

「科学技術リテラシー像策定に向けて：
21世紀を豊かに生きるために」

ネルソン教授 講演

2006年3月4日（土）

学術総合センター

主催：平成17年度科学技術振興調整費
「科学技術リテラシー構築のための調査研究」
（代表：北原和夫）

○ネルソン教授

お招きありがとうございます。本日皆様お越しくださいましてありがとうございます。大変大胆なプロジェクトに取り組んでおられるということで、ありがとうございます。

本日はプロジェクト2061, これはAAASが行っているものをご紹介します。しかし、それをもう少し広い文脈でご紹介したいと思っています。科学教育の改革を学校で行っていますので、その話をしたいと思います。学校については幼い子どもから大学レベルまでを対象としています。いずれも大切だからです。それだけではなく、より広い意味合いで改革を考えています。それは、政府、国民、産業界も含めた文脈で考えてみたいと思います。なぜかといいますと、ただ単に学校だけを見たとしてもそれでは十分ではないとわかったためです。本当の意味でシステム全体をとらえる必要があるとわかったためです。例えば全く新しい飛行機、全く新しい実験を始めると思ってください。そうなった場合はシステム系全体を考えなければいけないわけです。そのような意味で2061というこのプロジェクトを紹介してみたいと思います。

既にモデルとして皆様勉強してくださっているということですから、これまで慎重に行ってきたことを皆様が活用していただけるのであれば光栄ではあるのですが、あえて正直に、問題もあったということを申し上げたいと思います。そうなりますと、同じ間違いを繰り返していただかないで済むことができるかと思しますので、成果もうまくいかなかったところもご紹介いたします。

まず、私の視点ですけれども、世界をどう見るか、これは大事な質問だと思います。科学リテラシーに関して一人一人違う見方をしています。皆様はこれから、共通のビジョンを持ち、科学リテラシーを考え、世界をどう見るか考える必要があるんです。物理がご専門の方もいらっしゃるのでしょうか。スペクトルですが、これは、惑星系の中心をハッブル天体望遠鏡でとったものです。銀河系の真ん中の様子ですけれども、このスペクトルの中を見ていただきますと、この銀河系の真ん中、そして下の方にいきますと左の方にいきまた右に戻ると。ここで何が起きているかといいますと、ガスがぐるぐる回っているんです、高速でスピンしているんです。上の方ですが、ガスが非常に速くなっていて近づいている。下の方は離れているんです。赤と青のシフトがありますけれども、それぞれ大きなシフトなんです。これで距離がわかるんです。どれだけの規模であるかがわかりますし、高レベルの計算を行いますとこのガスの移動速度を算定することができます。

この中央にある物質、そしてそこから得られる結論といたしましては、この銀河系の真ん中あたりには巨大なブラックホールがあるとしか考えられないんです。ブラックホールでなけれ

ばそれ以上に奇妙なものだとしか考えられないということです。これが1つの世界の見方です。

私は、光栄にも宇宙、空から地球を見る機会がありまして、間違いなく自らの視点を変えることになりました。宇宙に行った人はすべて、それはロシア人であろうとも、また私が科学者として行ったのであろうとも、全員が持って返ってくる印象というのは地球はとても弱いものであるということであります。だからこそ我々一人一人がよりよき後見人となって地球を守らなければいけないという気持ちを持つわけです。子孫のために健全な地球を残さなければいけないという気持ちになります。

これがハワイ島ですけれども、旅行で行くような場所ですが、これはシナイ半島です。地球を真上から見るとどうなるか、全く違う視点なんです。宇宙飛行士であったとしても、私は星を見るよりはいつも下の方、すなわち地球ばかりを見て飛んでいたというのが経験です。暮らすのもとても珍しい不思議な場所です。コーヒーが目の前に浮いて留まるというシュールな世界です。

これは仲間です。乗組員、これが私の3度目の最後のフライトでした。

宇宙で暮らすことができるような構造をつくっておりますISS、国際宇宙ステーションなどがつくられています。

地球の端っこを見てみると大気がとても薄いということがわかります。地球の端っこを見てみると、空気の層は小さいんです。普通絵を書かせまして地球を書くとき大体大気の層を厚めに書くかもしれません。ところが、本当は地球に比べるとこの大気の層というのはとても薄いんです。宇宙の中のほんの小さなところしか地球は占めていない、だからこそ地球を守ってあげないと壊れてしまいます。

