

物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No. 4

1976. 4

BUJURI KYOKU KENKU

—— 目 次 ——

理科教育研究方法論考	山 田 大 隆	1
仕事とエネルギー	石 崎 健 二	8
棒の衝突におけるエネルギー問題	三 好 康 雅	15
昭和50年度支部研究会報告—その1	池 田 斌 修	20
昭和50年度支部研究会報告—その2	石 上 形 幸	22
学会ニュース		27
昭和50年度支部研究発表の記録		27
「物理教育研究」 投稿規定		28

理科教育研究方法論考

札幌藻岩高等学校

山田 太 隆

1. はじめに

理科教育の目的は、つまるところいずれの学校段階においても、対応する認識発達段階に相応した水準と方法で学習者に自然科学自体の性格（探究性、可変性、革新性）、構造（論理法則体系）、方法（探究過程、科学の方法）をいかに教えるかにあると思われる。これを理科教授法という視点から見れば、教授方法の探究とは、結局教科の構造に学習者の認知構造をいかに一致させ、またその教科構造にどのように自然科学の法則・内容を正しく反映させるかつまり概念間の相互連関として考えられる教科および認知構造をいかに対象的自然の構造の正しい反映となるようにするかの方途を教授法として美談の検証に基づいて理論的に追求するものとする。この小論は、この視点に立って理科教授方法研究の具体的方途についての筆者の考えを示したものであり、この内容に関して諸者各位の忌憚のない御批判、御教示が欲すれば幸い存じ、今後の研究の有益な参考としたい。

2. 理科教育の現況（日本理科教育史から）

戦前や戦中戦後の旧教育課程における理科教育（特に初中等）の目的が、生活環境の中から理科教材を発見しその学習を日常生活の利用に資する実用的・生活单元主義的なもの（初等）自然科学を固定した体系として教え、高等教育の基礎となる知識の鍛練の習得を中心とするもの（中等）であり、自然科学の性格・構造・方

法を教えるものでなかったことは板倉、真船の指摘に詳しい¹⁾。その後生活理科問題解決学習の非系統性での非能率性が明らかとなって系統主義理科が提唱され²⁾、また60年代以降の高度経済成長による科学技術時代を反映し、中等教育においても自然科学内容反映の必然性が大きくなってきた。昭和36～38年、および昭和46～48年の教育課程の改訂でこの傾向は一層大となり、概観しただけでも「発見学習³⁾」「検証学習⁴⁾」「探究学習⁵⁾」「最適学習⁶⁾」「主体的学習⁷⁾」「創造的学習⁸⁾」「完全習得学習⁹⁾」「個別化学習¹⁰⁾」「範例的学習¹¹⁾」「総合学習¹²⁾」等、現代科学の性格を反映（探究的）する一方、過度な教材優先的傾向への人間中心教育への回帰も模索する、教授法の一大流行を呈している観すらする現況となっている。

しかしながら、これらの理科学習法の中でも自然科学の内容を有効に反映したものは少なく科学史の知見から科学的認識成立の歴史的過程を追った板倉の「仮説実験授業¹³⁾」と、Bruner 教授体系に基づく「探究学習」を挙げるのみである。米のカリキュラム改革運動を先導の後者の教授理論は、科学認識（数量概念）の発生過程を調査実証した Piaget の研究を基本とし、新教授体系は子供の認知構造と一致させて自然科学の構造を教授するものとし¹⁴⁾、その方法として、自然科学の基本概念の精選集約、自然科学を成

立せしめる探究過程・科学の方法の教授、およびこれらの行動的・映像的・記憶的の三把掘がSpiralをなして順次豊富な概念、法則、理論の獲得に到らせる学習方法であり、現代科学の構造を前提、科学の方法の操作強調、および認知構造の発展をSpiral的に行う点等、現代科学、認知心理学の成果を直接的に反映した優れた探究的学習理論であり、Nuffield理科とともに理科教育法現代化の一典型を示したものである。

このように、現代理科学習理論は自然科学内容を指導体系に反映させるBruner理論を一つの頂点として展開されているものであるが、この理論が完全なものではないことは、坂元の理論的指摘¹⁵⁾他に、次のような事例でも示される。

(1) Silbermanはその著書¹⁶⁾の中で、この理論に基づく学者先導型のカリキュラム改革運動が実際には現場で支持され難く、開発の労苦の割に履習採択率が低い(20%以下)事実を挙げ、現場教師の経験に十分に依拠しないこの運動の実質的失敗を示している。

(2) この理論の強調点、科学の方法は、実際は物理的探究から得たものを、化生地等他の領域の方法にも普遍化して用いる自然の多様性を画一化する形式主義的利用の傾向¹⁷⁾があり、日本の中学校理科では、技能訓練的な「探究の科学」の行過ぎによる知識量や定着率の低下¹⁸⁾、その利用の実状が企業のBrainstreamingと類似する¹⁹⁾といった傾向、批判が出て来ている。

(3) この理論の中心でもあるSpiral methodが日本では小中高各段階で重複した教材を生んで教育課程を過度に過密とし、現代化として強調された教材の精撰集約と逆現象が出て、学習者の学習負担を一層増大させている。²⁰⁾

(4) この理論で述べられる教科の「構造」を教える点は、「訓練の転移」の意義を学習理論

とする点で独創的である反面、これが学習者の認識発達段階を無視した教材を生成、一気に抽象・本質を教えるという教材の難解さを作り出すものとなり易く、²¹⁾実際に現行の小中学校の理科や数字の集合教材でこの難解化で少なくない²²⁾学習落伍者の出現が見られる。これは、現代学習心理学やそれに基づくカリキュラムの実験的段階にあるような教授理論が、十分な予備的検討を経ないで性急に教育現場に持ち込まれ混乱を生起しているものと考えられる。

このように、現代理科学習理論はかつての旧教育課程には見られなかった自然科学の内容反映という点で大きく発展はしているものの、上述の諸学習論やBruner理論のようにその内容は今だ建設期にある。しかしながら、筆者はこれらの多くの試みの中から、理科教授法の原点として一貫して底流する基本理念を見出すことが出来ると考えている。以下にそれを示したい。

3. 理科教授法の基本的性格

筆者はこれは理科教育が本来的に実現しなければならぬ次の性格で示されると考える。

(1) 自然科学の持つ論理的性格を反映する指導法であること(論理性、系統性、順次性に基づく教授法)

(2) 自然科学の持つ動的・歴史的な性格を反映する指導法であること(科学史を重視・反映する教授法)

(3) 自然科学の持つ探究的性格を反映する指導法であること(自然科学の発展経過は本来探究的であり、それが生徒の内発的意欲と相関し学習効果を高める)

(4) 学習者の科学認識発達段階に適合する指導法であること。(生徒の認識能力・段階に見合った教授進度と教材の質的量的な適切性)

(5) 現代教育工学の成果を反映するもの。

4. 理科教授法研究の具体的方法

3での5つの性格に基づき、理科教授法を研究していく上で筆者は次の各方法を研究手段の基礎としていくのが有効と考える。

〔1〕科学論、科学哲学

自然科学を教授する場合、まず自然科学の論理構成（構造）がどうなっているか、科学の方法や探究過程の具体的内容がどうか明確でなければ、科学の構造や性格を反映させる、系統性順次性を重視するという主張も具体性・客観性を欠き、観念的となるであろう。その意味で理科教授法研究を進める場合、しっかりとした認識論、論理学、科学哲学の基礎を確立しておく必要がある。科学論（科学哲学）の概説書としては、碧海らと中村のものが適切であるが、さらに自然科学理論の論理学的側面を見ていくには、現代物理学の論理構成のbackbornとなっている論理実証主義（分析哲学）の科学哲学、Carnap、²⁵⁾ Hempel、²⁶⁾ Popper²⁷⁾らの著作、科学の方法では高林の研究が参考となる。分析哲学研究の雑誌として、最近Erkenntnis²⁹⁾が復刊された。日本では中学校理科でその形式的理解があると思われる操作主義、操作的定義の正しい把握にはBridgman自身の原著³⁰⁾の内容が最適である。このような言語分析が主の静的仮説演繹体系を研究する現象学的方法に対し、自然科学体系の変化発展の動的、歴史的性格探究の動的科学哲学では、科学理論形成の史的側面をPattern化して追うKuhn、³¹⁾ Reichenbach、³²⁾ Losee³³⁾らの科学思想史的Approachが参考になるし、他にScholar的分析のBachelardの科学認識論、³⁴⁾発生的認識論でのPiagetの一連の著作が注目される。科学哲科に弁証法を摘要したものは近年のコージグヤコブ³⁶⁾の東独一連の科学論が著名であるが、日本では武谷三男の三段階論³⁸⁾が著名で、科学研究

の方法論としては広重³⁹⁾の批判はあるにせよ、日本の素粒子論（湯川中間子、坂田複合模型等）の建設の有効な思想的方法論的背景となった。この理論は、科学認識の発展段階を明確化し、認識の中間媒介項の役割の重要性を提起した点で重要であり、これは教育方法論としては特に有効性を持つと思われる研究の価値がある。高校生物教育での田畑氏の⁴⁰⁾試みがある。この自然弁証法の立場は、物質観としてEngelsに創始され坂田により発展せられた「自然の階層性」理論を生み、最近の宮原らの⁴¹⁾労作は自然科学の内容分析をし教科の構造を構成していく上でも重要である。これらの著作により自然科学構造の深い理解を得て教材構造研究に資する一方、これら科学哲学により学習者の科学的説明におけるSelf Consistencyの訓練を画ることも大切である

〔2〕科学史

現代化の理科教育法の視点として科学史が重視される理由は次の2点である。

（1）自然科学（特に現代科学）の動的な性格（自己修正性、社会革新を帰結する社会的機能性、革新性）の理解と現代科学の歴史的位置の把握、将来の正常の発展への人為的Controlの可能性の方途考察のための有効な手段であることこれはBernal⁴²⁾やLangevin⁴³⁾の著書に詳しい。

