本年4月、第123回総会における討議の中で（学術の動向1巻2号14頁）、人材の育成の関連してイスラエルにおける新しい共同研修の試みをパルナス博士方式として紹介したところ、その内容について会員等から問い合わせを受けた。このユニークな方式の発案者であり、強力な推進者であるパルナス博士（図1）に要請したところ、本誌に寄稿されたので、ここに訳出して紹介する。700万人程度の人口で一国を建てて行くためには、科学者の確保に大変な努力が必要である。しかし、著者はそれ以上に人々が享受すべき文化の一部としての科学の重要性を強調している。既存の学校教育を土台として、それを助け、充実させ、教師の資質の向上をも狙っている。これまで、二度にわたってエルサレムのベルモンテセンターを訪問したが、いつも清潔でよく整備された実験室とパルナス教授の熱意に感心した。人口は圧倒的に大きな我が国でも、真に独創的、創造的な科学者を養成するためには、高等学校の段階におけるこのような集中的な科学教育の必要性が痛感される。（伊藤正男）。

科学教育の新機軸 —21世紀を目指す中高等学校の科学教育—

イスラエル、エルサレム、ヘブライ大学理学部
Itzhak Parnas
Tzahy Milgrom
Shmuel Tzitzronblat

始めに

この論説は、学校における物理、化学、生物の学習に対するユニークな枠組を提案するものである。ある地域で得られる教育人材と財源を活用しながら、その地域の学校のために奉仕する実験センターを作ることを呼びかけるものである。エルサレムでそのようなセンターを4年間運営した結果、この案が実用試験に耐え、この間数千人の生徒とその教師がセンターの奉仕を受けたことに満足している。この最初の経験は、生徒たちが十分な装備を備えた近代的な、手入れの行き届いた実験室を使う機会があると、その設備とそれを

使った勉強に敬意を払うようになることを示している。生徒を洗練された高価な機器と学問的な考えの枠組みに向き合わせると、科学を学ぶことへの関心が高まるし、先生が実験室、装置や実験に関係する理論をよく知っていることで先生への生徒の尊敬も高まる。エルサレム科学センターは、科学技術教育委員会が掲げる「教育システムを通じて自然科学の学習を深化し改善する」という国の目標の実現に大きな貢献をしている。20世紀の中頃起こった科学の革命は科学の分野、特に生物学の進歩を大きく加速した。程度の高い科学の知識を高等学校の生徒や、一般の人々に伝

図1 パルナス教授

えるのは容易ではない。しかし、科学についての最低限の知識を持つことは、歴史、文学、音楽などと同様に人間の文化の一部になってしまった。科学の色々な分野は我々の日常生活全体の一部となり、科学知識が少数の人々の神秘的な栄光に止まる理由はもはやないのである。

学校における科学教育の現状

教育文化省のカリキュラムにより学校の科学教育が行なわれている。高等学校の2-3学年を教える教師は殆どが自然科学の学位をもつ大学卒業生であるが、多くは10年以上も前に大学の勉強を済ませており、科学研究の最近の発展や、最新の実験機器に接する機会をもったことがない。殆どの学校は実験のインフラ構造をもっていない。多くの学校には1960年代の考えに従って建てられた古い実験室構造しかない。新しい建物でも装置は最小

限で、進んだ機器は殆どない。その結果、イスラエルの大学入試に通るのに絶対必要でなければ、多くの教師は実験を控えるようになる。実験をしたとしても、低い水準で、最小限の条件でしか行なわれず、学んだ自然法則を近似する程度である。この問題の一つの解決は学校の実験室のインフラ構造に投資して、もっとも近代的な、進んだ装置を備えることであるが、我々の試算ではこれは一番不効率である。

学校の実験室の改築新築によることの問題点

高等学校2-3学年のクラスが十分に科学の勉強が出きるように、そして1学年の要求にも答えることができるように実験室を改築したり新築することが考えられる。加えて、装置は教師が実験を行うことを促すようなものでなくてはならない。しかし、この方向には幾つかの問題がある。装置は年間限られた

期間しか使われず、残りの期間は待機しており、極度に高くつく案と言わねばならない。保守は難しく、インフラ構造も得られない。しかも、このやり方では教師を科学研究の発展と平行して進歩させ、最新の機器に親しませるという趣旨は達せられない。このような投資は最大の効果をあげることはできず、装置を何年かごとに更新することも難しい。

