

総合討論を終えて

坂東 昌子

座長を務めた坂東です。川勝博さん（以下「さん」付で書かせていただきます）と2人で座長をしましたが、川勝さんにはパネラーのような役割を果たしていただきました。今回は締め切りが早く、時間が迫ってきたので、坂東がまとめさせていただきました。

総合討論での目標は、科学としての科学教育という視点から、今後の課題を明確にするということでした。したがって、ここでも何らかの結論を出すというより、さまざまな側面から現状を把握し、そこにある問題点、論点を提起し、今後の議論の素材にするということが大切だと思います。そこで、司会を務めた坂東の目から見たまとめをご紹介しますことにしたいと思います。

1. 教育の現状と学力国際比較

波多野講演と内村講演で、日本の学力の現状が報告され、国際的な学力比較での問題点が指摘されました。PISAの問題を見ても、単に〇×式の答えでなく、自ら考えるということを重視されているのが、国際的な動向です。それに対して、日本の子供たちの学力の欠点が浮き彫りにされたということです。また、国際的な先進的経験から学ぶ、という意図で、ご紹介いただいたフィンランドの事例は、数学教育を中心に、内容にまでわたって紹介され、学ぶところがありました。フィンランドでの教育が評価されている一方、大学教育でも企業との連携が蜜であると効いています。では、科学の frontline ではどうなのでしょう。科学と教育が車の両輪ということなら、科学地震のレベルもトップのはずです。その関係を探るために、フィンランドが国際的に誇る分野である超低温のリアルな姿を水崎さんに紹介してもらいました。

川勝さんは、

今、教育の世界が変わりつつある。物理嫌いが増えているという認識が、わかる授業をやりたいという願いから出発して新しい科学領域を必要としたのだ。それは、科学のプロセスをいつの間にか確立して作っていったのである。

というお話から出発して、いかにしたらシステムとして学問の確立につながるか、科学としての基本条件、客観化、数量化する必要（小山田さんの指摘）ではないか、等の意見が出ました。発表する学会もなかった分野を開拓し、「科学」としての基盤が確立するので、初めから確立したもの、出来上がったものの後続くものではないわけです。自ら新しい領域を開拓することが大切だということが指摘されました。この研究会が、その第1歩になれば幸いです。

研究会の世話をした前さんのお言葉ですが、本研究会はで交わされたテーマとしては、「研究者」と「教育者」、「産」と「学」、「モード1科学」と「モード2科学」、「教育職業人」と

「一般市民」、「大学教員」と「大学職員」、「経済界」と「教育界」、「インテリとノンインテリ」等がありました。

2. 落ちこぼれと浮きこぼれ

和田講演で紹介された横浜市立サイエンスフロンティア高校は、初めてサイエンスを明確な目標に掲げた高等学校の試みが印象的でした。優れた環境と明確な教育目標に向かった素晴らしい実践が行われています。しかも、それが公立の学校で実現しているのです。聞いているとわくわくします。また、物理オリンピックの経験は、子供たちの可能性を引き出す事例として、注目に値します。前置きの中で、正規分布のごく少数の上位層を対象にした能力をますます伸ばす教育が実践されていることもまた、1つの新しい試みなのでしょう。ただ、こういう教育を享受できる子供たちは、ごく一部であり、圧倒的多数の子供たちは、このような理想的な環境とは程遠い存在であることも事実です。

一方、飯田講演は、科学から縁遠い子供たちが、どのようにして科学になじみ、伸びていくかのいい例を示してくれました。子供たちに向ける暖かまなざしが浮かんでくるようで、関心のない子供たちへ伝えたいという気持ちが、どんな効果をもたらすか、目の当たりにした思いでした。そこで工夫された子供を引き付ける理科実験の実演は、研究会参加者似も大変興味深いものでした。これらの両方の試行が、さらに広がりを見せ、成果を挙げて、発展し進行していけば、大きなうねりになる可能性もあります。このあたりの、両者の協調現象が広がっていくことを期待しています。どのように、そしてそういう方向に、これらの試みがお互いに影響を及ぼしあいながら、教育全体のイノベーションを引き起こしていくのか、大変興味があります。

それと関連するのですが、受験勉強は、真の科学教育と矛盾するか？というのも大変重要なテーマです。学校教育の評価が、結局受験勉強で評価され、「〇〇大学に〇人入学」が評価基準になっているのが現状です。しかし、これもよく考えてみると、矛盾するというのは、本当なのでしょうか？

