科学者の事績を知るための材料も増えつつあった。

2. 研究の目的

理科教育における科学史の活用の新たな活用の方途は、より自然科学的、技術的側面に重点を置いたアプローチにあると考えた。具体的には、これまでのような人文・社会科学的なアプローチだけでなく、法則の発見や確立に至るまでの科学者の試行の過程やその際に使われた観察・実験の様子が理解できるような教材の開発である。このような教材は、理系の生徒に対し、科学的思考の育成や観察・実験技術の向上に大きく寄与するものとなる。さらに、これらの教材を伝記という形で再構成したものの中に組み入れれば、文系の生徒にも幅広く受け入れられ、科学史の特性を活かすものとなる。そこで本研究では、上記のような内容を有する教材を開発すること、その上でそれらを伝記の中に組み込んだ教材を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、資料収集、伝記の作成と関連する観察・実験の開発、授業における検証を通じた活用方策の確立という手段を通して教材の開発を行った。先ず「物理教育」などの各領域の学会誌や出版物の中で紹介されている再現実験や復元装置の調査を行った。また、関連する事項に関しては、DSBの調査も行った。次にこれらの調査に基づき、取り上げるべき人物や観察・実験の内容を定めた具体的な教材の開発を行った。

4. 研究成果

(1) 概要

本研究では、次のような特色を持った科学史活用教材を作成した。

- ① できるだけ当時の時代状況や人々の考え方の流れに沿って、科学者の考え方や思考のプロセスが理解できるような内容の教材。
- ② 当時、行われた観察や実験の様子、その

工夫されている点などがよくわかり、できれば再現実験や観察、あるいはそれらに代替しうる観察や実験などが含まれる教材。

- ③ 上の2つの内容と科学者の伝記とが有機的に結合した教材。

①の条件を満たすことを追求した教材案として、『新科学対話』を通して、『ガリレオによる地上運動の定式化を学ぶ』を作成した。『新科学対話』の中で示される、例えばインペトなどのガリレオないし当時の特有の概念を理解することは難しい。しかし、このことを除けば、『新科学対話』の内容は初等幾何学の知識で十分読みこなせるものであり、論理の運びにも目を見張らせるものがある。全部でなくとも掲載した内容の一部でも取り上げれば、中学生に対する発展教材としても可能ではないかと考えるものである。

②の条件を満たすことを追求した教材案としては、先ず「ニューコメンの蒸気機関とバルブの開閉」がある。ニューコメンを扱った邦訳書では、「ニューコメンはバルブの開閉に特別の工夫を行った」と記されているが、その具体的な内容まで記されたものはない。筆者らは、かつてニューコメンの蒸気機関の原理をかなり忠実に反映した模型の製作を行った(『物理教育』48、2001)が、そこでもバルブには三方コックを用いていたので、どうしても隔靴搔痒の感は否めなかった。ところが、実際に使われたバルブは重力の作用をうまく利用した実にすばらしいものであり、「ものづくり」の技術とはいかなるものであるか、その原点を私たちに垣間見せるものがあるので、ここで紹介した。

さらに②の条件を満たすことを追求した実験教材は以下の通りである。一つは、直流送電か交流送電かが問題となった時期、人物で言えばエジソンやウェスティングハウス、テスラーらが対象となる時期である。このような科学史的事例を扱うための実験教材として開発したのが、「交流送電の優位を実験を通して確かめる」、「簡単な積算電力計の製作」である。モールスによる電信の発明、その後の電信理論の完成、その物理学への影響という極めて興味深い時代の科学史的事例を扱うための教材として開発したのが、「トーンホールによる共振振動数の変化の試算」、「コンデンサマイクの様子がよくわかる装置の製作」である。光速度の測定は、これまでから種々の方法で実施されているが、本報告では、フーコによる測定にならったこれまでの報告に比べて、より簡単な光学系で光速の測定を行った「フーコの方法による光速の測定」を掲載した。

他方、生物領域では、領域の持つ特性もあり、上記②の内容よりもむしろ③の伝記そのものの作成に力点を置き、リンネ、フック、ダーウィン、メンデル、牧野富太郎の伝記教材を作成した。

