

応用物理学研究連絡委員会報告

「大学における工学基礎としての物理学教育のあり方について」

—— 帰納的物理学教育の提唱 ——

平成6年4月26日

日本学術会議

応用物理学研究連絡委員会

この報告は、第15期日本学術会議応用物理学研究連絡委員会の審議結果を取りまとめて発表するものである。

委員長 菅野 卓雄（日本学術会議第5部会員、東洋大学工学部教授）

幹事 木村 達也（日本電信電話株式会社基礎研究所長）

委員 一岡 芳樹（大阪大学工学部教授）

大頭 仁（早稲田大学理工学部教授）

金持 徹（神戸大学工学部教授）

川久保達之（桐蔭学園横浜大学工学部教授）

金原 粲（東京大学工学部教授）

杉崎 昭生（東京商船大学商船学部教授）

曾根 敏夫（東北大学電気通信研究所教授）

辻内 順平（東京工業大学名誉教授）

馬場 護郎（株式会社村上色彩技術研究所技術顧問）

堀越 源一（筑波技術短期大学教授）

三浦 甫（静岡理工科大学知能情報科教授）

三石 明善（龍谷大学理工学部教授）

目 次

まえがき

- (1) 高校生の物理履修上の問題点
- (2) 大学初級における物理学教育の問題点
- (3) 工学基礎としての物理学関連分野に対する学界ならびに産業界からの要請
- (4) 新しい視点に立った工学基礎としての物理学教育
- (5) むすび

- 付録
- i 高等学校理科教育の現状に関するデータ
 - ii 応用物理学会等会員構成の動向
 - iii 大学初年級物理学についての新しい発想
 - iv 工学基礎としての物理学教育における課題と施策

まえがき

工学基礎としての物理学は我が国では従来しばしば応用物理学と称されてきた。この応用物理学という学問分野が工学の中で認知され始めたのは戦後の近々50年足らず前のことである。字義通りに解釈すれば応用物理とは確立された物理学の原理を工学に適用するということになるが、我が国の応用物理学は生い立ちからやや違った性格を持っていた。即ち、大学・国立研究所・企業等の研究者が現場で遭遇する現象や問題…その多くは十分原理が判っていない問題であるが…を持ち寄って根本に遡って検討し合い、解決の糸口を見出すという性格を持つ研究グループが1932年に発足し、それが発展して法人としての応用物理学会が1946年に設立された。発足当初の精神は今も引き継がれ、日本の応用物理学は材料や計測等を中心とする科学技術の広い問題を受け入れる包容力を持っているのが特徴である。

このような性格は産業において新たな技術展開が行なわれるときに重要な役割を果たす。例えば、1970年から1992年に至る応用物理学会会員数の推移(図1)を見ると、各省庁における研究補助事業、ならびに産業界における半導体集積回路、オプトエレクトロニクス等の技術の新しい展開と期を一にして1980年辺りから会員数が急激に上昇したのが判る。そこでは半導体物理、結晶成長技術、微細加工技術、プロセス評価技術等の広範な知識と技術の結集が必要とされた。それに伴い、企業から学会への参加も増加し、企業所属の会員が応用物理学会に占める割合(図2)は1981年の49.6%から10年後には63.5%へと大幅に増加した。

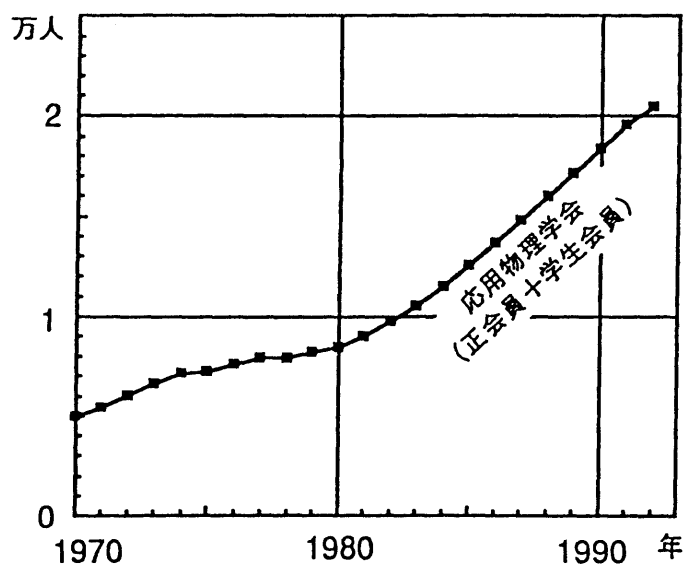


図1 応用物理学会会員数の年度推移(応用物理学会事務局資料による)

産業界における新しい基盤技術の展開は時として伝統的な産業組織体(例えば、電気工学、機械工学、応用化学等の関連産業)をはみ出して横に連携し、それまでどこにもなかった組織体を生み出すプロセスを必要とする。応用物理学関連学会は材料や計測等を中心とする科学技術に関するそのようなプロセスの媒体として、今後も益々重要性を増して行くであろう。今後新しい先端領域として展開する可能性のある分野は沢山あるが、その中二、三の例を挙げるとナノエレクトロニクス素子、分子認識センサ、マイクロ

アクチュエータ等先端デバイスを目指す研究開発がある。しかしこれらの領域においてもその前途に平坦な道が敷かれている訳ではなく、根本に遡って原理から考えて行かなければならない問題が山積し、従来の物理・化学・生物・電気・機械といった伝統的な学問領域の中だけで解決できない問題が多いことは明らかである。

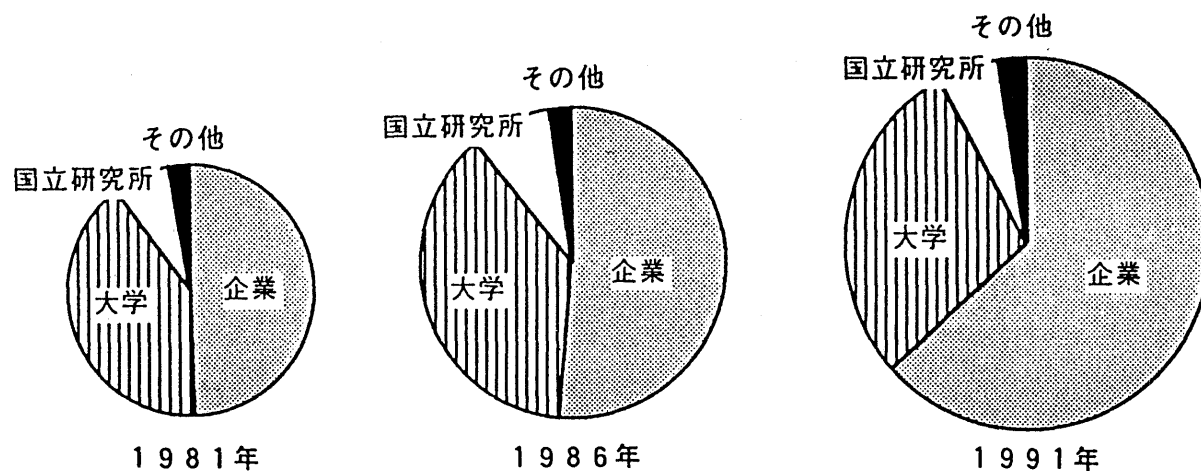


図2 応用物理学会会員の所属分布。グラフの面積は会員数に比例して表示
(応用物理学会事務局資料による)