（2）個体発生は系統発生⁴⁴⁾の反復であるという命題を基礎とする科学の発展過程と子供の科学認識発達過程間に類似性が存在するという指摘から、科学史研究から得られる知見が、各学校段階において何世紀までの科学を教授出来るか学習者の学習過程におけるつまづきや理解困難点の事前の把握等、教案作成や指導上での有効な示唆を与えるという点である。前途の仮説実験授業はこの知見によって教材構成されたものである。科学史を研究する場合、専門的研究で

46) は成書や雑誌「科学史研究」やJapanese Studies in the History of Science等によるのがよく、理科教育との関連では「理科教育のための科学史」や自然科学概念の史的⁴⁷⁾理解としてSource book (原典資料集)⁴⁸⁾の利用が有効である。ただ、科学史教育で示される自然科学の歴史性、科学哲学で示される論理性は異なる運動形態に属し、そのままでは融合せずある意味では排除しあう性格があり、自然科学の持つこの二面性を正しく理科教授法に生かすには、この歴史性と論理性の弁証法的統一、新理論の開拓が必要であり、そのためには教育技術の認識論的分析が必要であるという指摘は重要であろう。科学史の具体的利用としては、前記教案作成時資料としての利用の他、エピソード科学史や科学読物(小中学校)、科学史講義(高・大学)、論理性教育との関連で高校ではCase historyの利用が有効である⁵⁰⁾。他に、科学史教材を積極的に生かしたものに、Harvard Project Physics (H. P. P.)⁵¹⁾と、KlopferらによるHistory of Science Case for High School (HOSC)⁵²⁾計画がある。特に後者は中高校を対象として科学の発展の事例史を通して「科学的物の見方・考え方」を生じせしめるという人間性と科学性を結合させたPSSC以後の科学教育Projectとして秀れたものである。

〔3〕探究学習、仮説実験授業

自然科学の持つ探究的性格を重視した学習法に探究学習がある。IPS、PSSCがその創始であるが、日本では降旗の理論的研究がすぐれ、大阪市立大グループのdry-labo⁵⁴⁾や森らによる自由研究等で模索されているが、AAASにおけるProcess Skillの評価の他は⁵³⁾今だ評価方法が確定しておらず、⁵⁵⁾未来の学習の先導的色彩が濃い。日本の場合、伝統的な知識偏重の風潮、入試制度の弊害による学習の余裕不足、実験器材

不足、教師の労働強化の現況では、この学習法が定着し⁵⁶⁾価値が認識されるまでには多くの障害の克服と時間を要する⁵⁷⁾ように思われる。

仮説実験授業は、高橋らによる極地方式同様科学史・科学哲学に基づく知見を基礎とし、高度な科学内容を平易に教授するべく創出されたものである。その内容は板倉自身の著書や仮説⁵⁸⁾実験授業研究会の発行資料に詳しいが、科学の方法(仮説—予想—実験—検証—結論)による授業書構成を中心とし徹底した討論を重視して、自然科学精神に依拠した人間の科学活動(予想実験)主体の唯物論的の初中等理科教育法で、Open end的の探究学習と異なり、仮説や哲学先導的のもので子供の唯物論的認識成長を促し、統一的自然観形成を志向する点に特色がある。ただ子供のreadinessに格差の少ない小学校高学年・中学校低学年での有効性に⁵⁹⁾滞り(授業書30数種)、readinessの多様化する中・高校では、まわりくどい、習得知識量減少、時間不足等の問題点が出、授業書構成の困難さもあって小学校プラン方式の再検討が要求されているが、重点的利用、追体験実験等で研究方向が見い出せると思われる。仮説実験授業研究会高校部会の活動も最近活発化している。

〔4〕認識発達段階論

現在の教育課程は、教育課程審中間まとめでも示されているように、⁶⁰⁾教育課程に現代科学技術の成果させる要請から、教育内容水準を大→高→中→小と下降型志向で全体に従前よりLevel upした高度化、Bruner教授理論でのSpiral法の教材重複、低定着率に伴う補習による教育課程の過密化、抽象的概念先行の難解化等で学習者の学習負担を大とし落伍者を作る傾向があった。これは現在の日本のカリキュラム改革運動が大学理工系の学者先導型で、学習者の理解学習状

況を把握している現場教師の意見が十分反映されない型、つまり、学習者の認知力発達段階に相応しない教育課程の強制にその因があると思われる。その点では、現場教師参加の自由度を大きくとっているMuffield理科の展開は今後注目されてよいものであろう。⁶¹⁾従って、現代科学体系を反映する今後の理科教授法になっては、学習者の認知発達過程に基礎をおくものでなければ必ず現場からの反発により有効なものとなり得ないであろう。この点については、北沢⁶²⁾により詳細な指摘がされている。この視点は、高度な学力形成を志向する必要がある将来の学習法においては特に重要な基本視点である。このことから、研究方向はBruner理論に検討を加えつつ、Bruner理論の基礎となったPiagetらジュネーブ学派の一連の龐大な認知心理学、発達心理学的成果⁶³⁾に関する基本理解を深めておくことは、今後特に重要となるであろう。またPiaget理論を吟味する上で、その批判でもあるヴィゴツキー理論⁶⁴⁾の検討も有益である。

〔5〕教育学

教育学は、教授法の現代化として米国で開発された従来の教師から一方型⁶⁵⁾の板書ノート学習法に改善を加えたもので、OHP、VTR等の視聴覚機器、CAI等のTeaching Machineが知られ、これら教育学に基づく教授理論として新行動主義心理学による行動科学があるが（SkinnerのSR理論、HullらのSOR理論が著名）、この教育学も行動科学も予想された成果を上げていないといわれる。それは動物実験での学習過程が高度な人間の教育に単純に適用出来ぬことと、学習効果を規定する主体が、教育学でいう操作的構造化ではない自然科学構造と認知構造の対応した教材構成（分り易く学びよく教え易い）であることと、学習者自体の

主体的努力あり、機械に人間教育が従属するものではないからである。しかしながら、教育工学のこの有効性と限界を把握して利用するならば大きな効果は得られるであろう。思考過程を省略しない程度に機械の省力的機能を利用し、教育工学の利点である個別化を生かすべきであろう。しかし普遍化もまた必要である。

〔6〕カリキュラム研究

新教育課程理科で導入された点は次である。

- (1) 小中高一貫カリキュラム、高次概念でのSpiral学習、教材精選に伴う項目の移し替え。
- (2) 探究過程、科学の方法の重視
- (3) 多用化に対応する教材再構成（理科ⅠⅡの分離教材、基礎理科新設）
- (4) 全体の内容水準のLevelup

これらは実施の結果、既述のように、反復学習の重複と精選移行（高から中への静力学等）の低定着補習による過密化時間不足、中学での過度な探究実験による概念未定着知識量低下、ⅠⅡ分離教材は内容の系統性上能率悪い、基礎理科は各科寄せ集め⁶⁶⁾で内容に乏しく、大方から採択されない、教科書会社の過当競争のため教科書内容が、指導要領指示や生徒の学習能力を越えて過度に龐大高度化している等の問題点が出ている。この問題点は、基本的には長期のカリキュラム開発研究を要する次のような性質のものであろう。

- (1) 小中学校での、生徒の認知発達段階に合わせた融合型カリキュラム開発の問題（現況は高校理科各科の程度を下げた羅列に過ぎない）
- (2) 高校での、生徒の多様化に応じた、非専門家志望生徒向けの総合的理解開発の問題（現況は、専門家養成の定量的系統的教材よりない）
- (3) 中高関連といっても入試で実質的に切られるから、内容の一貫性は考えず、中高各段階

での学習をSelf Containとするようカリキュラム構成をする。従ってSpiralは極力少なくし、適正時重点指導とする。

このような点から、筆者は次のようなカリキュラム研究が有効と考える。

(1) 小中学校9年の理科教育は、ソ連の10年制教育も参照し、⁶⁶⁾融合型カリキュラムとする。その際、小学校1～3年次を生活体験的理科、4～6年を仮説実験授業、中学校1～3年は探究学習とする。従って、教育課程審中間まとめにあるような中学校教材を高1まで延長する方向はとらず、中学完結性を追求する。

(2) 高校三年間は、1年次より専門家志望コースと非専門家志望コースに選択指導し、前者には旧理科Bを、後者には新開発の非専門家理科(科学史・科学哲学重視、探究実験を多くする。計算問題は必要最小限に止め、評価も論文形式や実験点を多くとり総合的評価とする)を教授する。前者は三年間で4科中3科選択(18単位)、後者は三年間連続履習(9単位)とする。実際は後者が履習の多数を占めるであろうから、笠氏の指摘のように、このカリキュラムの研究が大方の日本国民(特に女性)の科学理解のレベルを規定する大変重要なものとなってくるであろう。

5. おわりに

以上、理科教授法研究方法への筆者の私見を述べたが、これらの諸点も今後の教育実践の検証の中で修正されていく性質のものである。思うに真の理科教育とは、結局は児童生徒に自然科学自体の面白さをいかに理解させ、正しい知識と技能を習得して豊かな自然観を身につけさせるかにある。教授法とはその実現のための助力に過ぎない。本論に対する多くの方々の御意見・御批判を御願ひしたい。

注(引用文献)

- 1) 板倉聖宣 日本理科教育史(第一法規、'68)
真船和夫 新訂理科教授論(明治図書、'73)
- 2) 筒生英男 日本理科教育小史(国土社、'69)
- 3) ex水越敏行 発見学習入門(明治図書)
- 4) ex鈴木、石井 理科検証学習入門(同)
- 5) ex降旗勝信 探究学習の理論と方法(同)
- 6) ex中嶽他 最適学習方式(三晃書房)
- 7) ex村上芳夫 主体的学習入門(明治図書)
- 8) ex前田博 創造的学習(同)
- 9) ex特集、理科の完全習得学習とは何か(「理科教育」'66 28, 1975, 10)
- 10) ex佐伯正一 個別化学習の理論(明治図書)
- 11) ex井上弘 範例的学習入門(同)
- 12) ex高松陽泰 総合学習の主張(同)
- 13) 板倉聖宣 未来の科学教育(国土社、'66)
- 14) ブルーナー 教育の過程(岩波書店、'63)
- 15) 坂元忠芳 現代教育思想批判(青木書店、'71) P 127～161
- 16) シルバーマン 教室の危機、上(サイマル出版会、'73) P 190～195
- 17) 木村仁泰 理科教育学原理(明治図書、'73) P 124～130
- 18) 山形由史 「探究の科学なるものの実体を考える」(北教組教育課程資料、'72)
- 19) 真船、中原 中学校理科教育はこれでよいか(国土社、'71) P 14
- 20) 教育課程基準改善の基本方向(解説と資料)(教育情報センター、'75)
- 21) 矢川徳光 「ソビエト教育学会の2の業績(その2)」(「国民教育研究」'66 49, '69)
- 22) 前掲書20)
- 23) 碧海他 科学時代の哲学1(培風館、'64)
- 24) 中村秀吉 科学論の基礎(青木書店、'70)
- 25) カルナップ 物理学の哲学的基礎(岩波)