3. 「わかる教育」「科学の心」を伝える授業

伊勢田講演の中で「クリティカルシンキング」が紹介されました。フェルミ推定の訓練もそうですが、批判力・分析力を現実のデータに基づいて判断できる訓練こそ、物理学が営々と引き継いできた真理を発見するための道筋でもあったと思います。現在ではこの経験を生かして、経営や看護というシビアに方針を問われる場で重用されているということです。

興味深いのは、最もこのクリティカルシンキングの大切さを自覚してそれを教育課程でしっかり位置づけているのが、看護学であるということです。これは、意外なようで、実は納得のいくものでもあることではないでしょうか。看護の仕事は、日常最も頻繁に（ナイチンゲールの言葉を借りれば、医者よりは遙かに密接に）患者と接する場で行われるわけで、しかも、一瞬一瞬、命と向き合い

ながらも異なった状況下での判断が求められます。そういう現場では、厳しい選択が必要になります。クリティカルシンキングは、どんな事態になってもパニックにならないで冷静に判断できることに繋がるのですね。

ただ、思うのは、生きるか死ぬか、というようなシビアな問題でなくても、私たちが社会で生活していく上で、様々な事態に直面して、「万人が」自分の頭で考え、判断することが、求められています。この基本が無いと、本当の意味での民主主義社会は成り立ちません。

科学的態度とは、目先の目的に左右されず真実を明らかにするという姿勢を貫くことが大切で、「こうあってほしい」ということが前面にすぎると、真実が見えなくなり、誤った判断をして、かえって目標から遠ざかるということになってしまうのです。これとも関係するのですが、私は、ギボンスのモード1とモード2の関係は、機械的でダイナミックスが入っていないと、以前から気になっていました。なぜなら、看護とか経営とかいった、明確な目標をもつ分野で、純粹の基礎科学の最も大切な「真実を追求する」という目標とはいったん距離を置いた人間の営みが、最も必要になっているからです。すぐに役に立つ学問と、真理を探究する学問とは、もっと突き詰めればお互いに強く関わりあう関係にあり、あちらかこちらか、といった分類ができるわけがないからです。強いて言えば、比較的短期に「役立つ」知的生産をモード2、「長期的な視野で考えれば役に立つ」知的生産をモード2だともいえるのですが、かなり誤解が生じる言い方だと思います。たとえ、目の目標がはっきりしている場合にも、いったん短期的な目標を離れて論理的かつ客観的に真実を探究する立場を堅持することによって、かえって目標への達成に近づくのだ、とう相互連関が、見えてこないからです。看護という、患者の病を癒す立場からのアプローチに対して、「患者の願っている短期的な看護が、果たして客観的に患者を癒す正しい道なのか」という問いかけから始まった看護におけるクリティカルシンキングへの取り組みは、このことを明瞭に教えてくれます。あの、「クリミヤの天使」といわれるナイチンゲールが、すぐれた統計学者であったというのがなんとも象徴的です。真理に近づくことによってのみ、真の社会への貢献への道でもある（そうありがたい）、という科学者の願いが素直に実現できる社会の仕組みを実現すること、その願っておられたのは、厳しい現実と直面したアインシュタインや湯川の切なる願いでもあったわけです。

大学法人化によってもたらされた日本での、モード2への転換が、何をもたらしたのかを思い起こすと、モード1、モード2という言い古されたギボンスの説に、もっと切り込み、現在の日本のなかで、大学のあり方を今一度、原点から見直すことが必要な時期ではないかという気がします。この点についてつめた議論をする暇が無かったのが、残念でした。

それともう一つ、このクリティカルシンキング訓練は、カナダやヨーロッパでは、一般教育の必須科目になっているのに、日本ではいまだに大学の授業で、「自然科学」「社会科学」「人文科学」という分類だけに終わっているところが多いようです。最近では、「情報科学」という形で、ITの訓練

も結構導入されていますが、これでいいのでしょうか？日本の大学の一般教育のカリキュラムもまた、専門科目と一般教育科目、各分野毎の科目群の間の「争奪戦」の様相を示すことが多いように思います。別にクリティカルシンキングが、海外で盛んだからというわけではありませんが、このあたりの大学教育の位置付けも、しっかり考えていかなければなりません。

4. 「わかること」「理解すること」

さらに、丸山講演の後半には、「ヒッポファミリークラブ (Hippo Family Club, 略称「ヒッポ」) は、言語の自然習得の方法の1つのあり方を示唆しています。えてして、「生きる力」とか「問題解決力」とかいった抽象的な目標が優先され、「慣れ」や「訓練」がおろそかにされるのですが、「科学は言語である」という立場からのアプローチは新鮮でした。こうした実践結果は、この両者の相互関係は、もっとダイナミカルであることを示しているようにも思われます。今後さらに深めていく必要があるように思いました。教育を科学にするための、新しい視点を投げかけてくださいました。私は文系の学生への授業をしてきて学ぶことも多かったのですが、最大のネックは「専門用語」の壁でした。