もう1つ、宇宙へ行かなくても私たちの視点を変えること、それは子どもです。これは私の娘、エミーです、右の子がエミーです。彼女はライフガードです。私はその宇宙服を着て水の中に入って訓練をしなければいけないということでライフガードの資格を持つ娘が近くにいました。子どもがいると視点が変わりますけれども、孫がいるともっともっと自分の見方が変わります。このタヌキをかぶっている子がラングストンという私の孫です。

子どもや孫ができると、私たちの子ども、子孫はどういう世界で暮らすことになるであろうかと考えることになります。恐らく彼らは初めて、多分最初で最後でしょうけれども、人類の歴史で人口が指数関数的に伸びてそこで安定化をするということを経験するでしょう。私の孫が成長したときには恐らく地球の人口は安定的になるでしょうけれども、きっとそれは最初で最後の段階になるはずで。生物学、医学が進歩していくために、多分私の孫とその世代は

100年は普通に暮らして、健康なまま次の世紀にも生きているのではないかと思います。

これはアメリカだけではなく、日本だけではなく、自分の国に関係なく、何もかもが地球規模で人生に影響を持つことになると思います。何でもグローバルなんです。自分たちの車とか発電所とか、そこから出ていく排気ガスも、すべて地球全体に広がります。彼らが使うエネルギーは、石油以外のものでなければなりません。願わくは、石炭以外のものかもしれません。それから、多分火星などの惑星にも人が住んでいるでしょうし、あるいは木星の衛星にも人が住むようになるかもしれません。今世紀のどこかで生物学者は試験管で生命をつくり出すかもしれません。あるいは、やはりETがいたということになるかもしれません。ほかの惑星、星で向こう100年の間に生物と出会うかもしれません。

私たちが生命のことをどう考えるか、どんな衝撃であるか想像してください。今は遺伝子工学の技術がありますのでヒューマン、ヒトといっても新しい種をつくることできるかもしれません。人間という種、有用な動植物の進化に一番大きな影響を及ぼして、自然淘汰を私たちがのっとなってしまっています。私たちが新しい種をつくり出すかもしれない段階にきています。私たちの子どもたち、学校に行っていますけれども、彼らが多分行う仕事というのは今はないものかもしれません。今私たちが知りもしない職業に就いてそこから経済活動をして何か生み出していくでしょう。彼らが暮らす世界というのも変化の速度はどんどん加速していついっぺんかはずです。

この世代は学校で考えられるすべての変化はとても速くなるんです。どんな変化があったとしても世代内で変化が起こってしまう、最も速く起こるんです。私たちの仕事のことを子どもに教えても仕方がない。私たちが今持っている技能を教える意味がないのです。彼らはそんな仕事をして暮らしていくわけではないわけです。そのぐらい世界は早く変わっているのです。私たちの子どもが何を必要としているか、私たちはわかっていません。明示的にわかっていません。しかし、私たちがわかっていることもあります。

何がわかっているか。彼らがこれから自分たちで何が必要であるか学ばなければいけないんですけれども、How to Learnのところを教えることができます。どうやって速く学ぶか、どうやって生涯ずっと学ぶことができるか、それを教えることができます。しかし、How to Learnを教えるためには先に何かを学習しなければなりません。慎重に考えて、子どもたちには何を学習してもらいたいのか考えなければいけません。考えられる最も大事なことを考えて合意しなければいけません。その中で科学、数学のリテラシーは大事だと思いますし、あえていえば、人文、詩なども紹介したいと思います。やはり豊かな暮らしのためには算数だ

けではないと思います。

このグラフですけれども、世界がどれだけ速く変わりつつあるかを示していると思います。ちょっと変わった数字ですが、これは小麦とコーンをアメリカの農家がどれだけ生産することができるかという生産性です。例えば左の方は1800、右の方が2000です。私が生まれた1950年のころ、そして緑の何の革命、農業革命が始まりました。石油が大きな原因ですが、農薬とか肥料とか科学物質であるとかトラクターとかを使いましたし、除草剤なども使ったということでアメリカの農業生産性はひどく高くなりました。その結果、非常に多くの人の食料をつくることができるようになりまして、全世界で緑の革命が効果を及ぼしました。