学校の外での科学教育

もう一つの解決法として、高度の科学教育（入試の5単位）を学校から地域のセンターに移し、大学院の学位を持つ専門家に専門分野の教育を委ねることである。これらのセンターは最良の装置を備えていなければならない。高度学年で科学を勉強したい地域の生徒を比較的少数の教師で全部教育することができるとというのがこの方式の利点である。生徒は進んだ実験設備に触れることができるし、センターの装置を更新するだけですむ。

しかし、長期的に見てこの方式の不利な点は、少数の教師だけが2-3学年の高学年の科学教育に携わる点である。1学年には良い教師が得られないだろう。また、高学年の教職につこうとする若い人々にとっては失望だろう。高学年の教師は低学年の教育だけをすることを望まず、科学系でない生徒や、高等学校1学年あるいはそれ以下の低学年の生徒にとっては結局、科学教育の終焉ということになりかねない。学校の管理者がある分野に投資しようとするのは入試への準備上の必要性からである。ある分野を学校から除いてしまうと学校におけるその分野の先取権は低下し、ただでさえ低い最低限の投資もお終いになる恐れがある。生徒の入試準備は、教師、特に学位を持つ教師にとってはチャレンジである。もし高学年の生徒が学校から離れたセンターで最高の資格を持ち、かつ多分個人契

約により高い給料を受ける教師だけによって教育されるとすれば、学校の通常の教師は失望し、不満が高まるだろう。低学年を教えることこそが教育的なチャレンジであるにも関わらず、それに満足しないだろう。科学教育のキャリアーとしての魅力の低下は避けられず、潜在力を持つ教師がこの分野を放棄する危険が生ずる。少グループの生徒には有益であろうが、学校全体にとっては科学教育の荒廃が起こるだろう。

科学資源センターについて

ここで述べるのは、学校を科学教育のもっとも重要な基地として維持し、今ある教育人材を基盤とする方式である。地域的な実験センターを作り、そこに物理、化学、生物の最新装置を備える。このセンターの活動は、高等教育機関や研究所で常に集積され、更新されている研究と実験の知識を基盤とし、この知識を学校の教師に伝え、彼らを通して生徒に伝える。生徒は一年に数回、教師の計画に従ってセンターに来る。教師は前もって適切なセンター内部の訓練により知識を進歩させており、生徒を指導する。

このモデルには次の欠点がある。センターの活動のためには教師に最新の科学的発展、実験法、実験機器についての幅広い強力な訓練をしなければならない。しかし、この訓練が学校自身の科学教育を改善することは勿論である。また、数千の生徒が彼等の教師の指導のもとにクラスでセンターの設備を利用する複雑なスケジュールを作らなければならない。エルサレムの経験ではこれらの問題はあまり大きな困難なしに解決できる。色々な学校の教師の素晴らしい協力、彼らの学び成長しようとする意欲、科学の精神を生徒に伝え、この方法で科学を学ぼうとの願いが重要である。

この方式の利点は次のようである。科学志望の生徒だけでなく、すべての生徒に実施できる。非常に意義深い、理解しやすく、かつ複雑に進んだ装置を使って実験をすることができる。「すべての人に科学を」という原則を実行し、センターを作りそれを動かすための投資に対してずっと大きな見返りを得ることができる。

この方式は学校の既存の教育資源に基づくもので、教師はセンター内部の訓練によりそれぞれの分野で進歩を続け、知識を更新する。この訓練により教師は生徒に対し話題を提供して興味と学習意欲を刺激し、教師自身の職務とキャリアの上でも満足を得る。エルサレムのセンターはこの方式をとり、研究と実験方法について常に更新が必要な物理、化学、生物の3分野をカバーしている。毎年、新たなタレントが教師の群に加わるが、若い教師に最新の知識を与えるこの方式では、最初の年から十分な寄与をする機会が与えられる。

物理と化学に焦点をおくセンターでは、これらの分野で教師が不足しており、すぐにも行動する必要のあることを感ずるだろう。しかし、生物では、教師と生徒のいずれの側でも十分な活動をする広い基盤があることを経験が教えてくれる。

科学資源センターを計画するについての前提として注意しなければならないのは、

1. 高等学校の既存の教育人材を基にすること、
2. 主に予算的な理由で、教育システムは科学教育のスケジュールや割り当て時間を変えることが難しいこと、
3. 科学教育のために得られ、また将来得られると思われる基金は、多少増加するとしても僅かなものであることである。

