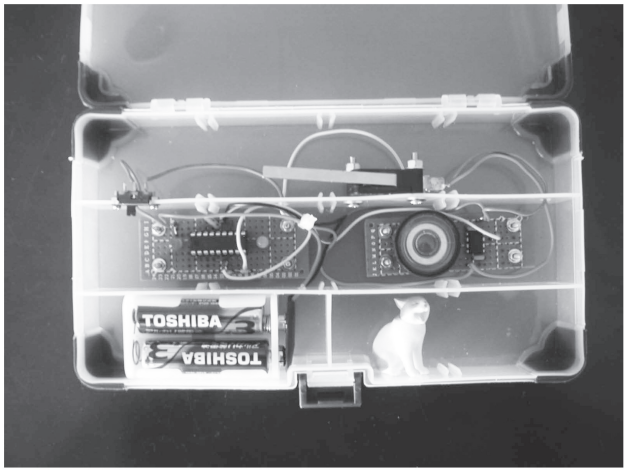
物理教育研究

日本物理教育学会　北海道支部



Vol.46　2018.11

BUTSURI KYOIKU KENKYU

巻頭言

人文社会系の学生への物理基礎教育

北星学園大学全学共通教育部門　矢吹哲夫

（2019 年日本物理教育学会大会準備委員長）

私は、今年の 3 月に定年退職するまで、酪農学園大学(環境共生学類)で環境専門科目に加えて専門基礎科目である「環境物理学」、「エネルギーの物理学」、基盤教育科目の「物理学」の講義を担当してきました。4 月からは北星学園大学の特別専任教員として「数学」、「統計学」に加えて、環境科学分野、生命科学分野の全学共通科目を担当しています。「物理学」という講義は開講されていませんが、環境科学、生命科学の基礎科目の中で物理的な要素を織り交ぜながら、講義を展開しています。経済学部、文学部をはじめとする人文社会系の学生達に、「物理」という２字のない科目の中で間接的な形で折々に物理の内容（例えばドップラー効果、熱力学第１法則、第２法則、核反応他）を数式を使わずに図解と言葉で解説することに腐心しています。それらの毎回の講義の中で任意提出を課している出席レポートを読んでいて気づかされたのは、人文社会系の学生達の自然科学への関心が決して低くなく、物理学がその自然科学の基礎をなしていて、論理、メカニズムをことのほか大事にする学問であることを知ると、少しでも「物理」にふれたいという素朴な気持ちを吐露する学生が少なからずいるということでした。そういう学生達に今世をあげて関心の的になっている「人工知能」の話題を取り上げたことがあるのですが、人工知能が必ずしもメカニズムが分からないまま様々な予測をし、高い的中率を示していることの説明に対して、皆一様に驚き、その危うさを理解してくれました。

また、7 月に北星学園大学で開催された学園研修会での基調講演（講師はかつて北星学園大学の教員で現在東京大学教授で附属高校長）の『深い学び』についての中で、「例えば東大のような学生であっても、物理の基本法則を、数学の式を使って聞かれれば正解を導き出すことはできますけれども、自然言語でもっと問いかけると、しっかり答えられない。具体的に言えば大型トラックと軽自動車が正面衝突したときに、及ぼす力はどちらが大きいですか？と聞いたとき『大型トラックから軽自動車に対して及ぼす力』と答える大学生が少なくありません。」と、『作用反作用の法則』の本質的理解が必ずしも定着できていないという紹介がなされました。これは、物理の基礎概念に対しての頭を一ひねりしなければ答えが出ない応用問題ではなく、極めて単純な問題ですので、条件反射的な受験教育の弊害ということのみならず、式を使わないでも本質を学べる物理の一側面を暗示しているように思いました。ファインマンも「If you can't explain something to a first year student（in simple terms）, then you haven't really understood.」という言葉を残しています。

来年 8 月に日本物理教育学会が人文社会科学系の北星学園大学で開催されるにあたり、数式の素養がなくても物の理（ことわり）を学ぶことのできる“物理学の真髄”を再発見できる良き機会となることを期待しています。

北海道科学の祭典の創始者・後藤道夫先生の逝去を悼む

元・酪農学園大学教職センター　**山田　大隆**

１．はじめに

元日本物理教育学会理事で日本私学教育研究所所員、工学院高校、工学院大学で永く教鞭を執られ、東京の物理教育研究会の指導者、ＮＨＫの科学番組講師を勤め、ブルーバックス（講談社）で父子の科学実験指南本のベストセラーを出版され、西洋近代科学源流探訪の科学史のツアーを企画実行され、特にも２５年前に札幌市そごうデパートで第１回が開始された北海道科学の祭典創始に種を撒かれた後藤道夫先生（１９２９年生まれ、東京都八王子市在住）が、２０１７年１２月に逝去された。享年８９歳であった。

筆者は北海道大学理学部高分子学科を昭和４４年（大学院修士４７年）卒業後、昭和４９年に札幌市立札幌藻岩高校物理教師に就職し（２３年間）、２校目の札幌市立札幌開成高校（１０年間）で定年退職し、３３年間の高校教員を終え、その後１０年間を酪農学園大学教職センターで理科教員養成課程を担当（平成３０年退職）したが、この高校教員時代に後藤先生から戴いた学恩は実に多大のものがあった。

筆者は札幌藻岩高校、札幌開成高校時代、北海道高校理科教育研究会（北理研）研究部に属し、研究部長、副会長を１０数年間歴任したが、北理研の発展のために全国的情報収集として、日本理化学協会の日本理科教育研究大会に常時出席し、３３年の高校在職中に４回の日本理科教育北海道全国大会を主催運営し、日本物理教育学会全国大会へも毎年参加したが、上京の折には決まって、八王子市の後藤先生宅を訪問し、宿泊して多大のご親交をさせていただいた。

後藤先生の今回の訃報は、まず、筆者が札幌藻岩高校教員の最初から東京の研究会出席で知己となり入会し４５年間会員を継続している「物理教育研究会」（ＡＰＥＪ、当時上智大物理教授笠耐先生主宰）の最新号（『物理教育通信』１７３号、２０１８．７．１８発行）で、田野倉宏和、榎本成己先生の追悼文を拝見し、晴天の霹靂で後藤先生の急逝に驚愕したものだった。まさに全国の物理教育研究者にとり、「巨星落つ」の感があった。先生逝去の次報は、２０１８年開道（命名）１５０年記念の高橋知事提唱の「北海道みらい事業」での「ほっかいどうサイエンス・フェスティバル」（四方元東海大学教授主宰、２０１８年８月６～７日、北海きたえーる会場）実施で、１日目（６日）夜の滝川洋二先生歓迎会で、滝川先生から直接に葬儀経過をお聞きして、後藤先生逝去の事実を確認した。滝川先生からの伝言では、東京の物理教育研究会のベテランによる、教会（後藤先生はご夫人ともに熱心なカトリック信者）での遺族葬儀後の、知人友人での盛大な東京での「お別れ会」は既に実施済みとのことであった。

この一文は、後藤先生に筆者の教員開始時代から長期間親しくお付き合いさせて戴き、高校物理教師として成長させていただいた学恩と、５０年間の生前での後藤先生への回想を中心としながら、戦後の日本物理教育学会と物理教育の市民的普及に多大の貢献をされた名物教師、後藤先生の事績紹介とその業績の筆者の歴史的評価を行なったものである。

２．後藤先生の経歴と業績

後藤道夫先生は、１９２９（昭和４）年に長野県飯田市に生れ、東京理科大学物理学科を卒業された。

この大学は千葉大学理学部と同様、東京大学理学部物理学科の卒業生が後継者養成に、実験物理を重視した新しい物理教員養成大学として明治１４（１８８１）年に発足した。応用を重視する意味で、同じく東大理学部卒業生が大正６（１９１７）年に創立した理化学研究所（仁科芳雄、湯川秀樹で有名）に似る。６５年前創立の日本物理教育学会（昭和２８（１９５３）年創立、設立会員３４１人）会員の著名研究者にこの大学卒業生が多く、この学会を戦後の物理教育振興として実質的に支えてきた。４６年前創立の北海道支部では、後藤先生とともに北海道科学の祭典を発展させ、独特の旺盛な実験開発で知られる、齋藤孝先生（元札幌北高校物理）が同期、後輩に、ユニークでアクティブな物理教師の石川昌司先生（立命館慶祥高校講師）らがいて、学理中心の北大理学部物理学科出身の物理教育者と異なる、この大学の実験、応用重視の学風を反映した独特の物理教育法（実験的感覚に優れ、その立場からの教育方法原理分析と提言、新しい実験開発を一環して追及している）が共通している。後藤先生の物理教育における学風は、まさにこの特色ある東京理科大学の歴史・学風そのものの体現であった。

東京理科大学は、キャンパスは最初がＪＲ中央線お茶の水駅の神田川向かい（東京医科歯科大学校舎となり）に２０階の高層ビルであり、実験重視精神から、アメリカ・ニューヨーク市メンロパークにあったが、経営倒産した「エジソン博物館」の研究所開発物遺産（著名な直流発電機等）を引き取って、１階にエジソン記念室（筆者も見学）として実物展示している歴史性も重視している特色ある大学である。最近は拡張発展して山手線郊外の、巨大な新ビル群の新校舎の葛飾キャンパスとなり、実験重視の学部構成と最新実験施設で物理教育ばかりでなく技術教育、研究で日本を代表する理工系大学として近年注目されている（東京都葛飾区新宿６－３－１、日本科学史学会の第６５回年総会会場）。

後藤先生は、東京理科大学物理学科卒業後、工学院高校（八王子市）に６０歳定年まで在職され、高名な名物物理教師としての評判を得られた。その後、工学院大学と明治大学で非常勤講師（特任教授）として７０歳まで大学教育にも尽力され、多くの成果を残された。この間に、工学院高校参加の６００校を擁する日本私学協会内に日本私学教育研究所を設立され、その中心的役員（所長）を長く務めた。

この研究所活動の中で、日本物理教育学会を大きく発展させ、いくつかの教育法刷新、特に、伝統的な東大ほか旧帝大理学部卒業生中心の理論物理重視の物理教育法（理論物理後継者養成型）に実験、体験重視の新しい実験教育法を日本物理教育学会中に創始され、その学派を大きく育成された。このグループの中心的指導者に、広井禎、戸田一郎、増子寛、喜多誠、馬目秀夫、石崎先生らの、日本物理教育学会の中心者となった有名高校物理教師群が育った。今日物理デモ実験で定番となった「ドラム缶つぶし」の公開実験は、後藤先生ほかの日本私学教育研究所が最初に開発したものである。

後藤先生は今日米村でんじろう教室で定番となった、ＮＨＫの科学番組の創始でも有名で、ＴＶ媒体を積極的に利用した科学普及者の嚆矢である。

マスコミ利用でも筆力を発揮し、昭和５０年代の科学教育振興時代に、講談社のブルーバックスに「親と子の物理実験７７」は、この種類本には珍しく版を重ね７０万部を超えるベストセラーとなった。これは、この高度経済成長時代に企業戦士となって家庭不和を招いた親子関係改善法として、親子対話でともに造る科学実験で親子関係改善に寄与して効果的となったもので、後藤先生の先見の明の高さを感じたものである。

また、後藤先生は語学力に優れ海外の物理教師知人も多く、探究心を鼓舞する独創的物理用具開発を集めた「ストレイ・キャット」として知られるアメリカの実験重視の教師グループの活動書（英文）を輸入翻訳して出版した。「いきいきわくわく物理」として東海の工業高校グループの教科書と異なる、アメリカ実験物理の優れた教科書として、物理離れのなか、好評を得た（筆者も英文原著を保持）。

物理、科学離れが顕著化する１９７０年代以降（札幌清田高校、道教育大函館校特任教授の故鶴岡森昭先生の理科Ｉ、選択物理導入時での「物理履修率調査」研究に典型的に見られる）の市民科学普及にも尽力され、科学の祭典運動を日本最初に組織運動化した功績は不滅であろう（後述）。

科学離れ対策には、科学史重視のヒューマニスティク・アプロ―チのアメリカでの開発のクロッパー『ＨＯＳＣ』（科学史原典利用の科学教科書）、ホルトン『プロジェクト物理』（物理学史利用の教科書）があるが、後藤先生は日本初の物理教師素養深化目的の物理学史探訪研修旅行として、東京の物理教育学会会員による、近代科学の源流を訪ねる教育ツアー（明治以降導入の日本西洋理科教育の原点探訪の科学史旅行）を企画し、２回（１９８９、１９９１年）各３０人が参加して実施され、事後参加者による旅行成果は、『近代科学の源流』本として共同執筆で東海大学から出版公開された。その企画者に日本物理教育学会と日本科学史学会の両会員である筆者が、現地ガイドと巡検資料作成を依頼された。この後藤先生とのご縁で講談社編集部と知己となり、ブルーバックスの筆者の科学者伝記（理科離れ対策出版）『心にしみる天才の逸話２０』（２００１年出版、１４版、４０万部）を世に出すことが出来（以後、類似本『天才科学者の不思議なひらめき』（ＰＨＰ研究所、２００４年）、『神が愛した天才科学者たち』（角川ソフィア文庫、２０１３年）が続刊された）、そのきっかけを造られた後藤先生の学恩に心より感謝している（後述）。

近年の後藤先生の病気療養も含めた近況紹介については、『物理教育通信』に２０１７年号（４回発行、５，７，１１，２月）に広井禎先生が丁寧にかつての業績紹介と評価、近況紹介をされていて、貴重な学会活動記録となっている。これらの生前の日本戦後物理教育史での輝かしい業績を残して、後藤先生は２０１７年１２月に癌により逝去され、８９年の輝かしい生涯を終えられた。心より先生のご冥福をお祈りしたい。

３．後藤先生と科学の祭典運動

後藤先生は前述のように、理科離れの進行する現状打破に使命感を得られ、２５年前に日本の科学の祭典を、

日本の理科教育普及の草の根運動として創始･制度化(財政的確立）された。平成５（１９９３）年に、政府資金（文部省科学研究費か）４００万円を得られ、全国４ヶ所（１００万円ずつ支給）指定で、会場が探された。後藤先生と永いお付き合いのある筆者に先生から打信があり、１会場に北海道を指定された（ほかの３会場は、大阪、愛知、東京）。北海道との契約書完成には、後藤先生と齋藤先生が筆者の自宅に集合され、署名された。この一瞬も懐かしい思い出である。この認定には、高校退職後に北方圏理科振興協会（現在活動停止中）を創立され、既に予備校会場に地道に科学普及活動を実践していた齋藤先生を中心者にと筆者が推薦したことと、齋藤先生が後藤先生と大学が同窓であることが決定的であった。

北海道科学の祭典はこの資金（人件費、消耗品関係中心）を得て、平成５（１９９３）年８月７－９日に札幌市ＪＲ札幌駅横の札幌そごうデパート８階特設会場（プラニスホール）で盛大に開催されて（この記録映像を筆者は保持、ＩＣＵ高校現役の滝川先生も参加）、以後、祭典運動は財政的にも確立されて、毎年全道３０ケ所以上に渡り開催され、観客３万人を動員して、北海道は全国的に有名な科学の祭典運動振興地区となった。

この北海道の祭典運動創始に尽力された後藤先生の歴史的貢献は、北海道科学教育普及事業と物理教育学会にとり永久に記憶されるものである。

４．後藤先生と科学史研修旅行企画

後藤先生は、日本の理科教育刷新には、その源流（西洋近代科学史）を深く知ることが重要である歴史観を持っておられた。問題解法に終始する予備校型物理教育法にはその発想（歴史性による科学哲学）で限界があるという、西洋流の原理、哲学の総合思考であり、日本の理科教師として正しい思想を持っておられた。日本の明治以降の近代の西洋文化受容は、追いつき追い越せ型の徹底した技術論（方法のみ輸入）で、その背景となった自然哲学、科学史には余計なものとして国も学校も関心がない。西洋２０００年を超えるこの背景に科学史と科学哲学があり、そのいずれもが、明治以降の日本の学校教育では捨象された。歴史性、哲学性を無視しては、有意な人間教育は実現出来ない（ノーベル賞科学者は育たない）、その先頭に教師が立つべきである信念を後藤先生は持っておられた。その視点で、筆者を中心に西洋科学史旅行の企画が練られ、これは完全に添乗員なしの自主旅行で、ジャンボ機を数グループが貸し切る、筆者が旅の案内人（個人旅行のグループ化）のものであった。

１９８９年（第１回）では団体実施でフィレンツエ科学史博物館、ユトレヒト自然史博物館、ライデン・テイラー博物館、ロンドン科学博物館、ケンブリッジ大学・キャベンディシュ旧新研究所、ミュンヘン・ドイツ博物館、ドイツ・ビュルツブルグ大学・レントゲン研究室とレンネプの生家、パリ・キュリー博物館、パスツール研究所と発見宮殿を視察し、１９９１年（第２回）は数人グループでの同時拡散的見学で、パドバ大学・ガリレオ講壇、ミラノ・ダビンチ科学技術博物館、パリ・国立工芸保存院技術博物館、ラビレット、パンテオン科学者墓地ほかを巡った。

この２回のツアーでは、後藤先生はこの意義深いツアーを、日本初のこの西洋科学史教育団体自主ツアーとして見事に統率し、成果を残し、刊本まで実現したのである。この科学史ツアーはその後、各種の学会（物理学会ほか）や義務教育団体や学会の科学史源流ツアーのモデルとなった、日本の戦後理科教育史上画期的事業であった（これ以前に、林良重東京教育大教授ガイドで、ＪＴＢ主宰の科学史団体ツアーがあったが、基本的には観光旅行で、科学史家が専門的に計画し、旅行社なしに自主計画旅行としたのは、このツアーが日本初である）。このツアーは好評で、第３回目として、アメリカ科学史ツアー（シカゴ大学ミリカン研究室、ＭＩＴ、エジソン博物館、スミソニアン博物館ほか）が計画されたが、ヨーロッパほどには理科教育用科学史対象物が少なく、結局実現しなかった。

５．後藤先生と山田のブルーバックス科学者伝出版

科学史を理科教育に利用する価値から、後藤先生は上記の西洋科学の源流ツアーを筆者を交えて計画実行したが、講談社のブルーバックス編集部に後藤先生により筆者はその集成の執筆が推薦された。２００１年に『心にしみる天才科学者の逸話２０』では、初版は雑誌「ダビンチ」の傑作出版１００冊に選ばれ、書籍ネットの『アマゾン新刊書』ランクで２位（１位は『御冗談ファインマンさん』岩波新書）になった。この著は１４刷まで増刊され、４０万部発行となった。これは海外でも好評で、すぐに韓国版、中国版が出た。その後、各出版社から科学者伝記の依頼があり、『天才科学者の不思議なひらめき』（ＰＨＰ研究所、２００４年）、『神の愛した天才科学者たち』（角川ソフィア文庫、２０１３年）ほかの出版となった。この書物群は、全国の理科教員の授業用資料として多く活用されたことは、出版の本来の目的としたとは言え望外の幸であった（日本科学史学会誌『科学史研究』でも高い書評を得たことも、販売数の拡大に

繋がって感謝した）。筆者のこの科学史本出版活動のきっかけを作られた後藤先生の学恩に厚く感謝する次第である。

６．後藤先生の日本私学教育研究所での研究実績

ＡＰＥＪの『物理教育通信』１７３号（２０１８年７月１８日発行）には、田野倉宏和先生（元東京純心女子中高校）により、以下の日本私学教育研究所「理科教育研究収録」での後藤先生の研究タイトルが掲載されている。先生の業績として、参考までに再掲する。

昭和３５年度（第１回発表記録）
「物理実験研究内容」
昭和３６年度（第２回）
「高校物理における半導体の研究」
昭和３８年度（第４回）
「自然落下の研究」
昭和３９年度（第５回）
「運動体の撮影と分析」
昭和４０年度（第６回）
「半導体のモデルと実験」
昭和４１年度（研究収録第７集）
「２，３の物理実験について」
昭和４３年度（第９集）
「物理実験の工夫」
昭和４４年度（第１０集）
「物理実験の工夫」
昭和４５年度（第１１集）
「指数曲線と物理現象」
昭和４６年度（第１２集）
「シンクロスコープを利用した物理実験
（平田和美氏との共著）
昭和４７年度（第１３集）
「写真を利用した力学指導について」
昭和４８年度（第１４集）
「干渉を利用したレーザー光の波長測定」
昭和４９年度（第１５集）
「エアートラックによる力学実験の工夫」
（平田和美氏との共著）
昭和５０年度（第１６集）
「電流と合成磁界と電磁力」
昭和５２年度（第１８号）
「放射性漂砂の採集と霧箱による漂砂の観察」
昭和５４年度（第１９集）
「波動現象の指導について」
昭和５８年度（第２４集）
「偏光の実験」
昭和６２年度（第２７集）
「生活に役立つ楽しい科学実験」
平成元年（第２９集）
「近代科学の源流を探る
－ヨーロッパ科学の旅で得たもの－」
平成２年（第３０集）
「静電気から超電導モーターまで」
平成３年（第３１集）
「物理教育と科学博物館ツアー」
平成３年（第３１集）
「第１回中学・高校生のための科学実験講座について」

また、後藤先生は科学クラブ活動育成も重視され、この１７３号には、榎本成己先生（東京理科大学）により、後藤先生指導の工学院高校自然科学部が全国規模の賞に多数回入選した際のテーマが掲載されており、再掲する。