このような先端科学技術の新しい動向に対して、今後それを担って行く次世代の若者に期待しなければならないが、翻ってその教育の現場を見ると幾多の問題が存在するのが実情である。先ず大学における工学基礎としての物理学教育である。我が国は明治以来総合大学の中にも工学部を設置し、多くのホワイトカラーの技術者を養成してきたが、これは第二次世界大戦後の新制大学にも引き継がれ、今日の工業技術の発展の原動力となっている(注1)。そこでは工学部に進む学生に対しても一般教育としての物理の教育が物理学を専門とする教員によってなされ、工学の基礎教育としての一翼を十分に担って来た。しかし、近年工学も転換期を迎えその領域が細分化され、各々独自の先端的問題を抱えるに至り、これ迄の物理教育に対して中味の上でも教育方法の上でも若干不十分さを感じる面が見えて来た。つまり工学の各分野がそれぞれ新たな「物理学」を必要とする段階に入ったのである。

そもそも歴史的に見て物理学は自然現象だけを対象にしてその原理を形成してきた訳ではない。ワットの蒸気機関発明後、その効率を原理的に最大どこまで増加させることができるかという問題を究明する過

(注1) 有馬 郎人 「科学と技術のあいだ」 文芸春秋1993年3月号213～221頁、

菅野卓雄 「工学の日本的特性」IDE-現代の高等教育 No.331 1992年1月号15～20頁

程で熱力学の第二法則が確立されたし、溶鉱炉の中の温度を知る手段を探る過程でプランクの輻射理論が形成されたのである。工学の各分野が抱えている問題について根本に遡ってブレークスルーを見出すことができる人材の養成、それには生の現象を見据えて仮説を立て、洞察し、原理を抽出する能力をトレーニングする教育が重要である。工学はむしろその後が続くものとしてあらゆる技術を駆使してシステムとしての物を作り上げる作業を必要とするが、前半の部分は物理学教育が役割を果たす部分であろう。そのような意味で工学の基礎としての物理学を考えるならば、今迄とは若干発想を異にしたカリキュラム、即ち現象から出発して原理に到達する過程を強調する帰納的物理学教育に編成しなおす必要があると思われる

しかし大学における物理学教育とは別に、昨今それ以上に由々しき問題が発生している。大学生の理工系離れ、高校生の物理嫌い、小・中学生の自然に対する好奇心の喪失等の憂慮すべき事態がそれである。それらの実情を調べ問題点の所在を考察すると共に、新しい視点に立った工学基礎としての物理学教育のあり方について提唱すること、これが本応用物理学研究連絡委員会がこの報告書を作成した理由である。

(1) 高校生の物理履修者と理工系志望者の動向

(1-1) 高校における物理教育の問題点

科学技術重視、高度情報社会、技術立国等が我が国の拠り所とされ、それなりの発展を遂げて久しいが近年科学技術の成熟に伴ってそのブラックボックス化が進み、若者の理工系離れ、科学技術者不足が心配されるようになった。科学技術庁の調査報告書（1991年9月、1992年9月）によれば、1987年から1989年の間に文系諸学部への進学志願者が増加した一方で、工学部・理学部への志願者は10～15%減少したことが述べられており、偏差値重視で進路を決める最近の風潮を考え合わせると、これは単に数の減少に留まらず質の低下にもつながるおそれ大きい。さらに同報告書では2005年には約40万人の研究者・技術者が不足することになっている。

理工系離れの大きな原因として

- ・高等学校の理科の履修方法、受験教育、大学の入学試験に問題があり自然科学への関心を阻害している
 - ・理工系の教育、および職業としての科学技術が3K（汚い、きつい、暗い）と見做され、功利的社会風潮から敬遠される
- 等が考えられる。いずれにしても理科教育、とりわけ物理教育が若者を引き付ける十分な魅力をもたなくなったことに原因があるといえる。

高校における理科教育は1948年以後7～12年の間隔で都合6回の指導要綱の改訂がなされ、この間物理の履修率は1963～72年の93%をピークとして、1982～93年には35%にまで低下した（表1）。特にこの1982年の改訂後の物理履修率の著しい低下には注目する必要がある。そこでは、理科を総合的に学習するという理念が盛り込まれ、科学に対する広い視野を育成するという点で時代を先取りする方策であったとも云えるが、従来物理・化学・生物・地学について縦割りの教育を行ってきた現場

で十分対応ができたか否か、あるいは生徒の精神的成熟度に整合していたか否か疑問がある。

表1 高校における理科履修と物理履修率の変遷

期間 / 特徴	科目名 / 最低取得単位数	単位数 (単位)	授業時間数 (時間 / 週)	物理履修率
1948 ~ 55 生活理科	物理・化学・生物・地学 1科目5単位	5	5	<u>85%</u>
1956 ~ 62	物理3・化学3・生物3・地学3 物理5・化学5・生物5・地学5 2科目6単位	3 5	3 5	<u>75%</u>
1963 ~ 72 系統理科	物理A・化学A 物理B・ 化学B・生物・地学 4科目	3 5 4	3 5 4	<u>93%</u>
1973 ~ 81 系統理科	基礎理科 または 物理I・化学I・生物I・地学I 物理II・化学II・生物II・地学II 基礎理科または2科目6単位	6 3 3	6 3 3	<u>85%</u>
1982 ~ 93 綜合理科	理科I 理科II・ 物理・化学・生物・地学I 理科Iを含む6単位	4 2 4	4 2 4	<u>35%</u>
1994 ~ 綜合理科	綜合理科 物理IB・化学IB・生物IB・地学IB 物理IA・化学IA・生物IA・地学IA 物理II・化学II・生物II・地学II 2科目6単位	4 4 2 2	4 4 2 2	?

物理学は自然現象からその原理を抽出し体系化することを骨子とする学問であり、高校レベルの教育では現実の現象との関連から出発して、その面白さを理解させることが肝心である。出来上がった体系をただ鵜呑みにさせようとするならば、これくらい無味乾燥な学問はない。その意味で高校の物理教員に対しては、物理の知識・教育技能の点でかなりの能力が要求される。ところが履修者の減少に伴い他教科を専門とする教員が物理を兼担する場合が増え、生徒が授業を理解し難く興味の喪失につながっているとも指摘されている(表2)。指導力のある物理教員の養成が不十分であることに加えて、これまで産業界の旺盛な人材需要、限られた教員採用枠、遅い採用決定時期等の悪条件によって物理教員に人材が集まらなかった。これらが物理履修率の低下をきたし、悪循環をおこしている原因の一つと考えられる。

表2 高等学校の物理教員が抱える問題点と解決策

	現状での問題点	問題解決のために
教員採用時の問題	▽教育学部よりも理学部出身者が多く、物理も専門的なことには詳しいが、教育という面で指導案の作成や発問、評価法などについての技能は十分とはいえない ▽逆に、教育学部系の人は物理の専門性に関して十分とはいえない ▽大学4年間の講座や実習で、現場の学校で勤まる物理教師としての力量を身に付けるのは困難	◇教員養成の在り方を見直し指導力のある教師を大学で養成 ◇学会で物理教師養成のカリキュラムを作成 ◇現職研修の在り方を見直し教材開発や指導法を実践的に研究
基礎的実験技能の問題	▽基礎的な実験技能の欠如 例えば、エレクトロニクス回路の半田付けテスト・オシロスコープ等の基本的測定器の使用、教具の工夫・製作、パソコンの活用(ハード、BASIC言語の理解)等の技能が不足	◇物理教材のデータベースを作成し、どの先生も簡単に利用できるようにする
物理選択履修生徒減少の問題	▽物理選択履修者が減少し、他の理科教科も担当する教師も少なくなり、物理教育に関する知識や技能に振り分ける時間も減少	

物理教育 38 卷 3 号 257-258 頁 (1990) による

1994年から実施される改訂では高校の種類・内容の多様化に対応して理科が非常に細分化され、選択の可能性が増えることになっており、この変更は更に物理の履修率を低下させるおそれがある。このような多様化のなかで、物理の十分な基礎知識を持ち、その面白さをアピールできるような教員の養成が緊急に必要であると思われる。