以下にそのいくつかを紹介する。なお、本

研究では、別途、報告集をまとめた。

(2)「新科学対話を通して、ガリレオによる地上運動の定式化を学ぶ」

過去の科学者が書いた文章や行われた実験を通して科学の歩みを学び、それを通して科学の考え方や特質を学ぶことは、極めて興味深いことである。しかし、過去の科学者によって著された著作を直接読むことは、たとえ邦訳版であっても多くの困難を伴うので、教育現場における科学史の活用にあたっては、原典からは離れ、現代科学の視点から過去の人々が達成した成果を学ぶというスタイルをとらざるをえなかった。現代の考え方で補足を加えながらも、過去の人々が書いたものに触れることができるような教材があれば、それは科学史の新たな活用の方法であると言える。

近代科学の考え方や方法は、ガリレオ (Galileo Galilei, 1564-1642) による運動学の成立とともに形成されたと言っても過言ではないので、原典を通してガリレオの考え方を学ぶことができれば、その教育的効果は高いと言える (岡本正志、東 徹 他『科学技術の歩み』2000, 118-123, 建帛社)。ところが、ガリレオが著した『新科学対話』に限って言えば、ガリレオが述べる特有の概念を理解することは難しいが、そのことを除けば、初等幾何学の知識で十分読みこなせる内容である。そこで以下では、ガリレオの力学理論のなかでもとりわけ有名な、落下運動と振り子について、『新科学対話』の中ではどのように語られているかを、高校生に紹介することを念頭においた形で記述していった教材を作成した。以下はその紹介についての項目である。

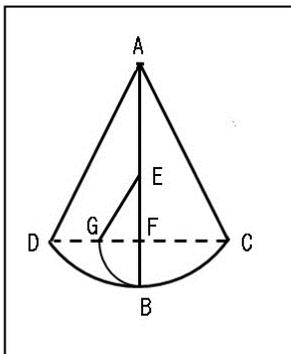
I. はじめに

II. 落下運動

- ① アリストテレスに代表される中世の見解
- ② 落下する速さは、落下距離に比例するとしたときに生じる矛盾
- ③ 落下時間の二乗と落下距離とが比例することの論証

III. 斜面の運動

- ① 数学的準備：「落下時間の比は比例中項との比で表わせる
- ② 糸の途中をピンで止めた振り子の実験から、おもりの持つ運動しようとする能力の



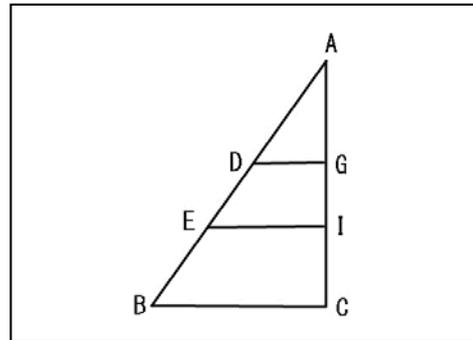
大きさについての類推

[C から出発した振り子のおもりは、通常は D まで達するが、E にピンを置くと、同じ高さ G まで達する。ここからガリレオは、G から B に下降したときと、D から B に下降したときは同じ大きさの運動しようとする能力を得ると考える。さらにガリレオはこれを斜面の場合にも拡張して、同じ高さから斜面上を移動する物体は、斜面の傾きにもかかわらず、その最下端で同じ大きさの運動しようとする能力を獲得すると推論する。そして、以下に、斜面での運動の考察に移っていく。]

③ 落下する時間と、斜面に沿って移動する時間の比

④ 傾きの異なる斜面の下端に到達する時間の比は、それぞれの斜面の長さ的比例する

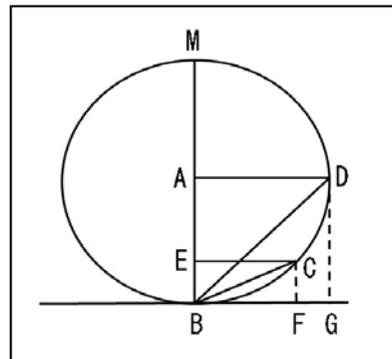
⑤ 落下運動は斜面の運動に置き換えて考察できる



[上図において、A から C への落下運動、A から B への斜面上の運動、いずれにおいても移動距離は移動時間の二乗に比例することを数学的に証明する。このようにガリレオは、落下運動が斜面の運動に置き換えて考察できることを明らかにし、実験による理論の検証に道を開いた。]

IV. 振り子の運動

- ① 傾きも高さも異なる斜面を運動する物体
- ② 円周上を移動する物体の運動—上端から運動を開始する場合
- ③ 円周上を移動する物体の運動—円周上の 1 点から運動を開始する場合