１９７７年（第２１回）
「自作の拡散型霧箱による放射性物質の研究」
（入選２等）
１９８５年（第２９回）
「熱パイプオルガンの原理と実験」
（文部大臣奨励賞）
１９８７年（第３１回）
「物体の中を伝わる音の速さの研究」
（読売新聞社賞）
１９８９年（第３３回）
「超電導モーターの研究」（内閣総理大臣賞）
１９９１年（第３５回）
「水ロケットの研究」　（学校賞高校部１位）
１９９２年（第３６回）
「自作のＧＭカウンターによる列車、バス、航空機内での環境放射線の測定」
（科学技術庁長官賞）

（後藤道夫先生のご冥福を祈りつつ、2018. 10. 3 記述）

風船の浮力で運動の法則を確かめる

（科学の祭典のヘリウム風船を使って高校物理教育を考える）

北方圏理科教育振興協会　元札幌北高校　　齋　藤　　孝

科学の祭典の出展物が高校物理教育の一助になるかもしれないと思い投稿する。それは科学の祭典で浮遊しているヘリウム入りのポリ袋（食料品袋）を使えば、ゆっくりとした等速度運動や等加速度運動を確かめられると考えたからである。しかし確かめるための実験室や測定器具をもたないために、その検証を母校の物理科学クラブの先生や生徒に依頼した。よってこの原稿では風船の運動が等速度か等加速度かを確かめるものであって、実験研究開発そのものを発表するものではない。ただし依頼した検証実験の結果については許可を得て報告するものである。なお風船の作り方、実験方法について報告する。

キーワード　　風船の浮力、　運動の法則、　等速直線運動、　等加速度運動。　終端速度

１　はじめに

高校物理は古典物理の運動の法則から始まる。それが理解できるかできないかは実に大切である、なぜなら高校での物理学習は理系文系の進路選択に影響するからであり、ひいてはその生徒の将来をきめる。退職して 30 年たった私に「おかげで今もこの世界で頑張ってます」と企業のエンジニアーが、あるいは「物理は概念だと言われたことを今も考えています」と物作り企業の役員が言ってくる、このように物理教育そのものを評価し懐かしがる生徒は、教師生活の若い時より熟年になるほど多くなる。今さらながら当時を思い、物理教育学会に感謝する次第である。ともかく大事な高校時代初期に高校物理を正確に教える方法は実験である。実験物理が歴史上たどったごとく実験こそが新しい概念を生む。

２　一定の力の実験には浮力が適している

浮力は中学で学習済みである。しかも方向は重力と逆だが同じ鉛直線上であり一定の力を保ち、ゆっくりとした運動を作り出すことが容易である。よって風船の運動をストロボライトで観察するか、又は放電式タイマーなどで測定すればわかりやすい運動になると思う。

しかも、浮力は実験室内の一定の大気圧中で体積が変わらない限り一定であるから、力が一定の釣り合いの状態や等加速度運動の実験に適している。

３　ポリ風船の作り方

青少年のための科学の祭典の出展物としてポリ風船を考えた、多数の子供が持ち帰れるように、予算の範囲内でヘリウムガスの量を約１リットル（３６円 札幌での購入価）前後におさえ、浮遊時間を４～５時間できるように軽い袋（キッチンポリ袋　ポリエチレン 180×250 ㎜）を使用した。この袋の開口端側を市販のシーラーで圧着し、ガス封入通路を**図１**のように作る、吹き入れ口が袋の最下端になるようにした。

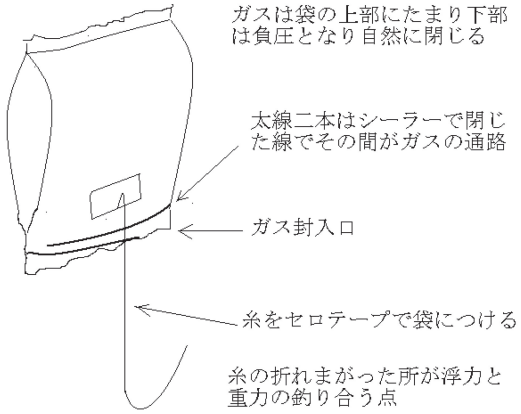
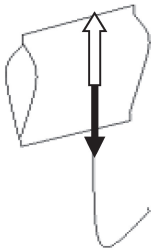


図１　ヘリウム入りの加工した袋に糸をつけその先端を手で持ち釣り合って浮遊している状態

４　等速直線運動について



上向きの白い矢印は風船の浮力 F を示す。浮力はガスと同体積の空気の重さ。
下向きの黒い矢印は風船の重力 mg を示す。
浮力と重力が釣り合うと $F=mg$　である。
m はガス＋袋＋糸の質量。

図２　浮力と重力が釣り合っている時

風船の上昇運動を考えると、最初静止から加速し次第に空気抵抗を受け加速がにぶり終端速度に達する、その後は等速運動となる。同様に下降運動もある。

しかしここでは、運動の第一法則である慣性の法則の理解を目的とするから、力が釣り合っている静止の状態から運動させるのがよい。**写真１**は釣り合って静止している風船を静かに押し上昇する場合である。

釣り合いの状態を作るためには封入するガスの量の調節がある。調節するには封入通路に入る細い管を使用し袋内部のガスを静かに抜く。ストローでも金属管でもよい。ガスの量は袋に満杯せず少なめ方が実験し易い。ガスの調節よりも糸の調節の方がもっと簡単である、軽い糸、重い糸、そして糸の長さで調節し**図２**に示すように折れ曲がったところが釣り合い点である。そこで糸をきれば容易に釣り合わせることができる。又は糸を机上か床上にたるませても容易である。

写真１は釣り合っていた風船を静かに押し、上昇して行く運動を、0.5 秒ごとに連写撮影し短冊状に切って横に並べたものである。

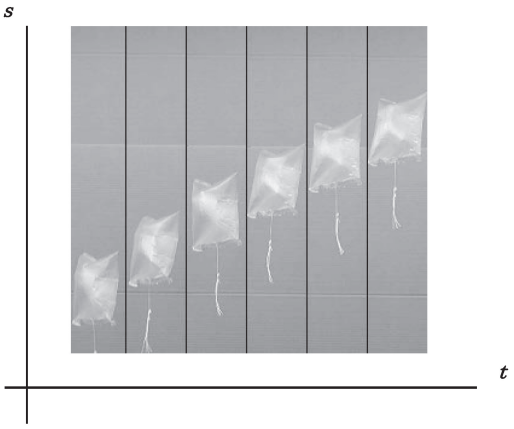


写真１　等速度運動を示す連写写真

写真１を距離 ***s*** と時間 ***t*** のグラフ上に示せば、風船の運動はほぼ一定傾斜の直線上にあり、等速直線運動をしている。

この実験に際しての材料の参考数値例として示せば風船の袋は DCM キッチンポリ袋 S（外形 180×250 ㎜、厚さ 0.008 ㎜）である。ヘリウムガス１㍑ぐらいの封入で浮かぶ。標準状態でヘリウムの密度は 0.1785*g/l*、空気の密度は 1.293*g/l* である。よって１㍑の場合、浮力は 1.293×980 ダインとなる。糸は軽いしつけ糸、または重いたこ糸など浮力に応じて使用する。

５　等加速度運動について

教室内で風船が上昇あるいは下降するとき終端速度に達するまでは等加速度運動である。この間、風船に浮力と重力のみが働きその差は一定不変だからである。ただし運動における空気抵抗を無視できる速さの範囲とする。**写真２**は上昇時のストロボ様の連写写真である。

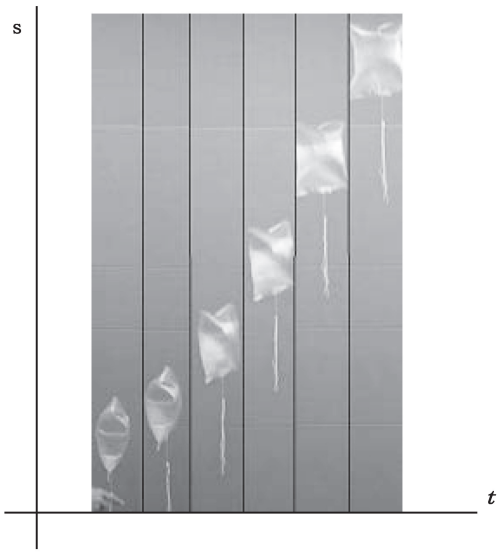


写真２　等加速度運動を示す連写写真

写真２は距離 ***s*** と時間 ***t*** のグラフ上では、風船の運動はほぼ二次曲線の軌跡をしていて、等加速度運動をしていると考えられる。

６　あとがき

この実験では浮力重力の数値を求める必要は全くない。なぜならどちらの力も実験中は変わらず一定である。よって一定の力による各種運動を確かめたものである。浮力重力の二つの力が等しければ釣り合い、二つの差が小さいとゆっくり動き、差が大きいと加速が大きくなる。ガスは袋に少なめに入れれば袋内のガスの圧力が大気圧と同じになり一定となるので、糸の重さの調節のみで実験ができる。しなやかな糸または紐であれば釣り合い点は折れ曲がる点なので簡単に求められる。

この原稿について大変お世話になった札幌北高校物理化学部顧問の中道洋友先生からは「予想した通りの運動をしました」と報告を受けました。また部員の皆さんに心から御礼感謝申し上げます。

参考資料

青少年のための科学の祭典千歳大会 2017 実験解説書 P5, P6.
「ヘリウムで袋がなぜ浮くか」「漂うポリ風船」
北方圏理科教育振興協会　さいとうたかし

運動する物体を題材にした探究活動における足場かけの工夫
（中学校理科第３学年の「運動とエネルギー」を題材に）

札幌市立白石中学校　　**森山　正樹**
Sapporo Shiroishi Junior High School　　MORIYAMA　Masaki

本稿は，今年度の８月 11～12 日に香川大学において開催された 2018 年度 日本物理教育学会年会 第 35 回 物理教育研究大会において発表した原著講演の内容を基にしている．北海道支部の方々に実践を紹介するために，発表予稿集の文章に当日発表した内容を大幅に書き加えた．運動する物体の速さの変化について探究する生徒と，その生徒に対する教師の足場かけの在り方について報告する．

キーワード　運動　速さの変化　仮説設定　足場かけ　４QS（フォークス）

１．はじめに

中学校理科第３学年の単元「運動とエネルギー」において，レールを転がる小球の運動の規則性を生徒が探究する実践を２か年で行った．物体に働いている力は目に見えないため，力の働きに着目して物体の速さの変化を論じるのは中学生には非常に難しい．そこで，生徒が仮説を設定して実験に臨む際に，教師がどのような「足場かけ」(scaffolding)をすると生徒の学びを深めることができるかを検証した．なお，生徒が仮説を設定する際には，１年目に４QS(フォークス)を活用し，２年目では４QS を活用しない方法で探究活動を行った[1]．

２．「物体の運動」の章における目標

○力と運動に関する事物・現象に進んで関わり，それらを科学的に探究しようとするとともに，事象を日常生活との関わりでみることができる．＜関心・意欲・態度＞
○力と運動に関する事物・現象の中に問題を見いだし，目的意識をもって実験を行い，運動の規則性について自らの考えを導いたりまとめたりして表現することができる．＜思考・表現＞
○力と運動に関する実験の基本操作を習得するとともに，実験の計画的な実施，結果の記録や整理などの仕方を身に付けることができる．＜技能＞
○力と運動に関する規則性について，基本的な概念や原理・法則を理解し，知識を身に付けることができる．＜知識・理解＞

３．教材の工夫

生徒の興味を章全体を通して喚起するために，演示実験装置を開発した(図１)．電気配線のカバーをレールとし，レールの側面に磁石をつけて黒板に設置して異なる状態(①下り斜面，②水平面 A，③登り斜面，④水平面 B，⑤落下)を作った．レールの左上からビー玉を転がし，①～⑤を運動しているビー玉の速さに着目させた．すると，見た目で速くなる運動や遅くなる運動はわかるが，どこが一番速いかなどは自信がもてない状態であった．そこで，「速さの変化が具体的にどうなっているかを探究したい」と生徒たちは考えた．この演示実験装置は，今後に学習する運動の状態をすべて包含しており，生じた疑問を章全体の学びへ結びつけることができた(図２)．

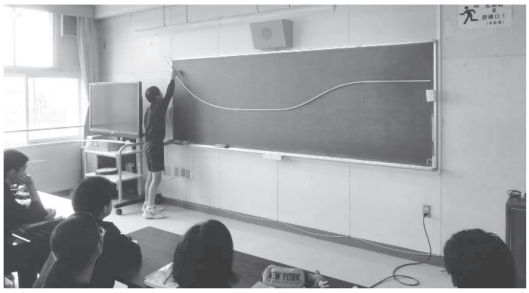


図１　黒板一面に設置した演示実験装置

図２　生徒が疑問を表出したワークシート

４．４QS とは

４QS(The Four Question Strategy：フォークス)とは，子どもの疑問を科学的に探究可能な「問題」にするために Cothron ら(2000)が提唱した指導法であり，日本では小林ら(2006)によって研究された[2)]．ワークシートの STEP1～４の手順に従って空欄を埋めていくと，具体的な仮説を立てることができるように工夫されている(図３)．

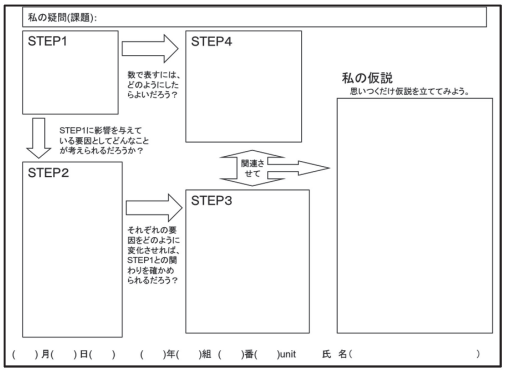


図３　４QS のワークシート

５．指導計画(12 時間扱い)

- レールを転がる小球の運動(①～⑤)を見て，速さがどうなっているのか考える(１時間)
- 速さを求めるための技能(記録タイマーの使い方)を身に付ける(１時間)
- 斜面(①)を下る物体の速さの変化を調べる(２時間-前時-)
- **運動する物体の速さの変化を大きくするにはどうすればよいか調べる(２時間-本時-)**
- 水平面(②，④)を進む物体の速さはどうなっているのか調べる(１時間)
- 斜面(③)を登る物体の速さはどのように変化しているのか調べる(１時間)
- 斜面の角度が 90 度(⑤)のとき，物体の速さはどのように変化しているのか調べる(１時間)
- ①～⑤の運動における速さの変化は何によって決まるのか考える(１時間)
- 慣性の法則，作用・反作用の法則について知る(２時間)

６．前時の展開

下り斜面(①)を力学台車が運動する実験を行う際に，基準となる状態(斜面の角度と物体を走らせる位置)を決め，すべての班が同じ条件で測定を行った．ここで得られた表(図４)とグラフ(図５)は，次時に行う本時の実験と比較するための大切なデータとなる．１枚の記録テープの長さ(0.1 秒毎に進んだ距離)の差は，およそ 6mm 程度であることがわかった．基準となる状態は，滑走台の高さ(または角度)と位置を中間にして，次時にどんな条件を変えると台車の速さの変化を大きくできるかの仮説を立てやすくなるように工夫した．

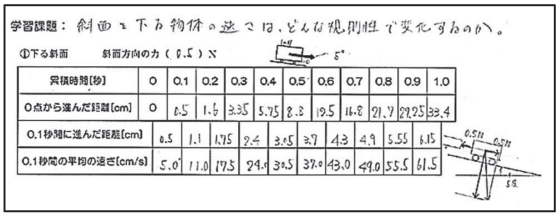


図４　生徒が作成した実験結果

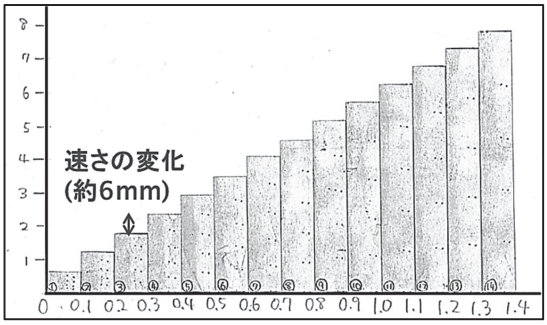


図５　記録タイマーによる記録テープのグラフ

７．本時の展開

(1) ４QS を活用した場合(１年目:2016 年度に実施)

４QS を用いて，STEP1～４を考えながら自分の仮説を立てた(図６)．その後，班で話し合いをして検証実験を行った(図７)．検証実験の結果と前時に得た基準の状態のグラフ(記録テープの長さの差)とを比較して，速さの変化を大きくする条件を見い出した．

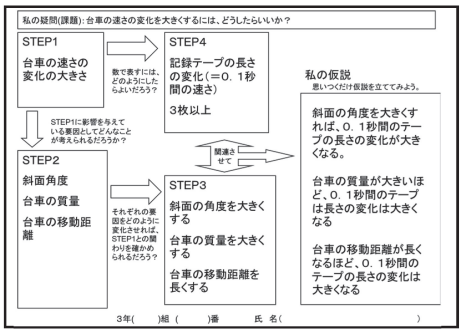


図６　４QS のワークシートの記入例

図７　実験の様子①

(2) ４QS を活用しない場合（２年目：2017 年度に実施）

仮説を立てる段階で，速さの変化が大きくなる条件を記入する欄をワークシートに設けた（図８）．生徒から出た考えは，斜面の角度，台車の質量，台車の位置，台車が走る距離を変える，などだった．その中で有力と思われる方法を班で２つ選択して，各班で実験を行った（図９）．その際に，一つの条件だけを変えて実験をするように促した．

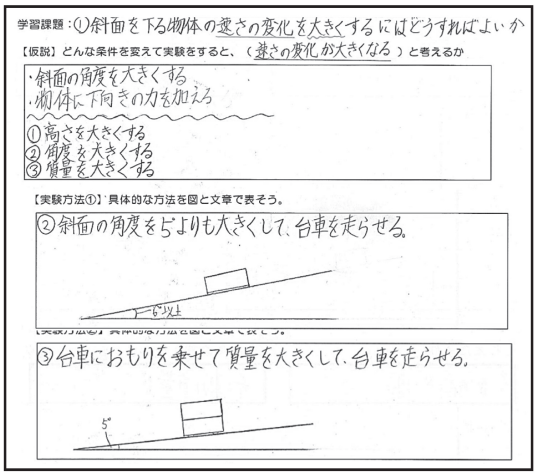


図８　ワークシートの記入例

図９　実験の様子②

８．実験結果

(1) ４QS を活用した場合（１年目：2016 年度に実施）

4QS の４つのステップに従って仮説設定し，班で決めた２～３つの実験（時間の許す範囲で実施）をした後，その検証実験の結果（どのような実験をしてどんな結果が得られたか）をワークシートにまとめた（図 10）．それぞれの班が行った結果を交流することで，斜面を下る物体の速さの変化を大きくする要因は，斜面の角度を大きくすることであることがわかった．斜面の角度を変えないで質量を大きくしても（台車を２つ用いても），速さの変化の仕方は台車が１つの場合と変わらないことを確認することができた．また，斜面の角度が変わらないとき，斜面の高いところから台車を走らせても速さの変化の仕方が変わらないことも確認できた．

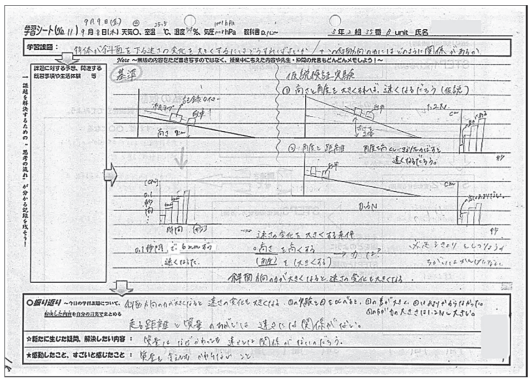


図 10　ワークシートの記入例

(2) ４QS を活用しない場合（２年目：2017 年度に実施）

斜面を下る物体の速さの変化を大きくするために，そろえる条件と変える条件を明確にして実験を行った．

図 11 は，斜面の高さと角度を変えず，台車の質量を２倍にして行った結果である．すると，基準の結果と同じく，１枚ごとの記録テープの差が 6mm 程度であった．このことから，質量を大きくしても速さの変化の仕方は変わらないことがわかった．

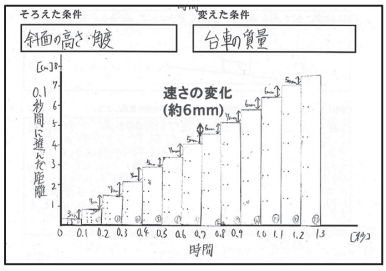


図 11　ワークシートの記入例

図 12 は，斜面の高さと台車の質量を変えずに，斜面の角度を２倍に大きくして調べた結果である．すると，１枚ごとの記録テープの差が，基準である 6mm の２倍の 12mm 程度になった．つまり，斜面の角度を大きくすると，速さの変化が大きくなることが確認できた．このように，条件制御をしっかりと行い，変数がひとつになるように実験することで，速さの変化の仕方を変える要因が何であるかを明らかにすることができた．