打算的・功利的な高学歴社会ともいえる現在の社会風潮や進学塾任せの教育も理科嫌い・物理嫌いを助長しているように思われる。子供達が理科や数学を嫌いになるのは小学校高学年から始まり、中学生になってその傾向が一気に進むといわれる。高校における対策のみに留まらず、小・中学生時代から自然と親しみ理解しようとする努力を大切にすると共に、中学・高校を通じて一貫した授業内容の流れをもつ物理教育の導入、物理を専門とする教師の増員等の重要な問題を解決することにより、生徒の興味を受け止め深める物理教育が可能となる。

自然現象を系統的に理解し論理的に思考することにより統一的な原理を見出し、その結果として応用が派生し、更にその応用の中から新しい現象が見出されるという物理学の醍醐味を広く世の中の人々に知って貰うことが重要である。単に応用が大切だからではなく、物を率直に見て分析・単純化し、論理的思考により普遍則を抽出・定量化するという自然科学の考え方は人類共通の財産であり、その意味で中学の理科を始めとして理系・文系を問わず高校・大学でできるだけ多くの人々に物理を履修して欲しいと願うものである。

(1-2) 大学入学試験における問題点

もう一つの原因として、大学の入学試験における物理の問題が過度に高度化し、高校の物理教育に歪みをもたらし物理嫌いを増加させたとの指摘がある。極く最近の大学入試センター試験ではこれに対する配慮がなされ始めたと思われられるが、各大学が個別に行う入学試験については未だに問題が多い。この入学試験に当たっては「大学入試センター試験は易しいからそれより難しい問題を出さなければならない」という感覚を捨てて、難易度より考え方や理解度を把握し受験生の将来性が判定できる問題を中心に出题することが重要である。入学試験の出題、解答形式を工夫することにより物理を暗記物・計算物とすることなく、系統立った思考と定量化を重視する本来の高校物理教育が行なえるよう配慮する必要がある。具体的には、入試問題の構想がある程度固まってから高校の教科書や指導要綱を参照して問題を具体化するのではなく、予め教科書・指導要綱を頭にいれて高校で物理の基本内容を「何処迄理解して欲しいか」を考えてから「何を出題するか」という順序で考え、出題者の意図・採点の基準を明確にすることによって入試問題が改善できると思われる。

現在の入試問題では、採点の省略化を図るあまり、○×式で答を要求したり、いくつかの選択肢を設けてその中から一つを選ばせたりする傾向が強かった。しかし、これでは受験生の持っている潜在的能力や固有の優れた能力を見いだすことはむづかしく、単に受験技術を見るにとどまってしまうおそれがある。真に能力のあるものを選択試験で選ぶには、記述式的答案を一人の試験官が時間をかけて吟味し、その結果で決めるべきである。省力化に走るあまり、若い世代の将来を左右する重要な岐路において選抜の労力を惜しんではないのではないかとと思われる。

このような努力を通じて高校において「物の理(ことわり)」を教えるという本来の目的に沿った授業を行うことができ、物理的思考の面白さが高校生にも体験して貰えるものとする。

(2) 大学初年級における物理学教育の問題点

戦前の大学及び専門学校進学者は小学校卒業生の2%強であったのに対して、現在では大学及び専門学校への進学率は50%に達し、同世代人口比で約20倍に増加した。このような大学の大衆化に伴い、

- ・学生の多様性が増し、大学の教育内容がこれに対応しきれなくなった
- ・科学技術の進歩により大学が唯一の知識生産の場ではなくなると共に、経済活動の高度化、科学知識の細分化・トランスボーダー化、生涯学習の要望等により大学への要求が多様化してきた
- ・大学卒業による社会的・経済的メリットが薄れてきた

等の条件の変化が生じている。これまで教育の機会均等の目標の下に画一的な教育を行ってきた大学教育のあり方に改善が求められている。

大学初年級における物理学教育は専門教育を意識した教育でなければならない。法則や公式の紹介、知識の詰め込みに終わることなく、関わっている現実の現象や理論の背景等を理解させ、学生の興味を高めることが重要である。物理学の性格上数学との関連が強いので物理学教育と数学教育の整合をとるか、あるいは関連する数学の手法を必要に応じて盛り込みつつ物理学の講義を行なう必要がある。更に、論理的思考と基礎的手法を身に付ける為に演習と実験を充実することが重要である。

このうち、実験については考え直すべきところが多い。時代遅れの測定機器を用いて予め決まった課題を決まった手順で行ない、定式化したレポートを作成する「実験」ではなく、自分の手で実際に確かめることにより、体験的・発見的に物理現象を観察し理解を深め、その結果としてある結論に達するという本来の目的に沿った実験が切望される。演習の充実も望まれる。

物理系に進学する学生に対しては、論理的に体系化された物理学の講義、演習、実験を通じて基本的概念の形成と論理的思考の訓練をはかる。教育の考え方は従来と大きく変える必然性はないにしても、教育の内容には大幅な近代化が必要である。更に通常の講義と並んで僅かの時間でもよいから現在第一線の研究者が行なっている研究の話や最先端の研究現場の見学ができれば、現在の科学技術に関する展望を持つ手掛かりとなり学生の興味は一層刺激される。

情報系に進学する学生に対しても初年級教育の物理学は必要である。一般教養として、専門の基礎知識として、ないしは物理学の方法論が情報系においても役に立つという意見が多い。情報系の研究開発に従事している研究者約100名に対するアンケート結果(図3)によれば、教養の物理学に対する必要性の認識は高いものの、その期待は半分位しか満たされていない。自然の法則性、論理的な方法論、具体的問題との関連性等を中心とした講義が望まれている。