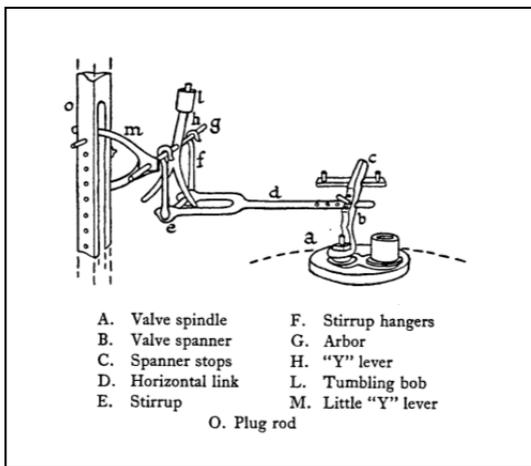
[上図において、D から斜面に沿って B まで落下する時間と、C から斜面に沿って B まで落下する時間とが等しいことを数学的に証明する]

④振り子への拡張

[上図において、D や C が最下端の点 B に近いほど、斜面上の下降時間と円弧に沿った下降時間、さらには点 M を支点とする振り子の運動における下降時間と似かよってくる。つまり、振り子のおもりの下降時間は振幅にかかわらず、ほぼ等しいとガリレオは類推する。]

(3) 「ニューコメンの蒸気機関とバルブの開閉」

ニューコメンの蒸気機関のバルブの開閉についての基本的な原理や装置の大きさ、費用や効率の一例などは、翻訳されたディキンソンの本などを読めば、ある程度はわかるが、装置の細かいところなどはよくわからない。例えば、バルブの開閉は、「ニューコメンによって発明されたすべての機械的工夫の中で、これがもっとも独創的であり、後世にもっとも大きな影響を及ぼした」(ディキンソン：磯田訳『蒸気動力の歴史』 p.47) とし、ニューコメンの工夫の才があふれたものだったのかは、邦訳書では不明である。以下では、とりあえず、シリンダ内を冷やすために水を送るバルブについて述べる。



上図は、水を噴射するためのコックの開閉の原理を示したものである。その動作は下記の通りである。

- ・ピストンが上昇するとブラグロッド(o)も上昇する。
- ・すると、小さい Y レバー(m)が時計方向に回転し、同じ軸(g)でつながっているもう一つの Y の字を逆にしたような Y レバー(h)も時計方向に回転する。この Y レバー(h)の先端にはタンブリングボブと呼ばれているおもりがついているので、ピストンがあるところまで上昇した時点で、Y レバー(h)の回転は急速に行われる。

- ・すると、フォークのような形の水平リンク(d)は左に動き、パルプスパナを通してコックがすばやく開かれ、水が噴射される。
 - ・水が噴射されると、ピストンが下降し、ブラグロッドも下降する。先ほどと逆の動きで Y レバー(h)が反時計方向に動くが、今度はおもりの存在のために、ピストンの動きと連動して動き、ゆっくりとコックを閉める。
- (以上は、L. T. C. Rolt: *Thomas Newcomen*, 1963. による)

(4) 「交流送電の優位を実験を通して確かめる」

中学校3年生を対象に授業を行ったときの配布資料を以下に紹介する。

(2011 年以降実施)

電気が交流で送られている理由を実験を通して考えよう

1. 2 年生の学習内容を思いだそう
電力と電力量

電熱線が熱を発生する能力は(電圧×電流)の値によって決まっており、この(電圧×電流)の値が、電熱線の電力に等しい。電力 P (W) は、電圧 E (V) と電流 I (A) の値から、次の式で表される。

電力 P (W) = 電圧 E (V) × 電流 I (A)

●電力
電力に時間 t をかけたものを電力量という。

電力量 (W 秒) = 電力 P (W) × 時間 t (秒)

電力量の単位には、ワット秒 (W 秒) やワット時 (W 時または Wh) がある。この式をジュールの法則のたとえに用いておぼえるように、電力量は電熱線から実際に発生した熱量を表しており、1J = 1W 秒となっている。