「専門用語」は使うべきか、それを避けて通るべきか、私は、最初、避けて通ってきましたが、途中から間違いであり、慣れるように仕向けること、専門用語は、便利だから使うのだから、必要最小限のものは、きちんと親しみをもつように持っていく授業に切り替えました。外国語も、一度その単語を暗記したらいいというわけではなく、実際のそれを文章や会話の中で使ってみる、という行為を経るとぐっと身近になり、次からもっと親しみを持って使えるようになるという経験を多くの人は持っているのではないのでしょうか。同じように、例えば、エントロピーを教えるのに、 $\log$ は便利だから親しんでもらう、原子や原子核反応を説明するのに、陽子・中性子という言葉を使った方が、明瞭だから、積極的に使う、ということが大切なのではないかとも思われます。これは単なる慣れの問題ですから、いわば外国語を習うのと似た手法が使えるのかもしれませんが。もっとも、ヒッポは、フーリエ変換でも量子力学でも DNA でも、こういう手法で親しみながらその概念を理解していくという方法論で成功している例かもしれません。このヒッポクラブの方々に、南部陽一郎が協力しておられるのも、興味深いではありませんか。

5. 科学リテラシー

科学リテラシーのセッションでは、北原講演で、学術会議の「科学の智」の取り組みの紹介がありました。まだまだ、問題提起の段階で、「科学を万人のものに」という内容も具体性に欠けており、実践的な方向性が見えないものの、学術会議としては、第1歩を踏み出したという印象です。例えば、“Science for all Americans” という 2061 年へ向けてのプロジェクト (人種の比が逆転すると

推定される年、といわれているそうですが)を推進しているのは、AAAS という組織^{*2}で、科学者だけでなく、実に多様な層が参画しているということです。

同じ「万人のための科学」という目標を掲げた日本のレポートに、米国での子の広がり比べて、どこが違うのかを分析してほしい気がします。そのあたりの切実さが伝わらないのはなぜでしょうか。日本で「科学を万人のものに」という場合、具体的に何をどうするつもりか、見えてこないような気がするのです。単に項目を挙げるだけでなく、実践的な目標に踏み込まないと、美辞麗句を並べただけになります。

それと、総合的な問題として、水・食料・エネルギーの問題が愁眉だというところでとどまっているのは、学術会議のこの部会のレベルの低さではないかと私は思っています。地球の物質の循環とか、インプットとアウトプットという考え方が基礎にあれば、インプットだけを何とかしようとしても無理で、アウトプット、廃棄物の問題に目が向かないのはどんなものでしょうか。原子力発電も含めて廃棄物の問題に言及しないのはどんなものでしょうか。経済学者のガルブレイスが結構早い段階で廃棄物の問題に言及したのは、なかなかの見識だったと思います。

6. 法と科学

実践的という意味では、法と科学の関係を論じた本堂講演と中村コメントは、初めてこういう話を聞いた方々には、とても新鮮だったのではないのでしょうか。

ただ、正直に言わせてもらおうと、この講演の中で、中村さんと本堂さんの法廷での対話形式の議論を再現していただきましたが、中村さんの明快な質問に対して、本堂さんがもたもたと言いつけているような印象が無かったわけではありません。これは、もちろん、中村さんの歯切れのよい声（演技）が明瞭過ぎて、本堂さんは、声だけでも負けているところもあるのですが、それだけではないように思います。このことは、私は、懇親会でもお話しましたが……

「イエス・ノー」と言うデジタルな発想しかできない法廷論争に対して、本当の科学論争では、環境や条件によって異なる結果がありうるという、そういう条件設定ができない法廷でのやり方に対する批判は分かります。しかし、です。本来科学は、事実やデータで持って明確な結論を出せるものである、というイメージも一方では明確にあると思うのです。答えをイエスノーで言えるか、言えないかは、条件が、十分に特定されているかいらないか、という問題なのです。例えば、面白い例を挙げますと、通常の酸素の濃度では、常温では金属である銅は燃えないですが、酸素の濃度が100%近くになると、常温で燃えるそうです。条件が違えば、「燃えるか」に対してイエスの場合も「ノー」の場合もあるわけです。このことを知らないと、確かに大変な事故が起こることはあるんですね。酸素マスクの機器に銅を使うと、本当に大変なやけどを起こしてしまうそうです。だからといって、