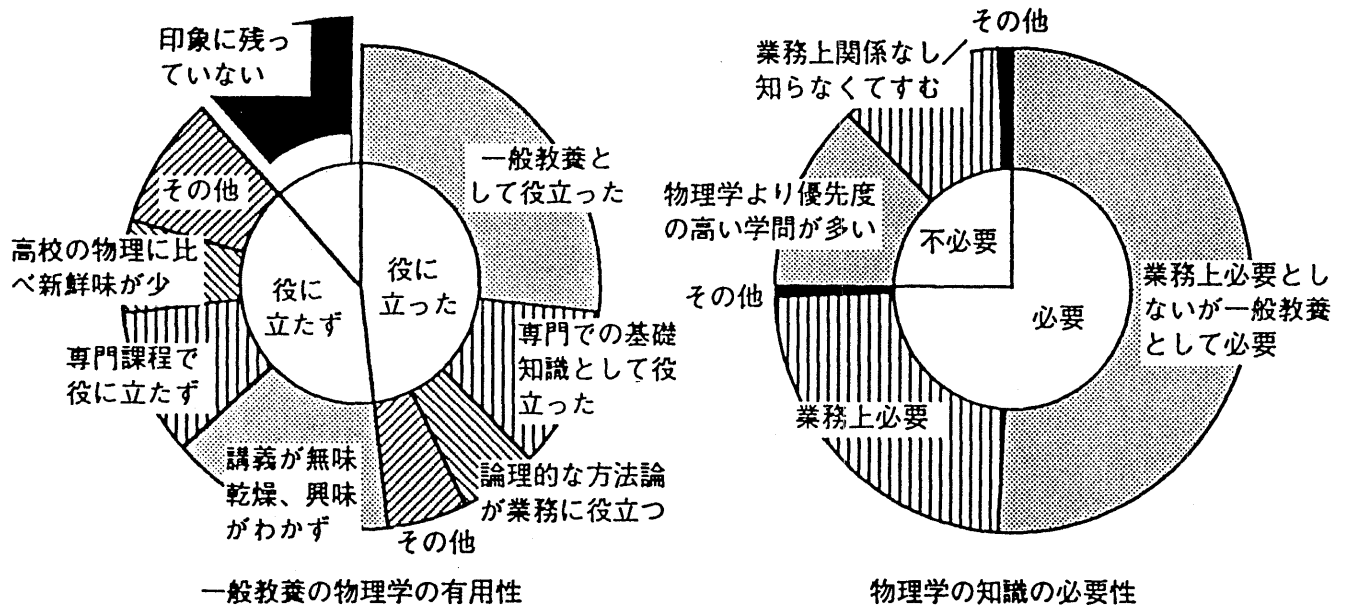


図3 情報系研究者に対する一般教養物理学の有用性（左）と物理学の知識の必要性（右）
 （日本物理学会誌 48 巻 4 号 290 ~ 292 頁 1993 年）

文系学生に対しても工学教育の重要性が提起されているが、文系学生に対する物理学には上記と異なった配慮が必要である。高校生の物理離れの大きな原因は文系進学希望者が物理を敬遠するためとの指摘もあり、それが事実とすれば大学の初年級における物理学は彼らの大部分が物理にアクセスする最後の機会となる。将来これらの学生の中から小中学生の理科教育、科学技術に関する世論形成、文教政策の決定等に携わる人材が生まれるのである。数式アレルギーによる拒否反応に留意したうえで物理学の方法論と現代科学技術の展望に触れてもらう機会を積極的に設け、物理学を始めとする自然科学思想の意義、自然科学の歴史的発展、現在の研究最前線、日常生活空間における身近な物理現象等を興味深く学んで貰うことが重要である。

研究と教育の二面性をもつ大学の教員にとって、初年級の物理学教育の講義内容は一般に自分の研究上の関心事と大きく異なる場合が多い。単なる片手間仕事ではなく初年級教育の意義を理解して熱意を持って教育に当たることが望まれる。

(3) 工学基礎としての応用物理学関連分野に対する学界ならびに産業界からの要請

1993年春の応用物理学関係連合講演会で発表された 4,000件以上の講演の中で大学及び国公立研究機関の研究者によるものが 48.5 %、民間企業の研究者によるものが 40.5 %、両者の共同研究が 11 %であった。従って民間企業の研究者が関係している研究が半数強を占めていることになる。分科別では、シリコンおよびシリコン以外の半導体関係の発表が全講演の約 1/4 (1,000 件強) を占め、このうち民間企業が 51.8 %、共同研究を含めると 62 %となる。このほかビーム応用、結晶成長、薄膜・表面、光エレクトロニクス等の半導体関連分野を含めると民間企業の寄与は更に大きくなる。学会会員の面から見ると、応用物理学会所属会員の約 7 割弱が企業に属している (1990 年度の会員名簿より推定、付録 ii)。

即ち、LSI、オプトエレクトロニクス等の先端科学技術産業に対して応用物理学会および関連学会が重要な役目を果たして来たことが判る。

上記のデータは、現在の企業活動を支えるのに如何に多くの高度な研究開発活動が必要かを示しているそれと同時に、「物理学」を標榜する応用物理学会でこれらが発表されていることは、研究開発が単なる改良や製造技術にとどまらず現象面の本質に遡った究明が望まれていること、および「応用物理学」が単なる物理学の知識の適用にとどまらず先端科学技術に密着してその中で生じる新たな物理現象の究明に活躍していることを如実に物語っている。

産業界から教育界に対する要請は優秀な科学者・技術者を多数供給することである。より具体的にいえば、数学、物理学を中心とする基礎物理学、英会話を中心とする語学、コンピュータプログラミング（今風の「読み、書き、算盤」）の訓練を受け、自ら問題点を見出し、本質を見極める能力を持ち、好奇心が強く、更に望むらくはプレゼンテーションに長けた人材を多数育てて欲しい、ということになる。

学界からの要請を一口でいえば独創性の高い研究者の養成である。上記の「好奇心が強く自ら問題点を見出し、その本質を見極める能力」を持つという資質に加えて、自らの評価基準を持つと同時に異質な価値観を容認するという、これまで我が国で少ないとされてきた考え方を醸成してゆく必要がある。

一方大学においては 30 歳代前半の若手研究者が少ないという人材上の深刻な問題点を抱えており、若手の補充がないままに高齢化が進む傾向が見られる。この傾向は企業との研究上のインタフェースが大きい工学基礎分野においてより深刻であり、工学基礎としての物理学教育の改善・大学の研究環境の充実と並んで、授業料免除・奨学金の拡充等による能力の高い理工系学生の確保が強く望まれる。

最近の新入社員を企業側から見ると、常識的事項に対する対応は早い現実の問題に直面すると弱さが見られ、真面目であるにも拘わらず基礎的事項の修得に物足りなさが見られる。一般に自分の持っている基礎知識を十分に活用し切っておらず、物事に興味や感激を示すことが少ない。

大学を卒業して出会う対象は大学で学んだ範囲を越えることが多く「学校で習ったことは実社会では役立たない」といわれがちであり、最近の高度な科学技術では益々その傾向が強い。しかし、複雑な現象・理論も基礎的な原理・現象から組み立てられ、それを理解する基礎学問の一つが物理学である。最近の科学技術の進歩が余りにも早いため、大学の基礎物理学教育との間にギャップができていように見受けられる。学界や産業界が大学の物理学教育に対して期待するところは狭い分野の専門知識よりはむしろ、新しい現象に対して感激を覚える好奇心と、現在の科学技術の最先端の問題に対して基礎的な物理学の立場からアタックできる素養を身に付けさせることである。

それには完成された物理学の原理が先あって、それをいろいろな現象に適用して見せるという演繹的な手法ではなく、生の現象からどうやって原理が導かれたかという帰納的なプロセスを辿って見せることによって、直観、推測、仮説の設定、洞察、技術力、実行力といった創造性に関わる能力を育てると云う、従来の技術者教育とはやや違った発想が必要と思われる。

(4) 新しい視点に立った工学基礎としての物理学教育

従来工学部の多くの学科では物理学を完成された学問と見なし、工学はそれを応用する学問と考える傾向が強かった。このため大学初年級の物理学は理学部出身者の多い教養部教育がこれを担当し、理学部物理学科へ進む学生と同じような正統的な物理学の体系を教える教育方法がとられてきた。これは基礎的素養を持つ工学部出身者を大量に生み出し、戦後の日本の産業技術をレベルアップする上で大きな役割を果たしたとあってよい。しかし、1980年代の後半あたりから多くの工学の分野が転換期を迎え、全く新しい発想に基づく技術の展開を目指し始めた。そこには既成のお手本がある訳ではなく、未知の原理を組み立てることから始めなければならない。そのような向こう岸の見えない問題にチャレンジする能力を育てる教育として工学基礎である物理学教育を再編成すべき時代が来ているように思われる。

これは何も最先端の内容を低学年の教育に盛り込むことではない。物理学はその歴史を辿ってみると、現実の現象からいろいろ試行錯誤を繰り返しながら、回り道をして原理に達した例が少なくない。しかし、これ迄の物理学教育では余分なものは全て削ぎ落とし、きれいに体系化された骨格だけを教える傾向があった。「基礎の原理さえしっかり理解していれば、後は何にでも使える」、これがこれ迄の物理学教育の理念の根幹であった。一方、これからの工学の基礎としての物理学教育では混沌としたものから原理や法則を見出すような過程に関心とチャレンジ精神をもつ能力を育てることがより重要になるであろう。その意味で物理学の完成された形での原理を理解させるよりも、それが形成された歴史的な経過を説く方が教訓的ではないかと考える。