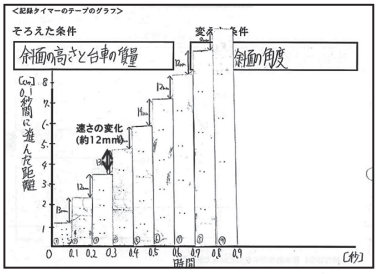


図 12　ワークシートの記入例

生徒の考察には，物体に働く力を作図して説明するようすが見られてきた(図 13)．しかし，すべての生徒が力に着目した考察をできているわけではなかった．

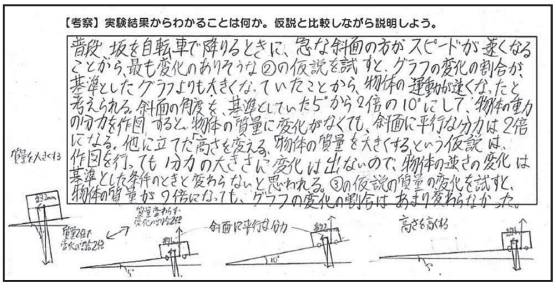


図 13　ワークシートの記入例

９．実践を終えての考察

この教材の開発により，「物体の運動」の章を通して好奇心が持続し，レールで見た５つの場面について次々と調べる実験を展開できた．①～⑤の場面における物体の速さの変化を調べた後，物体に働く力や時間と速さ，移動距離の関係のグラフを整理して，これまでの学びの定着を図った(図 14)．

仮説を設定する場面において４QS の手法は有効であり，仮説を立てるのが苦手な生徒でも４つの STEP に従って考えていくことで仮説を立てることができた．この手法の良い点は，条件制御をしっかりと行った実験計画をつくることができることである．しかし，４QS を使えば仮説設定の力がつくとは単純にはいえない．

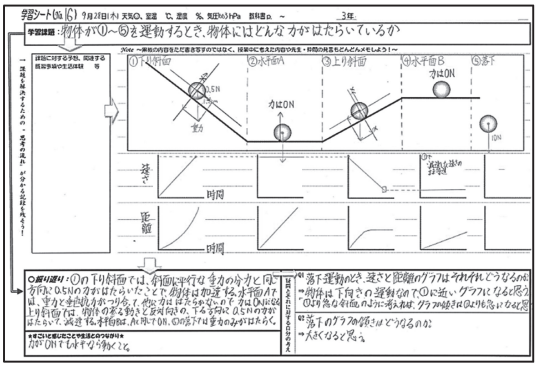


図 14　ワークシートの記入例

４QS は変数を一つに条件制御して考えるように構成されており，思考スキルを身に付けるために活用すると効果がある．その反面，生徒の思考を型にはめてしまっている側面も否めない．

４QS よる思考プロセスを参考に，２年目の実践では変化させる一つの条件に着目して実験するように支援した．これにより，生徒は条件制御を意識した仮説を立て，速さの変化の大きさを変える要因を導き出すことができた．科学的に考える際に必要なのは，変数をひとつにして事象を検証することである．このことを指導者が理解した上で，生徒にふさわしい問題解決の場を設定していくことが大切であると考える．

10．おわりに

１年目の実践で，生徒は①～⑤の運動において速さが変化する理由を明確に説明することが難しかった．そこで２年目の実践では，物体に働いている力に注目するようにして，力の矢印の作図を通して現象を説明するように促した．目に見えない力やエネルギーの存在を生徒が理解するのは難しいが，生徒の発達段階に応じたよりよい工夫の在り方を引き続き模索していきたい．生徒の学びを深めるためには，より良い教材の開発や思考するプロセスの習得などが挙げられるだろう．生徒と関わる教師が，「足場かけ」ならびに「足場はずし」を適切に行うことが重要であると考える．

文　献

(1) 森山正樹(2018)，運動する物体を題材にした探究活動における足場かけの工夫，2018 年度 日本物理教育学会年会 第 35 回 物理教育研究大会 発表予稿集，pp.38-39
(2) 小林辰至，永益康彦(2006)，社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望，科学教育研究 Vol.30 No.3，p.188

「シュレディンガーの猫」を詰めた箱の製作
（プログラミング教育に向けて）

北海道滝川高等学校　**河田　淳一**

量子力学における重なっている状態を説明するのに「シュレディンガーの猫」の思考実験を例えることが多い。生きている状態と死んでいる状態が重なっていて観測した瞬間にいずれかに収束するという思考実験ではピンとこない場合も多い。そこで実際に箱を開けるという観測行為を通じて生死が確認できるよう電子回路的に猫を箱に詰めた箱を製作した。今後展開されるプログラミング教育へつなげていくことも可能である。

キーワード　量子力学　シュレディンガーの猫　重なっている状態　プログラミング教育

１．はじめに

「観測するまではわからない」と重なっている状態を説明するのだが、思考実験では具体的に理解しがたい。実際に箱を開けるという行為を通じて猫の生死が確認できるようなプログラミング電子回路を製作した。

２．プログラミング教育に向けて

２．１　「情報教育」の本質

「情報」教育は「文書作成」や「表計算」などの職業訓練系に陥りがちであった。プログラミング教育もまずはすべての命令系統を学び、そこからプログラムを組み始めるといった方式をとっていたため、なかなかプログラミングを始めることができなかったといえよう。重要なことは何がやりたいのか？ここに尽きる。やりたいことさえはっきりすればプログラミング言語はなんでもいいのであり、命令系統も結果さえ出るのであれば多少の回り道をする冗長なプログラムでも構わないのである。

プログラミング IC チップは極端にいうと入出力しかできない。順序立ててやることを並べるだけでプログラミングはできるのである。命令とはやりたいことを具現化するための呪文に過ぎないのであり、その場で目的に最適なものをマニュアルから探せばいいのである。決して命令系統は順序立てて学ぶべきものではない。

２．２　箱がやりたいこと

今回の「シュレディンガーの猫」を詰めた箱のやりたいことは、２値のサイコロを振り「0」「1」の場合分けをし、箱の開閉で生死を判断するということである。

Ｃａｔ①　箱を開けて「0」つまり死んでいる場合には赤 LED が点灯する。

Ｃａｔ②　箱を開けて「1」つまり生きている場合には緑 LED が点灯し、更に猫の鳴き声がする。

Ｃａｔ③　箱が閉じているときでは生死が重なっている状態で赤と緑の LED が交互点滅し、箱が開けられるまで２値のサイコロを振りながら反復する。

そのソースリストは後半に掲載する。

２．３　電子回路

簡易電子工作によく使われるプログラミング IC チップ PIC16F84A を利用する。最初は汎用ロジック IC で製作をしたのだが、回路が複雑でタイミングの問題なのか思ったとおりの動きをしなかったため挫折した。

図１の回路図を見ても分かる通り、IC チップ内部に焼き付けたプログラムのおかげで配線そのものは非常に単純化されている。したがって回路図そのものにはあまり意味がない。

プログラミング IC チップの電源は３V で起動可能なので単３乾電池２本を使用する。汎用ロジック IC ならば５V を要求するので４本が必要となるためエネルギー的にも優れている。回路図左端の機能 IC が猫の声で鳴動する。機能 IC も３V で起動する。具現化するために箱の内部に猫のフィギュアも詰めておく。

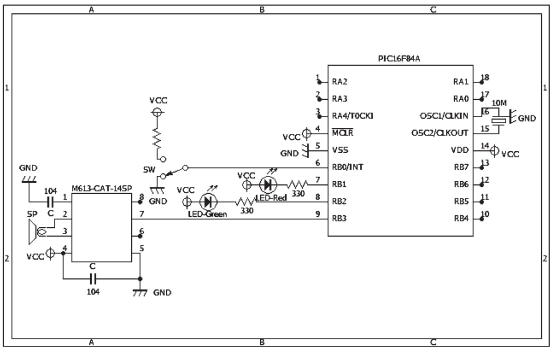


図１　回路図

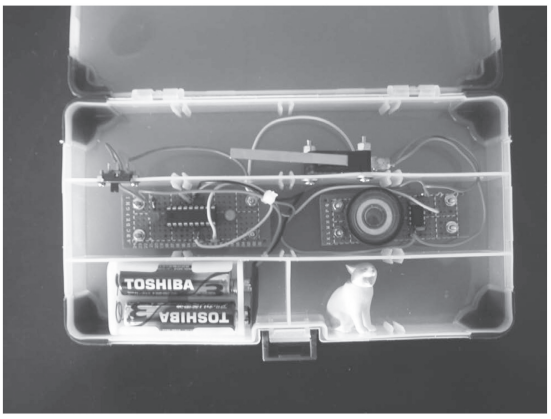


図２　完成写真

２．４　今後の展望

「総合的な探究の時間」「課題研究」などで様々なテーマをやりたいと生徒が提案してくる。テーマに応じた具体的な形を工作することで理解の一助となるようにしたい。それにはプログラミング IC チップの活用が期待される。

文　献

(1) 河田　淳一：「シュレディンガーの猫」を詰めた箱の製作，北海道の理科，Vol.61，2018

※参考：C 言語によるソースリスト

```
// File : Scatmain.c

#include <xc.h>
#include <pic16f84a.h>
//  動作周波数値 10MHz
#define _XTAL_FREQ 10000000
#pragma config FOSC = HS, WDTE = OFF, PWRTE = OFF,
CP = OFF

void main()
{
    int dice;
    TRISA = 0x00 ;   // PORTA  出力設定
 // PORTB  入力設定  1  出力設定  0
    TRISB = 0b00000001 ;
    PORTA = 0x00 ;   // PORTA  初期化
    PORTB = 0x00 ;   // PORTB  初期化
    dice = 0; //  サイコロに  0  代入
while(1){
// 開いて確認  death          Ｃａｔ①
    if((PORTBbits.RB0 == 1) && (dice == 0))
    {
        PORTBbits.RB1 = 0 ;    //  赤　点灯
        PORTBbits.RB2 = 1 ;    //  緑　消灯
        PORTBbits.RB3 = 0 ;    //  鳴かず
        while(PORTBbits.RB0 == 1) ;//  閉じるまで反復
    }
// 開いて確認  live          Ｃａｔ②
        else if((PORTBbits.RB0 == 1) && (dice == 1))
    {
        PORTBbits.RB1 = 1 ;    //  赤　消灯
        PORTBbits.RB2 = 0 ;    //  緑　点灯
        PORTBbits.RB3 = 1 ;    //  猫　鳴き声
        while(PORTBbits.RB0 == 1) ;//  閉じるまで反復
    }
    else   //  閉じた箱  loop          Ｃａｔ③
    {
        PORTBbits.RB1 = 1 ; //  赤　消灯
        PORTBbits.RB2 = 0 ; //  緑　点灯
        PORTBbits.RB3 = 0 ; //  鳴かず
        __delay_ms(200) ;        // 0.2 秒待ち
        dice = rand() % 2 ; // 0,1 のサイコロ
        PORTBbits.RB1 = 0 ; //  赤　点灯
        PORTBbits.RB2 = 1 ; //  緑　消灯
        PORTBbits.RB3 = 0 ; //  鳴かず
        __delay_ms(200) ;        // 0.2 秒待ち
    }
}
return;
}
```

音波の反射や干渉を理解するための図法の工夫

（2017 年度阪大・京大入試ミス問題を考える）

立命館慶祥中学校・高等学校　**石川　昌司**

高校物理では，音波などの縦波を，縦波←→横波変換に基づく変位波で扱うことが多いが，そのことにより音の干渉などの問題では深刻な不都合を生じることがある．この問題の解決策として「縦ベクトル（仮称）」なる図法を工夫してみた．さらに，2017 年度の大阪大学と京都大学の入試問題をこの図法で扱うことで，その有用性を検証した．

キーワード　音波，密度波，変位波，縦ベクトル，反射，干渉，入試ミス

１．はじめに

2018 年１月から２月にかけて，大阪大学と京都大学で前年度の物理の入試問題にミスがあったことが発表され，関係者に衝撃を与えた．２つの大学で出題された該当の問題を見ると，どちらの問題も，ひとつの音源から出た音が２つの異なる経路を伝わった後に再び出会うとき，音がどうなるかを問う問題であった．筆者は，かつて，このような音波の干渉問題では，一般的に高校物理で指導されている縦波←→横波変換に基づく変位波の描像での説明を安易に試みると事実を見誤る危険性があると警告したことがある[1)2)]．残念ながら，大阪大学のミスも京都大学のミスも，その落とし穴に完全にはまっていた．

上の文献にも書いたが，このような誤りを避けるための最良の方法は，音波を変位波ではなく密度波――圧力波でも同じだが本稿では密度波という名称で統一する――で扱うことなのだが，現行の高校物理の教科書では，密度波は極めて限定的にしか扱われない．それゆえ，教師や生徒が，音波を密度波で自然に扱えるようになるには，もう少し時間がかかると思われる．そこで，密度波に至る過渡的な扱いとして，音波の反射や干渉を正しく理解するための図法を工夫してみた．

なお，この図法による説明は，2018 年１月に札幌日大高校の３年生総合進学コース化学選択者 11 名と，2018 年４月に立命館慶祥高校３年生ＳＰコース物理選択者 22 名を対象に試したところ，どちらの学校の生徒にも特に問題なく受け入れられたことを申し添える．

２．縦ベクトル（仮称）

音波は言うまでもなく縦波である．そこで，縦波が伝わる経路に沿って，変位ベクトルの向きが等しい連続した点の集合の線分に変位と同じ向きをもたせたものを，新たに「縦ベクトル（仮称）」として定義する．(図１)

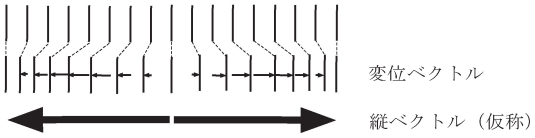


図１　縦波の縦ベクトル表示

この「縦ベクトル」は，基本的には長さが半波長の真っ直ぐな有向線分であるが，媒質の境界では曲がったり，切断されたりするものとする．

以下に，縦波が固定端で反射する様子および自由端で反射する様子を縦ベクトルで説明した図を示す．（図２，図３）

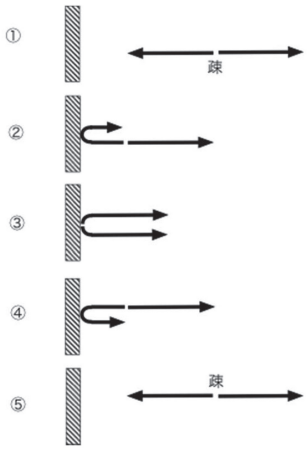


図２　固定端でのパルス波の反射

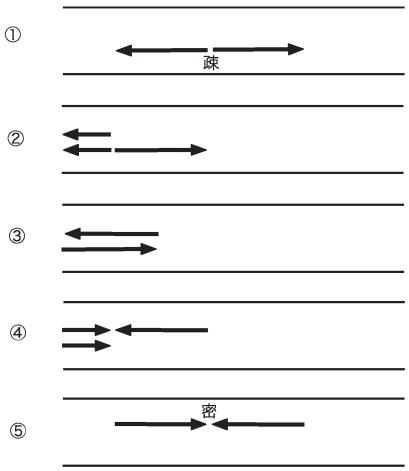


図３　自由端でのパルス波の反射

両図とも，パルス波の反射を，①反射前，②$\lambda/4$反射，③$2\lambda/4$反射，④$3\lambda/4$反射，⑤反射後に分けて書き表したものである．

固定端では「疎」は「疎」のまま──同様に「密」は「密」のまま──反射し，自由端では，「疎」は「密」に──同様に「密」は「疎」に──反転して反射することがわかる．

３．大阪大学の 2017 年度入試問題について

大阪大学の問題の概要は次のとおりである．

「音さを固定壁の近くに置き，壁面に垂直にとったy軸に沿って音さを移動させる．また，壁から遠く離れたy軸上の位置にマイクロフォンを固定する．y軸の正の方向に音さの位置を少しずつ変えながらマイクロフォンで観測すると，音の強さが周期的に変動した．マイクロフォンには，音さからの直接音と，壁で反射してから届く反射音の２種類の音が届く．マイクロフォンに届く音が強くなるときの，音さと壁との距離dと音の波長λとの関係を示せ．必要であれば，自然数としてn（n=1,2,3,･･･）を用いてよい．」

はじめに，この問題を，密度波の描像で考えてみる．

ひとつの音さから逆方向に同時に出発した密度波が，それぞれ別の経路を通ってマイクロフォンに達する．ひとつの音さから逆方向に伝わる密度波の位相は互いに同位相であるとする．また，「固定壁」での反射では密度波の位相は変化しない．したがって，マイクロフォンに届く音が強くなるのは，音さからマイクロフォンまでの音の道のりの経路差が波長の整数倍になるときである．故に，正答は$2d = n\lambda$または $2d = (n+1)\lambda$ ．

次にこの問題を変位波の描像で考えてみる．

「縦ベクトル」の図は次のようになる．（図４）

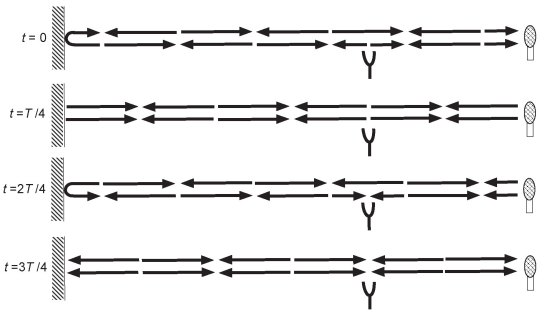


図４　音さからの音を，直接音と壁からの反射音の両方で観測する大阪大学の入試問題を縦ベクトルで表示した図（$d = 2\lambda$の場合）

図４では，音さと壁との距離が波長のちょうど２倍の場合を描いた．この条件では，マイクロフォンに届く音は，常に，直接音と反射音の変位の向きが揃う．したがって，重ね合わせの結果，変位の絶対値が大きくなり，強い音が観測されることがわかる．すなわち，正答は$2d = n\lambda$または $2d = (n+1)\lambda$ ．当たり前だが，密度波の結論と同じになる．

試しに$2d = (n-1/2)\lambda$の場合の縦ベクトルの図を書くと，マイクロフォンの位置では変位波の向きが直接音と反射音で常に互いに逆向きになり，音が弱められることがわかる．

ちなみに，音さと壁の間は定常波になる．定常波では変位の節の位置で音が強く聞こえる．しかし，この問題ではマイクロフォンに届く音は進行波であり，進行波の場合は，合成波の変位の振幅が大きい場所ほど音が強く聞こえる．

ところで，大阪大学では，当初$2d = (n-1/2)\lambda$を正答としていたが，外部からの指摘と内部での調査・検討の結果，誤りを認め，最終的には下記の３つの解答のすべてを正答としている．そのことについて，2018 年 1 月 12 日に大阪大学が公表した「解説」[3] には次のような説明がある．「音さには複数の振動モードがある．逆位相振動モードのときの正答は$2d = n\lambda$または $2d = (n+1)\lambda$ ，同位相振動モードのときは$2d = (n-1/2)\lambda$ ．（中略）問題では振動モードを特定していなかった．よって，三つの解答に対しいずれも満点を与えた．」

ここで言う音さの同位相振動モードとは次の図のような振動モードのことである．（図５）

矢印は音さの変位の向きを表している．実際に音さがこのような振動をしていると仮定すれば，それに応じて図４は書き換えられ，正答は$2d = (n-1/2)\lambda$ になる．

しかし，筆者には，後付の言い訳のように聞こえてしかたがない．

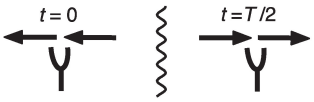


図５　音さの同位相モード

４．京都大学の 2017 年度入試問題について

京都大学の問題設定は，大阪大学よりも若干複雑であるが，概要は，次のとおりである．

「音源を載せた車が壁と平行に等速直線運動している．自動車の運転手には，音源からの直接音と壁で反射してから届く音の両方が届く．２つの音が干渉して弱めあうための，車と壁の間の距離Lはいくらか．ただし，音速をc，車の速さをU，音源の振動数をf，nを負でない整数とする.」

一般に音源や観測者が動いている場合はドップラー効果を考えなければならない．まず，反射音から考える．今，音源である車は同時に観測者でもあるので音源の速度と観測者の速度は同じである．また，壁で反射して車に戻る音波の経路を考えると，車で発した音が壁に向かって進んでいくときの音の向きと車の進む向きがなす角度は，音が壁で反射して車に戻ってきたときの音の進む向きと車の進む向きがなす角度に等しい．このことにより，正味のドップラー効果は生じないことがわかる．もちろん，直接音にもドップラー効果は生じない．したがって，この問題では，静止した音源が発した音を，静止した観測者が聞くと考えても，同じ結果が得られることになる．それゆえ，簡単のためにそのように考えることにする．

2018 年 2 月 1 日に京都大学から「解説」[4] が発表されている．この資料全体がたいへん興味深い内容を含んでいるのだが，この中に，音源について，次のような説明がある．「本問題における音源は，『全方位に』という表現でも示されているように，等方的な音波を出す点波源を想定している」．この文から，この音源から出る音波は，密度波でも変位波でも球対称と想定されていることがわかる．