2. 交流による送電と直流による送電のモデルを使った実験

【実験】交流送電と直流送電の違いを確かめる

●実験のねらい

交流による送電のモデルである図1と、直流による送電のモデルである図2の回路においては、豆電球を同じ明るさで点灯させるためには、発電所にあたる電源装置からどれくらいの電力を供給しなければならないかを測定する。そして、その結果をもとに、長い送電線を使って電気を送るときには、交流と直流のいずれが有利かを考える。

*豆電球の両端に接続した電圧計の読みが図1と図2で同じなら、図1と図2の豆電球の明るさは等しい。ただし、図1では、交流電圧計を、図2では直流電圧計を接続しなければならない。

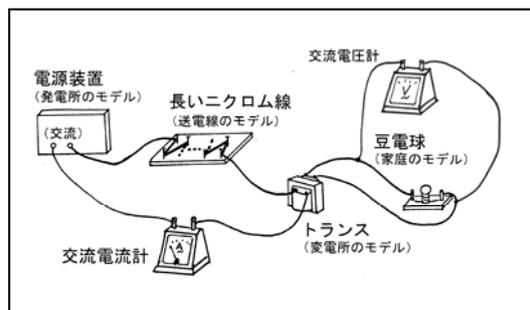


図1 交流による送電のモデル

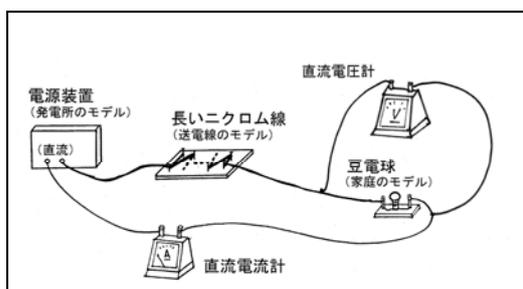


図2 直流による送電のモデル

●交流で電気を送る場合

①回路の接続

- ・図1に示した回路を組み立てる。このとき、使用するのは交流電流計と交流電圧計である。
- ・トランスに貼った紙で「豆球」と書かれているところには豆電球を、「ニクロム線」と書かれているところの一方には「ニクロム線」を、他方には交流電流計を接続する。
- ・電源装置の切り替えスイッチを交流側に倒しておく。

② 図1の回路において、豆電球の両端の電圧が1.5Vになるように、電源装置のダイヤルを調整する。

③ このときの交流電流計の値と、電源装置の電圧メーターの値を読み、表に記録する。

④ また、ニクロム線に手をふれて、その暖かさを確かめる

●直流で電気を送る場合

①回路の接続

- ・図2に示した回路を組み立てる。このとき、使用するのは直流電流計と直流電圧計である。
- ・トランスは利用しない
- ・ニクロム線は同じものを使用する。
- ・電源装置の切り替えスイッチを直流側に倒しておく。

② 図2の回路において、豆電球の両端の電圧が1.5Vになるように、電源装置のダイヤルを調整する。

③ このときの直流電流計の値と、電源装置の電圧メーターの値を読み、表に記録する。

④ 交流で電気を送った場合と同じく、ニクロム線に手をふれて、その暖かさを確かめる。

●実験結果

実験で求めた電圧の値と電流の値をもとに、1.5Vで豆電球を点灯させるために必要な電力の値を計算し、比較する。

	ニクロム線の暖かさ	電源装置の電圧	ニクロム線を通る電流	電源装置が供給する電力
交流で電気を送ったとき		V	A	W
直流で電気を送ったとき場合		V	A	W

(電源装置が供給する電力) = (電源装置の電圧) × (ニクロム線を通る電流)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計12件)