何を解釈することができるか。こういうことがあったからこそ恐らく人口のオーバーシュート、行き過ぎは起こらないのではないかと思うんです。一人の農家でもこれだけ生産することができるのであれば、何も大人数の家族がいなくても生きていくことができます。大家族ということになると、これはどちらかというメリットよりは暮らしにくいということになっていきますので、やはり少子化になっております。

これだけが原因ではないかと思えますけれども、1家庭にある子どもの数はほとんどの国で少なくなっております。ということで、地球上の人口は自然な形で極限に達して安定するかと思えます。ただ、学生にとってもこの中で何ができるかを教えていきたいと思っております。

そういうことを考えた上で、次世代にとっての課題は何か。このようにせつかくあった石油はどんどん使っています。もちろどこかで石油はとることができるかもしれませんが、ただで入手する、簡単に入手するというわけにはいきません。高コストになります。そうなりますと、これから一番大きな課題は使うことができるエネルギーを十分に生産し、それなりの暮らしを地球の人ができるようにしていくかと、そのときにいる人口はどうでしょうか、100億でしょうか。みんながそれなりの水準で暮らしていくことができるだけのエネルギーが必要。だけれども、クリーンな環境が必要です。この両問題を解決しなければいけません。エネルギーは十分につくる必要があるけれども、合わせて地球もきれいにしなければいけない、それができたとすれば、多分ほかのことは何でもできるでしょう。そういう意味で次の世代でこれが難しい課題だと思います。

エネルギーはたくさん地球上で消費されています。これは宇宙飛行士として見るのがつらいんですね。夜にむだな照明が光っているかと思うと胸が痛みます。日本が左の方に輝いているんですけれども、ほかの場所よりも一段と輝いているのが日本でした。明るかった。

では、どうすれば十分にエネルギーを産出することができるか、我々全員、政治家、宗教、

指導者，ほかの権威ある人たち，すべての人がなぜ大規模な投資をして，大規模な資源とエネルギーを費やしてこの全地球的なエネルギー，相互依存性を確保しなければいけないか，納得しなければいけません。科学者，エンジニアでも一世代の人たち丸々を教育・訓練し，彼ら自身がこの第3タスクを遂げることができるようにしなければいけません。常にそれに対抗するような利益，利害関係はあります。科学だ工学だといってほかの分野が競合してくるでしょう。超短期的にはほかの方が大事であると，資金の競争が起こるはずで。しかし，やっていかなければいけません。こういうことを念頭に置いておく必要があります。

どのようにしてこのような変化にそなえることができるか。どうせ人の本質は変えることができないのです。私は遺伝子工学で人の本質を変えてしまおうということには，賛成はできませんけれども，それでも何ができるのか。ここでのカギは教育だと思います。

研究の結果によりますと，パーソナリティ，人格，我々が世界のことをどう見るのかは，半分は遺伝子，すなわち親からくるようであり，もう半分は私たちが住まう環境からくるようです。その中でも学校が子どもにとっての環境の中の大事な部分です。もちろん，テレビ，友達，家族も環境の要素なんですけれども，学校というピース，ここは私たちが少しは手を下すことができる要素です。長期的には学生という世代にみずからが学習をして，我々が直面する問題に自分で取り組むことができるように教育していかなければいけません。そのような意味で21世紀の子どもたちにどういうスキルを与えたいか，自分たちで勉強ができるようにしなければなりません。私たちはいつまでも生きてはいられません。ですから，自分たちが知ることができるように，自分で勉強ができるように教えてあげたい。けれども，彼らが何を勉強しなければいけないか教えることができないから，How to Learnを教えなければいけない。リスクをとることができなければいけない。彼らは私たちが知らない仕事をするようになるでしょう。暮らしの中で何でも新しいことに突入しなければいけない。自分たちの暮らしは自分でコントロールして自分たちで勉強していかなければいけない。