では，はじめに，密度波の描像で考えてみる．

壁Mでの反射の際に位相変化はなく，密度波の振動に向きはない．したがって，θを音の進む向きと壁に対する垂直な向きの間の角とすると，$2L\,/\,\cos\theta$ の距離を音が伝わるのに要する時間が音源の振動の周期の半整数倍になるとき，直接音と反射音が弱め合う．故に正答は次の通りである．

$$L=\frac{c}{2f}\sqrt{1-\left(\frac{U}{c}\right)^2}\left(n+\frac{1}{2}\right)$$

次に変位波による説明を試みる．

「縦ベクトル」の図を描いてみると次のようになる．（図６）

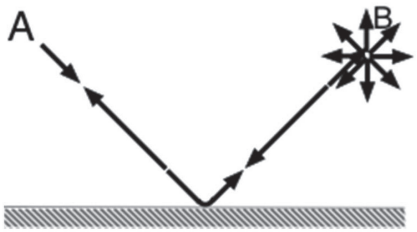


図６　Ａを発し壁で反射してＢに届く音と，Ｂのそばに置いた音源からの直接音の干渉

前述したとおり，ドップラー効果による振動数変化は起きないので，簡単のため，反射して届く音が発された点Ａも，この音が観測される点Ｂも動かないものとして描いた．

Ｂの位置で，音が弱め合う条件を考える．この問いに答えるのはなかなか難しい．第一に，Ｂ（＝観測者）の近くに置かれた音源からＢに届く直接音の変位の向きが，この音源がＢから見てどの方向にあるかによって全く違ってくるので，合成波の変位の大きさは，両者の位置関係に著しく影響されるが，問題文からはこの位置関係に関する情報が何も読み取れない．第二に，そもそも「音波が弱め合うとき」とは，合成波の振幅が小さい状態を指しているのか，音が小さく聞こえる状態を指しているのか，問題文ではどちらとも明言していない．これらが，その困難の原因である．

ちなみに，京都大学は，当初正答を，

$$L=\frac{c}{2f}\sqrt{1-\left(\frac{U}{c}\right)^2}\,(n+1)$$

と考えていたようだが，外部からの指摘の後，最終的に，この問題は“問題の不備”で解けないと結論し，受験生全員に得点を与えると発表した．

５．おわりにかえて～速度波

音波を扱う方法には，変位波，密度波，速度波の描像のそれぞれがある．

前章までは，変位波と密度波に基づき考察したので，最後に速度波について述べる．

速度波は，変位波と同じくベクトル波の一種であり，音響工学的にはリボンマイク（ベロシティ・マイクともいう）が検出するのは，この速度波であると思われる．速度波は，変位波と同じく，固い壁での反射の前後でベクトルの法線成分が反転する．その理由は気体分子が壁で跳ね返る際に速度の法線成分が反転するからである．速度波は，変位を時間で微分した波であり，同一地点同一時刻における位相が $\pi/4$ 異なること以外は本質的に変位波と同じ性質を持つ．「固い壁で反射するとき変位波の位相は逆転する」という高校物理の常識は，高校生になぜそうなるのかと質問されたときにはたと困った状況に陥る[1]が，速度波ならばその理由は明快である．教育研究が進めば高校物理の指導に活用できる可能性が開けるかも知れない．

阪大や京大のような入試ミスがあると，物理教育関係者からは音波は扱いにくいという印象を持たれてしまうかも知れない．しかし，筆者は，音波は身近な物理現象のひとつであるから，高校物理の重要な教材であり続けることが望ましいと考えている．入試ミスは本来あってはならないことではあるが，これを貴重な教材として議論し，より教材の理解を深めるきっかけになれば，よい教訓として未来につなげることができるだろう．物理教育を豊かで活力に満ちたものにするためには，できるだけタブーをつくらないことがよいと信じている．

なお，本稿の内容は既発表の文献[5]に加筆し，再構成したものである．

文　献

(1)石川昌司：音波の反射の指導で気になっていること，物理教育 VOL.52 NO.1 ，日本物理教育学会，2004

(2)石川昌司：音波の指導で気になっていること，物理教育研究 VOL32，日本物理教育学会北海道支部，2004

(3)大阪大学：平成 29 年度大阪大学一般入試（前期日程）等における理科問題（物理）［3］Aの解説，2018

(4)京都大学：平成 29 年度京都大学一般入試における物理問題 Ⅲ(4)の解説，2018

(5)石川昌司：縦波の伝わる経路に沿って『縦ベクトル』を書く図法の工夫〜2017 年度阪大・京大入試ミス問題を考える，北海道の理科 No.61，北海道高等学校理科研究会，2018，http://www8.plala.or.jp/stoneriver/ronbun/TATE_vector/TATE_vector.pdf

Wii バランスボードを用いた探究活動の実践
（垂直跳びの重心運動に関する力学的解析について）

北海道標茶高等学校　**河　端　将　史**

課題研究で物理基礎や物理を履修している生徒が垂直跳びについて研究し，地域へ体験を交えたブース発表を行った．Wii バランスボードで跳躍時の地面反力を，デジタルビデオカメラでその動作を測定し，他の力学量は地面反力から解析した．跳躍高は最大地面反力や重心の加速度，速度と高い相関を，力積や仕事率，最大屈曲膝角度はかなり相関があることを示すとともに，バランスボードは十分に信頼できる利用可能な測定器であることがわかった．

キーワード　Wii バランスボード，重心，跳躍高，地面反力，力積，仕事率

１．はじめに

本校は３年次に総合的な学習の時間（以下，課題研究）を２単位設定し，地域や異校種と連携した研究活動を班単位で１年間実施することを教育課程に位置づけている．本校課題研究の１年間の流れを以下に示す．３月から研究のテーマや企画，計画などの研究課題を設定し，４月から校内生徒や地域と協働する研究活動を行う．９月までに外部コンクールや研究大会での成果をまとめ，中間発表として校内で報告する．次に研究を再度見直し，12 月に年次，１月に校内，２月に全道の総合学科生徒研究発表会を行う．１月の校内総合学科生徒研究発表会では一昨年度から午前にはプレゼン発表を，午後には体験を交えたブース発表を研究で関わった専門家や地域を招き実施している．最後に１月末に研究報告を提出し，３月に発刊するまでが課題研究の流れである．

これまで Wii リモコンを利用した教材開発は花田ら[1)]や村上[2)]により報告されているが，Wii バランスボードを利用した事例は少ない．そこで今回は，物理基礎や物理を履修している３年生３人が Wii バランスボードを用いて垂直跳びの地面反力を測定する環境を構築し，跳躍高と力学量の関係性や先行研究と比較した例を紹介する．年間活動として４月に計測環境のセッティング，６月に全校生徒への調査，７月にサンプルの測定と解析，８月に論文作成と高文連理科地区大会での発表，全道統計コンクールへの応募，10 月に高文連理科全道大会での発表，12 月に年次発表，１月に校内発表に取り組んだ．

２．実験方法

２．１　被験者

運動の基本といえる D.A.Sargent[3)]が考案した垂直跳びのメカニズムを調べるために全校生徒へ有効な跳躍動作の意識調査とどの部活動生徒が高く跳躍できるかを調査した結果を表１へ示す．

被験者は調査から得られた跳躍が上手と思われる上位６つの部活動生徒計 12 名である．被験者の身体的特性については表２，競技種目別構成を表３に示す．被験者は１年生から３年生の 15 から 18 歳の男子生徒とした．

表１　全校生徒へのアンケート結果（N = 181）

有効な跳躍動作	%	跳躍の高い部活	%
踏み込み	36.6	バスケットボール	51.0
全体のタイミング	18.9	陸上競技	29.0
キック	12.0	バドミントン	4.0
ふくらはぎの力	9.7	スピードスケート	4.0
腕の動作	7.4	硬式野球	2.0
膝の角度	6.9	弓道	2.0

表２　被験者の身体的特性（N = 12）

項目	年齢（歳）	体重（kg）
平均	16.4	56.6
標準偏差	0.9	7.2

表３　被験者の競技種目別構成（N = 12）

種目	人数
スピードスケート	2
バドミントン	2
弓道	2
バスケットボール	2
硬式野球	2
陸上競技	2
計	12

２．２　実験装置

図１に実験装置の概要と実験風景を示す．Wii バランスボードを Bluetooth で PC へ接続し，跳躍の地面反力および跳躍時間を検出した．なお，PC と Wii バランスボードのサンプリングレートが異なり，実験毎に時間が変わるためデジタルビデオカメラの VTR から時間を算出した．跳躍高については，エバニューサージャントメーターを使用し，メーターに近い位置から目視で計測した．

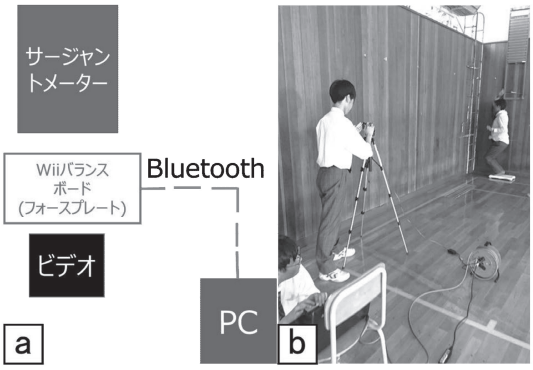


図１　a：実験装置概要　b：実験風景

２．３　解析方法

２．３．１　記号

m（kg）	被験者質量
t（s）	時間
g（m/s^2）	重力加速度
H（m）	測定最大跳躍高
F（N）	地面反力の鉛直成分（上向きを正）
F_0（F_{max}/mg）	規格化最大反力
a（m/s^2）	重心の加速度（上向きを正）
v（m/s）	重心の速度（上向きを正）
x（m）	重心の変位（上向きを正）
H'（m）	最大重心鉛直変位
P（W）	仕事率
I（N・s）	力積
θ（°）	最大屈曲膝角度
ϕ（°）	最大屈曲腰角度

２．３．２　算出

重心の加速度 a は床反力 F から被験者の体重 mg との差を質量 m で除して算出した．

$$a_i = (F_i - mg)/m \quad (1)$$

重心の速度 v は式（１）の時間積分とした．

$$v_i = \int a_i \cdot dt \quad (2)$$

最大重心鉛直変位 H'は離地直前の最大速度を v_{max} としてエネルギー保存則から求めた．

$$H' = v_{max}^2 / 2g$$

仕事率 P は地面反力 F と式（２）の積とした．

$$P_i = F_i v_i \quad (3)$$

力積 I は地面反力 F（N）と体重 mg との差を時間積分した．

$$I_i = \int (F_i - mg) \cdot dt$$

３．結果

３．１　地面反力について

実験より得られた地面反力 F および解析した加速度 a，速度 v，変位 x，仕事率 P，力積 I の跳躍開始から離地までの時間変化を図２に示す．

一般的な沈み込みからの跳躍動作は地面反力が示すとおり一度地面反力 $F <$ 体重 mg となり，やがて $F > mg$ を示す．最大地面反力 $F_{max} = 1.6\times10^3$ (N)時には被験者体重 $mg = 6.6\times10^2$ (N) であることから F_{max} を mg で規格化すると $F_0 = 2.42$ となり，最大地面反力は被験者体重の約 2.4 倍の値を示している．

この跳躍を時間毎に追っていく．$t = 0.0$ (s)の抜重動作では $F < mg$ となり，$t = 0.35$ (s)で速度 v が最小で $F = mg$ (N)となる．$t = 0.6$ (s)では変位 x が最小となり重心が最も低くなる．$t = 0.98$ (s)では最高速度以降で重心が減速することから $F < mg$ となる．$t = 1.0$ (s)はフォースプレートから離地したことを表している．

力積 I の時間変化については後述する．

仕事率 P は式（３）に示すとおり，速度 v と相関を示すことから $t < 0.6$ (s)で負の値を示し，$t > 0.6$ (s)で正の値となった．

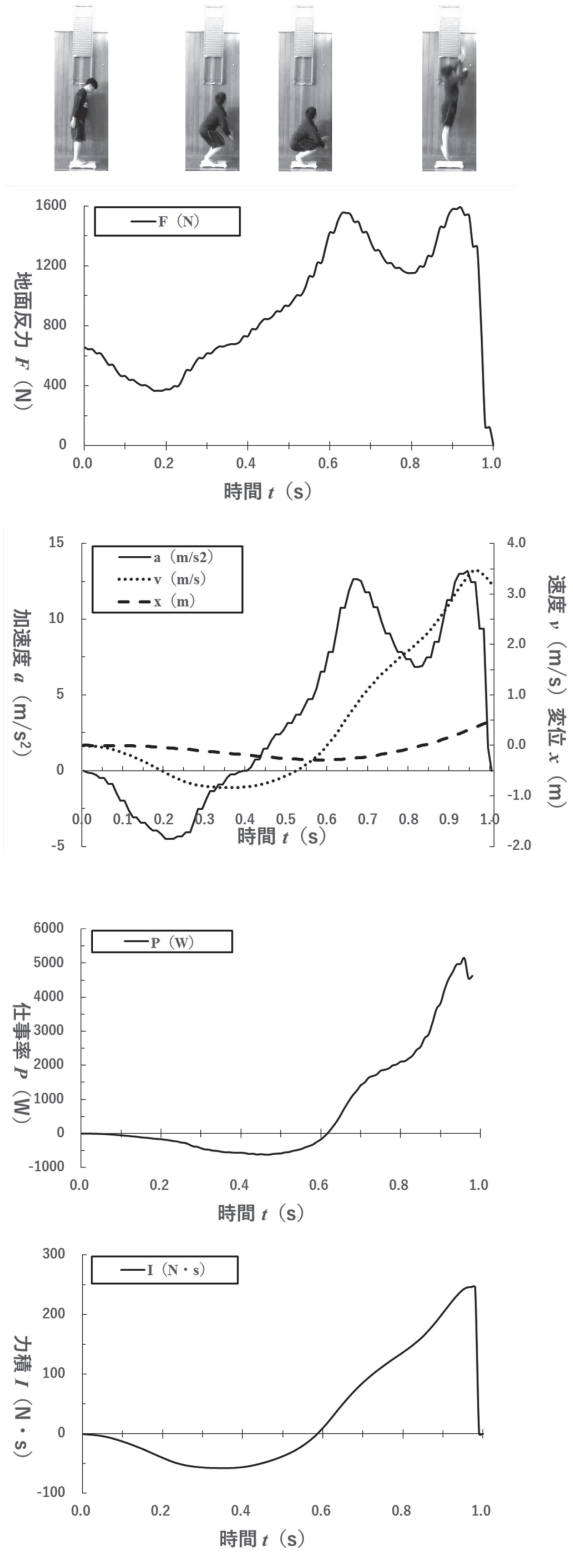


図２　跳躍動作と F および a，v，x，P，I の時間変化

３．２　力積について

図２の地面反力 F を体重 mg (N)を基準として $F-mg$ と表したものを図３に示す．$t<0.35$ (s)の地面反力が負の部分は抜重の動作で負の力積となる．$0.35<t<0.98$ (s)の地面反力が正の部分は加重の動作で正の力積となる．ホッホムート[4)]は，これらの和が跳躍の動作に必要な力積で跳躍高に影響すると述べている．$t<0.98$ (s)の地面反力が負の部分については重力のした力積を表す．図２の力積 I の時間変化からも $t=0.6$ (s)で負の力積から正の力積に移り変わることが示される．

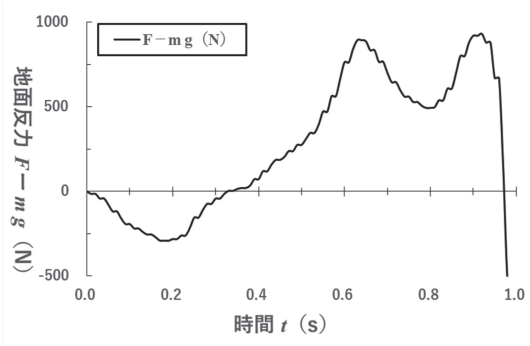


図３　体重 mg を基準とした地面反力 F の時間変化

３．３　力学量の関係について

被験者全員の測定対象とした力学量の平均値と標準偏差，測定跳躍高 H に対する相関係数 r を表４に示す．

表４　力学量の平均値と標準偏差，測定跳躍高 H に対する相関係数について（N = 12）

測定項目	平均	標準偏差	相関係数
測定跳躍高 H（m）	0.59	0.071	1.00
最大地面反力 F_{max}（N）	1594	16	0.81
規格化最大反力 F_o（F_{max}/mg）	2.9	0.32	0.81
最大加速度 a_{max}（m/s^2）	19	3.2	0.72
最大速度 v_{max}（m/s）	3.0	0.62	0.81
最大変位 x_{max}（m）	0.39	0.38	0.13
計算による跳躍高 H'（m）	0.47	0.18	0.58
最大仕事率 P_{max}（W）	3340	1657	0.40
力積 I（N・s）	153	8.0	0.37
正の力積＋I（N・s）	197	7.6	0.53
負の力積－I（N・s）	-26	1.9	-0.51
最大屈曲膝角度 θ（°）	88	20	0.48
最大屈曲腰角度 φ（°）	86	28	0.32

肥田ら[5]による相関係数の目安を用いると最大地面反力 F_{max}（$r = 0.81$）や規格化最大地面反力 F_0（$r = 0.81$），最大加速度 a_{max}（$r = 0.72$），最大速度 v_{max}（$r = 0.81$）は高い正の相関が得られた．また，正の力積＋I（$r = 0.53$）や最大仕事率 P_{max}（$r = 0.40$），最大屈曲膝角度 θ（$r = 0.48$），最大重心鉛直変位 H'（$r = 0.58$）はかなりの正の相関が得られ，負の力積－I（$r = -0.51$）はかなりの負の相関が得られた．さらに，最大屈曲腰角度 ϕ（$r = 0.32$）は低い正の相関が得られた．本研究からは最大変位 x_{max}（$r = 0.13$）については相関がほとんどない結果となった．

4．考察

本実験で得られた解析データを他の研究と比較する．金子ら[6]の男子垂直跳びで得られたデータ（N = 211）は $H = 0.57$ (m)，$F_{max} = 1.8\times10^3$ (N)，$F_0 = 2.6$，$P_{max} = 4.1\times10^3$ (W)となっており本研究と類似する．また，川上ら[7]の垂直跳びで得られた $F_{max} = 1.9\times10^3$ (N), $v_{max} = 3.5$(m/s), $P_{max} = 5.0\times10^3$ (W)，$\theta \fallingdotseq 80$ (°)，$\phi \fallingdotseq 60$ (°)にも類似しており，本研究のシステムに妥当性があることがわかった．

表４から跳躍高と力学量の相関関係を示した．特に離地直前の最大速度 v_{max} を高くするために，力積を稼ぐことが必要であることが示唆された．その際，抜重の負の力積を少なくし，加重の正の力積を多くすることが高い跳躍に結びつくことが推定できる．そのためには，最大屈曲膝角度を大きくすることが必要であり．膝をあまり曲げずに跳躍することが負の力積を少なくすることにつながると考えられる．以上から全校生徒へ調査した表１のアンケートはおおよそ正しかったと判断できる．また，短時間で高く跳び，膝を曲げない点から，バレーボールのブロックジャンプが有効だと考えられる．

本研究では目視で計測した跳躍高，重心の速度の積分から得られた変位，重心のエネルギー保存則から導出した跳躍高の値に差がみられた．原因としてはフォースプレートに影響されない跳躍前の腕の動作，回転力が関与していると考えられる．そこで，地面の垂直反力だけでなく水平方向の地面反力も解析する必要がある．また，サンプル数が少ないことから有効的な統計処理をすることができなかった．今後も継続して被験者を増やしデータを確保したい．

5．おわりに

高文連全道理科研究発表大会審査員からの講評[8]では，「バランス Wii ボードと Bluetooth で PC をつないで運動の解析を行うという新しい手法を用いている．様々な物理量を測定することによって，身体能力や垂直跳びの技術を確認することができる．サンプル数を増やしてほしい」と助言をいただいた．

１月に本校にて開催された総合学科生徒研究発表会の様子を図４に示す．「あなたのジャンプを診断します」というブースで来場者の跳躍の計測と診断，ポスター発表を行った．実際に，自分の跳躍波形を目で見て理解することができると高評価であった．

本研究を熱心に取り組んだ本校平成 30 年度３年生に大変感謝致します．また，実験に被験者として協力していただいた本校生徒や地域の皆様にも感謝します．

図４　a：ブース発表風景　b：診断データ

文　献

(1) 花田達彦ほか：Wii リモコンを使用した実験教材の開発及びその効果：加速度センサーの無線化による新たな実験方法とその教育的効果，第 60 回日本理科教育学会全国大会要項，2010

(2) 村上弘：Wii リモコンを用いた運動解析システムの開発，平成 24 年度東レ理科教育賞受賞作品集，2012

(3) D.A.Sargent：“The physical test of a man,”The American Physical Education Review，vol.26，pp.188-194，1921

(4) ホッホムート（遠藤萬里訳）：スポーツ運動のバイオメカニックス，新体育社，1981

(5) 肥田野直ほか：心理教育統計学，培風館，1961

(6) 金子敬二ほか：脚の伸展パワーに関する研究（第 3 報），日本体育協会スポーツ科学研究報告，1982

(7) 川上泰雄ほか：早稲田大学スポーツ科学部授業報告－演習「身体運動のメカニズム」，スポーツ科学研究，2006

(8) 佐沢駿太ほか：垂直跳びの重心運動に関する力学的解析について，第 56 回全道高等学校理科研究発表大会研究抄録，pp.17，2018

記録タイマー用記録紙を用いた各種直流電流実験

北海道札幌南高等学校　**藤林　亮太**

高校の教科書に載っているような定番の直流電流実験を行おうと思っても、すべり抵抗器、メートルブリッジ、直流電源装置などが不足していて諦めざるを得ない場合がある。今回は記録タイマー記録紙を用いて上記３つの代用品を作り、定番実験を生徒が主体的に活動できる実験にアレンジしてみた。