このような理念に基づいた教育では具体的に次のようなことが要請される。

- ・質点の力学から始めるという従来の物理学教育のしきたりにこだわらない
- ・観察による身近な現象の把握や論理的思考が大切であり、講義に加えて実験・演習を充実し、工学の基本である「ものを作る」ことを体験させる
- ・カリキュラム上の順序の不整合（例えば、マクスウェルの方程式を学ぶ前に電磁波の伝搬が出てきたり、解析力学をとばして量子力学を学ぶ）は多少あっても、基礎的重要事項は重複して繰り返して教える
- ・事象と一般則との関係が経験的に把握できるように、発想過程を示す実例を多く織り込む
- ・最新の自然科学や工学の知識を動員してカリキュラムを構成し、学生がマスコミ等から得る断片的な知識によって抱いている関心にも応える
- ・頻繁に教育内容を点検し、陳腐化した事項を除去して内容を精選する
- ・物質に根ざす科学技術はマイクロな世界の追求へと進みつつあるが、これと並行して、今後は生体・人間・環境等のマクロな世界を扱う方向にも進むと考えられるので、科学技術の全体像を展望できるような講義を行なう。

以上のような多様な性格を持つカリキュラムを新たに構築することは、特に物理学が論理の積み上げを身上とする学問だけに、かなり難しい問題である。この問題に関して、アメリカで試みられている大学入門物理プロジェクト（IUPP）の試行状況に関する解説の要約を付録 iii に紹介する。このような工学基礎としての新しい物理学教育の重要性を認識する必要がある。そのカリキュラムの具体的内容については本応用物理学研究連絡委員会で詳細に検討した訳ではなく、次期（第 16 期）研究連絡委員会の検討に

委ねることとしたい。

むすび

本報告では、将来の科学技術を背負うべき理・工学部志願者の減少、いわゆる理工系離れの原因を考察し、高校の理科教育、大学入試の問題点を指摘した。更に、大学初年級における物理学教育の問題点を踏まえて、応用物理学関連分野における学界並びに産業界からの従来と同様の期待にこれからも応えて行く為に、日常、自然や身の回りで経験する現象から出発して法則や原理を組み上げるプロセスを体験させるような新しい視点に立った物理学教育の必要性を提言した。しかし、その具体的なカリキュラムの設定に関しては次期の委員会に委ねたい。

最後に本委員会で話題として討議した諸々の検討課題と対応策を要約して付録 iv に示す。これから判るように教育の問題はこれ迄の歴史的経緯、最近の社会的風潮や入学試験を含む教育制度等が複雑に絡み合って現在の状況を招来しているものと考えられる。従ってこれらを一挙に解決する万能の対策は考えにくく、付録 iv に示したような多方面からの施策を総合して解決をはかって行かなければならない。

特に云えることは、単に大学における物理学だけでなく中学・高校・大学を通じて一貫性のある理科教育・物理学教育を行なうことが重要であり、この為には応用物理学研究連絡委員会に所属する関連学協会を始めとして物理学に関係の深い学会がこの問題に真剣にとり組むことが重要である。

以上

表 i-1 高等学校物理履修者の減少

期間	履修率* α	備考
1963 ~ 72	91 ~ 93%	物理Aと物理Bの和、1969 ~ 1972 の4年間の平均
1973 ~ 81	82 ~ 87%	物理I のみ、1977 ~ 1980 の4年間の平均
1982 ~ 93	35 %	選択物理のみ、1986 ~ 1989 の4年間の平均

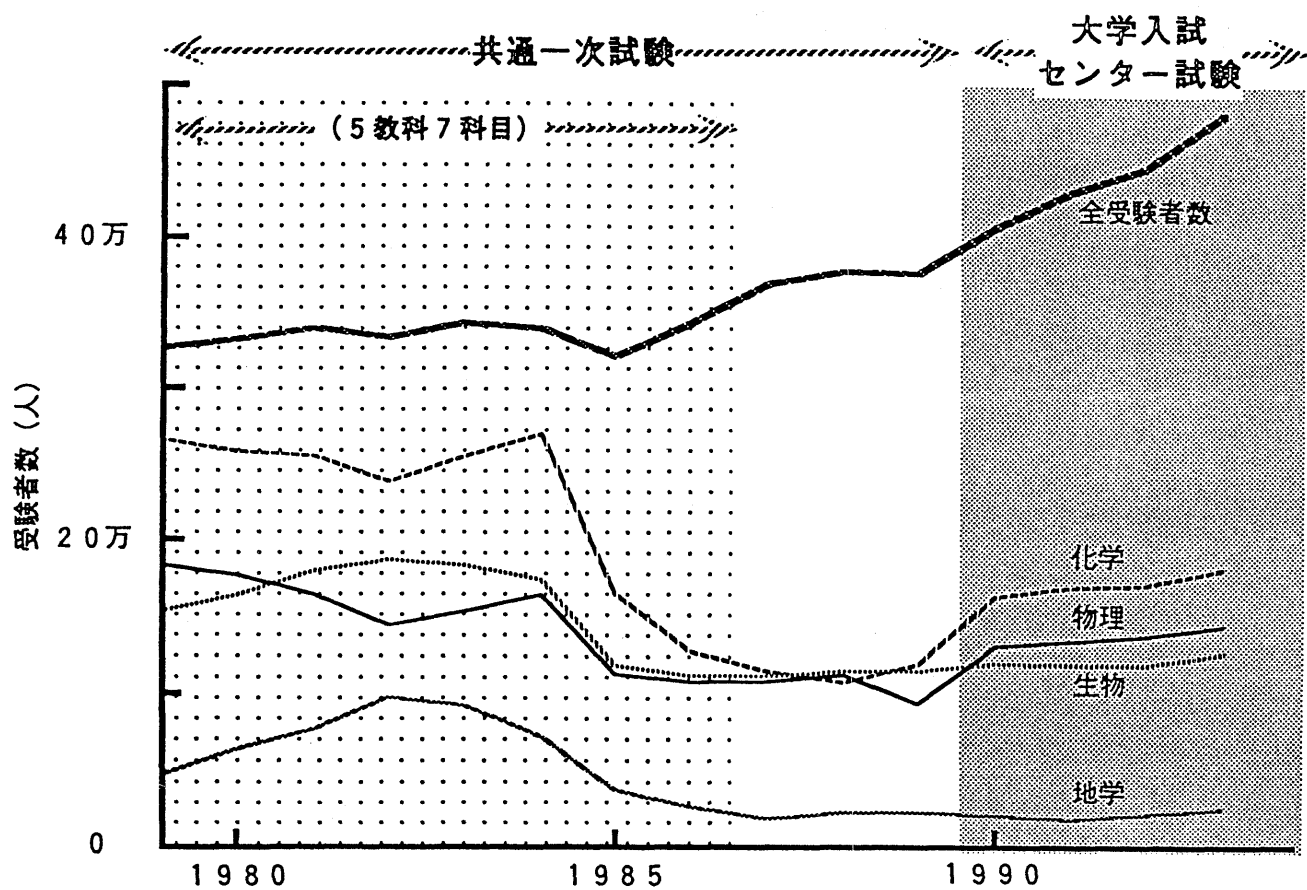
物理教育 38 卷 3 号 (1990) による

*履修率 $\alpha = (\text{教科書需要数}) / (\text{高校生徒の } 1/3)$

表 i-2 高等学校理科履修状況

	物理	化学	生物	地学
◇ 1983 ~ 1992 の教科書 需要から推定*	22.5 ~ 24.0 %	38.8 ~ 39.8%	32.4 ~ 37.3%	7.4 ~ 8.4 %
◇ 1993 年度大学入試セン ター試験受験者の割合	29.9 %	37.3 %	26.5 %	5.3 %

*全員履修の理科 I との比から推定



図i-1 共通一次試験及び大学入試センター試験 …受験者数の推移…

付録ii 応用物理学会等会員構成の動向

応用物理学関連学会の現状を把握するためには、これらの学会がどのような会員から構成されているのか、またそれがどのように変化しているのか、といったことを知るのも重要なことの一つであると思われる。ここでは、学会の現状を把握するための基礎情報の一つである会員動向を、会員数が多い応用物理学会を例にとって調べた。