- 26)ヘンベル 自然科学の哲学(培風館、'67)
- 27)ポパー 科学的発見の論理、上下(恒星社
恒星閣、'72)
- 28)高林武彦 自然科学の方法(岩波講座哲学
科学の方法、岩波書店、'68)
- 29)Erkenntnis, An International Journal of
Analytical Philosophy (D. Reidel Pub. Co.
1975. 1 創刊、年3回)
- 30)ブリッジマン 現代物理学の論理(創元社、'41)
- 31)クーン 科学革命の構造(みすず書房、'71)
- 32)ライヘンバッハ 科学哲学の形成(同、'54)
- 33)ロゼー 科学哲学の歴史(紀伊国屋書店、'74)
- 34)バッシュラール 科学認識論(白水社、'74)
- 35)ピアジェ 発生的認識論序説、数学、物理
学、生物学他(三省堂、数学のみ '75)
- 36)コージグ 弁証法的唯物論
- 37)コブニン 認識論(法政大出版会、'73)
- 38)武谷三男 弁証法の諸問題(理論社、'63)
- 39)広重徹 科学と歴史(みすず書房、'65)
- 40)田畑敏男 「三段階授業について」(「札幌
旭丘高校研究紀要」Vol 10, 37 P, '70)
- 41)岩崎、宮原 現代自然科学と唯物弁証法
(大月書店、'72)
- 42)パナール 歴史における科学(みすず、'55)
- 43)ランジュバン 科学教育論(明治図書)121 P
- 44)高村泰雄 「科学史と科学教育の関連につ
いて」(「北海道科学史ノート」No 1、'73)
- 45) 同 上
- 46)ex メイスン 科学の歴史、上下(岩波、'55)
- 47)理科教育のための科学史4冊(第一法則、'70)
- 48)大野陽朗(監) 近代科学の源流、物理学
篇1・2(北大図書刊行会、'74、'75) など
- 49)田辺振太郎 「理科教育への科学史の導入
に関する理論的な問題について」(「科学史
研究」No. 28, P 28, '52)
- 50)山田大隆 「理科教育と科学史再論」(「
北海道科学史ノート」No 3, '75)
- 51)H P P には text book, resource book, hand
book がある(Holt, Rinehart, Winston Inc.,
New York, 1970)
- 52)鈴木善次「H O S C 計画」(「科学の実験
1967. 6)、クローパー H O S C 物理、化学
生物(共立出版、'76)
- 53)降旗勝信 前掲書5)
- 54)大阪市立大学生物教育研究グループ ドラ
イラボ原理による探究学習」(明治図書、'71)
- 55)「探究学習の指導と評価」(日本理科教育
学会第25回大会分科会抄録、5~22 P, 1975)
- 56)山田大隆 「探究の過程、科学の方法を重
視する高校理科教育についての一考察」(「
北海道の理科」Vol. 18, 1975. 3) 1~18 P
- 57)高橋金三郎 極地方式入門(国土社)
- 58)板倉聖宣 仮説実験授業(仮説社、'74)
同 科学と仮説(季節社、'74)
- 59)仮説実験授業研究会 仮説実験授業研究全
12冊(仮説社、'74)
- 60)前掲書20)
- 61)大橋秀雄 「理科の教育」Vol 24. No 10('75)
- 62)北沢弥吉郎「知能の発達過程に基礎を置く
教育」(「物理教育」Vol 23 No 1, 1~6 P, '75)
- 63)ex. ピアジェ 知能の心理学(みすず、'67)、
量の発達心理学、数の発達心理学(国土社)
他に入門書として波多野三巻本(同)あり。
- 64)ヴィゴツキー 精神発達の理論(明治図書)
- 65)高村泰雄「行動科学教授理論の批判的検討」
(「北方理科」Vol 25, 1975. 4)
- 66)座談会「高校物理教育の現状と将来への展
望」(「物理教育」Vol 22, No 4, P 28~42,
1974)

仕事とエネルギー

北海道大学工学部

石崎健二

北海道大学工学部には、「北工会誌」という年一回発行の教職員大学院生学生のための親睦雑誌がある。そこに仕事という物理の概念からんだ流体力学のことについて書いたのが、この文を書くことになったきっかけである。そこに書いた線でかなり書きすすんだとき、北工会誌に書いたことに大きな矛盾のあることに気がついた。

北工会誌に書いた仕事の定義は次のようなものである。

「仕事というのは物体Aが物体Bにするもので、仕事された物体では $W_{AB} = F_{AB} d^B$ だけの運動エネルギーが変化する。 F_{AB} は物体AがBにおよぼす力、 d^B はBの変位である。正負が運動エネルギーの増減に対応していることは言うまでもない。 W_{AB} はBでおこった運動エネルギーの変化しか表わしていないから、 $W_{BA} = F_{BA} d^A$ を計算して初めてA Bの相互作用にもとづく両物体でのエネルギーの出入りが明らかになる。」

ところが、この定義にたどりつくまでに「エネルギーとは仕事をする能力のことで、物体もっているもの」ということを確かめている。これにてらしてみると、上の仕事の定義は明らかに矛盾している。エネルギーをもっていない物体でも仕事できることになっているからである。

例えば、床からまさつ力を受けながら運動している物体がとまってしまう場合を考えてみると、はっきりする。

私の定義では、床が物体に仕事した結果、仕事は負で物体はエネルギーを失なって止まってしまう、という考えかたをするのである。物体が床にする仕事は床の変位が零だから零。床ではエネルギーの変化はない。したがって、物体の失なったエネルギーはすべてまさつ熱になった、として床と物体の間での一連の出来事が説明される。

この例では、床はエネルギーをもっていないのに物体に仕事している。私は、これと同じように運動エネルギーをもっていないのに仕事する問題をたくさんやってきていながら、その不合理に全く気がつかないできた。物体の運動状態をエネルギーの面から調べるときには、いつも上の定義にもとづいて考え、それなりにすっきりした結果をえてきたので、北工会誌にもこの定義でやれば万事うまくいく、と紹介したのである。

上の定義を生かす道は、はなはだ困ったことであるが、それには「エネルギーとは仕事をする能力である」という命題を捨てるしかない。物理の基本概念の変更だから現実的ではないであろう。これは上の定義もまた現実的でない、

ということを意味するのであろうが、それにし
てはずいぶん役に立っている（現実的である）
のは、どういわけだろうか。

× × × ×

さて、今さらどうしようもない仕事などとい
うことについて、どうして北工会誌に書いたの
かという、実際に使われている仕事の概念が
あいまいにみえるからである。少なくとも私に
は使いこなせないように思える。そんなことには
おかまひなしに仕事やエネルギーについての
問題はいやむなしにやってくる。やむをえず
自分流に考えて処理してきたのである。

ここに学校図書株式会社になる「高等学校・
物理B（改訂版）」（昭和48年発行）という
教科書があるので、これをみながらどうい
う点があいまいにみえるのか説明してみたい。

仕事の定義については、次の二つが基本的
のようである。

①「物体に力 F を加えて力の向きに距離 S だけ
動かすとき、その積 FS を力 F のなした仕事と
いう」（73頁）

②「物体が力と反対向きに変位したとき、
力 F が $-FS$ の仕事をしたといってもよいが、
物体が力 F に逆らって仕事 FS をしたともい
う。」（74頁）

あいまいさの第一点は、仕事をするのが力
であつたり物体であつたりすること。エネルギ
ー概念からみて、力にエネルギーがあるとはい
えないから、力は仕事をするができないと考
えた方が、つじつまが合う。

ところで、物体に F なる力がはたらいている
とき S なる変位をすれば、いつも物体は FS
の仕事をしたということになるのかといえ
ば、そうはなっていない。 FS が正（ F と S
が同じ向き）のときには、力が物体に仕事
したとのべら

れている。これを単に力を物体にいいか
えると、物体が自分自身に仕事するとい
う妙なことになるから、そうはできな
いだろう。力はエネルギーをもたないの
だから仕事ができないとすれば、 FS で表
わされる仕事は何が物体にしたとい
うのであろうか。

ついでに仕事を負のときでも①の定義は
生きているのであるが、②では、いつの
まにか仕事 $-FS$ の話が FS という全く別
な量の話に変わっていく。それと同時に、
というより、それに伴って、仕事の担い
手も力から物体に変わっているのだけ
れど、これがあいまいさの第二点であ
る。

教科書には仕事の量の計算のしかたは
いろいろ出ているが、仕事とはどんな
出来事なのか、仕事によってどこにど
んな変化が生じることになるのか、とい
ったことについては、あまり気にして
いないようである。仕事を計算すること
と、物体の相互作用の具体的な姿との
関係については、どうも見通しがよく
ないのである。

「物体の運動エネルギーは他から仕事
されると変化する」（80頁）、「力のし
た仕事は物体の運動エネルギーの変化に
等しい。」（81頁）という文がわずかに
この関係を述べているのであるが、設問
への解答となっているためか、これと
ても小さい字で書かれているにすぎない。
大きい文字で書かれている唯一つの文
は、エネルギーと仕事についての章の
終りの頁（83頁）に力学的エネルギー
保存則に関連して述べられているだけ
である。私には、仕事とエネルギーの
増減との結びつきがもっと強調され
てもいいように思える。