キーワード　記録タイマー用記録紙、メートルブリッジ、すべり抵抗器、直流電源装置、生徒主体の実験

１．はじめに

実験は生徒の理解を助けるものであることは当然だが、教員にとっては負担が少なく、継続的に実施できるものであることが望ましい。そのために私は以下のような点を重要視している。

(1)　材料が安価で入手しやすいこと。
(2)　器具の持ち運びや収納が容易であること。
(3)　器具の保守に手間がかからないこと。
(4)　物品だけ与えれば生徒主体でできる実験であること。
(5)　精密な値を測定する実験ではないこと。

今回は、以上の５点を満たす電流実験を紹介したい。

２．51㎝ブリッジの作成と用途

まずは、各種直流回路実験に共通して用いることができる51㎝ブリッジを作成する。ここで抵抗線として記録タイマー用記録紙を用いる[1)]ことが特徴である。

（1）材料

- プラスチック製50㎝定規（両端に5㎜の余裕があるもの、100円均一で購入）
- 記録タイマー用記録紙（放電式記録タイマー用で電導性のあるもの、ナリカ（1巻40m）10巻セット¥6,500）
  注意点 記録紙は**ナリカ製を選ぶこと**（他社製は80mA程度の電流で不能になる場合がある）
- 金属クリップ（どんな形状でもよいが塗装がなく通電するもの、小さいサイズ）
- 両面テープ（弱粘着のものの方が使用後に剥がしやすい）

（2）作成手順[1)]

①　50㎝定規に両面テープをおよそ５㎝間隔で貼る。（図１）

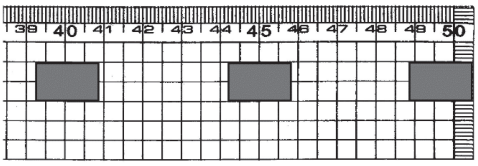


図１　両面テープの貼付

②　50㎝定規に記録タイマー用記録紙をまっすぐに貼り付け、両端の余った部分をカットする。記録紙は光沢のある面を上にする。（図２）

③　金属クリップを50㎝定規の両端に取付ける。クリップの先端が0㎝と50㎝の目盛りにぴったり合うようにする。（図２）

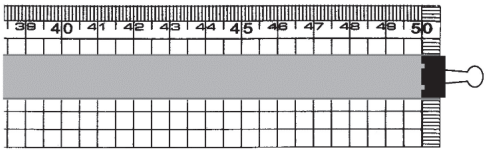


図２　記録紙の貼付、金属クリップの取付

（3）用途

51㎝ブリッジには３種類の用途がある。

①　メートルブリッジの代用品として使う

理科学機器カタログに載っているメートルブリッジは高価で、数を揃えることはなかなか難しい。さらに抵抗線が切れたり、緩んだりしやすく保守に手間がかかる。51㎝ブリッジは、メートルブリッジと同じように用いることができ、材料が安価で、１回使い切りなので保守にも手間がかからない。ホイートストンブリッジや、電位差計の実験を行うことができる。

②　すべり抵抗器（写真）の代用品として使う

記録タイマー用記録紙は50㎝で50Ω程度の抵抗があるため、抵抗として大きすぎも、小さすぎもなく、可変抵抗器として用いることができる。電池の内部抵抗の測定などに用いることができる。

③　直流電源装置（写真）の代用品として使う

51cm ブリッジと AC アダプターを併用することで直流電源装置の代用品とすることができる。

AC アダプターはハードオフなどのジャンクコーナーで100～300円程度で入手できるので、直流５～10V 程度で出力できるものを選んで購入するとよい(本体にOutput DC 5.0V などと記載されている)。また、コードの両端子に、みのむしクリップを取り付けると生徒も使いやすい。

図３のような回路を組んで、接点 B を移動させると［　A　］の部分にかかる直流電圧を変えることができる。

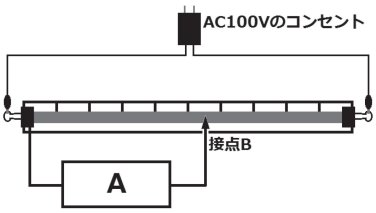


図３：直流電源装置としての使い方

３．51cm ブリッジを使った実験例

本校では、生徒実験の際に実験手順を与えることをあまりしていない。実験前の授業で十分な予備知識を与えていれば、実験の手順から自分たちで考えることができるはずだし、間違いや失敗があった方が、正しい理解や深い理解に繋がりやすいと考えるからである。

また、初めて用いる実験器具（今回だとテスター）の使用方法なども記載せず、実践の中で学ぶスタイルにしている。

したがって、実験ワークシートに過剰な指示はなく、実験記録を残すための余白が大部分を占める。以下ではワークシートに記載する生徒への指示を［　　］内に記す。

［実験１］　抵抗線の長さと抵抗値
［課題］　記録タイマー用記録紙の抵抗値を 5cm 刻みで長さを変化させてマルチメータで測定してみよう。
（回路図・表・グラフの作成）

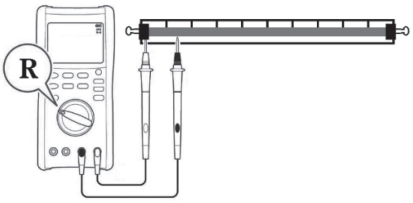


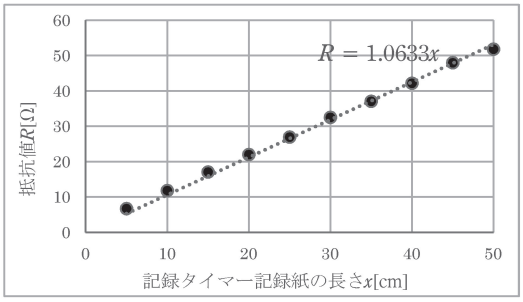
図４：実験１の回路

実験１の結果は表１とグラフ１の通りである。記録タイマー用記録紙の抵抗値は、その長さにほぼ比例している。

表１：実験１の結果

長さ[cm]	5	10	15	20	25
抵抗[Ω]	6.7	11.8	17.1	22.0	27.0

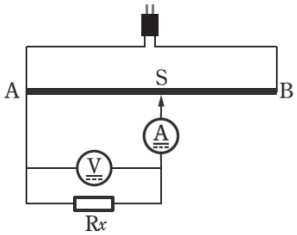
長さ[cm]	30	35	40	45	50
抵抗[Ω]	32.5	37.1	42.2	48.0	51.8



グラフ１：実験１の結果

［実験２］　オームの法則
［課題］　抵抗が数種類あるので、電流-電圧特性を調べ、それぞれの抵抗値を予想してみよう。（回路図・表・グラフの作成）

［補足］　この実験の抵抗は1W カーボン抵抗(炭素皮膜抵抗)で十分である（秋月電子では100 本入り¥200）。



※ 電圧計はアナログでよい。
※ 電流は微少な変化なので、デジタルがよい。

図５：実験２の回路図

実験２の結果は下の表２、表３の通りである。

表２：抵抗１の電流-電圧特性

電圧[V]	0.93	1.74	2.23	2.76	3.23
電流[mA]	9.4	17.6	22.5	27.9	32.7

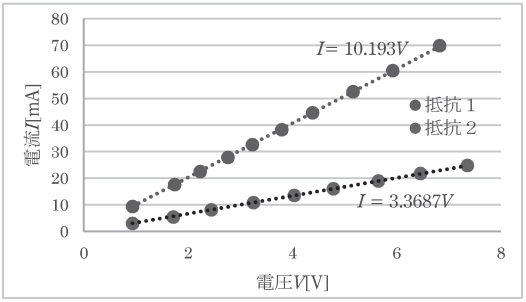
電圧[V]	3.79	4.38	5.16	5.92	6.82
電流[mA]	38.3	44.6	52.6	60.5	69.9

表３：抵抗２の電流-電圧特性

電圧[V]	0.93	1.71	2.44	3.25	4.03
電流[mA]	3.1	5.4	8.2	10.9	13.6

電圧[V]	4.78	5.64	6.45	7.35
電流[mA]	16.1	19.0	21.8	24.8

表２、表３の結果をグラフ２としてまとめた。抵抗１の抵抗値は98.1Ω（実際に用いたのは100Ω）、抵抗２の抵抗値は297Ω（実際に用いたのは300Ω）と予想できる。



グラフ２：実験２の結果

実験３　非線形素子の特性曲線

課題　①豆電球（定格6.3V、0.15A）の電圧と電流の関係を調べよう。

②赤色発光ダイオード（定格1.85V、20mA）の電圧と電流の関係を調べよう。

（回路図・表・グラフの作成）

注意点　定格とは、安定して使用できる電流値や電圧のことです。多少余裕を持って定められていますので**大幅に超えない範囲で測定を行いましょう**。

補足 この実験に**使用する豆電球は定格電流が 0.1～0.15A のものが向いている**。51cmブリッジを用いたとき流れる電流は数mA～200mA なので、定格電流の大きい豆電球を用いると発光しない。

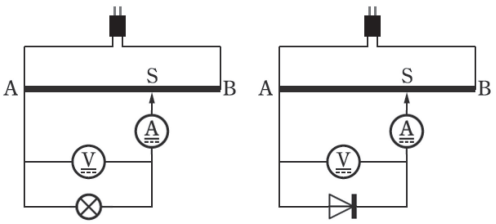


図６：実験３の回路図

実験３の電球の特性曲線に関する実験結果は表４、グラフ３の通り、ダイオードの特性曲線に関する実験結果は表５、グラフ４の通りである。

教科書に載っているような、豆電球やダイオードの電流－電圧特性が得ることができているとわかる。

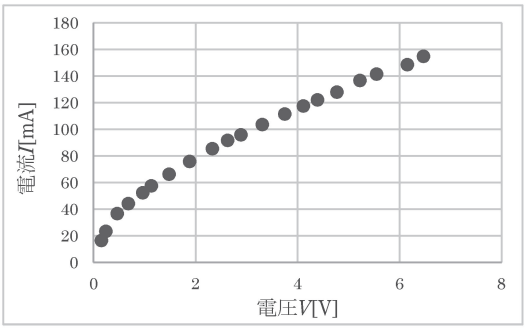
表４：実験３－① 豆電球の電流-電圧特性

電圧[V]	0.15	0.24	0.46	0.68	0.96
電流[mA]	16.7	23.6	36.9	44.3	52.6

電圧[V]	1.13	1.48	1.88	2.33	2.63
電流[mA]	57.8	66.4	76	85.7	91.8

電圧[V]	2.89	3.31	3.75	4.11	4.39
電流[mA]	96	103.7	111.7	117.6	122.2

電圧[V]	4.77	5.22	5.55	6.15	6.47
電流[mA]	128.0	136.8	141.7	148.7	155.0



グラフ３：実験３－①の結果

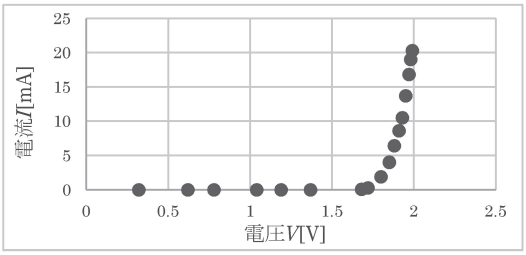
表５：実験３－②ダイオードの電流電圧特性

電圧[V]	0.32	0.62	0.78	1.04
電流[mA]	0	0	0	0

電圧[V]	1.37	1.68	1.72	1.8
電流[mA]	0	0.1	0.3	1.9

電圧[V]	1.85	1.88	1.91	1.93
電流[mA]	4.0	6.4	8.6	10.5

電圧[V]	1.95	1.97	1.98	1.99
電流[mA]	13.7	16.8	19.0	20.3



グラフ４：実験３－②の結果

実験４　電池の内部抵抗

課題　51cm ブリッジを可変抵抗として電池に接続し、回路を流れる電流と、端子電圧の関係を調べ、電池の内部抵抗を予想してみよう。

（回路図・表・グラフの作成）

※時間があれば新しい電池と、古い電池で結果の比較をしてみよう。

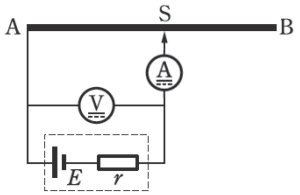


図７：実験４の回路図

実験４の結果は下の表６、グラフ５の通りである。グラフから内部抵抗 1.00Ω、起電力 1.47V と予想できる。

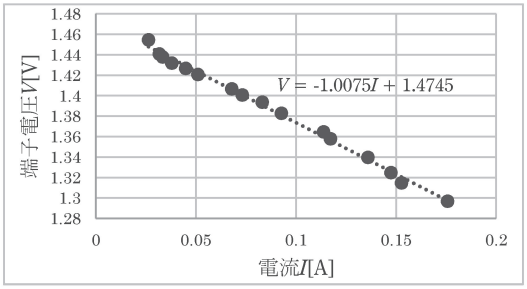
表６：実験４の結果

電圧[V]	1.455	1.441	1.438	1.432
電流[mA]	26.2	31.6	33.2	37.8

電圧[V]	1.427	1.421	1.407	1.401
電流[mA]	44.7	50.8	67.7	73.0

電圧[V]	1.394	1.383	1.365	1.358
電流[mA]	83.0	92.5	113.6	117.0

電圧[V]	1.340	1.325	1.315	1.297
電流[mA]	135.8	147.3	152.5	175.5



グラフ５：実験４の結果

実験５　ブリッジ回路（未知抵抗の測定）

課題　51cm ブリッジを用いてブリッジ回路を組み、未知抵抗の抵抗値を測定してみよう。（回路図の作成）

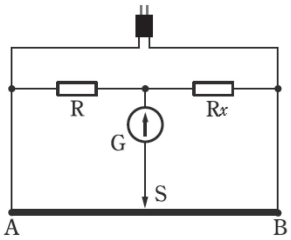


図８：実験５の回路図

R=100Ω として Rx を測定する実験を行ってみたところ、AS＝33.9cm、BS＝16.1cm となった。

計算すると 47.5Ω となった（実際に Rx に用いた抵抗は 47Ω である）

実験６　電位差計（電池の起電力の測定）

課題　51cm ブリッジを用いて電位差計の回路を組み、電池の起電力を測定してみよう。

（回路図の作成）

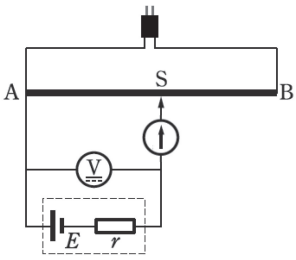


図９：実験６の回路図

実験４と同じ電池を用いて実験を行ったところ、起電力は 1.47V となった。

電位差計は、回路の意味が理解されにくいので、実際に回路を組んでみると理解が深まる。検流計に電流が流れていないとき AS 間の電圧が電池の起電力となっていることが理解しやすい。

文　献

（1）理論がわかる電気の手づくり実験
川村康文　オーム社　2012 年

ルーブリック評価を用いたレポートの作成
（物理を好きになってもらうために）

北海道釧路明輝高等学校　**李家　健**

日々の授業で問題に取り組む生徒の様子を見ていると，一部の生徒は「物理は公式を暗記して代入するものだ．」と思い込んでしまっているようであり，選択肢のある問題を解くことはできても，なぜそのような解答に至ったのかという質問に対して，論理的に答えられない生徒が少なくない．今後の大学入学共通テストの実施に向けて，記述式の問題を解く力を養うため，年４回実施している定期考査の後に，問題の解説を作成するレポートを行った．

キーワード　ルーブリック評価　記述式の問題

１．はじめに

本校は生徒数約 600 人，５間口の全日制総合学科の公立高校である．卒業後の進路状況の割合は専門学校 35 %，私立大学 30%，就職 25%，国公立大学進学者は３％となっている．本校における理科の履修は，１年次で化学基礎，２・３年次で生物基礎・物理基礎・地学基礎から２科目とし，理系を希望している生徒は，上記に加えて２年次で化学，３年次で生物・物理・地学（２年次で受けた科目）の選択を行うこととしている．

センター試験を受ける生徒もいるが，ほとんどの生徒が理科を受験科目としないため，生徒にどのように興味関心を持たせるかが課題となっている．授業はグループワークで行っており，生徒同士が教え合いながら問題を解く場面も多いが，物理を受験で使わない生徒は，周囲から教えてもらった通りに解き，理解したつもりになっている場面が見受けられる．

平成 32 年度から実施される大学入学共通テストでは，記述式問題を導入することにより，解答を選択肢の中から選ぶだけではなく，自らの力で考えをまとめたり，相手が理解できるよう根拠に基づいて論述したりする能力が問われることとなっている．そこで，定期考査の解答について，教員から一方的に解説を行うのではなく，生徒に解説を記述させるレポートを課し，ルーブリック評価表を基に，生徒と教員で相互に評価を実施することとした．実施した方法と成果を次に示す．

２．方法

定期考査の模範解答を示す前に，生徒自身に間違った問題の解説をレポートとして作成させた．その際に，生徒に重点的に伝えた内容は，前述した通り「相手が理解できるよう，根拠に基づいて論述する．」ということである．レポート用紙に自由に記述ができるよう工夫するとともに，生徒に教員側の意図が伝わるよう，ルーブリック評価表を作成しレポート用紙に掲載した．活用したルーブリック評価表[1)]は表１のとおりである．

表１　ルーブリック評価表

基本的な知識・理解	
S	
A	解説の内容が合っている．
B	解説の内容に間違いがある．
C	空欄になっている．
思考力・判断力・表現力	
S	法則・定理および公式の説明を含めて記載している．
A	公式の説明のみ記載している．
B	数式のみを記載している．
C	空欄になっている．
解説の工夫・体裁	
S	解説を分かりやすくする工夫があり，体裁が整っている．
A	体裁が整っている．
B	一般的な体裁である．
C	体裁が整っていない．

各項目Ｓ（３点），Ａ（２点），Ｂ（１点），Ｃ（０点）の９点満点とし，合計点数９～７点をＳ，６～４点をＡ，３～１点をＣ，０点をＣとして評価し，生徒に返却した．返却の際にはポイントを解説するとともに，評価の高い生徒の解説を模範例として提示するなどして，生徒全員の解答に対する意識の高揚を図った．

３．結果

レポート用紙にルーブリック評価表を掲載することにより，公式の説明だけではなく，「なぜその公式に代入するのか．」，「その公式を利用することでどんな値が求まるのか．」といったことまで意識してまとめることができるようになったと考える．また，図を用いたり表にまとめたりすることが，解説を分かりやすくするための１つのツールであり，生徒の物理を学ぶモチベーションを高めることになると感じた．さらに，回数を重ねることで，解説を頭に思い浮かべながら問題を解くことができるようになり，解説が丁寧に記述されていないテキストに，解説を補足する生徒が出てくるといった成果もあらわれた．

こうした試みを重ねることにより，根拠に基づいて論述することができる生徒が増えてきており，次年度は小テストなどの際にも実施するなどして，習慣付けていきたいと考えている．

実際に生徒が作成したレポートは図１，図２のとおりである．

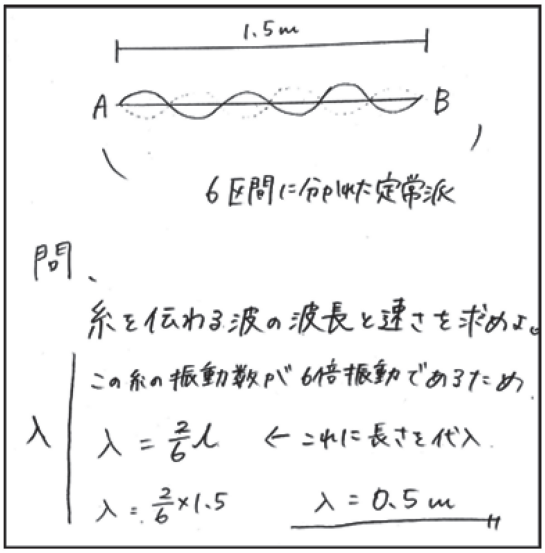


図１　生徒Ａのレポート

図１の生徒Ａのレポートは，式だけではなく，弦の振動に関する図を用いて説明しているが，定常波の波長を求める際に，弦の長さを３で割る理由が書かれていないためＳ評価とはならず，Ａ評価とした．