調査方法は次の通りである。1972、1978、1984、1990年度版応用物理学会会員名簿より20%（5頁毎に1頁分）の会員を選び、出身学科、所属機関、年齢構成を調査した。出身学科は名簿の最終学歴欄記載の学科名をもとに、物理系・電気系・化学系・機械系・その他の5つの系に分類した。所属機関は名簿記載の勤務先をもとに、大学（大学・短大・高専）・研究所（国公立研究機関）・企業・その他の4つに分類した。会員の年齢は名簿記載の大学卒業年から推定した。会員数及び発表講演件数は応用物理学会事務局の調査資料に拠っている。

◇会員総数及び講演会発表件数の推移

応用物理学会会員数の年度別推移（図 ii-1）に於て会員数の増加率に注目すると、1972年から1992年迄の20年の期間は次の3つに分けられる：

- ・ 1972年～1974年 第1次急増期…増加率約 560人/年
- ・ 1975年～1982年 微増期… 約 280人/年
- ・ 1983年～1992年 第2次急増期… 約 1,000人/年

一方、応用物理学会講演会の年間講演件数（図 ii-2）の増加率は、1978年度頃以前（125件/年）に比べて1978年度頃以後（440件/年）は約3.5倍の高い増加率を示し、1992年度になって始めて前年度比が減少した。更に、会員1名当りの講演件数もやはり1978年度頃から急増し、1983年度には1978年度の1.4倍強に達した。

◇会員年齢分布の推移

年齢分布推移の調査結果（図 ii-3）によれば、会員急増期の1972年度及び1984年度では24～25歳の若い会員の割合が高いのに対して、会員数微増期の1978年度では若年層の占める割合が低い。なお、1984年度に見られる29～30歳の谷は1978年度に少なかった若年層に対応しており、1972年度における35～39歳の谷は1978年度、1984年度にも反映しているが、1990年度にはかなり修正されている。

年齢分布推移をより詳しく知る為に、引き続き2回の調査の分布を（調査間隔6年だけずらせて）差をとることにより、各年令層での会員数の出入りを求めた。その結果、1972～1978、1978～1984、1984～1990年度間の何れにおいても30歳以下の若い会員数が増加しており、特に1978年度以降は若い会員の増加が著しい。1972～1978年度間では増加したのは33歳以下だけであったのに対して、1984～1990年度間では48歳以下全てにわたって増加している。これは第2次急増期には既に他学会に所属していた人がかなり応用物理学会にも入会したことを物語っている。

◇出身学科別構成比率の推移

出身学科別の年度推移（図 ii-4）によれば、1972年度には物理系が過半数を占めていたが年毎にその割合が減少し、電気系と化学系が増加してきた。特に化学系の増加が著しく、1984年度約1,200名が1990年度には約2.4倍の2,890名となった。この間の物理系増加率約1.6倍、電気系増加率約1.5倍を考慮すると、化学系の急増ぶりが判る。以上、会員構成の推移から見ると応用物理学会は当初の物理系出身者中心から会員構成が物理系・電気系・化学系と多様化してきたことが判る。

◇所属機関別構成比率の推移

所属機関別（図 ii-5）で見ると、1972年度には企業は大学より僅かに多い程度で、何れもほぼ40%程度を占めていた。しかしその後企業が年々増加し、1990年度には66%に達した。一方大学は全会員数の1/4程度に減少し、量的には会員の過半数を企業が占めるに至った。この傾向は会員数だけでなく、講演会の発表件数も同様であると思われる。因に、1993年春の応用物理学関係連合講演会で発表された4,000件を越す発表の内、大学・研究所が48.5%、企業が40.8%、両者の共同発表が11%であった。

次に所属機関別年齢分布を調べる。大学所属の会員年齢分布（図 ii-6）より、1972年には30歳前後がかなりの部分を占めていたが、その後はこれら若手研究者が補充されないまま高齢化に向かって推移していることが判る。この特徴は日本物理学会の調査結果（日本物理学会誌46巻793頁、1991）とも一致する。一方企業所属の会員年齢分布（図 ii-7）は4回のどの調査時点でも若手研究者層が厚く、活性度の高い年齢構成になっている。

以上例として調査した応用物理学会では会員構成の多様化・研究の学際化が進み、産業界との結び付きが緊密になってきたことが伺える。これは他の応用物理学関連学会にも共通するものと考えられる。