常に変化していく世界で暮らすことができなければいけないんです。私の孫が暮らす世界と今私が暮らしている世界はとても違うはずで。今のスピードで事態が変わっていけば，孫の世代では違う生活になります。グローバルな視点を持たなければいけません。家族，町，国，それは大事ですけども，結局地球はこれほど小さいわけですから，私たちが何をしたとしてもそれは全世界，全地球に影響が及ぶということを念頭に置いておく必要があります。

最後に必要なのがリテラシー，これがとても大切です。リテラシーといった場合には科学，数学，技術的なリテラシーです。これはもはや選択肢でやればということではありません。リ

テラシーを持たせることに成功しなければ科学、数学、テクノロジーのリテラシーがなかったとすれば、これから民衆制度を維持することさえ難しくなるでしょう。なぜかといいますと、我々が市民としていろいろな選択、決定をしなければいけないんですけれども、その際には必ず科学技術が関わってきます。もしある程度の知識を持っていなければ、市民は正しい選択をできないかもしれません。こう選べと、それを命じることはできませんけれども、いかにして情報をきちんと持った上で自己判断し、自己検討をし、そういう選択をした場合にどういう結果となるか考えることができなければなりません。個人としての選択。そして、ほかの社会のことも念頭に置いた上で選択ができなければなりません。

では、なぜプロジェクト2061が始まったのか、何のためか。我々のねらいはいずれの段階かで、すべての高校卒業した人たちは科学、数学、テクノロジーのリテラシーを持つことができるということです。すべての国民と市民がリテラシーを持つようにということがフォーカスです。

第2のフォーカス、同じように重要ですが、これは絶対忘れてはいけない、無視してはいけないことですが、将来世代の科学者と工学者を育成するということです。科学リテラシーの目的はすべての生徒、すべての学生をある程度の水準の科学の理解に到達させることです。しかし、学生の中の多くの人たちはそれ以上にも進むことができます。専門家になり得る人たちがいるわけですから、一般レベルではなく、科学者、工学者として伸びることができる人たちの伸ばしていかなければいけない。ですから、どちらかを忘れるというわけにはいきません。両方を両立させておく必要があります。

戦略は何であったか。この戦略というのは皆さんがなさっていることと同じです。広く科学、技術、教育の関係者と協力をするということです。それによって主に慎重に考えるという行動を確保することです。慎重に考えれば使うことができるツールを生み出すことができるはずで

す。

さらに、教育改革の抜本的な改革に貢献ができます。ラジカルな改革と書いてあります。革新的な抜本的な改革、本心から変えているのです。ただ単にちょっと操作、いじればいいとは思っていません。ちょっとここを変えて、あそこをちょっと変えてとは思っていません。抜本的な改革が本当に必要だと思っています。今から10年、20年後にはもしかしたら理科の教室なんていうのはもう想像がつかないほど変わっているかもしれません。先生たちも全然違う話をしているかもしれません。

我々が考えている行動ですが、何を学習するべきなのか、それをいかにして教えるの

か、その学習の評価はどう行うのか。その学生が何を理解したかを自分たちはどう評価するのか、教育をどうサポートするのか、制度としてどう機能するのか、政策の観点から教育制度はなるのか、それから資源、時間、エネルギーの配分、あるいは資金としてもどのようにサポートするのか、このような分野を今考えております。

ですから、我々はブループリントという本を出しました。小冊子ですけども、後で大きな話をしますけれども、この意図は、どういうふうなシステムのいろいろなピース、20とか12とか、12の問題をこのシステムの中で考えるべきだというふうに考えました。教師の教育、そして教材と技術、それから評価、生徒がちゃんと学んだかどうか、何がどうやってわかるのか。それから、カリキュラムの連続体、社会と数学、それからまた技術とかあるいはまたいろいろな分野の間の関係。それから、学校の組織、どういうふうな学校の組織にするか、それによって学習効果を上げる。それから、家族、社会、学校の外の役割はなるのか。それから、企業、産業界。それから、高等教育、それから科学界とかそういったところ。それからまた、公共政策、政府はどういう役割を果たすのか。それからまた、財政の役割は小さな額のお金でも戦略的に使って、そして学習のやり方を変えるとか。あるいはまた平等、すべての学生、だれもやはり無視をしてはならないということ。それから、最後に研究。こういうふうな変化をするわけですから、そこから我々も学ぶ必要があります。