^{*2} American Association for the Advancement of Science

「銅は常温では燃えませんか？」と聴かれたら、「はい、通常の空気の中では燃えません」と答えるのがいいように思います。もっとも、本堂さんが問題になさっている論争は、まだ科学で解明されていない課題設定や、条件がより複雑な場合、単にイエスノーでは答えられない例だったのだと思います。このあたり、これからの科学普及という立場から深めていかねばならないように思いました。逆に、科学だからスカッとさせ（原爆症訴訟など）さすがに司法の世界でも、その影響で、徐々に理解が進み、判決が時の推移とともに変わってきたことなどにも言及すると、科学はやっぱり白黒をはっきりさせるのに役立つなあと分かってもらえるような気がします。さらに議論を深めたいものです。

7. 日本の科学教育の特徴

川勝さんは、

日本には世界に誇れる科学教育の伝統がある。その1つは、職員室文化である。先生方が教育の場でお互いに経験を交流し相談し合える場を作り出しているのは、西欧にない日本独特の伝統である。ここでは、みんなが同じ立場に立って実践の場での問題を出し合い改善を進めてきた。この目標に対してベテランも新米もみんな同等の立場で議論できる場を持っていることは誇るべきものである。

と語られ、参加者に感銘を与えました。もっとも、これは、物理学の分野では、この精神で学問を切り開いてきた伝統が根付いていますので、ごく自然に納得のいく話でした。期せずして「これこそ、物理学でのコペンハーゲン精神に通じるものですね」と、納得、納得、という感じでした。

もう一つは、

実践の中で作り上げてきたみんなで協力して作り上げた優れた教材を沢山共有していることである。これは、日々の実践の中で現場の先生方が、一緒になって作り上げたもので、決して個人の業績にはなっていないが、沢山の人のによって試され改善し続けてきた知恵の結集がそこにある。

ということです。具体的には、仮説実験グループ・ガリレオ工房・サイエンスEネット・生き生きわくわく実験、川勝物理・水道方式・・・など、説得力のある多彩な理科教育グループが存在します。

それはそれで素晴らしいのですが、大変気になることがあります。1つは、どうしてこれらの連携がうまく見えないのでしょうか？もう1つは、それとも関係すると思うのですが、これらの素晴らしい実践が、大きな流れとなつて日本の教育界のルネッサンスを起こすというところまで至っていないということです。それには様々なあ現に案があるかと思います。

川村康文サイエンス E ネット理事長は、

国内の理科の NPO 法人やサークルはとても閉鎖的です。そして自分の所属するサークルを大切になさいます。もちろん、それは、大切なことで、否定はしませんが、国内で大きくつながり合わないといけないと思っています。科学教育は、地球に生きるすべての人たちにとって、もっとも重要なものだと思います。これは、教員という職種の人だけに任せてはいけない仕事です。すべての人々が、すべての人々のために、生き甲斐を感じてやれる仕事でもあり、遊びでもあります。

と言われました。楽しみながら、横のネットワークを広げていくならば、それはもっと素晴らしい経験交流の場を提供するはずで、学校教育の無人と教育格差の拡大を嘆く物理学会員はけっこう多いことは確かです。

この研究会に参加できなかったある高校の先生からは、

高校の理科教育で気になっていることは、かつては物理、化学、生物、地学とバランスをとって教えられていたものが、地学は消滅し、物理も縮小し、化学、生物も簡単になりすぎ、まともに教わらずに「高等教育」が終わってしまうことです。地球環境の問題など、すべての分野が必要なはずで、考えられず、理解できず、対処できないような「教育」になっているようです。教科に関して、分け方など恣意的なものであって、本来の学問はもっとつながっている、共通性、普遍性があるんだと、学生達には力説するのですが、彼らにとって、教科が違えばまったく別のもののようです。これは私が少々解説しても、彼らの固定観念を変えるのは、かなり難しいことです。また、高校で「放射線」「放射能」のしっかりした概念を学習させるべきではないかと思います。

というご意見もいただきました。科学を基礎にした思考の訓練は、私たちが行動するときの大切な力となります。

物理学会でも、こうした問題に関心を持ち、何とかしたいと思っている人は結構いるのです。しかし、それが、世論として結集され、システムを変えるような力として結実しないで、個人的な努力に終わるのでは、矛盾を解決することはできないのです。厳しいことを言えば、グループ内で閉じた世界を作る傾向は、どこから来るのか、その原因と、科学教育が科学としての未熟さと繋がっているのかもしれない、という気がしています。