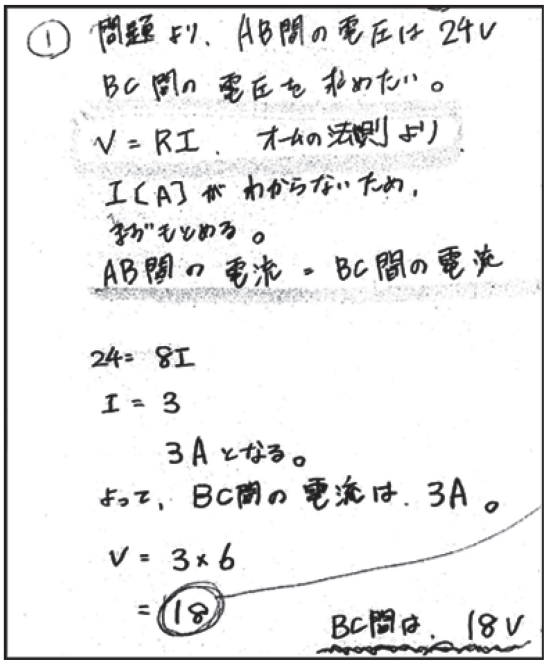


図２　生徒Ｂのレポート

図２の生徒Ｂのレポートは，下線や枠を用い，丁寧に見やすくまとめている．また，答えを導くために，まず何を求めればいいのかを，順序立てて記述することができているためＳ評価とした，

４．まとめ

ルーブリック評価表を用いたレポートの作成に取り組んでまだ日が浅いため，レポートの完成度は決して高くないが，物理基礎の問題を，根拠に基づき思考しながら取り組むための一助となっていると感じている．ルーブリック評価を用いることで，生徒はどのように記述すればよいのかがわかりやすく，教員も採点の指標が明確になるため，より適切な評価を行うことができる．

授業中の机間巡視から，生徒のさまざまなつまずきを発見することができる．多様な生徒に対して，つまずきをどのようにフォローアップしていくかが今後の課題であると考えている．

文　献

(1) 佐藤革馬：定期考査にルーブリック評価を活用する試み，北海道の理科第 60 号，pp21～24，2017

質量を考慮したばね振り子の実験

北海道紋別高等学校　**佐々木　徹**

ばね振り子の実験で，ばねに質量がある場合の周期への影響を，従来の実験方法に加えて，新たな実験方法で詳細に調べた。

キーワード　ばね振り子，質量を無視できないばね，距離センサー

１．はじめに

単振動の範囲で，ばね振り子に関する問題を出題したところ，その問題の正答率の低さから，ばね振り子の実験の必要性を感じ，事前の予備実験を行わないまま生徒実験を実施した。加えて，インパクトを与えるため質量が無視できないばねを実験に用いた。

実験の手順[1)2)]は次の通りである

① ばね振り子を実際に振動させ周期を実測する。

② ばね振り子のばね定数を測定し，おもりの質量の値と組み合わせる形で，公式より周期を求める。

②の計算を行わせ，①の結果と比較する内，“ばねの質量の効果が無視できない。”ことに気がついた。今回用いたばねは２種類，１つは太くて重いばね（300g）と細くて長いばね（54g）である。太いばねの場合は 100 g のおもりを取り付け,細いばねには 40g のおもりを取り付けた。いずれもおもりに対するばねの質量が大きく無視できない。本稿ではばねが質量をもつ場合に，ばねに質量がないときの周期の公式

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

への影響を考える。

２．質量が無視できないばね振り子の周期

簡単のため，なめらかな水平面上に置かれた質量 M のばねの一端を壁に固定，他端に質量mのおもりを取り付け振動させる。このばねは一様で，おもりが振動する時，ばねの各点も同位相の振動を行うと仮定する。

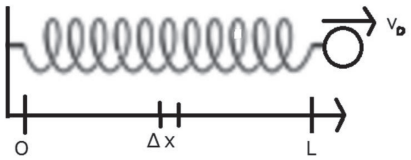


図１

図１のように壁近くの固定点を原点として，ばねが伸びる方向に x 軸を取り，自然長を L とする。今，おもりが自然長のとき，x 軸上正の向きに v_0 の速度で運動しているときのばね，及び，おもりの運動エネルギーを考える。

おもりの運動エネルギー　$K_m=\frac{1}{2}mv_0^2$

一方，ばねの運動エネルギーは次のようにして求める。まず，x にある微小部分（質量$\frac{\Delta x}{L}M$）の速度は，仮定より原点からの距離に比例して$\frac{x}{L}v_0$である。したがって微小部分のもつ運動エネルギーは

$$K_x=\frac{1}{2}\frac{\Delta x}{L}M\left(\frac{x}{L}v_0\right)^2$$

ばね全体のもつ運動エネルギーは上の結果を足し合わせ

$$K_k=\int_0^L\frac{1}{2}\frac{dx}{L}M\left(\frac{x}{L}v_0\right)^2=\frac{M}{6}v_0^2$$

おもりの運動エネルギーを合わせた全体の運動エネルギーは

$$K=K_m+K_k=\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{M}{6}v_0^2=\frac{1}{2}\left(m+\frac{M}{3}\right)v_0^2$$

この式より，おもりの質量を$m+\frac{M}{3}$と考え，ばねの質量を０の場合の振動と考えることができる[6)7)]。したがって，ばねが質量をもっているときのばね振り子の周期は

$$T'=2\pi\sqrt{\frac{m+\frac{M}{3}}{k}}\quad\cdots\boxed{1}$$

となる。

３．補正された周期の公式の適用

補正された周期の公式$\boxed{1}$を用いて，実験結果の再検証を行ってみた。

（１）　重いばね（300g）とおもり 100 g

①　実測値は 1.2s であった。

②　ばね定数は k=5.2N/m，したがって

ばねに質量がないとしたときの T＝0.87s

ばねに質量があるとしたときのT'＝1.2s

③　補正されたものと実測値がほぼ一致した。

（２）長いばね（54g）とおもり 40g

①　実測値は 0.70s であった。

②　ばね定数は k=9.8N/m，したがって

ばねに質量がないとしたときの T＝0.41s

ばねに質量があるとしたときのT'＝0.48s

③　補正されたものと実測値は相変わらず食い違っているが若干差が小さくなった。

４．ばねの質量が無視できる設定

補正された周期の公式$\boxed{1}$は３．で行った質量による補正以外の目的にも使用できる。例えばばねの質量を無視できる設定を考える目安として使えるのである。公式より素朴に考えると，おもりに対してばねの質量が十分軽ければよい。そこで３．の実験からおのおののおもりの重さを重くして再度実験を行ってみた。

（１′）重いばね（300g）とおもり 600 g

①　実測値は 2.5s であった。

②　ばね定数は k=4.2N/m，したがって

ばねに質量がないとしたときの T＝2.4s

ばねに質量があるとしたときのT'＝2.5s

③　補正されたものと実測値がほぼ一致した。しかも補正項の寄与が小さくなった。

（２′）長いばね（54g）とおもり 200 g

①　実測値は 1.8s であった。

②　ばね定数は k=2.45N/m，したがって

ばねに質量がないとしたときの T＝1.8s

ばねに質量があるとしたときのT'＝1.9s

③　補正前の値と実測値がほぼ一致した。逆に補正後の値と実測値がずれてしまった。

特出すべき点として，ばね定数がおもりの重さによって変化していく点である。おもりを重くしてばねが長く伸びると弾性が小さくなりばね定数も小さくなる。

５．距離センサーを用いた実験

公式１の妥当性も含めて，質量がある場合のばね振り子の実験をより精密に行うため，図２のように実験装置を組んだ。目標は有効数字３桁の精度である。

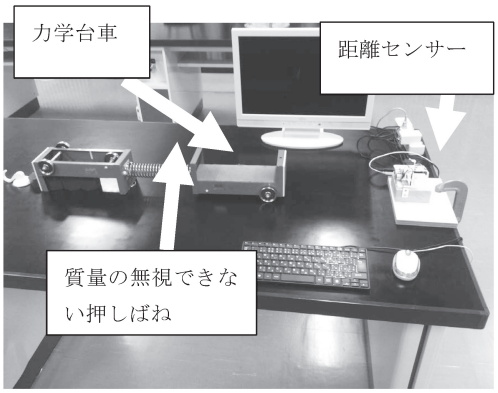


図２

実験条件　使用する押しばね　231 g

力学台車　1054 g

従来の実験方法と次の点を変更して実験を行った。

①　鉛直にばねをつるすのではなく，水平にばねを設置し押しばねを用いた。

②　おもりの代りに力学台車を他端に取り付けた。

③　ストップウォッチで周期を計測するのではなく，時間と連動した距離センサー３）５）で力学台車の運動を詳細に調べ，理論曲線のパラメーターの一つとして求める。

④　ばね定数の測定は，加わる力を押し引きばねばかりで測り，同時に距離センサーで距離を高精度で求めることで導出した。

周期の測定

（ア）実験結果（解析前）

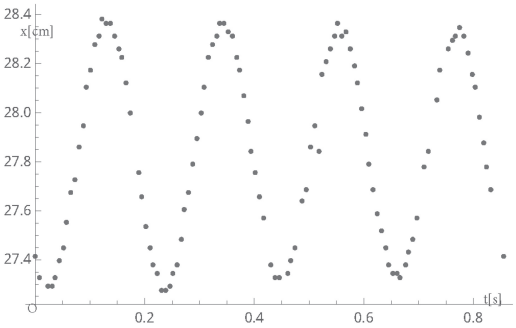


図３

図３のプロット図において，明らかに他点から外れている点は除外した。

（イ）（ア）の最大振幅の点を調べ，大まかな周期及び振幅を求める。また，減衰率を調べるため，最大振幅の点を通る直線を求めた。

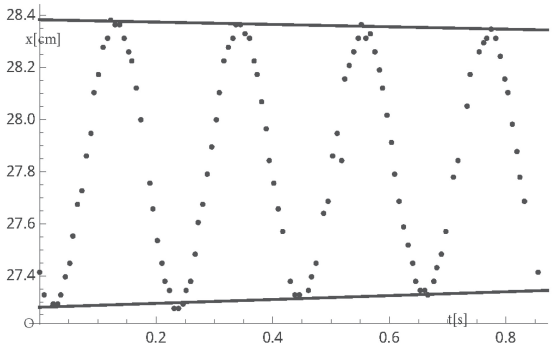


図４

上の直線　$\mathbf{x}$ ＝28.3834－0.045186t

下の直線　$\mathbf{x}$ ＝27.2794+0.0743202t

（ウ）（イ）の解析をもとに，（ア）の点にできるだけ重なる正弦曲線を求める。

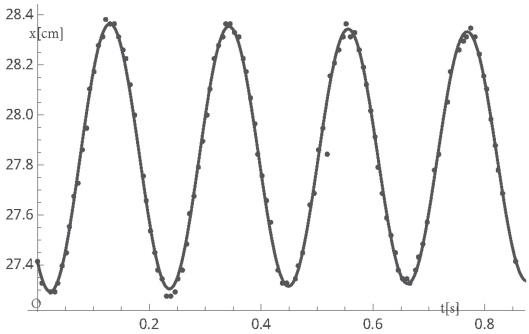


図５

できるだけ重なる正弦曲線の求め方は，（イ）で求めた大まかな周期及び振幅のパラメーターなどから微調整して，図６のように重なる曲線を求めた。

振幅の減衰率を含んだ正弦曲線

$$x = 27.8314 - (0.5394 - 0.05t)\cos\frac{2\pi}{0.213}(t - 0.023)$$

以上の結果からこのばね振り子の周期は 0.213s と求められた。目標通り 3 桁の精度で求めることができた。

ばね定数の測定

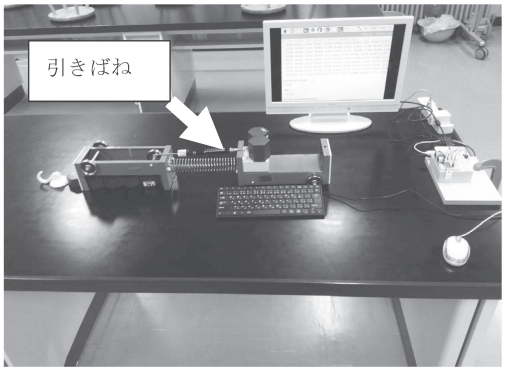


図６

図６のように力学台車のばね側の方に引きばねをひっかけ，ばねばかりの目盛を見ながら 100cN~500cN の各力になるまでばねばかりを引いて力学台車を引き，固定する。その後，その力での距離を測定する。

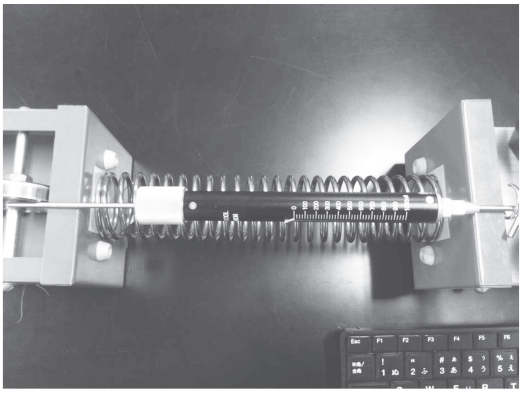


図７

上図は押し引きばねで 1000cN まで 25cN が 1 目盛りとして測定できる押し引きばね[4]である。

（エ）測定結果（400cN）

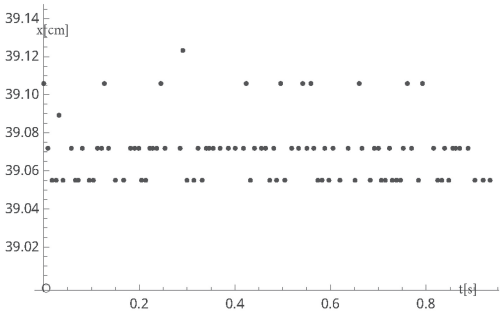


図８

図８は 400N のときの結果である。

図８のように距離センサーの特性として正確に 1 つの距離を出力せず，2 点ないし 3 点の距離を出力する。

（オ）ばね定数の測定

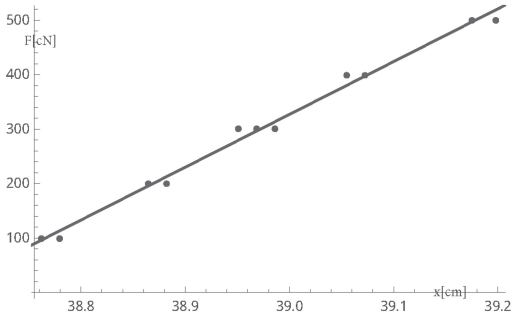


図９

一つの力について測定結果が複数存在しているのは，今回用いた距離センサーの一種のエラーバーと考えることもできる。

図９のプロットの近似曲線

F＝－37502.3+969.985x

以上の結果からばね定数は k=969.985N/m となる。

結果の比較

実測による周期　T_0＝0.213s

質量があるばね振り子の周期の公式による計算結果

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{1.054+0.231/3}{969.985}} = 0.2146\text{s}$$

質量補正がないばね振り子の公式による計算結果

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{1.054}{969.985}} = 0.2071\text{s}$$

T_0, T_1, T_2 の比較から質量が無視できないばね振り子の周期はばねの質量の効果が周期にも現れ，補正された公式を用いた T_1 がよりふさわしいと考えられる。ただし有効数字 2 桁だとその差も考慮しなくてもよくなる。一般におもりに対してばねが十分軽ければ補正した公式を用いる必要はない。

６．まとめ

最初から補正項を無視できる設定を考慮した方が断然良い。おもりの質量の目安は補正項の入り方から

$$\frac{M}{3} \times \frac{10}{2} < \text{m}$$

が妥当である。

４．（１）の場合

$$\frac{M}{3} \times \frac{10}{2} = 500\text{ g} < 600\text{ g}$$

４．（２）の場合

$$\frac{M}{3} \times \frac{10}{2} = 90\text{ g} < 200\text{ g}$$

といずれもこの条件を満たしている。

今回の実験では，ばねに質量があると高校物理でよく知られた周期の公式が破綻し，結果公式が使えなくなってしまう。上で述べたような巧妙な設定を考慮しつつ実験を行う必要がある。一方で，生徒達の実験の様子を見ると，公式と格闘しつつ実測値と計算結果を合わせようと努力する姿が見られた。特に，質量補正の入った公式を適用すると計算結果と実測値の一致が得られ，生徒達の満足する様子が見られた。

生徒実験の後，改めて距離センサーを用いて精密な実験を行ったところ，補正された周期の公式の妥当性が示された。さらに，５．の（ウ）の正弦曲線には振幅の減衰率が考慮されている。つまり，今回の実験は減衰振動の具体例でもあると言える。

距離センサーを用いた精密実験では，今回 3 桁の精度の周期まで求めることができた。4 桁に精度を上げることは容易で，測定時間を 10 秒間まで伸ばせば精度は上がる。一方ばね定数の測定精度には，手で固定している限り限界がある。機械的に力を加えながら固定する方法を工夫する必要がある。

７．謝辞

本研究において，活発に実験に参加し，貴重な実践結果を提供してくれた紋別高校物理選択者に感謝する。また，北海道高等学校理科研究会での発表で貴重な助言を与えてくださった，会員の先生方に感謝します。

文　献

１）国友正和他　改訂版　物理　数研出版
２）佐々木徹　北海道の理科
３）金丸隆志　Raspberry Pi で学ぶ電子工作　講談社
４）モノタロウ monotaro.com BESTOOL-KANON 製
５）Make.　Make.bcde.jp/raspberry-pi/超音波距離センサ hc-sr04 を使う
６）富山哲之　長崎大学教育学部紀要　vol.33 p43-50;1999
７）W.T.Thomson,小堀与一訳　機械振動入門　丸善

仕事の定量測定を目的とした和弓の教材化

Japanese Bows as Educational Materials for Quantitative Measurement of Work

北海道教育大学旭川校　**永山　昌史**　　北海道小樽桜陽高等学校　**福本　雅大**
Hokkaido University of Education, Asahikawa Campus　Masafumi NAGAYAMA
Hokkaido Otaru Ouyou High School　Masahiro FUKUMOTO

和弓を引き絞るのに必要な力を測定したところ，引き絞り距離に対して力の大きさが一定でも比例でもない３次関数の近似曲線が得られた．これを定積分すれば仕事を求めることができ，さらに引き絞る速さを変えて弓になす仕事の変化を，放った矢の初速を測定して運動エネルギーへの変換効率を求めることができた．定量的な実験結果に基づいて仕事とエネルギーの関係を学習できる点で，和弓は非常に有用な教材だといえる．

キーワード　定積分　力学的エネルギー　弾性力　非保存力　力 - 変位曲線

１．はじめに

物理学分野において，仕事は力学的エネルギーと密接に関連する重要な物理量である．現行の中学校学習指導要領には，理科の第３学年「仕事とエネルギー」において「仕事に関する実験を行い，仕事と仕事率について理解すること」および「仕事の原理にも触れること」との記載が見られ，次期（平成 29 年告示）学習指導要領にも引き継がれている．実際に，第３学年第１分野の教科書には，てこ，動滑車，斜面を用いて物体をある高さまで持ち上げる実験が掲載されている [1]．例えば，動滑車を使うことで必要な力が半分になる代わりに糸を引く距離が２倍になることを実験で見出し，力×変位（移動距離）で定義される力学的な仕事が不変であることを学習する．続いて，この仕事の原理に基づいて重力による位置エネルギーが定義され，エネルギー保存則へと展開していく．

高等学校に進むと，学習指導要領に「弾性力による位置エネルギーを扱うこと」と明記されている．**物理基礎**の教科書では，フックの法則を弾性力（外力）－伸びグラフとして表し，「平均の力×伸び（変位）」で求める方法 [2]，もしくは「微小仕事＝力×微小伸び（微小変位）」の総和が三角形の面積と一致することを使う方法で [3]，ばねの弾性エネルギーを導出している．後者は，区分求積法の考え方そのものではあるが定積分には触れていない．一方，**物理**の教科書には定積分を使った導出が記述されているが，巻末の付録としての扱いに過ぎない [4,5]．

上述のように中学校および高校段階で（微小）仕事＝力×（微小）変位ということを強調するためであろうか，筆者の勤務する大学の１年生にばねの弾性エネルギーを導出過程まで含めて出題すると $U = F \times x = kx^2$ という誤答が非常に多く見受けられる．仕事について正しく理解させるため，定積分を使って力が一定でない場合の仕事および位置エネルギーを求める実験を高校段階で実施することが必要ではないだろうか．

以上を背景として，本論文では日本古来の伝統的な和弓を教材とし，高等学校で実施することを想定した仕事の定量的な測定実験について報告する [6]．具体的には，弓を引き絞る過程での力と距離の関係を測定し，得られた近似曲線を定積分することで，変位に対して一定でも比例でもない力による仕事を算出した．加えて，非保存力によるエネルギー損失や力学的エネルギーの保存（変換）といった単元へ展開させるため，弓を引き絞る速さを変える実験や放った矢の初速を測定する実験を実施した．

２．実験方法

２．１　静的な荷重による引き絞り

まず，十分にゆっくりと弓を引き絞る条件で，弓に加える力と引いた距離の関係を明らかにする．装置および測定法の概略は下記の通りである（図１）．壁に固定したフックに，弦が床面に対して平行となるように弓を掛ける．和弓は上下非対称であるため，矢を番える位置と弦の真ん中が一致しないことに注意を払う必要がある．矢を番える位置に質量 1 kg の重りを吊すことで重力に相当する 9.8 N の力を下方向に加えると，弓が撓んで弦や重りも下方向に移動する．やがて重力と弓の弾性力がつり合った位置で静止するので，壁に貼りつけたメジャーで弓を引き絞った距離を読み取る．弓の塑性変形を考