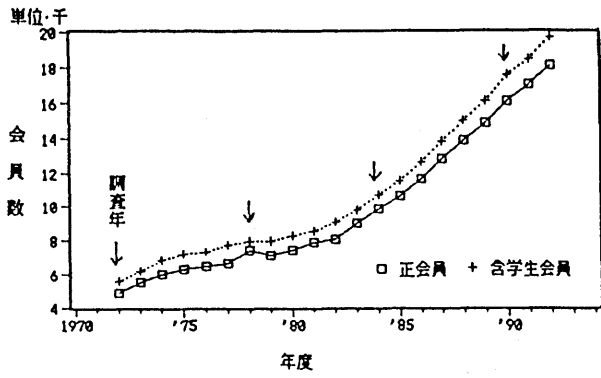


図 ii-1 応用物理学学会会員数の推移

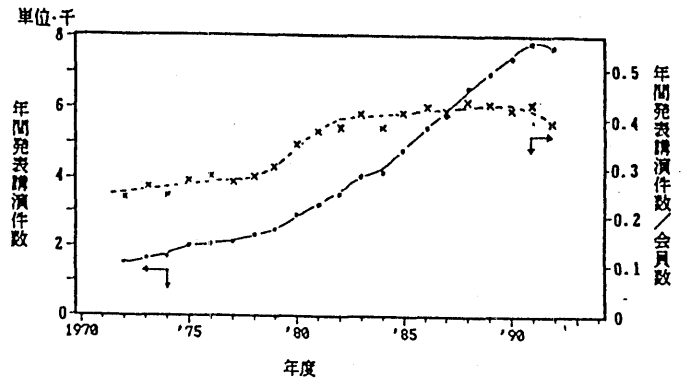


図 ii-2 応用物理学学会講演会における年間総発表件数と会員1名当りの発表件数の推移

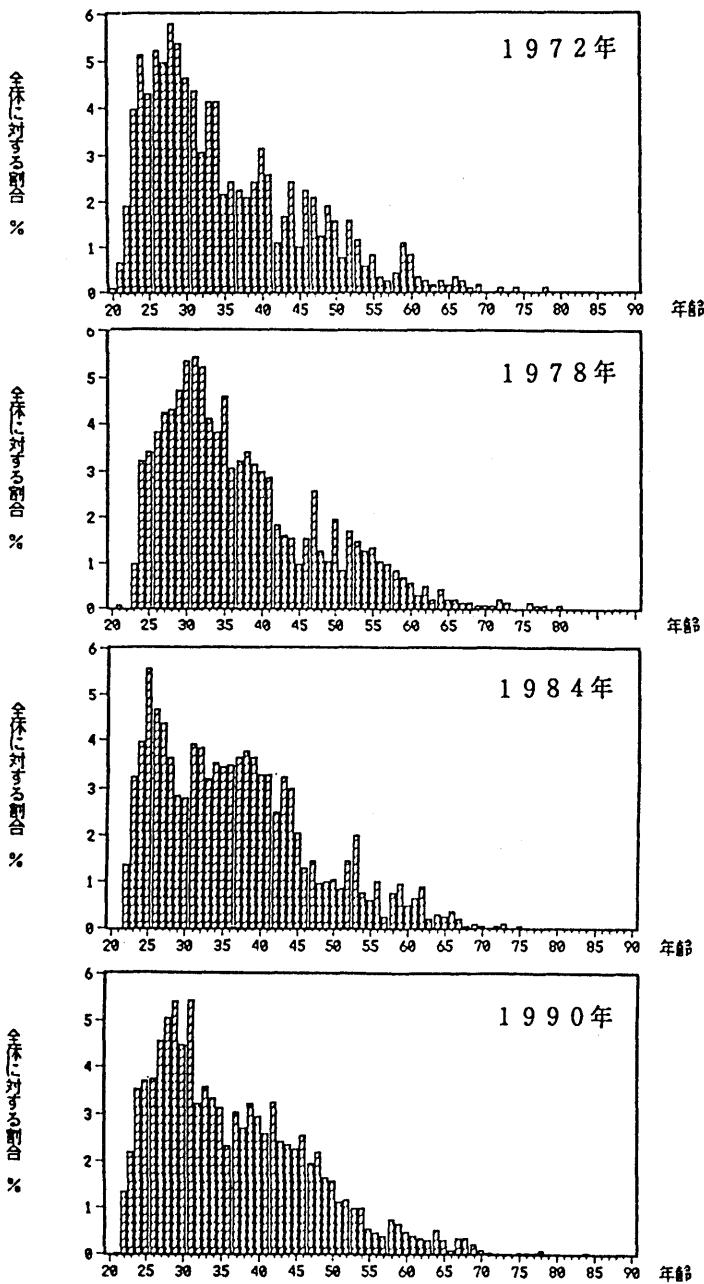


図 ii-3 応用物理学学会会員の年齢分布の推移

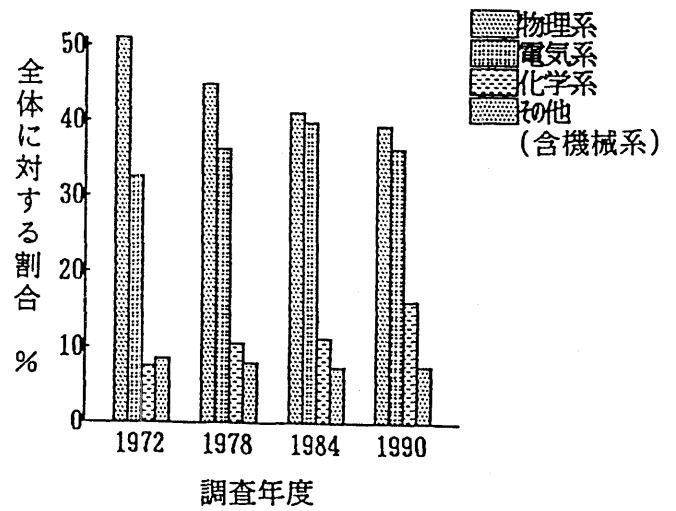


図 ii-4 応用物理学学会会員の出身学科別構成比率の推移

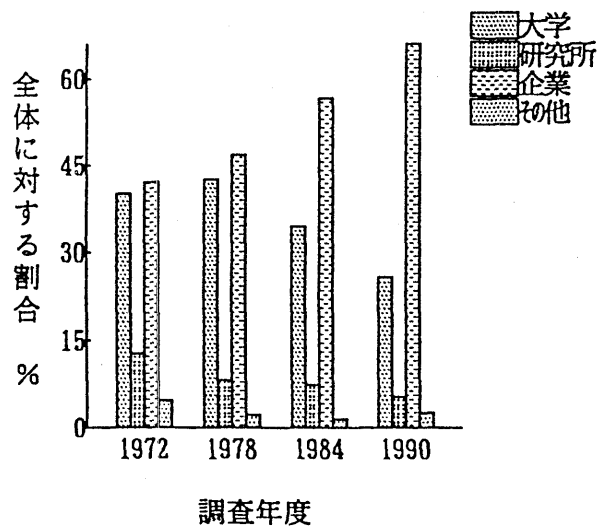


図 ii-5 応用物理学学会会員の所属機関別構成比率の推移

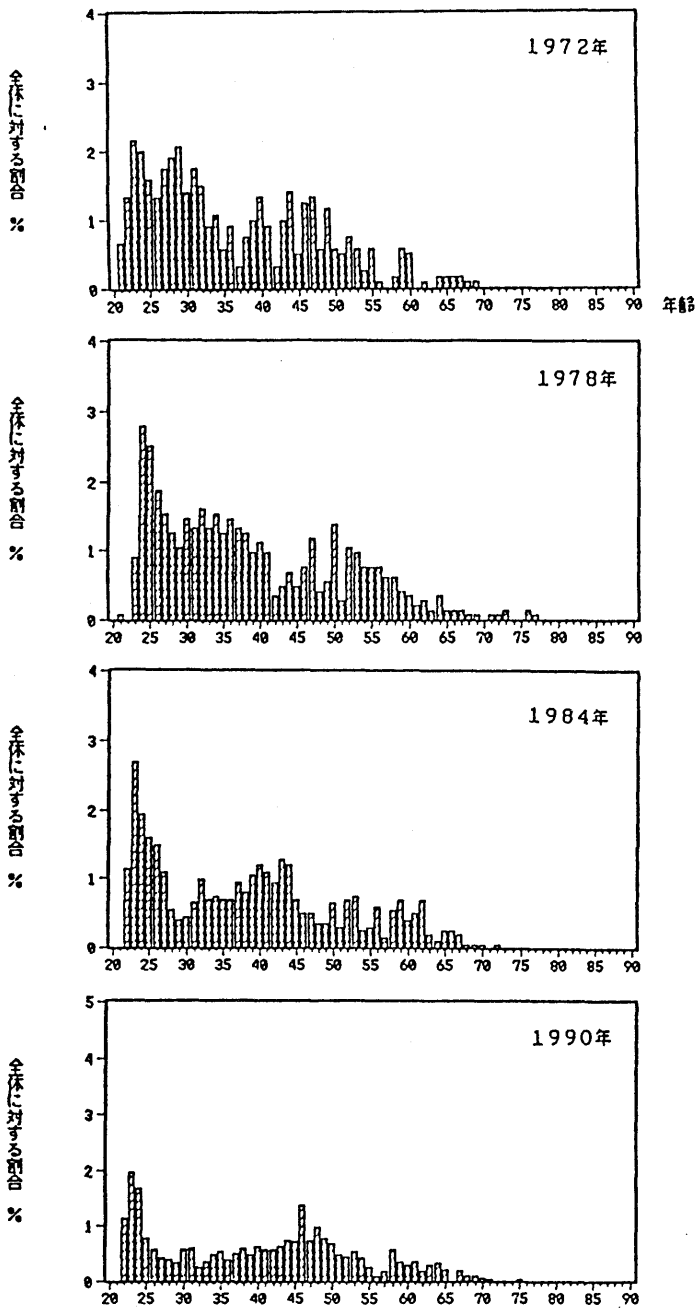


図 ii-6 大学所属会員の年齢分布の推移

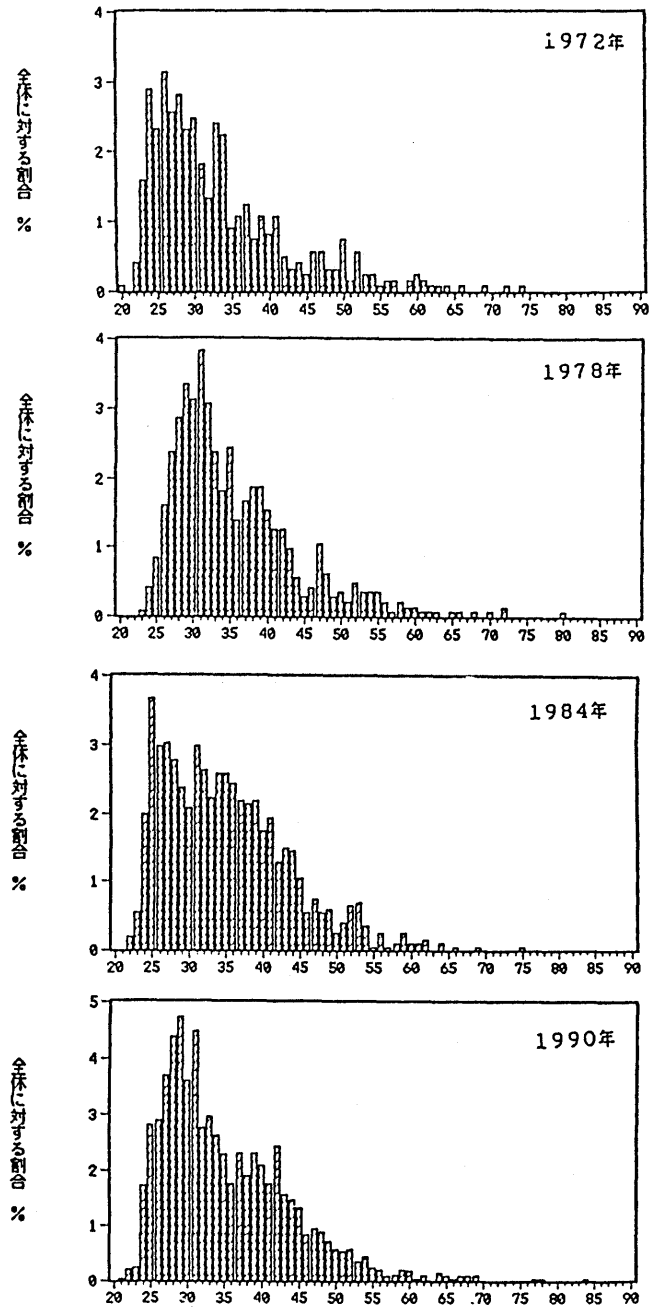


図 ii-7 企業所属会員の年齢分布の推移

◇米国に於ける大学入門物理プロジェクト (Introductory University Physics Project; IUPP) (注2)

- ・微積分に基づく入門物理コースのための新しい形式の教科内容と授業方法を作りだす全米的な取り組みが、American Association of Physics Teachers (AAPT) と American Physical Society (APS) が共同で提案され、National Science Foundation (NSF) の援助の下に 1987 年 8 月より検討が開始されている
- ・作業原理： 1) 現状に比べ全コースの内容を削減する
2) コースの内容に統一性を持たせる…主題を形成する話題は一つのストーリーで関連させる
3) 最新物理学を内容の重要部分とする
4) 入門コースの対象とする学生全員 (工学系専攻学生の大部分を含む) のニーズを満たす
- ・1989 ~ 90 年に 4 つのコースモデルを検討・選定し、それぞれを 1991 ~ 92 年度に 4 校、1992 ~ 93 年度に 8 校の実験校で試行。

コースモデル	1991 ~ 92 実験校	1992 ~ 93 実験
1) 「物理学を形づくる 6つのアイディア」	ミネソタ大学	スミスカレッジ アムハーストカレッジ
2) 「入門物理への粒子的アプローチ」	バージニア工科大学	バージニア工科大 サウスウエストミズリー 州立大学
3) 「構造と相互作用」	米国陸軍士官学校	米国陸軍士官学校 チューレン大学
4) 「文脈の中の物理」	ジョージア工科大学	ジョージア工科大学 カリフォルニア州立大学 フューラートンカレッジ

コースモデル 1 「物理学を形づくる 6つのアイディア」

- 物理法則は普遍的である： 外力に反応して動く一個の粒子の運動学と力学
地球上の物理と天体物理とのニュートンによる統合
- 相互作用は保存則によって制約される： 相互作用する粒子
運動量の保存則・エネルギー保存則・角運動量保存則
- ある量は相対的だが、法則は絶対的：空間-時間ダイアグラムと幾何学的な類推を重視した特殊相対論
- 場は動的だ： 電場と磁場、及びこれらの動的な振る舞いにおける相互関係
エネルギーを運ぶ進行する電磁場
- 物質は波のような性質を持つ： 進行波と定在波の導入、干渉と回折現象
光電効果と電子回折
量子力学の基本概念
- あるエネルギーの流れは不可逆だ： エントロピーの統計的解釈を強調し主として微視的観点から説明した熱力学