「エネルギーとは仕事をする能力の
ことである」といつてみたところで、
仕事をするということが具体的に物体
にどのような状態の変化を

もたらすことなのか、きちんとおさえられていなければ、あまり役に立たない定義になってしまうのではあるまいか。

× × × ×

もう少しがんばって教科書を読んでみよう。仕事の定義を私なりにまとめてみると次のようになる。

①力が物体に仕事したというとき：計算のしかたは、 F は仕事される物体におよぼされている力、 S は同じく仕事される物体の変位を用いる。正ならば仕事された物体の運動エネルギーの増加。負なら減少。

②物体が何かしらに仕事したというとき：計算のしかたは、 F は仕事する物体におよぼされている力ではなく、それと反対向きで同じ大きさの力、 S は仕事する物体の変位を用いる。正ならば仕事した物体の運動エネルギーの減少。

注目している物体に力 F がはたらいていて、その物体が S だけ変位したとき、その物体が仕事したとみるか、仕事されたとみるかによって、仕事の計算方法がちがっている。ひとくちに仕事といっても、「した仕事」と「された仕事」は別物と考えねばならない、ということである。

①②についての私の不満をのべれば、①については、力が仕事をする事になっていること、②については、仕事の相手が不明なこと、同じ仕事といいながら①と計算方法がちがうこと、であった。②の後者については「する仕事」と「される仕事」はちがうということがわかった以上、しかたのないことである。

次に、建設的に①②をながめてみると、次のようなことがわかる。

①について——仕事される物体が明瞭なときには、仕事される物体にはたらいっている力と仕事

される物体の変位が、そのまま仕事の定義式、 $W=FS$ にあてはまり、他に力も変位も問題には現われていないから何の迷いも生じない。しかも、仕事の結果が仕事された物体の運動エネルギーの変化に結びついていて、私には仕事の結果としては自然に思える。仕事の正負が運動エネルギーの増減に対応しているのももっともらしい。

②について——物体が何かしらと相互作用しているときには、その物体が仕事するときの力 F としては物体から何かしらへおよぼしている力を考えることになっている。したがって、物体が何かしらへ力 F をおよぼしながら S だけ変位したとき、物体は何かしらに仕事 FS をしたといい、その正負に応じて物体の運動エネルギーが増減する、といいかえることができる。変位しうるもの、すなわち運動エネルギーをもっていてもそのみが仕事できるというこの定義は、「エネルギーは仕事をする能力を示し——」というエネルギーの概念にそった仕事の定義になっている。仕事すれば（正のとき）エネルギーを失なうというのも、それなりにもっともらしい。

②のように状況をとらえたときに、何かしらからこの物体が仕事されている、と見直してみると、力 F として何かしらからおよぼされている力を考えることにすれば①と同じになる。

以上のことから、二つの物体の相互作用を A が B に仕事しているという具体的な出来事としてとらえたとき、①②はそれぞれ B （仕事されるもの）、 A （仕事するもの）という二つの異なった立場から述べたものであることが明らかになった。

と同時に、①②についての不満も解消された。

①については、仕事するのは力ではなく、その力をおよぼしている何かしらだと考えていいであろう。ただ、何かしらが物体に仕事したとき、①で考えているのは何かしらがした仕事ではなく物体になされた仕事であることをはっきりさせるために、「何かしらによって物体になされた仕事」と表現するのがよいであろう。

②については、仕事の相手は何かしらである。「何かしらに物体がした仕事」と表現すればよいであろう。

かくして物理の概念としての仕事は「日常用いられている仕事ということばの意味とは少し違っている」(73頁)ので注意すべし、となる。が、教科書では疑問に思ふ使いかたが結構あるように思う。

例えば「一度伸ばしたゴムやばねは、元の長さにもどるときに加えただけの仕事を他の物体にすることができる。」(79頁)。バネによる位置エネルギーの一節である。仕事を加える、という表現はさておき、これを「する仕事」の定義にしたがって読み直すと「加えただけのエネルギーを失なうことができる」となる。教科書は、このように理解されることを望んでいないように思われるのだけれど。

位置エネルギーの紹介のところでは「高い所にある水を下に導いて水車を回し、これによって仕事することが多い。したがって高い所にある水は仕事をする能力をもっていると考えられる。一般に物体が仕事する能力をもっているとき、物体はエネルギーをもっているという。」(77頁)と書かれている。ここに出ている三つの「仕事する」はそれぞれちがった意味あいをもっているように思われる。「したがって」とか「一般に」とかによって文の相互の結びつき(関係)が示されているが、素直に読んでい

くと、何のことかわからなくなってしまわないだろうか。

× × × ×

ここで「される仕事」と「する仕事」について一言。

この二つのことが一般的には別ものであるという考えかたは、当たり前といえば当たり前だが、必ずしも常識的ではない。

近ごろブームになっているタイヤキで例えてみよう。AさんがBさんにタイヤキを一つあげた、と言えは、Aさんのタイヤキは一つ減ってBさんでは一つ増えていると受け取るのが普通であろう。Bさんが一つもらったことは確かだったとしても、Aさんが一つあげたとは限らない、あげても受け取らなかったかもしれないから、といえは常識的ではあるまい。これを、なるほど、といつてよいのなら、Aさんが確かにBさんに一つあげたとしても、Bさんがそれを受け取ったかどうかはわからない、という話にもなる(今、世間を騒がせているロッキード事件はその典型かもしれない)。

AさんとBさんとの間でのタイヤキのやりとりをのべるときに、このようなまぎらわしさを避けるために、物理ではAさんが出したタイヤキと、Bさんが受け取ったタイヤキを別々に計算する式を与えているわけである。AさんとBさんの間にお皿を用意して、AさんがBさんのためにお皿に置いたタイヤキの数と、BさんがAさんにお礼をのべながら、それでは、と受け取った数と。

私は、この点については、あいまいなままでやってきた。教科書がわからないのも無理ないわけである。やむをえず仕事の定義式の一つだけで間に合わせる工夫をして難からのがれてきたのである。その結果、ますます二つの仕事を

区別する必要にせまられることがなくなってしまったのである。

もっとも、教科書自身二つの仕事を区別する立場をとっていながら、先ほど例に出した仕事という言葉の使いかたと同じように、実際にはかなりあいまいなところがないわけではない。

例えば、「重さの無視できる動滑車を用いて、質量 m の物体を高さ h だけゆっくり持ち上げるとき、加える力は $\frac{1}{2}mg$ でよいが、引く綱の長さは $2h$ であるから、このとき人が動滑車になした仕事は

$$\frac{1}{2}mg \times 2h = mgh$$

である。これは動滑車が物体になした仕事に等しい。」(75頁)

まず、「人が動滑車になした仕事」という私流の表現は教科書の立場では有りえないものであるが、ひんぱんに出てくる。次に、いわんとしていることが、人が「なした仕事」なのか、動滑車に「なされた仕事」なのか判然としないう計算式の方から判断しようとしても、よくわからない。

$\frac{1}{2}mg$ は「人が綱に加えた力」、 $2h$ は「綱の変位」となっているが、教科書ではこのような力と変位の組み合わせでの仕事は定義されていない。 $2h$ を綱をもっている手の変位、とみなせば人が(綱に)「なした仕事」が計算されていることになる。 $\frac{1}{2}mg$ を綱に加えられた力とみなせば人によって綱に「なされた仕事」ということになる。どちらにしても、 $\frac{1}{2}mg \times 2h$ をF Sに対応させる限り、教科書に書いてあるような動滑車に関係している仕事にはならない。動滑車の変位は h なのだから。

この例題では、「なした仕事」と「なされた仕事」が等しくなる場合なので、計算値はどち

らにとってもまちがいないが、出来事のとりえかた、表現のしかた、は、はなはだあいまいである。「動滑車が物体にした仕事」についても同様である。

× × × ×

教科書で説明されている仕事について、かなりはっきりしたイメージができあがったところで、そのような立場から私の仕事の定義を見直してみよう。

私の定義は、形の上では「AがBにした仕事」となっているが、実は「なされた仕事」の計算式になっている。教科書の①の場合で、何かしらを物体Aと呼びかえているにすぎない。だから、私がまちがわずに問題をといてきたとしても不思議はないわけである。

次に、定義は一つ、計算式は一本で十分か、ということについて。私の計算している仕事は、その正負に応じてBの運動エネルギーの増減に対応しているのは教科書の①からみて当然である。正の場合には「物体AとのかかわりでそれだけBの運動エネルギーが増えた」ということ、タイヤキの例でいえば「Aにお礼をいいながらお皿から取り上げた」ということである。負の場合は「Aとのかかわりでそれだけ運動エネルギーを失なった」、すなわち「Aのために皿に出した」というわけである。負の場合には教科書風にいえば「Bのした仕事」を計算したことになっており、「された仕事」の系列の式一本、といっても、②の「した仕事」の定義式の内容も含んでいることがわかる。だから、これ一本で間に合っても不思議はないということになる。

大事なことは、二つの物体がお互いのかかわりで(相互作用で)それぞれの状態がどう変わったか、ということである。仕事の場合には、

それぞれの物体でどれだけの運動エネルギーが変化したか、ということがわかれば十分なのである。そのためは、どちらか一方のエネルギー変化を示す式があればよく、Aの次はBと、二度計算すればすむのである。私のやりかたはちょうどそのようになっている。

「した仕事」の定義式一本でもやっていけるわけだが、私は「された仕事」の系統を使っている。正負が増減に対応するのが自然だし、形式的表現ではあるが、相手方のエネルギー変化を計算する方が、「仕事する」という、はたらしかけた結果を表わしているようでなじみやすい。

どうも自画自讃になってきたが、私の仕事の定義にもとづいてやっていることが別におかしくないことがわかった。これからも「した仕事」か「された仕事」かに問わずわされずに安心してやっていけるというものである。

× × × ×

仕事のことについては、いちおう結着がついたようなので、私の定義では「エネルギーとは仕事をする能力である」が通用しなくなってしまうことについて考えてみよう。

私の定義ではエネルギーのないものも仕事できることが明らかで、これが教科書と矛盾するのはいかんともしがたい。この矛盾を避けるためには、また教科書に逆もどりして物体以外のもの、例えば力が仕事するとするしかない。教科書が仕事の担い手として力と物体を使い分けられているのには、このような必然性があったことがわかる。