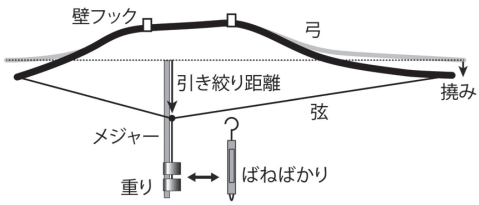


図１　弓に与えた荷重と引き絞り距離の関係を測定する装置の概略図．壁に固定した弓の弦に重りを吊るす，もしくはばねばかりで弦を下方向に引き，引き絞り距離をメジャーで読み取る．

慮し，重り１個ずつ増加させながら引き絞り距離を記録した後，次に重りを１個ずつ減らしながら同様の記録を行った．これを１回の測定とし，測定値のばらつきを評価するために全部で５回の測定を行った．常につり合いを保ちながら静的な荷重を与えたこれらの測定値は，物理的に十分ゆっくりと引き絞った場合の力と変位の関係に相当する．

撓みにくさの異なる3種類の弓を使用して測定を行い，結果を比較した．和弓の撓みにくさは 0.7 m 引き絞るのに必要な力の大きさとして表記される．今回用いたものは 12 kgw（117.6 N），14 kgw（137.2 N），16 kgw（156.8 N）の3種類であり，数値の大きいほうが撓みにくく強い弓である．

２．２　一定速さでの引き絞り

次に，動的な引き絞り，つまり無視できない速さで引き絞る条件で，弓に加える力と引いた距離の関係を明らかにする．弓を引く速さは一定で加速度は生じないものとすれば，引き絞り速さに応じて働く内部摩擦に相当する分だけ，弓を引くのに余分な力が必要となる．測定には，20 kg まで測定可能なばねばかりを使った．弦に吊るしたばねばかりを一定速さで下向きに移動させながら，ばねばかりとメジャーから弓に加えた力の大きさと移動距離を各々読み取ればよいのだが，ばねばかりを絶えず動かしながら２種類の数値をリアルタイムで読み取ることは困難である．そこで，スマートフォン（iPhone 6s, Apple）を用いて測定中の様子を 60 fps の動画で撮影しておき，これをコマ送り再生しながら，引き絞り距離 0.75 m まで 0.05 m ごとにばねばかりの表示を読み取り，これに重力加速度（$g = 9.8$ m/s^2）を乗じて力の測定値とした．

0.75 m まで引き絞るのに要する時間を３秒，５秒，10 秒と変え，加重時のみ５回ずつの測定を行った．それぞれの引き絞り速さは 0.25 m/s，0.15m/s，0.075 m/s に相当する．さらに，前述した撓みにくさの異なる３種類の弓を用い，計９条件での実験を行った．

２．３　多項式フィッティングおよび仕事の算出

各実験で得られた測定値は，横軸に引き絞り距離，縦軸に弓に加えた力の大きさとなるようにプロットする．もし，理想的な１次元のフックの法則が成立しているならば，ばね定数を傾きとする１次関数で近似できるはずである．しかしながら実際は，弓が単純な板ばねではなく上下非対称かつ屈曲した形状をしていること，引き絞る過程で弦と弓のなす角度が変化することなどの要因により，逆Ｓ字の曲線を描くことが報告されている[7,8]．本実験でも同様の傾向，すなわち１つの変曲点をもつ単調増加を示すことを確認したうえで，３次多項式にフィッティングする．専用のデータ解析ソフトウェアは必要なく，Microsoft® Excel®の最小二乗法で十分である．得られた３次関数 $f(x)$が距離 x だけ引き絞るのに必要な力の大きさを表しているため，人間が弓にした仕事 W を求めるには，この $f(x)$を距離 x について定積分すればよい．

２．４　放たれた矢の初速

矢の運動エネルギーを算出するため，弓から放たれた矢の初速をハイスピード動画の撮影が可能な市販のデジタルカメラ（EXLIM EX-ZR400, CASIO）を用いて測定した．弓道の所作にしたがって 14 kgw の弓を 0.75 m 引き絞った後，的に向かって矢を放つ．安全面を考慮して，弓道場で本実験を実施するとともに，矢を射ることは熟練した弓道部員が行った．一連の過程を時間間隔１ミリ秒（1000 fps）の動画として撮影した（図２）．撮影後，コマ送り再生をしながら，矢が弦から離れる瞬間からその２コマ後（２ミリ秒後）までの矢の移動距離を測定し，

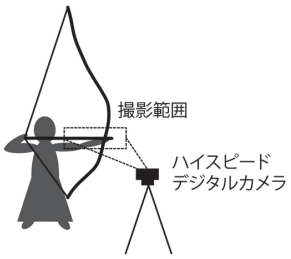


図２　矢の初速度測定．放った矢が弦を離れる瞬間をハイスピード動画（1000 fps）で撮影し，コマ間での矢の移動距離と時間間隔から速度を算出した．

矢の初速を求めた．初速が分かれば，実測した矢の質量（0.022 kg）を使って運動エネルギーを算出できる．

３．実験結果

３．１　静的な荷重と引き絞り距離

14 kgw の弓を用いて，静的な荷重と引き絞り距離の関係を明らかにする．まず，9.8 N ずつ加重しながら引き絞り距離を測定し，続いて減重しながら再び測定した．各荷重について加重時と減重時で２種類の引き絞り距離が測定されるので，その平均値をプロットした典型的な実験結果を図３に示す．一見すると直線のように見えるが，引き絞り距離　0.4 m 付近に着目すれば，ここに変曲点をもつ単調増加の逆Ｓ字曲線であることが分かる．これは過去の報告と一致する [7,8]．

図３に示したのは１回の実験結果であるが，実際には計５回の実験を行った．加重時と減重時を合わせた全 10 回の測定値のばらつきを評価したところ，標準偏差は全ての荷重で 0.0080 m 以内に収まっていた．各荷重における標準偏差をエラーバーとして図３に付与したとしても，マーカーの大きさを越えることはない．以上から，測定値のばらつきは十分に小さいとみなすことができると判断し，以降は全 10 回の平均値を用いて解析を行う．

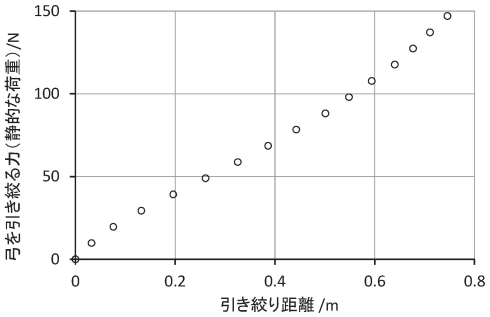


図３　静的な荷重と引き絞り距離の関係．弦に吊るす重りを１つずつ増やした加重時と１つずつ減らした減重時のそれぞれで引き絞り距離を測定し，各荷重での平均値をプロットした．

３．２　弓の撓みにくさと引き絞りに必要な仕事

14 kgw の弓に続いて，撓みにくさの異なる 12 kgw と 16 kgw の弓を用いて静的な荷重と引き絞り距離の関係を測定した．これら３種類の弓についての実験結果を図４に示す．データ点は各荷重における 10 回の測定値の平均値を示しており，３種類の弓全てで逆Ｓ字の曲線が見て取れる．また，破線は弓ごとのデータ点を３次関数でフィッティングした近似曲線である．全データ点が近似曲線とほぼ重なっており（３種類全てで $R^2 > 0.999$），３次関数での近似が妥当だといえる．

同じ距離だけ引き絞るのに必要な荷重を比較すれば，12 kgw の弓 ＜ 14 kgw の弓 ＜ 16 kgw の弓というメーカー表示通りの順番になっており，今回の測定範囲においてこれが逆転するようなことは見られなかった．

フィッティングにより得られた3次関数 $f(x)$ を x について 0 から 0.75 まで定積分することで，引き絞るのに必要な仕事 W を算出した．表1に3種類の弓について3次関数の各べきの係数（フィッティング結果）および仕事 W の計算結果をまとめた．ここで算出した仕事は，物理的に十分ゆっくりと引き絞る場合の仕事に相当し，弓に蓄えられた位置エネルギー（弾性エネルギー）と等価である．同じ距離だけ引き絞ると，12 kgw よりも 14 kgw の弓のほうが 12%，14 kgw よりも 16 kgw の弓のほうが 5%，それぞれ大きな弾性エネルギーを持つことが分かった．

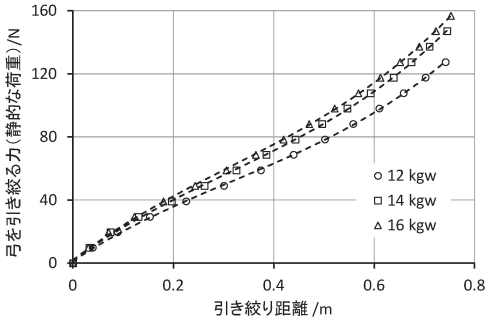


図４　弓の撓みにくさと荷重 - 引き絞り距離曲線．３種類の撓みにくさの異なる弓で荷重 - 引き絞り距離の関係を測定した．破線は近似曲線（３次関数）を示す．

表１　近似曲線の係数および仕事 W（定積分）

$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$

	a / (N/m^3)	b / (N/m^2)	c / (N/m)	d / N	W / J
12 kgw	251.46	-240.95	210.95	1.27	46.29
14 kgw	276.94	-254.16	231.09	1.84	52.54
16 kgw	287.78	-266.46	244.50	1.90	55.33

a, b, c, d は各べきの係数

W は，$f(x)$を x について 0 から 0.75 まで定積分

３．３　動的な引き絞りによるエネルギー損失

次に，引き絞り速さが弓を引くのに必要な力および仕事に与える影響を検討する．14 kgw の弓を３種類の速さ 0.25 m/s，0.15 m/s，0.075 m/s で引き絞りながら，弓を引く力を 0.05 m ごとにばねばかりを用いて測定した．各引き絞り距離における５回の測定値の平均値をプロットしたグラフを図５に示す．比較対象として，静的な荷重を与えた 14 kgw の弓の近似曲線（図４参照）も重ねて描いた．各測定値の標準偏差を求めたところ全て 2.7 N 以内に収まっており，エラーバーとして付加してもマーカーの大きさを越えることはない．引き絞り距離 0.15 m 以下と 0.4 m 以上の範囲に着目すると，静的な荷重を与えた時よりも大きな力が必要であること，および引き絞り速さが大きいほど必要な力も大きくなる傾向が読み取れる．残り２種類の弓についても同様の測定を行ったところ，引き絞り速さが大きいほど弓を引くのにより大きな力が必要であるという傾向が一致した（未掲載データ）．

弓の撓みにくさと引き絞り速さを組み合わせた計９条件で３次関数の近似曲線を求め，これを定積分すること

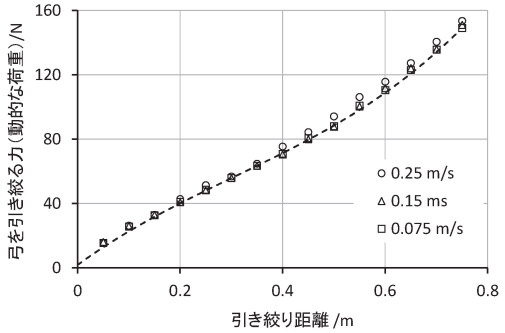


図５　引き絞り速さと荷重 - 引き絞り距離曲線．３種類の引き絞り速度で測定した．比較のため，引き絞り速さ 0 m/s（静的な荷重）での近似曲線，即ち和弓に蓄えられた弾性エネルギーを破線で示す．弓の撓みにくさは 14 kgw.

表２　引き絞り速さと弓にした仕事 W

	12 kgw		14 kgw		16 kgw	
速さ/ (m/s)	W / J	ΔW / J	W / J	ΔW / J	W / J	ΔW / J
0	46.29	-	52.54	-	55.33	-
0.075	47.58	1.29	53.24	0.70	56.09	0.76
0.15	48.03	1.74	53.35	0.81	56.21	0.88
0.25	48.21	1.92	55.42	2.88	58.32	2.99

ΔW は静的な荷重（0 m/s）との比較

で 0.75 m まで引き絞るのに必要な仕事を算出した．結果をまとめた表２を見れば，どの弓でも引き絞り速さが大きくなれば人間が弓になすべき仕事も大きくなることが定量的に示されている．動的な引き絞りによる仕事の増加分 ΔW は，弓を引く初速度を与え，さらにその速度を維持するために，弓の応力を越えた外力を加えたことに起因する．とはいえ，弓道の所作で標準的とされる引き絞り速さに設定した今回の実験では，応力を越えて加えた外力の大きさは最大でも７%程度である．つまり，応力よりもわずかに大きな力で弓を引き絞ることが可能であり，引き絞る速さにそれほど敏感にならなくてよいといえる．

３．４　矢の運動エネルギーへの変換効率

最後に，弓に蓄えられた弾性エネルギーから矢の運動エネルギーへの変換効率を定量的に検討するため，0.75 m 引き絞った 14 kgw の弓から放たれた矢の初速を測定した．測定を 10 回行ったところ，初速は平均値が 50.73 m/s（時速換算だと 182.7 km/h）であるのに対し標準偏差が 2.77 m/s となった．測定値のばらつきが若干大きい原因としては，一連の弓道の所作の中で正確に 0.75 m を引き絞るのが難しいことや右手が弦を離す瞬間に少し戻ってしまうこと（緩み離れ）が考えられる．

平均初速を用いると，矢の運動エネルギーは 28.31 J と算出された．表２を参照すれば，0.75 m まで引き絞った 14 kgw の弓には 52.54 J の弾性エネルギーが蓄えられており，そのうち 53.88%が矢の運動エネルギーに変換されたことが分かる．弓の撓みにくさ，引き絞り距離，矢の質量や材質が異なるものの，過去の報告では 48～58%程度と示されており [8,9]，これらと比較して今回の結果が妥当だと判断した

４．考察

まず，実験で得られた測定値の妥当性を検証する．図４に示した静的な荷重と引き絞り距離の関係によれば，117.6 N（12 kgw）の荷重を撓みにくさ 12 kgw の弓に与えると引き絞り距離は 0.703 m，137.2 N（14 kgw）の荷重を 14 kgw の弓に与えると引き絞り距離は 0.711 m であった．これは，市販の弓の撓みにくさが 0.7 m 引き絞るのに必要な力の大きさとして表記されることとよく一致しており，得られた測定値は定量的にも妥当だといえる．これに対し，156.8 N（16 kgw）の荷重を 16 kgw の弓に与えた場合は，引き絞り距離が 0.752 m とメーカー表記からのずれが 7.4%となる．これは，弓を使い込むと徐々

に柔らかくなる（撓みやすくなる）ということに起因するのかもしれない．

次に，フィッティングによって得られた近似曲線の妥当性について検証する．荷重0 Nでの引き絞り距離を0 mに設定して実験を行ったため，近似曲線の切片は0となるはずであるが，表1から定数項 d は2 N程度の値を持っている．これを誤差としてよいかを検討するため，同じ測定データを切片が0の3次関数にフィッティングし直し，仕事 W' を算出した（データ未掲載）．この近似曲線もデータ点とよく一致していること（$R^2 > 0.999$），さらに表1で示した W と W' の差が0.1 J以下であったことから，定数項 d は誤差の範囲内であると判断した．

続いて，弓に蓄えられた弾性エネルギーのうち，矢の運動エネルギーに変換されない約25 Jのエネルギーの行方について検討する．弓を引き絞る過程でのエネルギー損失はほとんど見られなかったが（表2），矢を放つ際に弓の撓みが元に戻る速さは引き絞る速さに比べて圧倒的に大きいだろう．ハイスピード動画で確認したところ，引き絞った右手を離してから矢が弦を離れるまでの時間，すなわち弓の撓みが元に戻るまでの時間は27ミリ秒程度であった．この変形の速さに依存して弓内部で働く内部摩擦および外部から働く空気抵抗力がエネルギー損失の起因として考えられる．矢を放った後，弓が振動しながら内部摩擦や空気抵抗力によって振幅が減衰していく様子を観察することで，徐々にエネルギーが散逸していく過程を見出すことも可能である．

最後に，どの学年，どの科目で取り扱うことが可能であるかを検討する．弓を引き絞る仕事 W を求めるには3次関数の定積分が必要となった．現行の高等学校学習指導要領では，2次までの多項式の定積分について計算方法および面積との関係を**数学Ⅱ**で学習する．これを学習した後であれば，べき関数の微積分についての補足説明を与えることで，3次の多項式でも生徒が自身で計算できるのではないだろうか．一方，高等学校の標準的な教育課程では，**物理基礎**で位置エネルギー（ばねの弾性エネルギー）を学習するよりも，**数学Ⅱ**で微積分を学習するほうが後になる．以上を踏まえれば，**物理**でばね振り子を用いて単振動のエネルギーが一定であることを学習するときに，位置エネルギーに関する発展的内容として扱うのが最も無理が少なく，その後の万有引力や静電気力による位置エネルギーへのスムーズな展開も期待できる．また，次期学習指導要領では数学・理科にわたる探究的科目である**理数探求**が新たに設けられるが，まさに目的に適った教材ではないだろうか．

5．結論

和弓に重りを吊り下げることで静的な荷重を与え，それに応じた引き絞り距離を測定していくと，引き絞り距離に対して力の大きさが一定でも比例でもない逆S字の関係が得られる．この関係は3次関数で非常に良く近似することができるため，解析的に定積分を実行して仕事を求めることが可能である．加えて，矢の初速を測定する実験まで実施できれば，弾性エネルギーから運動エネルギーへの変換効率を扱い，非保存力（内部摩擦）によるエネルギー損失を実感させることも可能である．

物理分野に限らず，高等学校学習指導要領解説（理科）には，「身近な事物・現象を扱うことで，自然科学に対する興味・関心を高めること」という内容が繰り返し記載されている．和弓は誰もが日常で使っているようなものではないが，名前を聞けばパッとイメージできるという意味では，身近なものといえる．弓道部がある学校ならば，実物を用意することも難しくないだろう．実験用につくられた教材ではなく，身近な道具を使って発展的内容まで扱えるという点に，和弓を用いることの価値を見出すことができる．

文　献

1) 塚田 捷，ほか: 未来へ広がるサイエンス3，新興出版社啓林館, 2016.
2) 三浦 登，ほか: 改訂 新編物理基礎，東京書籍, 2017.
3) 佐藤 文隆，ほか: 物理基礎 新訂版，実教出版, 2017.
4) 三浦 登，ほか: 改訂 物理，東京書籍, 2018.
5) 佐藤 文隆，ほか: 物理 新訂版，実教出版, 2018.
6) 福本 雅大: 人間が和弓に与える仕事の大きさの定量的測定及び「引分け」の速さによる変化，北海道教育大学旭川校（平成28年度卒業論文）, 2016.
7) 鈴木 千輝: 弓射への力学的アプローチ（その7），平成17年度生弓会中央研修会（研究発表資料）, 2005.
8) 加賀 勝，細谷 聡: 和弓のエネルギー伝達効率に関する研究 ―矢の重さ・把の高さの影響について―，武道学研究, Vol.26, No.3, pp.25-30, 1994.
9) 細谷 聡，森 俊男: 和弓のエネルギー伝達効率を用いた機械的性能の評価に関する力学的研究，武道学研究, Vol.25, No.2, pp.24-30, 1992.