8. 教育にルネッサンスを

数学教育の重要性を訴え、基礎学力の低下が著しい現状を変えようという動きがかなり浸透し、学校教育に反映されているというという西村和雄京大経済研究所長の講演に感銘を受けた参加者は多かったと思います。そこで印象的だったのは、つい心構えの問題にすり替え、システムを変えるための道筋を明確にして来なかったのではなかったことでしょうか。

人間の行動を変えることはできないが、システム・環境を変えることはできる

という社会学者としての確たる姿勢を示した西村講演は、科学の方向性を熟慮して行動に移すという指針の大切さを強く印象付けてくれました。「分数のできない大学生」を読まれた方は多いと思いますが、その著書が出版された一番の思いがどこにあったのか、それがよく理解できました。これから、教育のルネッサンスに向けて、この経験からしっかりと学んで、指針を探っていききたいものです。

9. 企業と大学の関係

今回の丸山講演は、1つの新しい視点を提示してくださいました。私自身、それまで、企業と大学の連携で新しい製品開発を行う場合、リーダーが企業人ということには大変器具を持っておりました。事実、大学院生を抱えている大学が、企業連携をして開発事業を行うと、ドクター論文やマスター論文の発表会に、真っ白のグラフが出てくることがよくあるのだそうです。企業にとっては商品開発は特許取得が企業利益を保証するのですが、大学では原則的に、成果を発表し公開することが奨励されます。この矛盾が生じるので、ある大学では、ガイドラインをつくり、少なくとも教育の段階にある学生には企業との連携の仕事には組み入れないということにしたそうです。しかし、それで話が済むとも思えません。こうした現象を見るに付け、科学の発展のためにはさんがくれんけいはまずいという印象がありました。企業がリーダーでは利益を目的とする以上、大学との理念と合わないではないか、と思い続けていたのです。しかし、役割分担といううまいビジネス模型を作って、さらにものづくりのなかに、知的人材を活用する道を積極的に見つけるべきだということ、それを「バトンタッチゾーン」というモデルで試行していることに感銘を受けました。

10. ネットワーク、電子化の進んだ現代の科学教育のイノベーション

喜多さんの言い方を引用すると、「落語からディズニー映画へ」という象徴的なことばで、これを言い表されました。黒板に書いて教室で教えるという従来のタイプの授業が中心であった時代から、オープン授業、いつでもどこでも学べる授業の展開、個性に合わせて学べる環境、映像をフルに活用してリアルとバーチャルをつなぐ教材づくり、など、ICT教育の発展とともに、授業のスタイルも劇的なイノベーションが起こりつつあります。小山田講演でもありましたが、今、教育のICT化に

対して、さまざまな新しい試みが進行しつつあります。そんななかで、バーチャル映像の評価など、いろいろな検討課題があります。

人間は等しく教育を受ける権利を持っているといっても、現状では、特に日本では、格差が進行しつつあります。IT 技術は、教育の平等化を保障するでしょうか、こうした問題を考えていきたいと思います。また、高等教育研究開発推進センターの松下・酒井組のご報告は、今までこの大学に任せていた高等教育の枠組みを、グローバル化の進む中で、欧米がどのような未来像を描いているか現状とともに把握することができました。また、開発中のシステム MOST が近く公表されることで、夢のある未来が期待でき、わくわくしました。会場にこられた関西大学の現場の授業実践の経験を踏まえたきめ細かい LMS, CERS を開発された冬木さんのコメントは貴重でした。日本発で世界に発信する ICT システムの方向性が見えてきたような気がします。小山田講演の ICT をフルに生かしシミュレーションを活用した可視化をソフト・ハードの両面からアプローチする意欲的なお話は「教育システムのイノベーション」が、今、ICT を活用して教育システムを変えつつある状況を実感させてくれました。その中で、日本の実績を踏まえた独創性のあるシステム構築ができる可能性が期待できそうです。今回、本来ならご講演をお願いしていたのですが、ご都合でご出席が実現しなかった飯吉透 (MIT) 講演は、プレ研究会として、基研と「あいんしゅたいん」の企画した「科学交流セミナー」として、8 月 12 日に開催しました。進化する授業集団、進化する受講生、そして進化する教材という、職員室文化を基盤にする多くの方々の知恵のネットワークを作る可能性を垣間見た思いでした。飯吉・小山田・喜多・冬木・酒井・田口・松下など、それと IT 関連に強い、鈴木 (KeP)・保田 (ズームス) などが協力すれば素晴らしい多彩な人材のネットワークが形成されるように思います。多彩な芽があるので、「科学としての科学教育」研究会で繋がったネットワーク形成へ向けた新しい動きに繋がれば面白いですね。

電子化の進んだ現代の科学教育のイノベーションが起こりつつある現在、このような分野が突破口になるかも知れません。