力と物体という次元のちがうものが同じ仕事をするとか、エネルギーのない力でも仕事できるとかいう表現上の矛盾をはらみつつも、エネルギーとは仕事をする能力であるという命題を

生かすか、この命題を捨ててまで表現上の矛盾を避けるか、と問われて、教科書は前者をえらんだのである。私は後者をえらんでいたのである。したがって私がエネルギー概念と矛盾をきたしたのは当然であった。

私の定義のもとでは、仕事とエネルギーの関係は次のようになっている。

仕事する能力はエネルギーの有無にかかわらずにもともと物体にそなわっているもので、仕事というのは、エネルギーを単位にして状態の変化がおこる物体間の相互作用である。(相互作用=AがBに作用をおよぼし、Bの状態を変えること。AがBの故にある変化を自分自身にもたらしたように見えるときにも、それはBによってもたらされたと考える。)

以上のようにエネルギーが仕事する能力とは無関係であるからには、エネルギーは物体の状態を表わす一つの尺度以外のなにものでもないということになる。運動エネルギーは、その物体の運動状態に対応しているが故に意味があると考えられるのである。

また、私の定義のもとでは、物体のもっているエネルギーは次のようにして計算することができる。与えられた状態にある物体を基準状態に変えるために、その物体になすべき仕事を計算する。何かしらがその物体にする仕事である。それが負のとき、仕事の結果物体はそれだけエネルギーを失なり、放出する、のであるから、与えられた状態では基準状態にくらべてそれだけ(絶対値)多くのエネルギーをもっていることがわかる。

× × × ×

続いて位置エネルギーが検討されるはずであったが、別な機会にゆずりたい。

(石崎氏は非会員であります、我々物理教育に関心をもつ者でも、ややもすると見のがしがちな本質的な問題について見解をもっておられますので御投稿をお願いしました。今後も、ひとり善がりにならないためにも外部からの御意見にできるだけ耳を傾けて参りたいと思います。なお同氏は現在北大工学部で大気乱流の研究をなさっております。編集係)

棒の衝突における エネルギー問題

北海道工業大学
三好康雅

1. まえがき

衝突の問題は運動量と運動エネルギーの保存法則を使って解くことのできる代表的な題材である。例えば2個の物体を衝突させるとき、各物体の質量と初速度が与えられ、運動を一直線上に限定すると、衝突後の各物体の速さは一義的にきめられる。この問題の重要な点は、衝突中にどのような事が起ろうと、それには全く無関係に解が得られることである。物体の形は問われず、ただ質量の比のみが関与するのでこれは質点近似である。ところで実際にこれを実験的に試してみるとして、はたして理論通りの結果が期待できるであろうか。

物体が衝突するとき塑性変形を起すようであれば、そのために仕事がなされるので当然運動エネルギーは保存しない。したがって衝突後永久変形が残らないか、または無視できる程度の強さで衝突させる事になる。これは弾性体近似である。

もし衝突後、物体が振動を続けるようであれば、見かけ上運動エネルギーは保存しない。例えば釣り鐘に撞木が衝突する場合、運動エネルギーの一部は鐘の振動エネルギーから音のエネルギーに変わり、最終的には熱になるであろう。

物体の形がもっと単純な場合にもこのような振動エネルギーの寄与を考慮して見る必要がある。

2. 衝突中の弾性波の挙動

弾性体の振動は弾性波であらわされる。ここでは棒の衝突を考え、その中での弾性波の一次的な挙動を扱う。図1において衝突前、物体Aは速さ V_0 で右へ動きBは静止している。物体Aが速さ V_0 で動いている状態はAの内に振幅 $V_0/2$ の速度波が2個あって、定常波を作っている状態と同等である。図において細い矢印は速度波の進行方向、太い矢印は波面の位置をあらわし、上向きの矢でその波が右向きの変位を与えるものである事を意味する。衝突前にはAの内の2個の波はそれぞれ左右へ進み、その端で反射する。このとき端は速度波にとって自由端である(任意の速さになり得る)から、変位の方向は変わらない。結局Aの内の状態は常に一定に保たれ、振動は現われない。衝突が始まり、A、Bが接触した時($t \geq t_0$)右へ進む波は接触面を通してBに入り込む。時間の経過に伴って速度波は右へ進み、物体Bの右端で反射し、 $t = t_5$ でその波面はA、Bの接触面に達する。速度波は右向きの変位を持つので、物体BからAへは侵入できず、Bの左端で反射し、両物体は分離する($t = t_6$)。

図2は衝突過程における応力波の挙動を示したものである。衝突が始まると接触面 P_1 が波源となり、そこから応力波(圧縮状態)が発生し、左右に進み、端で反射する。端は応力波にとっては固定端(端では常に応力=0)であるから反射によって圧縮、引っ張りの関係が逆転

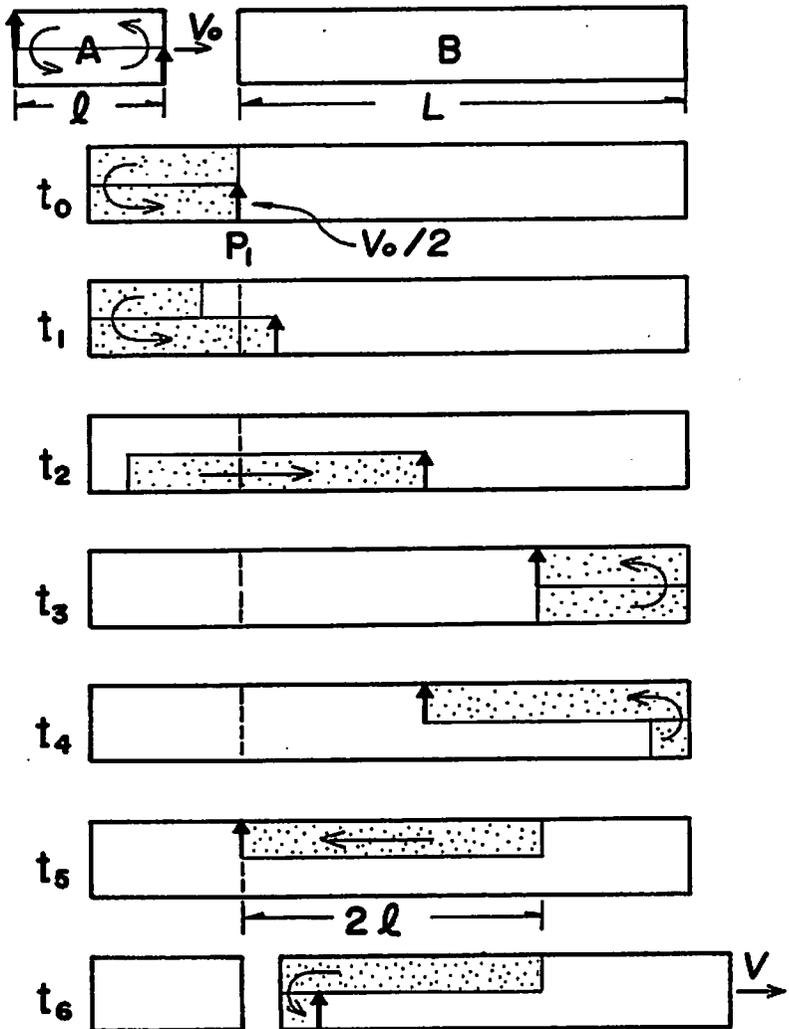


図1 速度波

する。図中左下りの斜線は圧縮、右下りは引張状態をあらわす。応力は $t = t_3$ のとき P_2 面でぶつかり、圧縮と引張りが打ち消し合って応力の無い状態になる。その後 P_2 が波源になる。 $t = t_5$ のとき引張状態が P_1 面に達するが、ここは単に接触しているだけなので、張力はAには伝わらずA、Bは分離する。