- ①エレクトレットコンデンサマイクロフォンの製作、東 徹、二本柳里穂、物理教育、査読有、63-1、22-25、2015
- ②地学領域におけるマイクロスケール実験—小学校・中学校・高等学校の理科教科書の調査—、三上知夏・長南幸安、弘前大学教育学部紀要、査読無、113号、65-68、2015
- ③ポスト UNDES(国連持続可能な開発のための教育の10年)における防災教育—日本型環境教育構築の一つの観点として—、藤岡達也、環境教育、査読有、24(3)、40-47、2015
- ④簡単な積算電力計の製作、東 徹、物理教育、査読有、62-4、237-240、2014
- ⑤杏雨書屋所蔵史料を通して見た宇田川榕菴の化学受容(Ⅱ)—土類に関する2つの稿本—、東 徹、化学史研究、査読有、41-1、1-19、2014
- ⑥韓国の科学カリキュラムと学習内容の分析—最近の教育課程の改訂と中学校生物学習に着目して—、佐藤崇之、弘前大学教育学部紀要、査読無、112号 57-62、2014
- ⑦科学史から理科教育を見る、東 徹、教材研究理科、査読無、学校図書、196号、2-3、2013
- ⑧「津波に起因する河川災害の取扱いについての一考察：東日本大震災をふまえた津波に対する防災教育の観点から」、藤岡達也、理科教育学研究、査読有、54(1)、51-59、2013.
- ⑨The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation: Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges、Masanori Honma、Toru Shimada、Yukiyasu Chounan、The 6th International Conference on Educational Research: Challenging Education for Future Change、査読有、958-969、ISBN978-616-223-307-4、2013
- ⑩韓国における教員養成と科学教育についての基礎情報の収集—公州教育大学およびその附属学校についての分析—、向平和・佐藤崇之、弘前大学教育学部紀要、査読無、110号、31-35、2013
- ⑪杏雨書屋所蔵史料を通して見た宇田川榕菴の化学受容(Ⅰ)—イペイの化学書を原典とする史料—、東 徹、化学史研究、査読有、40-4、189-209、2013
- ⑫教育力向上プロジェクトにおける附属学校からの地域への先進的な教育方法の発信、長南幸安、日本教育大学協会研究年報、査読有、第30巻、161-167、2012

[学会発表] (計13件)

- ①外来種の影響を題材とした活動教材の体験—外来魚による環境への影響と生物数の

変化一、佐藤崇之・久野文也、日本生物教育学会第 98 回全国大会、愛媛大学、2015.1.10.
②中学校理科第 7 单元において科学技術と環境を結びつける指導方略の検討、北谷将太郎・佐藤崇之、日本生物教育学会第 98 回全国大会、愛媛大学、2015.1.10.
③コンデンサマイクの様子がよくわかる装置の製作、東 徹、二本柳里穂、日本理科教育学会全国大会、愛媛大学、2014. 8. 23
④トーンホールによる共振振動数の変化の試算、東 徹、齋藤志保、物理教育学会第 31 回研究大会、電気通信大学、2014. 8. 11
⑤「ジオパークと防災教育ー地域の自然の二面性を重視した地学教育」、藤岡達也・柚木明也、日本地学教育学会、酪農学園大学 2014. 8. 10
⑥理科授業における科学史の活用に関する一考察（2）ー中学校生物カリキュラムに焦点化した活用方略の具体化一、尾崎匠・佐藤崇之、日本生物教育学会第 96 回全国大会、筑波大学、2014. 1. 12.
⑦計算に基づいたトーンホールの効果、東 徹、齋藤志保、日本理科教育学会東北支部大会、岩手大学、2013. 11. 9
⑧「ポスト 3. 11 後の科学教育を考える～東日本大震災とは何か、STS 教育の再構築を考える～」藤岡達也、日本科学教育学会、三重大学、2013. 9. 7
⑨理科授業における科学史の活用（2）ー中学校生物カリキュラムに焦点化した活用方略の構築一、尾崎匠・佐藤崇之、日本理科教育学会第 63 回全国大会、北海道大学、2013.8.10.
⑩マグヌス効果が実感できる教具の製作ー変化球、飛行機の尾翼のはたらきを例にして一、東 徹・三上永、日本理科教育学会東北支部第 51 回大会、福島大学、2012. 11. 3
⑪理科授業における科学史の活用ー教科書分析からみた活用方略の検討一、尾崎匠・佐藤崇之、日本理科教育学会第 62 回全国大会、鹿児島大学、2012. 8. 12.
⑫フーコの方法による光速の測定、東 徹・中西彩星、日本理科教育学会全国大会、鹿児島大学、2012. 8. 11
⑬動作原理が簡単に理解できる積算電力計の作成、東 徹、中嶋 大貴、日本理科教育学会全国大会、島根大学、2011. 8. 20.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東 徹 (AZUMA Toru)
弘前大学・教育学部・教授
研究者番号：30132939

(2) 研究分担者

藤岡 達也 (FUJIOKA Tatsuya)
滋賀大学・教育学部・教授
研究者番号：10311466

長南 幸安 (CHOUNAN Yukiyasu)
弘前大学・教育学部・教授
研究者番号：30250674

佐藤 崇之 (SATO Takayuki)
弘前大学・教育学部・准教授
研究者番号：40403597