大学との関係

化学、生物、物理の教師がいかに才能に恵まれていても、最近の発展の多くについて行くことは出来ない。一年のコースの内に教師にかかる大変な重荷のため彼らのそれぞれの分野で成長し続けることは難しい。いくつかの分野をマスターしたり、マスターした分野のすべての発展を追い掛けることは不可能である。

科学の知識が常に更新されている唯一の場所は研究所、高等教育機関、ハイテク産業である。中心的なアイデアはこれらの機関を科学知識を教師に伝えるための日常的な基盤とし、学校における教育の骨組みは変えないことである。この目標は学校の教師と高等教育機関での研究に従事する職員との間に日常的な自然な接触を作り出すことにより達成されるだろう。この接触は、夏の集中的なセンター内の訓練だけでなく、日常的に起こらなければならない。

教師の間に、成長し、彼らの分野の発展について行くとの積極的な願望を作り出すためには、彼らが獲得する知識を適用する道具を与えなければならない。現在のところ、教師は旧式な装置しかもたず、最新の知識を伝えることができないでいる。

エルサレムの科学資源センター

上記の問題を克服する効率的な方法として、エルサレムで発展させたモデルは中央実験室である。これらの実験室は、学校の正規の色々な科学のカリキュラム全体の一部としてサービスを提供する。高等教育機関と科学的、機能的な繋がりを保ち、その機関の指導を受ける。エルサレムのヘブライ大学、エルサレム教育委員会、エルサレム基金によるセンターの設立はいくつかの段階を経てなされたものである。

1. 計画の概略を広く規定し、市当局や大学の科学関係の部局と討論、
2. 教育文化省の科学顧問と討論し、色々な主題のついての一般的なカリキュラム上の必要性やエルサレムの学校の特別な要請と合致するよう、センターの概念的な構造、操作法、実験課題を発展させた。
3. エルサレムの高等学校の教師と、センターの使い方、実験課題、学校での学習コースとのすり合わせについて討論した。

その後で、ベルモンテ基金の援助を受けてエルサレムのヘブライ大学の構内に最新の装置を備え、エルサレムの高等学校に奉仕する世界で最も進んだ実験室の一つを建設した。最初の年は試行でフルには稼働しなかったが、この4年間にユダヤ系、モスLEM系、キリスト教系のすべての地区から数千の生徒がその設備を利用した。

方法論について

色々な分野の実験は大学の職員が計画した。トピックスは教師やエルサレムの学校システムの科学教育に携わる人々と協力して選んだ。多くの場合教師は教材を書き、読み、コメントを最後に編集するパートナーである。理論的なトピックスについて、教師達はその主題についての集中的なセンター内訓練参加して準備した。多くの教師が自由時間にセンターに来てシステムについて経験を積もうとし、実験室を使っている他のクラスを見学して自分の生徒のため準備した。この準備の後、クラスの先生は実験室実習を指導できるようになる。これは大変に重要な原理である。センターにおいて実験を指導することは生徒の目に映る教師の地位を特別なものにする。生徒達は、先生がクラスの通常の事柄だ

けでなく、この特別な優れた環境で学ぶ進んだ事柄においても権威であることを目の当たりにする。実験室の装置を使うと小グループでの実験ができる。装置は極度に優れているので、4時間の1コースでも印象的な結果を得ることができる。一日2交代、4時間(8-12時、1-5時)で装置をフルに使うことができる。

センターに集中している装置は2-3年で更新することができる。同じ装置を使って違う科目の主題を数多く教育することができる。装置は殆どが組み合わせ式になっており、実験室の技術補助者はクラスの必要や教師の要求に従って実施する実験を変えることができる。装置の構造のお陰で実験室を柔軟に使うことができる。教師の一人一人がクラスの学習コースと進歩に合わせて、実験の主題を計画することができる。

我々は、教師がその教育上の必要に適ったスケジュールで生徒と一緒に新しい実験をすることができることを一旦知ると、センター内の強化訓練に意欲的に参加するようになることを見出した。実験室が動いている間、センターの職員と教師の間には素晴らしい関係が成長する。教師がある主題について準備していて何か困難にぶつかったり、自身の学校で装置を手に入れたり、使ったりするとき、実験室の職員の所にやってくるようになる。