以上のように衝突が終るとAは静止し、Bの内には応力波が取り残される。この現象は $L \geq l$ であれば常に起こる。

3. 衝突後のエネルギーの状態

はじめに応力波の振巾 σ を求める。図3において速度波の波面が P_1 を通過してからPに至

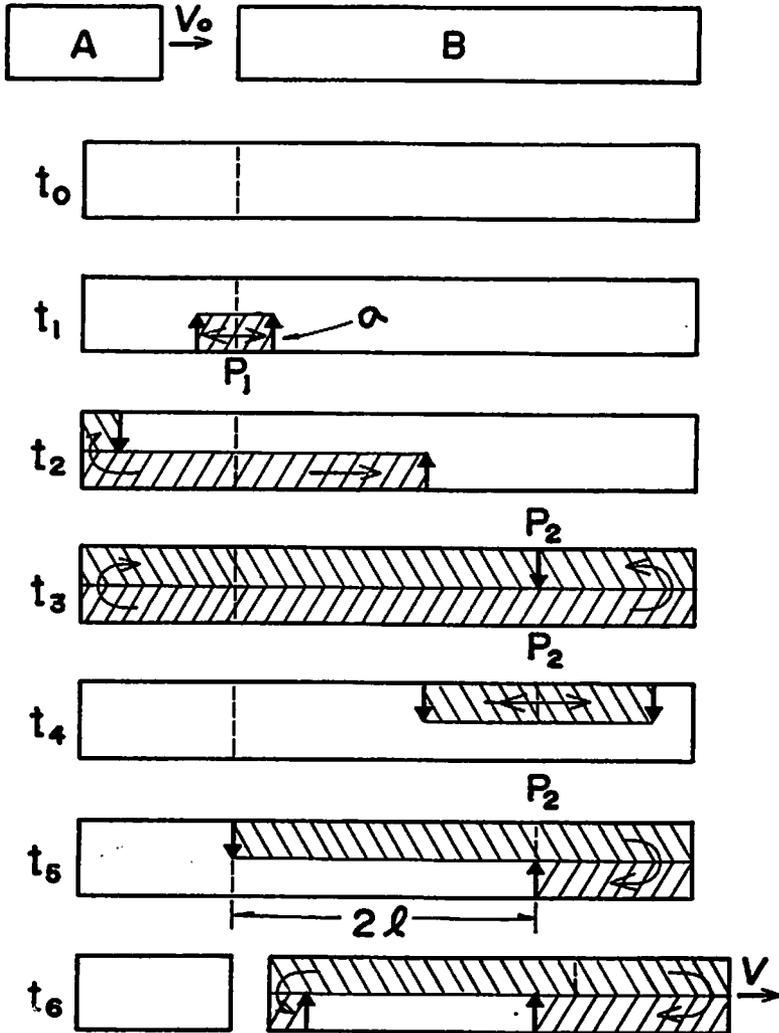


図2 応力波

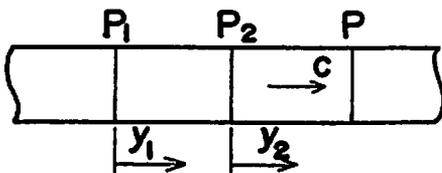


図3 波の運動と変位

る時間を t とすれば、波の速さを c として

$$\overline{P_1 P} = c t$$

である。速度波の振幅は $V_0/2$ であるから、その間の P_1 の変位は

$$y_1 = V_0 t = \frac{V_0 \overline{P_1 P}}{2 c}$$

となる。同様に P_2 面に対して

$$y_2 = \frac{V_0 \overline{P_2 F}}{2c}$$

であるから P_1, P_2 間の歪は

$$\epsilon = \frac{y_1 - y_2}{P_1 P_2} = \frac{V_0}{2c} \quad (1)$$

である。したがって

$$\sigma = e\epsilon = \frac{e V_0}{2c} \quad (2)$$

となる。ただし e はヤング率である。

次に衝突後のエネルギーを $t = t_5$ の状態について解析する。図1において、そのときの速度波の長さは 2ℓ 、振巾は $V_0/2$ であるから物体Bの平均の速さは

$$v = \left(\frac{V_0}{2}\right) \left(\frac{2\ell}{L}\right) = \frac{\ell}{L} V_0 \quad (3)$$

である。一方運動量の保存則より

$$\rho \ell V_0 = \rho L v, \quad v = \frac{\ell}{L} V_0 \quad (4)$$

となり、物体Bの平均の速さはその重心の速さに一致する。ここで ρ は物体の線密度である。

見かけの運動エネルギーの減少量は物体Aの質量を m とすれば

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{1}{2} m V_0^2 - \frac{1}{2} (\rho L) \left(\frac{\ell}{L} V_0\right)^2 \\ &= \frac{1}{2} m \left(1 - \frac{\ell}{L}\right) V_0^2 \quad (5) \end{aligned}$$

である。

速度波のエネルギーは長さ 2ℓ の部分が $V_0/2$ の速さを持つとして

$$E_1 = \frac{1}{2} (2\rho\ell) \left(\frac{V_0}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} m V_0^2 \quad (6)$$

応力波のエネルギーは長さ 2ℓ の部分が応力の状態にあるとして (図2の $t = t_5$ の状態)

$$E_2 = 2\ell \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{e}\right) = \frac{\ell e V_0^2}{4c^2} = \frac{1}{4} m V_0^2 \quad (7)$$

である。ただしここで $c = \sqrt{e/\rho}$ の関係を使った。 E_1 は運動エネルギー、 E_2 はポテンシャルエネルギーを表わし、その和は全エネルギーに等しい。

$$E_1 + E_2 = \frac{1}{2} m V_0^2 \quad (8)$$

この式の左辺は重心の運動エネルギーと弾性波のエネルギーの混じり合ったものと考えられる。真の弾性波は物体をその重心から見たときに観察されるはずである。そのとき速度波は図4のようになる。したがって速度波のエネルギー

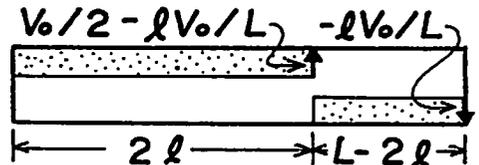


図4 重心から見た速度波

は

$$\begin{aligned} E_1' &= \frac{1}{2} (2\rho\ell) \left(\frac{1}{2} - \frac{\ell}{L}\right)^2 V_0^2 + \frac{1}{2} \rho x \\ &= \frac{1}{2} (L - 2\ell) \left(\frac{\ell}{L} V_0\right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{\ell}{L}\right) m V_0^2 \quad (9) \end{aligned}$$

となる。応力波は座標の取り方に依らないので E_2 は変らない。真の弾性波のエネルギーは

$$E_1' + E_2 = \frac{1}{2} m \left(1 - \frac{\ell}{L}\right) V_0^2 \quad (10)$$

		A			B			ΔE J
		θ°	V $\frac{m}{sec}$	E J	θ°	V $\frac{m}{sec}$	E J	
BEFORE COLLISION		-35	1.43	.308	0	0	0	—
AFTER	THEORY (1)	-17.2	-.715	.077	17.2	.715	.230	0
	THEORY (2)	0	0	0	11.5	.477	.102	.205
	EXPERIMENT	-5	-.20	.006	13	.54	.131	.171

表1 理論値と実験値との比較

となり (5) 式に一致する。すなわち $L=l$ の特別な場合を除いて、見かけ上運動エネルギーは保存せず、その一部は (10) 式で与えられる弾性波のエネルギーに変ることになる。

4. 実験的確認

直径 1.5 cm 長さ $l=20$ cm、 $L=60$ cm の 2 本のしんちゅう棒を物体 A、B とした。質量はそれぞれ 300 g、900 g である。これらの棒を長さ 58 cm の糸で水平に釣るし、A を糸の角度で $\theta=35^\circ$ から振り下し B に衝突させた。物体 A の衝突面には曲率を持たせてある。曲率半径をいくつか変えて実験したが、その結果に違いは認められなかった。実験結果を表 1 に示す。表中理論 1 はエネルギー保存則、理論 2 はここで述べた考え方によるものである。この実験によれば衝突後 A は 5° 振れ戻り、B の振れは 13° であった。これらの値は両理論の間にある。実験から得られたエネルギー減は 0.171 ジュールであった。これは衝突前のエネルギーの $4/7$ に相当し、理論 2 から計算される値 $4/6$ に近い。物体 A、B が衝突する面は実際には完全な平面ではないので、そこで

A から B へ向う波に反射が起るであろう。理論 2 ではこの反射を考慮していないので、それが実験値との差となって現われたと考えられる。一方理論 1 を使えば、衝突時のエネルギー減は 0 であって、実験値との差は誤差として扱うには大きすぎる。

この実験ではエネルギー保存則は全く無力であって、弾性波による扱いが必要である。

5. あとがき

衝突において、エネルギー保存則が近似的にのみ成り立つであろうことは要易に想像される。しかしこの実験によれば衝突後運動エネルギーは $3/7$ に減少した。これではもはや近似ということとはできない。運動エネルギーの保存則には元来その適用範囲があって、それは衝突後弾性波がほとんど残らない形状のものに限られる。ところが「完全弾性衝突」の仮定のもとに、運動エネルギーの保存則を使わせる練習問題が散見される。この両者は本来別のものであるが、これが混同して使われているように思われる。

昭和50年度支部研究会報告（その1）

物理教育学会の北海道支部の第一回支部研究会が、去る昭和50年8月9日、北海道大学工学部において開催された。

原著講演は3編であった。発表順に従ってその概要を報告させていただく。

1 やじろべえの振動周期

北海道立理科教育センター

佐藤 功

河合 一也

最近課題研究ということがよくいわれている。しかし、簡単に、費用もあまりかからず、生徒の能力によって発展させてゆけるようなテーマとなるとなかなかみつからない。本研究はこれら条件にかなった良い一つの例である。

既存の教材を再検討したところ、小家校2年の「やじろべえ」が標記のような扱いをすることにより高校教材として十分耐えうるというのがその主旨であった。

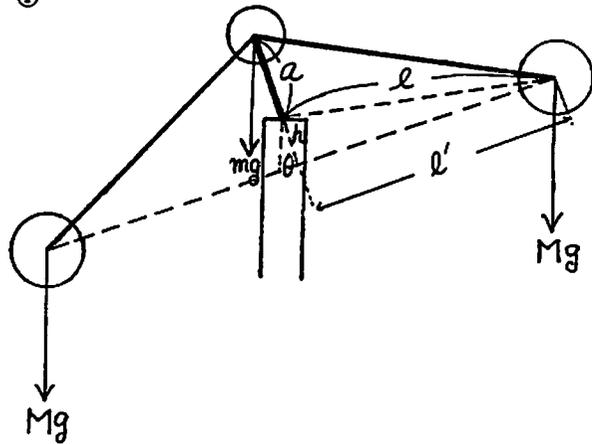
自作したやじろべえによる振動周期の測定結果例によると、近似的理論値と測定値の相対誤差は5%以内になっていた。生徒に自作させてもかなり良い結果が得られるものと思われる。

また、テーマの設定によっては、力のモーメント、重心、慣性モーメント、振動周期のsignificant factor等いろいろな発展が可能であろう。

実験の少ない物理Ⅱの生徒実験として取り上げてよいと感じた。

<補注>

①



支点における力のモーメントPは

$$P = mg \sin \theta - Mg (\ell' + h \tan \theta) \cos \theta$$

$$+ Mg (\ell' - h \tan \theta) \cos \theta$$

$$= mg \sin \theta - Mgh \sin \theta$$

$$\doteq (ma - Mh) g \theta$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ma^2 + 2M\ell^2}{(2Mh + ma)g}}$$

2. 交流記録タイマーの打点解析について

標茶町立中茶安別中学校

岩崎 陽一

北海道立理科教育センター

秋山 敏弘

交流タイマーで物体の運動を記録すると、テープの打点にばらつきが生じる。速度が増すにつれてばらつきは大きくなる傾向がある。しかし、その統計的検討はあまりなされていない。また、落下の加速度 g の測定値が、どのような範囲に、どのように分布するか等についても殆んど研究発表されていないようである。

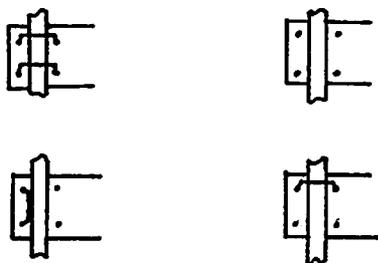
本講演は落下の運動について

- (1) 落下物体の重さの変化
(50g, 100g, 200g, 1000g)
- (2) テープガイドの有無 (下図)
- (3) テープ記録の処理方法による差異
(1打、3打、5打処理)