教育制度、我々の研究でもわからないところはこれです。ですから、我々このプロジェクトのルールといたしましては、我々が何をやるにしてもやはりそれは研究、今の既存の研究でサポートできなければいけないと。そういう既存の研究がないということであれば我々ちゃんと研究プロジェクトを起こして、そこから学ばなければならないというルールにしました。といいますのも、新しい方向を模索しているわけですけども、ひょっとして間違った方向に行ってしまうてはならないからです。

ということで、アメリカの現状はどうでしょうか。リテラシーのゴール、目標。これは立てました。サイエンスフォーオールアメリカンズ、それからベンチマーク、リテラシーのゴールは設けました。いいゴールだと思います。しかし、問題はアメリカにおきましては教育制度は州がコントロールしております。そういうふうに憲法でなっています。ですから、各州が何をすべきか我々のリテラシーのゴールに基づいて、それを決めました。国レベルで行ったものは非常に将来指向で今後を見すえたものではありませんけれども、それを現状に合わせてしまったということがありました。各州におきまして。ですから、各州のゴールでは余り現状を変えようというものになっていないんです。ちょっと我々も心配です。州と協力、作業を進めており

まして。

それから、教材。それから、教師のトレーニング、これはどういうふうに行っているか。現在のアメリカの教科書というのはひどいです。ちょっと百科事典的であって余り内容が盛り込まれていると。それからまた、毎年同じものが使われるとか、あるいはまた非常に浅いということがありますので、1キロぐらいの幅であって、厚さの方は1センチしかない、そういう言い方を我々よくします。しかし、新しい動きはあります。我々のNSFとかが協力をして、そして新しい教材も出しつつありますので、何らかの変化が起きればよいと思っております。

それから、評価でありますけれども、一般的に我々のテストは非常にレベルが低いです。余り本当の理解をテストするようなものではありません。やはりここでもなかなか学習のペースが遅いです。特に研究の側はそうです。

それから、サポートシステム。しっかりとしたリサーチは行われております。NSFも非常に役に立っております。それからまた、民間の財団もしっかりやってくれてはおります。しかし、やはり州、アメリカの50の州、教育制度というのはどちらかというともまだ19世紀のまま残っているような状態です。ですから、これはやはり何とか州についてもっと一生懸命考えさせるという問題が残っていると思います。

それでは、このプロジェクト2061でどういうことをやってきたか。我々の学習の目的でありますけれども、まず第一に、我々がつくってきた文献、これがサイエンスフォーオールアメリカンズ、これは大人のリテラシーのものです。その次にサイエンスリテラシーのベンチマークというものをつくりました。これは小学校、中学校、そして高校に分けたと。それからまた、サイエンスリテラシーのアトラスもつくりました。これはまた後ほど詳しくご説明いたします。

個々の学習ゴールをグラフィックに示するという事です。お互いにどういうふうに関連しているのか、そして学生がその成長をどういうふうに測定するかということです。これは別に教師用ではなく、あるいはまたクラスルーム用ではありませんで、研究者あるいはまたカリキュラムをつくる人たち、そういった人たちがこれを使って、そして教師用の教材をつくったり、あるいはまたクラスルームにおいても学生がこういったものを使ってその目標を達成できるようにするという事です。ですから、こういったものの中にはどういうふうこれを達成しようということは書かれておりません。こういった文献の中には単に目標をリストアップしているに過ぎません。

簡単にそれではご説明しましょう。まずサイエンスフォーオールアメリカンズ、これは大人のリテラシーのものです。学生が高校を終えた段階でどういうふうになってもらいたいのか、ど

ういうふうな必要な知識あるいはスキルを身につけるべきか。それからまた、科学、理科、数学、そして技術を扱っておりますけれども、科学というのは自然科学、社会科学が両方入っております。