第35回物理教育研究大会報告

北海道長沼高等学校　**大坂　厚志**

日本物理教育学会北海道支部の旅費補助により，第 35 回物理教育研究大会に参加した報告を行う．本研究大会は2018 年 8 月11日（土），8 月12日（日）の 2 日間の日程で開催され，原著講演では数多く用いられているFCIでの授業法とその評価など，実践例に対する評価という報告が多く見られた．特別講演では，香川大学の産学官連携事業の成果の一つである「希少糖産生酵素の発見とその後の展開」が行われた．2日目は，オレゴン大学からディヴィット R ソコロフ氏を招き，「アクティヴ・ラーニング　ワークショップ」が行われた．

キーワード　物理教育研究大会参加報告　FCI　ゲイン　アクティヴ・ラーニング

１．はじめに

本稿は，第35回物理教育研究大会の参加報告書である．本研究大会は2018年8月11日（土），8月12日（日）に香川県高松市香川大学幸町北キャンパスで開催された．北海道支部からは大野栄三先生，長谷川誠先生，千賀慎一先生，伊土政幸先生，森山正樹先生が参加された．このうち森山先生が口頭発表を行った．

２．大会テーマ「物理教育の研究の充実に向けて－物理をどう学ばせるか－

本原著講演の中で大会テーマのもと，授業・講義の実践の効果について論じているものが多く，FCI を用いて数値として評価しているものが多かった．また，効果について具体的な数値で示されてはいないが，４QSやPIを用いた発表も有り，その多くに肯定的な結果が示された．

３．大会の概要

１日目　８月１１日（土）

開会　大会テーマ趣旨説明

大会実行委員長　香川大学　石井　泰史　氏

物理教育学会会長 京都教育大名誉教授 村田 隆紀 氏

学会賞表彰式３名，受賞講演　３件

日本物理教育学会賞　「知恵と工夫で幅広い世代に継続して科学のすばらしさを伝え続ける実践」　岡山県教育委員会科学教育推進アドバイザー 高見 寿 氏

日本物理教育学会賞　「高校物理基本実験講習会の立ち上げと各地域における普及活動」　元・麻布中学校高等学校　増子　寛　氏

日本物理教育学会奨励賞　「“自然科学の基礎を訪ねる”１５年間の取り組みと成果」　大阪教育大学附属高等学校池田校舎　筒井　和幸　氏，大阪教育大学附属天王寺中学校　廣瀬　昭浩　氏

昼食・ポスターセッション（２会場）

特別講演「希少糖産生酵素の発見とその後の展開」一般社団法人希少糖普及協会代表理事会長，元香川大学学長・名誉教授　近藤　浩二　氏

原著講演　２展開（A会場６件，B会場６件）

原著講演　２展開（A会場７件，B会場７件）

懇親会

２日目　８月１２日（日）

ワークショップ　「アクティブ・ラーニング　ワークショップ」　オレゴン大学　D.　Sokoloff　氏

昼食・ポスターセッション（２会場）

原著講演　２展開（A 会場６件，B 会場６件）

原著講演　２展開（A 会場６件，B 会場７件）

閉会

図1　日本物理教育学会奨励賞の表彰

４．原著講演

４．１　FCI（理解度試験）

原著講演は，講義・授業における様々な取り組みが紹介されているが，教員にとって最も大事な点は，教

育効果である．単なる知識としての暗記なのか，物理概念を正しくとらえているかの理解度を知ることができれば授業改善につながる．本研究大会でもその多くが実践例の紹介に，FCI（Force Concept Inventory)に基づく事前（Spre)・事後（Spost）のテストを実施し，その結果を解析したデータ（Gain）からの評価を行っており，数値による客観的な報告が多く見られた．

図２　原著講演の様子

４．２　授業実践例の紹介

原著講演で紹介された教材には，ボールの中に 3 軸加速度センサと LED を組み込み，ボールにはたらく力が，①つりあっている場合，②重力のみ，③それ以外の 3 つの場合を LED で別々の色で表示させ，運動中にはたらく力を可視化させたものがあった．

ブレッドボードによる電気回路の授業の紹介では，ハンダ付けをせずにいろいろな回路の確認ができるものであった．スマートフォンを活用した紹介では，スマートフォンには，もともと加速度センサーが搭載されており，専用アプリケーションを新たに開発してスマートフォンに超音波センサーを外付けすることで，物体の運動（位置，速度，加速度）をリアルタイムで測定することができるものがあった．コードレス，デジタル測定という点で評価されると思われる．

５．ポスターセッション

「５分でできる演示実験」，「IC を観る」，「音センサーでピンポン玉の反発係数を測定する」，「アルミニウムの常磁性と炭素の反磁性の簡易実験」など，大変興味深いものが多かった．企業展示としては，「香川発　夢の糖　希少糖」，「島津理科」，「ナリカ」が展示された．

図３　ポスターセッションの様子

６．特別講演「希少糖産生酵素の発見とその後の展開」

希少糖とは，非天然型単糖，自然界に少ない単糖，非発酵性単糖などの総称で香川大学が当初より研究に関わってきた．希少糖が動物実験での結果，食後血糖値の抑制や体脂肪の蓄積抑制の発見により，産官学連携事業が始まり商品化に至ることができた．今後，香川県産業成長戦略を新たに策定し，プロジェクトを進めていく．

７．アクティヴ・ラーニング　ワークショップ

オレゴン大学のソコロフ教授によるワークショップで，参加者全員にプリントとクリッカーが配られた．ソコロフ氏の会話はすべて英語であり，通訳が入るのだが参加者はほぼ全員，直接頷いて聞いておられた．物理実験に関する質問ではクリッカーを用い，演示実験をして答の確認をしたが，詳細な解説は聞かれなかった．参加者は全員専門家という認識でわざと解説をしなかったのかと思われた．ワークショップは，終始面白く興味深く参加することができた．

８．終わりに

大会への参加により，多くを学ぶことができた．今後の物理教育へ生かしていきたい．この機会をいただいた日本物理教育学会北海道支部に深謝申し上げる．

文　献

(1) 2018 年度　日本物理教育学会年会　第 35 回物理教育研究大会発表予稿集

(2) https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?I=5&A=FCI

平成 29 年度事業報告

1．日本物理教育学会北海道支部会誌

物理教育研究　vol.45　11 月発刊

2．総会

日時：平成 29 年 6 月 24 日(土)　14:30〜17:00
場所：北海道大学
　　人文・社会科学総合教育研究棟 4 階W410 教室
内容：
○総会
(1) 支部長挨拶
(2) 平成 29 年度支部役員について
(3) 平成 28 年度事業報告
(4) 平成 28 年度会計報告
(5) 平成 28 年度会計監査報告
(6) 平成 29 年度事業計画
(7) 平成 29 年度会計予算
○特別講演会
「物理教育の題材」
　　元・北海道教育大学札幌校　　岡崎　隆
○実験デモンストレーション
○懇親会

3．第 8 回中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

日時：平成 29 年 11 月 11 日(土)　13:00〜15: 45
場所：北海道大学　理学部 5 号館 2 階　5-201 教室
プログラム：
○支部長挨拶
○中学校・高等学校科学部生徒による研究発表
(1) 札幌市立屯田北中学校科学部　物理研究班
「水面に浮く液滴の成功条件」
(2) 北海道有朋高等学校ＳＯＨＣ（園芸・科学）部
「カーリングにおける回転ストーンの効果」
○提言　「大学初年度の物理教育」
(1)酪農学園大学　農食環境学群　環境共生学類
　　矢吹　哲夫
「酪農大での物理基礎教育の概要紹介＝物理学、エネルギーの物理学、環境物理学、エントロピーから見た科学＝」
(2)東海大学札幌教養教育センター　　岡本　英治
「東海大学札幌キャンパスにおける物理教育
　　－物理の目で見た医学・生物－」
○シンポジウム「中学・高校・大学をつなぐ物理教育」
司　会：横関直幸（札幌平岸高等学校）
パネリスト：矢吹哲夫（酪農学園大学）
　　岡本英治（東海大学）
＜テーマ＞
・大学初年度の物理教育における現状と課題
・アクティブ・ラーニングの視点からの授業改善
・学生（生徒）実験をアクティブ・ラーニングとしてとらえ直す
・すべての生徒のための「物理教育」とはどうあるべきか

4．物理教育研究会

日時：平成 29 年 12 月 9 日(土)　13:30〜17:30
場所：北海道大学　理学部 5 号館 2 階　5-201 教室
　　人文・社会科学総合教育研究棟 4 階W410 教室
内容：
○特別講演
「磁性研究の最前線」
　　北海道大学大学院理学研究院 物理学部門
　　網塚　浩
○原著講演
(1) 学生プロジェクト『理科工房』の正課外活動を通した教育効果
　　千歳科学技術大学　　長谷川　誠
(2) 私の工夫
　　北海道科学大学高校　中谷　圭佑
(3) 力学台車の実験に関する工夫
　　紋別高校　佐々木　徹
○　実験デモンストレーション
　　（進行：札幌南高校　稲子寛信）
(1) ビュンビュン回る超カンタン静電気モーター
　　元・函館中部高校　千賀　愼一
(2) 交流の RCL 直列回路を使って VL と VC の位相の関係を見る演示実験
　　日本医療大学　桑原　修
(3) 失敗させて考えさせる圧縮発火器
　　札幌南高校　稲子　寛信
○　授業関連企画
高校教科書と符号の問題とを考える
　　札幌南高校　稲子　寛信
○全体討論
○懇親会

5．高校物理の授業に役立つ基本実験講習会 in 北海道

(日本物理学会北海道支部、北海道高等学校理科研究会との共催)
日時：平成 30 年 1 月 9 日（火）12：50〜17:00
場所：札幌南高等学校

内容：

高校物理の基本実験について、1テーマ40分程度で実験実習を行い、参加者はいくつかの班に分かれ、班ごとのローテーションで全5テーマについて実習した。

実験テーマ

① アトウッドの器械による重力加速度の測定
② 簡易真空実験、ボイル・シャルルの法則
③ 圧気発火
（※アクティブ・ラーニングの要素を含み、思考力を養う）
④ 屈折率の測定、全反射
⑤ 記録タイマー用テープを用いたメートルブリッジによる各種測定実験

6．リフレッシュ理科教室2017

（応用物理学会北海道支部との共催）

日時：平成29年10月21日（土）10：00〜12：30
場所：北海道大学工学部

7．理事会

平成29年4月13日（月）　18時30分
北海道大学教育学部3階 会議室
平成29年9月21日（木）　18時30分
北海道大学教育学部3階 会議室

//

平成30年度事業計画

1．日本物理教育学会北海道支部会誌

物理教育研究　vol.46　11月発刊（予定）

2．総会

日時：平成30年6月23日(土)　14:30〜17:00
場所：北海道大学
人文・社会科学総合教育研究棟4階W410教室

3．中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

日時：平成30年11月17日(土)
場所：北海道大学

4．物理教育研究会

日時：平成30年12月8日(土)
場所：北海道大学

5．高校物理の授業に役立つ基本実験講習会 in 北海道

（日本物理学会北海道支部との共催）
日時：平成31年1月8日(火)
場所：札幌南高校

6．リフレッシュ理科教室2018

（応用物理学会北海道支部との共催）
日時：平成30年10月20日（土）10：00〜12：30
場所：北海道大学工学部

7．理事会（4月、9月）

平成 29 年度一般会計収支決算書(2018. 6. 2 3)

収　　入	金　　額	支　　出	金　　額
繰越金	¥485,094	会議費	¥5,382
本部補助金	¥150,000	通信費	¥7,194
雑収入	¥89,970	事務費	¥7,134
		会誌印刷補助	¥0
		大会参加補助	¥0
		予備費	¥102,856
		次年度繰越金	¥602,498
計	¥725,064	計	¥725,064

平成 29 年度特別会計収支決算書

収　　入	金　　額	支　　出	金　　額
繰越金	¥0	会議費	¥0
支部補助金	¥0	通信費	¥6,444
会員負担金	¥66,000	事務費	¥2,436
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥53,460
		次年度繰越金	¥3,660
計	¥66,000	計	¥66,000

平成 30 年度一般会計予算

収　　入	金　　額	支　　出	金　　額
繰越金	¥602,498	会議費	¥10,000
本部補助金	¥150,000	通信費	¥10,000
雑収入	¥2	事務費	¥10,000
		会誌印刷補助	¥100,000
		大会参加補助	¥200,000
		予備費	¥422,500
計	¥752,500	計	¥752,500

平成 29 年度特別会計予算

収　　入	金　　額	支　　出	金　　額
繰越金	¥3,660	会議費	¥5,000
支部補助金	¥100,000	通信費	¥15,000
会員負担金	¥50,000	事務費	¥5,000
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥115,000
		予備費	¥13,660
計	¥153,660	計	¥153,660

日本物理教育学会　北海道支部理事　役員分担（2018 年度）

顧　　問	中島　春雄　吉田　静男　小野寺　彰　中野　善明　伊土　政幸	
評 議 員	伊藤　四郎　橿棒　光一　一口　芳勝　加藤　誠也　川原　圭二	
	齋藤　　孝　坂田　義成　平野　雅宣　穂積　邦彦	
支 部 長	大野　栄三（北海道大学大学院教育）	本部理事
副支部長	鈴木　久男（北海道大学大学院理）	
	長谷川　誠（千歳科学技術大学）	
	佐々木　淳（室蘭栄高校）	
監　　事	山田　大隆（元酪農学園大学）	
	石川　昌司（立命館慶祥高校）	
総務（事務局長）	横関　直幸（札幌藻岩高校）	
	井原　教博（札幌西高校）	本部評議員（2018-19）
	木村　宣幸（北広島高校）	
	今野　　滋（東海大学）	道支部 HP
	細川　敏幸（北大高等教育推進機構）	
編集（委員長）	長谷川　誠（千歳科学技術大学）	道支部編集（正）、本部評議員（2017-18）
	鈴木　久男（北海道大学大学院理）	本部評議員（2018-19）
	中道　洋友（札幌北高校）	道支部編集（副）
	佐藤　革馬（釧路江南高校）	道支部編集（副）、本部評議員（2017-18）
	菅原　　陽（元小樽工業高校）	
	堀　輝一郎（元札幌藻岩高校）	
	小野　　忍（札幌清田高校）	
	保格　秀規（札幌北陵高校）	
事業（委員長）	大坂　厚志（長沼高校）	本部評議員（2017-18）、道支部 HP、理科大好き実験教室
	伊藤新一郎（札幌啓成高校）	
	稲子　寛信（札幌南高校）	物理教育実践交流会
	大久保政俊（札幌日大高校）	
	大屋　泰宏（旭川東高校）	
	岡崎　　隆（元北海道教育大学札幌校）	
	今野　博行（函館陵北高校）	
	齋藤　　隆（拓殖大学北海道短大）	
	酒井　　彰（室蘭工業大学）	
	酒井　徹雄（渡島教育局）	
	佐藤　　健（えりも高校）	
	平　　久夫（北海道教育大学札幌校）	
	高橋　尚紀（栗山高校）	
	中谷　圭佑（北海道科学大学高校）	
	永田　敏夫（元マラヤ大学）	
	原田　雅之（元札幌西高校）	
	福田　　敦（檜山教育局）	
	藤林　亮太（札幌南高校）	
	松崎　俊明（釧路工業高等専門学校）	
	松田　素寛（北海道立教育研究所附属理科教育センター）	
	溝上　忠彦（恵庭南高校）	
	森山　正樹（札幌市立白石中学校）	
	矢吹　哲夫（北星学園大学）	
	山本　晧晴（札幌西高校）	本部評議員（2018-19）
	柚木　朋也（北海道教育大学札幌校）	
	四方　周輔（元東海大学）	

日本物理教育学会北海道支部規約

第１条　本支部は，日本物理教育学会北海道支部と称する．

第２条　本支部は，北海道在住の会員の連絡と研究の交流をはかり，北海道における物理教育の振興と，その地域的な活動への寄与を目的とする．

第３条　本支部は，前条の目的を達成するために次の事業を行なう．

(1)　講演会，講習会，学術映画会，研究会懇談会等の開催

(2)　会報の配布，研究成果の刊行

(3)　物理教育についての調査及び研究

(4)　その他，前条の目的達成に必要な事業

第４条　（削除）

第５条　本支部の会員は，北海道在住の日本物理教育学会の正会員及び賛助会員からなる．

第６条　本支部に次の会員をおく．

１．支部長１名，副支部長２名，支部理事若干名，及び監事２名．

２．支部理事の数は，支部長が支部理事会の議を経てこれを定める．

３．副支部長は，支部理事の中から支部長がこれを委嘱する．

第７条　支部長・副支部長及び支部理事は，支部理事会を組織し，支部長は支部会務を統括する．副支部長は支部長を補佐し，支部理事は支部の業務を分掌する．

第８条　監事は．民法第 59 条の職務に準ずる職務を行なう．

第９条　本支部に支部評議員若干名をおく．

支部評議員の数は，支部長が支部役員会の議を経てこれを定める．支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱する．

第 10 条　支部評議員は，支部評議員会を組織し，支部長の諮問に応じ，支部の事業遂行について支部長に助言する．

第 11 条　支部役員及び支部評議員の任期は２年とし，再任を妨げない．

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする．

第 12 条　次期支部役員は，本支部役員中の次の者の中から支部総会において選任する．

(1)　支部理事の推薦した正会員

(2)　正会員又はその団体の推薦した正会員

第 13 条　元支部長及び本支部の地域内に在住する本部理事ならびに本部評議員は，支部理事会に出席することができる．

第 14 条　支部総会は，毎年 1 回，支部長がこれを招集する．支部長が必要と認めたときは支部理事会の議を経て臨時支部総会を招集することができる．

第 15 条　次の事項は，支部総会において報告し承認を得るものとする．

(1)　事集計画及び収支予算

(2)　事業報告及び収支決算

(3)　その他，支部理事会において必要と認めた事項

第 16 条　支部規約に記載のない事項は，本学会定款に準ずる．

（附　則）

(1)　本規約は．総会において．正会員の３分の２以上の同意を得なければ変更できない．

(2)　本規約は，昭和 44 年 6 月 25 日より施行する．

Ａ４論文原稿執筆要項　表題は 16 ポイント（pt）のゴシック文字

（副題は 12ｐｔゴシック：両端をカッコでかこむ）

English Main Title:12pcTimes（英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載する）

(English Sub Title:12pcTimes)

所属は９pt 明朝　**名前は 10pt ゴシック**　明朝大学　**ゴシック太郎**　執筆高校　**執筆　一朗**

Name 9pt Times　　Sippitu Koukou Sippitu　Itirou

本文の９行目に相当する位置から抄録を書き始めます．２００字以内．日本語文字は９ｐｔを標準です．例えば「・・について，・・という発想で，・・行なったところ，・・という結果を得た」キーワードを含めて下さい．なお、英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載します．

Abstract

Abstract must be written with 9pt Times or Times new Roman Font.The number of words is within 200.

キーワード　9ｐｔ　５語程度　　Keywords:Times Font,9pt,About 5 Words

１．章タイトルはゴシック 10ｐｔ太字

本資料は，オフセット印刷で，縮小してＢ５版に印刷される冊子を作成する際に，Ａ４版で原稿を作成する際に必要となる投稿規定の情報を，視覚的に理解しやすい形で提供することを目的として作成したものである．

２．本文執筆の要点

２．１　用紙の使い方

Ａ４用紙に 52 文字 45 行，２段組の部分は 25 文字，段間隔：8mm　段幅：82mm　とする．マージンは上 21mm 下 27mm 左 18mm 右 18mm　とする．

２．２　使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは 9pt の

和文：MS 明朝．平成明朝

英文：Times ,New Roman, Times Symbol　とする．

ただし太文字は，9pt の和文：MS ゴシック，平成角ゴシック，英文：Arial.Helvcticaを使用すること．上記フォントがない場合は，類似のフォントを使用すること．

２．３　式および記号

式および記号の標準文字は，９pt のイタリック体とする．ベクトルの場合は太文字のイタリックとする．

上下添字は６pt 程度の立体（イタリックも可）とする．以下にいくつかの例を挙げておく．

$$J_{\mathrm{C}} \qquad V_{\mathrm{I}} \qquad P^{\mathrm{A}}{}_{\mathrm{ijk}}$$

式を記入する場合は，式の上下に白行を設け，右端に式番号を記入する．例えば，

$$F_{\mathrm{D}} = C_{\mathrm{P}}\, 1/2\, \rho \qquad |V|\, VS \qquad (5)$$

のように記入する．なお，式を文章中で参照する場合には，式(5)，式(7)－(10)のように，番号の前に"式"を付ける．

２．４　図・表，およびその説明

図ならびに表は，１段幅，あるいは２段幅に収まるように作成し，論文内の適切な位置には配置する．

図ならびに表の中の文字は,十分認識できるサイズ(具体的には９pt 程度）とする．６pt 未満の文字は使用しないこと．また，図ならびに表の前後には空白行を設けること．

それぞれの図ならびに表の説明文（caption）として，以下に示す例のように，図ならびに表の通し番号の後に９pt の標準文字で説明を記入する．なお，図の説明文は該当する図の下，表の説明文は該当する表の上とすること．

例　表１　生徒の履修状況

　　図１　実験装置の模式図

２．５　引用・参照文献

引用または参考にした文献は，本文中の引用・参照箇所で右肩に[1) 2)]などの表記で表示するとともに．末尾に一括して著者名，文献名，ページなどを示す．

文　献

(1) 山川谷男：エントロピーの・・教育，物理教育研究，Vol.22，No.3，pp.1～4，1999

なお、脚注は文章中の該当箇所に*･**の印を付しページの下に横線を引き、その下に書いて下さい。

３．その他

(1)　原則として原稿はお返いたしません。校正のため原稿の控えは手許に保存して下さい。

(2)　本紙は毎年11月に発行予定です。

(3)　投稿された論説研究・解説・報告等は編集委員会で内容を審査します。

(4)　投稿及び原稿用紙等の申込みと会誌編集に関する連絡先は下記の投稿受付担当者までお願いします。

原稿募集　上記の規定に基づいて支部会報「物理教育研究第47号」の原稿を募集いたします。

(1)　締　　切　　2019年9月末日

(2)　投稿受付

投稿受付先は下記のとおりです。

問い合わせ先

〒 066-8655　千歳市美々758-65

千歳科学技術大学　　長谷川　誠

TEL／FAX　0123-27-6059

E-ﾒｰﾙ　hasegawa@photon.chitose.ac.jp

または

〒 011-0025　札幌市北区北25条西11丁目

北海道札幌北高等学校　　中道　洋友

TEL 011-736-3191　FAX 011-736-3193

E-ﾒｰﾙ　nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

使用されるワープロが「Word」か「一太郎」であれば、この執筆要項のファイルを送付できます。担当までお知らせ下さい。

編集後記

今年も日本からノーベル賞の受賞者が出ました。これまでの貴重な研究成果・実績が評価されることは喜ばしい限りです。その一方で、最近のノーベル賞受賞者から必ず聞かれる発言は、基礎研究を取り巻く状況に関するものです。直近の成果や実績ばかりが重視される最近の風潮には、確かに危機感を感じます。教育の場面でも、長い目で見た教育効果の達成を目指す必要があるように思えます。（H）

2018年11月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第45号　　編集責任者　　長谷川　誠

(060-0811)札幌市北区北10条西7丁目

北海道大学大学院教育学研究院

大野栄三気付

日本物理教育学会北海道支部

目　　次

巻頭言
人文社会系の学生への物理基礎教育　北星学園大学　矢吹　哲夫　1

－－－