の3つの要因をとり上げ、統計的に解析した結果についての報告であった。それによると

- a 等加速度を問題にするときは、100gくらいで十分である。
- b 落下運動では、ガイドなしの場合がもっともばらつきが小さい。
- c 3打、5打とでは、有意の差はない、ということであった。

②



実験でふつうは考慮されていなかったFactorを取り上げたということで大変ユニークな研究である。また 物体の重さによって重力加速度 g の値がかなり異なるという結果に興味があった。この結果は落下運動における g のばらつき等を知る上で参考になることが多いと思われる。

3. 抄録作成に関する基準について

北海道教育庁振興部参事室

奈良 英夫

科学技術会議の第4号答申を受けて、昭和44年以来すすめられていた「科学技術情報の全国流通システム(NIST)」の整備の一環である流通技術基準について「抄録作成に関する基準」と題して科学技術庁振興部から公表されたものである。

このNISTの基準は、確たる基準のなかったSummaryの書き方、各分野でばらばらだった引用文献の記述形式等について、統一的基準を示したものである。

「現在の情報化社会では、情報処理能力…」とさえいわれている。何かある文献を探すときあるいは論文を整理するとき、何か基準があったらと思ったことが誰もが一度は経験しているのではないだろうか。

理科教育という分野に限っても、各種理科教育大会での発表、理科教育研究誌に掲載されている研究、実践記録等を見てもみなまちまちである。また記述の共通性についてもあいまいであった。

今回公表されたこの基準は、我々理科教育に携わる者にとっても重要な示唆をもたらすものと考えられる。

今後、この基準を参考にして各種研究物が発表されることを期待したい。

報告池田斌修

昭和50年度支部研究会報告（その2）

本年度の支部研究会は、第1回目が8月9日（土曜日）午後2時から約3時間半にわたって北海道大学工学部第2会議室にて、また第2回目は12月6日（土曜日）午後2時から約3時間にわたって、やはり上記会場にて、多数の参加者のもとで開催された。このうち、第1回研究会の後半に行われた研究協議及び第2回研究会の原著講演の内容について簡単に報告したい。

第1回研究会・研究協議

第1回研究会の研究協議は「新課程の物理教科書をめぐって」というテーマであったが、これは昨年度の第2回研究会で行われた研究協議のテーマと同様のものであって、前回は時間などの関係から十分に話し合えなかったところや、そこで新たに提起された問題を引きついで形で企画されたものである。司会は昨年度と同様、道立理科教育センターの秋山敏弘先生及び道教育庁の奈良英夫先生が担当された。

高等学校においては昭和48年度から新しい教育課程に変わり、それにともなって教科書の内容も改訂された。そしてこれらがそれぞれの学校の事情や生徒の能力・興味に必ずしも適合できず、程度の差はあるにしても各校とも相応の悩みをかかえているのが現状のようである。研

究協議は林支部長による「……さらに新しいカリキュラムの編成についての参考資料にする、いいかえると先生方全部が改訂に参画するような機会とでもお考えいただいて、現場の生の声を……」とのあいさつで開始され、あらかじめ依頼されていた提言者から、現在道内各校で使用されている物理の教科書そのもの問題点が指摘され、また、物理の指導について各学校の実状の紹介と問題提起がなされ、それぞれに対し活発な質疑応答がかわされた。

この研究協議の内容の詳細については近々本学会の会誌「物理教育」に掲載されることになっているので重複をさけるが、研究協議を終えるにあたって、支部長の林正一先生から「高等学校で何を学んだらよいか」について貴重なお話をいただいたので、その一部を引用させていただき報告にかえたい。

「物理A、Bがやがて物理Ⅰ、Ⅱになるに当たりまして、新聞を読んでいますと、ある高等学校の先生は、物理は非常に基本的な科目であるから、これが選択になるということは嘆かわしい、というように一文がでていました。それから一週間たったら高校生の一人が書いていますが、何が日常生

活に重要か教えてくれたか、という反論がでていたわけですが、何かそういう行き違いがあるようですので、もう一つ次元を下げてみました。実際我々の日常生活に対して、技術的な問題は確かにいろいろな生活において利用しているわけです。どうも今の日本のジャーナリストもそうです。科学と技術とがごっちゃになっていて、それが話のくい違いの根源だと思っています。いっそのこと物理は格下げしてしまって、いわゆる技術ということにしたら良いのじゃないか。例えば、錐は先が細く上が太いのはどうしてか、ということを話題にして物理的な概念の導入をしていって、そしてまた元にもどってきて、実際の生活にこのように役立っているのだというふうに、物理の概念をいつも使うことばとしてそういうものを理解するような話し方をすれば良いのではないかと。だから普通の物理の教科書では、力のモーメントとかいうものは剛体の力学の中に入ってくるわけですが、そんなことより最初にもってくる方が良いのではないかと割り切った考え方で、物理の内容を機械とか熱機関だとか、また電気は抽象的な概念が多いから発電機ぐらいにしめて、それから現代物理の話は原子炉をもってき、光では色ぐらいをテーマにしめて、そしてその中で物理のことばを通してものを考える習慣を作る土台にしたら良いのではないかと。

唯それだけでは話はいきませんので、もう一つは13・4才ぐらいの若いときにガッチリとニュートン力学を仕込みますと、もう20才ぐらいでは堂々たる論文が書けるような生徒がわずかながらいらっしゃると思うのです。そういうと

ころはそういう教育をすれば良い。いいかえますと現代化ということはそもそも何かということですね。近代化というのは日本は明治時代に発達したが、あのときは何かある目標があって一つに統一するという考え方ですが、現代化というのは発散する考え方で、いわゆる多様性である。だからその中で生徒に何をアピールするとかいうことが先生方の各人各様の違った理解があってよい。唯、物理の概念を理解するやり方をすれば今の物理の問題は非常にうまく行くのではないかと。ただし今の教科書について一言申せば、あまりにも日常関係ないことがだいぶ触れられている。昔は物性、流体、それから電気のおームの法則までが入学試験の範囲であった。だから話題が日常経験をふんだものが多かった。

結局みんな忘れてしまうようなことに、こんなに若い青年のエネルギーをそそぐなんていうのは……、もっと他のものにそそぐ方が有効のような気がしてならない。このようなことで現在いろいろな反省がもたれるようになったということは子供のために幸せなことではないか。終戦後20年というものは子供にとって非常に悲惨な時代であったと思うのです。

話は横みちにそれでしたが、先程の少ない生徒でもガッチリとニュートン力学等を教えたらいいということを考える理由というのは学生科学賞というのを拝見したことがあるのですが、高等学校のクラブ活動のところで本当におどろくような仕事がたくさんでている。もちろん、それは先生方がご指導なさることですが、適当な指導者の方がいらっしゃれば高校生でも相当

なことができるということです。高等学校の物理で習ったことを上手に使いまして我々が知らないような問題も非常にうまく解答しているということにぶつかって、私がさきほど申しましたように15・6才あたりであれば何かやれそうな気がしてしょうがない。そういうことばかりをやっていると大学の入学試験には受からないのだという話を聞かされてがっかりするわけですが、しかしそういうような方がいらっしやるのですから、これまで申しましたように特殊な方はそういう勉強をした方がよいのではないかと、一般の方は、九十何パーセントの方はもう少し実用的な役に立つようなものを勉強した方がよいのではないかと割り切って考えているわけです。」

なお、この研究協議における提言者及び助言者は次の諸先生である。

提言者

札幌工業高校

函館東高校

小樽潮陵高校

滝川第3小学校

野幌高校

釧路工業高校

登別高校

浜益高校

羽幌高校

北星学園余市高校

助言者

室蘭工業大学

教育大学旭川

池田斌修

北村 剛

岡本秀夫

齊藤硯三

中川礼次

山崎玄二

寺尾隆雄

坂田義成

中橋輝昭

一戸弘利

佐伯豫一

諸橋清一

第2回研究会

第2回研究会で行われた原著講演は全部で5編である。

講演1

「ばね振り子の指導について」と題する浜益高校の坂田義成先生の研究発表は、高等学校物理Iにおける単振動の指導において、ばね振り子の実験を次のように活用しているというものである。

あらかじめ生徒にはばね振り子の運動にニュートンの第二法則を適用して振り子の周期を与える式を導き出させ、その検証を実験を通して行わせるという形をとっている。つまり、フックの法則について、おもりの質量 m 及びそれに応ずるばねの伸びの長さ x を実測させてばね定数 k を算出させ、これとおもりの質量から周期を計算させておく。つぎに振り子を実際に単振動させたときの振動周期をストップウォッチで測定して、これと m 及び k による計算値と比較検討させる、という方法である。

発表者は、生徒は学習意欲や能力について必ずしも満足されるものではなく、したがって単振動の部分は非常に理解の困難な単元の一つである、としながらも、この単元は力学の基本法則がいかに普遍的に成り立っているかを検証する教材としては格好のものである、とし、そこで単振動の周期を与える式を天下り式に生徒に押しつけるということとはせず、その誘導の過程に多くの時間をかけ、実験で検証することにより力学の基本法則の普遍妥当性と理論の正しさを生徒に体得させたいと結んでいる。

講演 2

「棒状弾性体の衝突」と題する北海道工業大学の三好康雅先生の研究は、2個の質点どうしが衝突した場合の各々の速さは運動量及びエネルギー-保存則によって完全に決定されるが、しかし、それらが弾性体で衝突後に弾性波が物体内に残存していれば、見かけ上エネルギー-保存則は成り立たないのではないか。例えば衝突する棒Aと、これと同じ材質と太さでこれよりも長い衝突される棒Bとについて考えれば、衝突前にAの内部にあった進行方向を向いている速度波が衝突と同時にBに侵入し、そしてその反射波がAにもどってくる前にA、B接触面が離れるので、はじめA内にあった速度波はBに取り残され、結局Bはある速さで運動をはじめるとAは静止したままになるのではないか、というものである。発表者の実験結果によると、Aは静止はしないが、しかしエネルギー-保存則から与えられるAの速度よりもはるかに小さな値をとったということであり、これに対する理論的考察やさらに発展した実験についても紹介された。