それから、重視しておりますのはいろいろな分野の間の関係です。ですから、一般的なテーマがこういったエリア全部一本通っているわけです。例えば尺度とか変化とか、あるいはまた一貫性とか、あるいはモデルとかそういうふうなテーマが一貫しています。

サイエンスフォーオールアメリカンズ、これは科学あるいはまた技術会議がつくったものがありますけれども、ですから、教育界がそんなに入っていないとか、どちらかという小さな役割しか果たしておりません。大人のゴールを規定しますと、今度は教育界の方がリードをとりました。教師あるいはまた大学の教師、それから科学、数学者とかも役割を果たしましたけれども、教育界の方が大きな役割を果たしました。リテラシーゴールをとりまして、そしてここから各級、学年でどういうものを達成すべきかということを決めたわけです。2, 5, 8, 12, 12年生というのは高校3年生です。アメリカで卒業する期間です。

ということで、この学習目的というのは極めて具体的です。我々非常に慎重に言葉を選びました。一体学生に理解してもらうためにはどういうものなのかということ。非常に細かく詳細に述べました。こういったディテールを全部集めますと、そうするとリテラシーゴールということになるわけです。政治のためのリテラシーの目標です。

それから、技術的な専門用語というのは避けました。1つよくアメリカであるんですけども、よく知識、非常に高邁である言葉を使うと。そうすれば、理解できたような気になるわけですけれども、ですから、加速とかモメンタムとかあるいは保存とか大きな言葉を使いますが、しかし、実際には理解していないということがよくあります。ですから、我々としてはできるだけそういう専門用語は避けるようにしました。適切だということについては避けてはおりません。

それからまた、リサーチを使いましてどういうふうに学習というのはおくれるのか。アイデアということ、まず最初は科学界の方から出てきたことでありますけれども、こういったアイデアというのは非常に中心的な重要性を持っていると。すべての市民が知っているべきものではないか、そういうことです。その情報とかあるいはまたすべての国民はこういうスキルを持っているべきだと、そういうこと。

それから、2つ目の基準でありますけれども、そういったスキルは学生が達成可能なものでなければいけないということ。高校で。ですから、非常に重要な、けれども、しかし、時間

の投資がやはり必要だと。相当勉強しなければいけない、相当な時間も割かなければいけないということで、そうするとほかの学科が残されてしまいます。ということで、重要なアイデアをここから外してしまいました。といいますのも、余りにも難しい、すべての学生が勉強することはできない。科学者とかあるいは技術者になる人はそういうアイデアも学ぶことができます。早く学べるでしょうから。しかし、非常に重要なアイデアというのを外してしまいました。といいますのも、非常に大変だからです、学習が難しいからです。

このグラフはどれぐらいその内容を外したかということです。大体通常のアメリカの教科書に載っている40%ぐらいのものが基準になります。ごらんのように一番下のどれぐらいのアイデア、それからまた用語を入れたか、非常にパーセンテージ少ないです。それからまた、削除した部分が一番上ですけれども、削除した部分が相当あります。

これは正確な像ではありません。といいますのも、典型的なカリキュラムから外したのものもありますけれども、しかし、追加したものもあります。といいますのも、例えば科学の学習において、その科学の性格そのものについて勉強する、あるいはまた数学あるいは技術の工学の性格について勉強するという。そういったものは今は教えられておりません。したがって、いろいろな科学の事実は学生は知った上で卒業するわけですけれども、科学者はどういうふうな機能を果たすかとか、あるいはまた新しい知識がどういうふうに整理されるかということ、そういったことをこのカリキュラムに入れられています。しかしながら、その一方で伝統的な内容についてはカリキュラムから外しております。

それから、最後に、サイエンスリテラシーのアトラスです。これをちょっと持ってみましょう。すごい本です。大きな大冊です。これはコーヒーテーブルブックというふうに呼んでおりますけれども、アメリカにおきまして。ですから、皆さんもぜひコーヒーテーブルに豪華な本として置いておいてください。

これがこの学習ゴールの像でありまして、学生が時間をかけてこういったものを達成していくということ。そして、明示的にその関係、いろいろなアイデアの間の関係性を示そうとしております。