エルサレムの教師達とあらゆる種類の接触をして分ったのは、教師の水準が低いと言う屢々耳にする苦情は誤りであることである。適切な条件下では教師達はあらゆる面で最高の専門家であることを示した。

大事なことは、中央実験室は学校の基盤的な実験室の代りではないことである。むしろ、相補的で、豊にしあうものである。経験によれば、学校の実験室、教育人材を基にして、出きる限りこの分野を助け改善しようとする

ことだけが、このシステムの必要性に対する真の総合的な解決になる。人材の点でも装置の点でも、学校で行なわれていることを無視すれば、学校の科学教育の荒廃に導く。我々の願は、動機を与え、豊にすることで、気を挫けさせたり、不毛にすることではない。

イスラエルでは、生物と物理の入試に実験単位が含まれている。我々は、中央実験室での仕事を、その進んだ装置と生徒達が獲得した技術を利用して、入試に組み入れることが可能であると思っている。イスラエルでまず試みて、将来地方でも実施することを提案したい。

実験コースでのコンピュータの使用

近代的な科学実験では、出れば実験中に、結果を定量的に分析し科学的仮説との整合性を確立、確認することが必要である。今日ではコンピュータの発達のおかげで、実時間でコンピュータとの相互作用を必要とする実験を行うことができる。実験研究室にあるそのような知識を高等学校の科学コースに使うことができる。ベルモンテセンタでは生物、化学、物理に実験装置の一部として使えるコンピュータシステムを確立し発展させている。適切なプログラムをヘブライ大学のプログラマーの助けにより自家製で作った。将来はこれら IBM 互換性機、マッキントッシュのパーソナルコンピュータを使ったものよりもっと進んだコンピュータシステムを発展させるつもりである。才能のある生徒に利用できる進んだコンピュータシステムを作りたい。物理、化学、生物の勉強のためのソフトのパッケージが市場に出ており、中央実験室で使えるだろう。

大学との連携の利点

既に述べたように、研究所や高等教育機関

だけが科学の発展の先端を維持できる。大学は教師を助ける資源と人力のインフラ構造もっている。我々が提案する方法では中央化した構造が教師の代りをするのではなく、教師の助けることを強調したい。教師は大変な資源であると信じている。適切なセンター内訓練を受けて、彼らはどの国のどの学校でも科学の主題を進歩させ、教えることができるようになる。特別の専門について訓練された教育要員の小さなプールを育てる代りに、ベテランの教師と新人の教師が一緒になれば殆どの場合、高等教育に必要な指針を提供することができる。

卓越性の涵養と特別プログラム

ここまでは、すべての学校における、イスラエルのすべての生徒のための科学教育の改善について論じてきた。しかし、少数の人々を特に対象にして特別な投資をする努力もありうる。同じ中央実験室とその活動を利用して、科学クラブ、若い科学マニアのための実験室、科学キャンプなどを確立することができる。科学の5単位を学ぶ人々が教師のための夏のセンター内訓練コースに加わって実験室で小さな研究論文の仕事をすることもできる。

国家的規模における解決

もっとも基本的な問題は、エルサレムでヘブライ大学の後援により巧く行った解決法が Ofakim, Nativot, Um Al-Fahem 等のような高等教育機関や国の中央から遠い地域にも適用できるかということである。どのような解決法も、アラブ人、ユダヤ人を含むイスラエルの全人口のすべての層のためのものでなくてはならない。科学資源センターの考えは少し修正すれば国の何処にでも当てはまる。生徒の数、中央への距離、人口分布、先生の

質などにより、国を多くの領域に分けて考えるのである。

基本的な考え以上の主題の吟味やプログラムの国の全域への適合については、教育文化省や色々な地域の代表との共同で行わねばならない。生徒の数の少ない地域では、センターは中学校に奉仕し、大部分の装置はより簡単な実験のためのものになろう。

科学センターをおく地域の提案を地図に示してある(図2)。異なる地域の生徒数は同じではなく、地域の大きさを制限するのは生徒が移動する距離である。人口が疎らな地域では生徒一人当たりの費用は高くなる。そのような地域でも優れた教育を受けることができなければならない。

この全計画は3-4年以内に動きださだろう。毎年5カ所にセンターを作ることが望ましい。中央から遠い地域で、特別に努力を要するような生徒人口をもつ領域から始めることが大事である。最初の年には、Upper Galilee, Beersheba, Eilat, Nazareth area と Western Galilee に建設することが望ましい。

図2 科学資源センターの地域分布計画図