講演 3

「回折、干渉現象における光源の効果」と題する北大応用電気研究所の鹿内るみ子、藤居仁、朝倉利光諸先生により研究は次の通りである。

回折、干渉現象を観測する際に、とかくそれらのパターンと光源との相関が軽視され、期待したパターンが見られないと観測そのものの失敗にされてしまう場合が少なくないのではないかと前おきして、熱的光源からの光は継続時間が短く光源の各点から放出される波連の位相

がランダムであるため、それらの光波による回折、干渉現象は容易に認識されない。問題は光を放出する光源であって、光源の大きさを変えると放出される光のコヒーレンス状態が変わり、それによる回折や干渉の現象が異なるとして生ずる回折、干渉パターンも変わることになる、としている。発表者は、光源の大きさの回折パターンに及ぼす効果について、スライドを用いて様々な具体例をとり上げて報告した。

講演 4

「客観テストの学習評価、指導への応用 — 物理教育の場合 —」と題する北大工学部の北村正直先生による研究発表の概要は次の通りである。

客観テストが今日の日本の小中高生、大学生の学力低下の元凶と見られているばかりでなく、若い世代の二者択一的な単純な思考の生みの親と見なされているのは、果して妥当な評価であろうか、と前提し、客観テストが学生・生徒の到達度を見る唯一の手段とか、最良の方法であるといわないにしても、数題だけの従来のテストよりも、数十題のよく準備された客観テストの方が学生・生徒のachievementの測定と、その結果の学習指導の資料とするという二つの大切な目的を持っている。また忘れてならないのは、テストは学生・生徒の学習評価ばかりでなく、教師の教育方法や態度の評価をも与えるものであり、いずれにしても客観テストはまだまだ開発の余地のある教育の手段である、と主張されている。講演では実際にテストに用いられた問題について具体的検討が加えられ、将来はoptical mark sheet reader と電子計算機によるテ

スト結果の処理を考えている、と結んでいる。

講演5

「高校物理教育課程に関する二、三の批判的考察」と題する藻岩高校の山田大隆先生による研究発表は、現行の高校における教育課程が昭和48年に実施されるに先だって、昭和45～46年の先導的試行期に、科学研究協議会をはじめとして多くの教育課程内容に関する理論的検討がなされたが、現在教育現場においては、教育課程の質的内容から帰因するとみられる問題点が、現場教師の修正的努力を越えて現われつつある、と説明し、それには、1. 新課程で強調された探究学習未定着の問題、2. 教材の非系統性、過度に高度な程度上の不適當性に基ずくと考えられる教授上の教え難さ、概念定着率の低下、非能率性の問題、3. 中学高校関連上の問題、を提起されている。講演では、先導的試行期と現在の教育課程における検討を概観し、その比較を通してこれら諸問題の原因を考察し、改善の方向を定めたいとしている。

本研究会は以上の原著講演の後科学教育映画会が催されたが、その内容を次にあげておく。

なおフィルムは共にNECの好意によるものである。

1. 「新しい光 レーザー 基礎編」
カラー・スライド
2. 「レーザー」 16mm カラー

報告 石上形幸

学会ニュース

○第19回北海道高等学校理科研究大会

1 期日 昭和51年7月下旬

2 場所 室蘭市

○北海道工業高等学校理科研究大会

(期日 場所 同上)

○北海道高等学校教育研究大会

1 期日 昭和52年1月

2 場所 札幌市 (北大工学部予定)

○応用物理学会北海道支部学術講演会

1 期日 昭和52年2月5日(土)

2 場所 北海道大学

昭和50年度支部研究会の記録

○第1回研究会 昭和50年8月9日(土)

北大工学部

(1) 研究発表

① やじろべえの振動周期

北海道立理科教育センター 佐藤 功

同 河合一也

② 交流記録タイマーの打点解析について

標茶町立中茶安別中学校 岩崎陽一

北海道立理科教育センター 秋山敏弘

③ 抄録作成に関する基準について

北海道教育庁振興部参事室 奈良英夫

(2) 研究協議「新課程の物理教科書をめぐって」

司会 北海道教育庁振興部 奈良英夫

北海道立理科教育センター 秋山敏弘

○第2回研究会 昭和50年12月6日(土)

北大工学部

(1) 研究発表

① ばね振の子の指導について

浜益高校 坂田義成

② 棒状弾性体の衝突

北海道工業大学 三好康雅

③ 回折、干渉現象における光源の効果

北大応用電気研究所 鹿内るみ子

藤居 仁

朝倉利光

④ 客観テストの学習評価、指導への応用

— 物理学教育の場合 —

北大工学部 北村正直

「物理教育研究」(日本物理教育学会北海道支部会誌)

投稿規定

1. 内容

支部会員からの自由投稿及び編集部への依頼にもとづく寄稿によるものとし、内容は論説、研究、解説、報告等物理教育に関するものなら自由です。

2. 執筆の要領

(1) 原稿の標準字数

支部所定の原稿用紙を使用するものとし、1編の標準の長さは、表題のスペースを除くと図版スペースも含めて約7000字分(原稿用紙5枚)に相当致します。

(2) 原稿用紙の書き方

- 所定原稿用紙(横書き)1枚につき1ページに相当致します。最初の1枚目は上から8行あけ、論文題目と勤務先、所属機関及び著者名を書いて下さい。
- 引用文献は通し番号¹⁾、²⁾などを付した上、一括して論文の末尾に著者名、誌名、巻、ページ等を示して下さい。
- 脚注は本文中に^{*}、^{**}等の印をつけ、そのページの下に横線を引いた下に書いて下さい。

(3) 図版・写真・表

- 図版については、著者の製図したものを直接写真製版しますので、印刷仕上りの大きさ(横幅6cmまたは13cmのいずれか、たての長さは20cm以下なら自由)で白ケント紙、トレーシングペーパーまたは青色方眼紙に、必ず黒インクで書いて下さい。なお、原稿用紙には各図版に相当する字数分(6cm×5cmで200字、13cm×5cmで400字とする)だから余白をとり、その部分に図版を貼付して下さい。
- 写真についても図版に準じ、できるだけコントラストのよいものを添えて下さい。
- 表については、簡単なものは本文原稿中に直接書きこんで下さい。複雑な線を含むものなどはそのまま製版しますので、図版に準じて下さい。

3. その他

- (1) 校正の際のために、原稿の控えを必ずお手許に保存しておいて下さい。
- (2) 別刷については投稿の際にお申し出下さい。
- (3) 本誌は毎年1回2月に発行の予定です。
- (4) 投稿及び原稿用紙の申し込み、ならびに会誌編集に関する連絡先は、下記宛にお願い致します。

(060) 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学工学部工業力学第2講座内

日本物理教育学会北海道支部総務 吉田静男

電話(011)711-2111(内線6724,6725)

昭和51年 4 月 1 日印刷

昭和51年 4 月 1 5日発行

日本物理教育学会北海道支部 第4号

編集責任者 諸 橋 清 一

発 行 札幌市北区北12条西8丁目

北海道大学工学部内

日本物理教育学会北海道支部

印 刷 所 北真孔版(札幌市東区北16条東16丁目)

学図の教科書

学校図書株式会社

本 社 東京都品川区北品川1-1-14
電 話 (03) 472-2811
東北支社 青森市安方2-16-14和光ビル
電 話 (0177) 22-6432

理科機器はマリス

東京前川科学株式会社

札幌市西区24軒3条1丁目3番地
TEL 札幌 011 代表 641-2583
☎ 063



売れに売れています Spectra-Physics社だけのSPEC!

BeOチューブだから……このspec. をあなたに!

- 日経エレクトロニクス1974年8-26号に紹介された画期的なNew He-Neレーザー
- 環境湿度 0~100%
- オペレーティングライフ 20,000時間
- 出力1~2mW調節可変Type
- 入力 90~130V

Electronical Tuneのつかいやすさと

超精密single-frequencyをあなたに

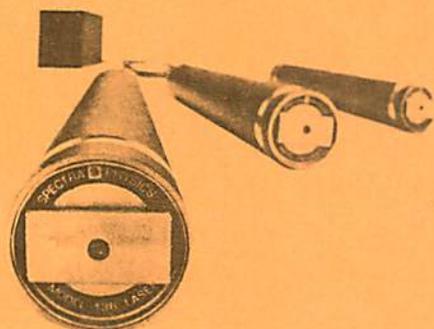
●お問い合わせ、資料ご請求は下記、量子機器部レーザー課まで。

日本総代理店 **MARUBUN Corporation**

丸文株式会社

本社 ●東京都中央区日本橋大伝馬町2-1-1
電話03-662-8151(大代表) 〒103

代理店
株式会社 北海道クリアパルス
〒065 札幌市北区北11条西4丁目 チサンビル
TEL (011) 741-8235



MODEL 136

科学とともに100年

教育をとおして未来をつくる

島津理化器械株式会社

道内代行販売店

(株)コンドウサイエンス	札幌市中央区南16条西5丁目	521-6132
北 教 資 材 社	小樽市花園5-7-8	22-0589
(有) 橘 商 事	帯広市西7条南11丁目12	4-3372
(株) 近 藤 商 会	函館市西桔梗町589	49-3311

理化学器械で社会に貢献する



実験台・ドラフトチャンバー・汎用理化学機器

Yamato

ヤマト科学株式会社

共通摺合器具・分析機器・環境測定器



柴田化学器械工業株式会社

高感度記録計・pH計・電導度計・温度滴定装置

TOA

東亜電液工業株式会社

テフロンダイヤフラム・ベローズポンプ・ケミカルポンプ



株式会社 **イワキ**

サーミスター温度計・調節計・サーミスター風速計



株式会社 **芝浦電子製作所**



津元理化産業株式会社

札幌市東区北6条東2丁目札幌総合卸センター

TEL 直通 (011) 711-4171 〒060-91

大代表 (011) 721-1161 内線 365-7

テレックス 933-290

苫小牧営業所 苫小牧市末広町1丁目11番地

TEL (0144) 34-5585 〒053