コースの内容、教科書的教材、教室・実験室での (協力的学習を強調した) 教育技術、(実験技術の構造的な発達を強調した) 実験的作業、コンピュータの使用等の新しい教育方法の導入も試行。

2) コースモデル 2 「入門物理への粒子的アプローチ」

単一の粒子または相互作用する粒子系としてモデル化できるような物理系に限定。

第 1学期：重力と静電的な力の並行的取り扱い； 相対論的な運動量とエネルギーの関係を導入、核物理に適用； 理想気体の分子モデル

第 2学期：粒子の波動的性質を並行して強調； 今日的话题を選択して提供

3) コースモデル 3 「構造と相互作用」

- 3つの主要な原理に基づく：

- a) 諸概念は可能ならば最初に実験室で導入
- b) 数学的なモデル化手法を明確に指導
- c) 自然における構造 (原子、銀河系、調和級数等) とそれらの相互作用が繰り返し表れるらせん型のストーリー

(注2) J. S. Rigden, D. F. Holcomb and R. DiStefano; "The introductory university physics project", Physics Today, vol. 46, no. 4, pp. 32-37, 1993 和訳「大学入門プロジェクト」バリテ48巻10号31-37頁(1993)

- 中心となる系統的アイディア： 調和構造と波動モデル、粒子モデル、力を総和 $\Sigma F = dp/dt$ としてモデル化、微視的動力学と巨視的観測量（統計力学）、ニュートン力学の限界と微視的構造（原子と核）、基本的な相互作用（微視的場）等を含む
 - 実験室で行なうグループ学習を奨励、概念をモデル化する手法を身につけるよう対話型で講義、最後に面接による口頭試問。
- 4) コースモデル 4 「文脈の中の物理」
- 物理学の話題を一連の具体的で興味深い「文脈」を辿ることにより教える。

話題	文脈
▽エネルギー、エネルギー変換と保存、熱力学、統計的概念への導入	・地球温暖化は何が原因か（5週）
▽ニュートン力学、重力、重力場	・運動している発射台である地球から、運動している標的である火星にどうして到達できるか（9週）
▽電磁気、波、光学	・稲妻と雷はどうして雷雲の中でつくられるか（8週）
▽量子物理	・1個の電子が同時に2つのスリットをどうして通り抜けることができるのか（6週）

- ・評価法： 標準コースとの比較
 - コースの前後で各1時間試験、学生の姿勢・目標・物理の基本知識を比較
 - 目立った活動や個人的反応を学生と教員が日誌に記録
 - 各学期に数日間訪問し、教室・実験室の授業を観察し、日誌に目を通し、学生や教員に面接
- ・これ迄の中間評価・分析：
 - 教材を寄せ集めて利用した為、学生の予習に支障があった。各モデル固有の目的に適合した問題集がなかった。これらの点はその後の努力で改善。
 - 実験室での学習は3～4人が一組になって行ない、終了前に教員の面接を受ける。学生はこのような機会を評価している。
 - コンピュータによる計算やシミュレーションを導入して可視化することは有用。
 - どのモデルコースも力学においては、標準コースに比べて改革の効果が高かった。電磁気は標準的授業とはほぼ同様であったり、（現代物理学に時間を取られて）「多すぎて早すぎる」授業となったため、あまり効果は上がらなかった。
 - モデルコースでは学生に対する学習に対する動機付けや現代科学技術に対する関心の点で、従来の標準コースと差異。
 - 1992～93年度の試行授業に関する意見がまとまる迄は、評価に関して慎重な姿勢を取る。