では、例をご紹介します。これが3年生、4年生、2つの重力についての考え方です。まず最初は、地球の重力というのは地球のそばにあるもの、あるいはまたその上にあるもの、そこに接触することなく引っ張るというものです。全く見えないけれども、しかし引っ張っているということ。そういう理論を用いて、そしてちょっとこの矢印の先にいくわけですけれども、そうすると例えばすべての惑星あるいは星と同じであって、結局地球も大体球体になって

いるということです。小さな子どもたちの理科でありますけれども、地球は丸いというのは知ってますけれども、一体どこに住んでいるか、子どもによって平らな場所を書いて、そこに住んでいるという図を書いたり、あるいは丸い地球を書いてその上に人が住んでいるという様子を書いたりしますけれども。

ここにストーリーがあります。別にこれを読めと私は言っているわけではありませんけれども、これは重力というものが幼稚園から1年生、そして一番上の方が高校でありますけれども、いろいろなアイデアがどういうふうに関係しているかということを示しております。ですから、こういったゴールについて我々が学生に学んでもらいたいというふうに思っております。例えばこれがその重力の例です。そういうふうなものも出してあります。我々が学生に何をしてもらいたいか、どういうふうなスキルを得てもらいたいかということを考えているわけです。

それから、もう1つ重要な作業の側面でありますけれども、どういうふうに学習させるか、学生がそういうものを達成する上にどういうふうに助けていくのか、それがカリキュラムということなんです。ということでまた幾つか本を示しましょう。

サイエンスリテラシーのデザイン、それからもう1つはリソースと呼ばれるイセットの薄い小さな本でありますけれども、電子版も後ろの方に入っております。教師用の学習教材とか、それからまた人材開発、教師をどういうふうに関係するのか。それから、教材、どういうふうに教科書をつくるか。それからまた、教室で使うツール。それから、最後は評価、どういうふうに学習がちゃんと知るべきことを知っているか、どういうふうにレッスンをスタートするか。それからまた、そのレッスンの最後で目標をどういうふうに達成するのか。

デザインというのは何を書いているかといいますと、どういうふうにカリキュラムを改革するか、非常に体系的な形で改革をしていくかということなんです。現在のカリキュラムをどういうふうに再編するか。そして、非常に実践的な形でどういうふうに始めるかという章もあります。私は好きな章は、カリキュラムの負担を外すというものです。ですから、カリキュラムから負担がある部分を外していくというものです。

それから、リソースといいますのは、これはいろいろな教師用の参考図書の集まりでありますけれども。例えば学生が何かアイデアを、あるいはまた大学のユニークなコースでこういったものも使いますとかこういったものをワークショップで先生が使えるとかそういったものが書いてあります。こういったものはすべて何を教えるべきかとわかった場合でも、しかし、慎重に、どういうふうにとりかかるといふ方法については慎重に考えなければならないということです。

学習あるいは教育の研究はどんどんよくなってあります。いろいろないい研究結果が出てき

ております。我々1つ、これは当たり前かもしれませんが、よく忘れそうですけれども、教室に入っていくと、学習というのは教育の必ずしも必然的な結果ではないということです。私の大学の教室でもよく気づくことでありますけれども、教えたのにどうして学習してくれないのかということをよく先生は言います。本当の学習というのは一生ずっと保持できるようなそういう知識あるいは技能を得るということです。ですから、来週のテストだけではなくて、クラスの10年後、その学生の頭の中に何が残っているか、何はまだ覚えられているか、どういふような科学のアイデアのシステムが頭に残っているか、それを学生がまだ使えるというものです。ですから、本当の学習というのは時間がかかります。相当な時間がかかります。1週間かかるものもあれば、ですから、重要なアイデアというのはやはり時間をかけなければなかなか学習できないということでもあります。

それから、明示的に教えるものというのを学習される可能性はるかに高いわけです。よく学生というのは実験をすることでその実験について学習するだろうという期待がありますけれども、しかし、本当に明示的にその実験をするということについて教えなければ学生は単に実験をしたって実験のことはわからないわけです。ですから、本当に明示的にはっきりと一体学生について何を学んでほしいかということをお教えるということが大切です。

それから、今のリサーチからどういふような指導的な要素が学生の学習に役に立つかということ。このプロジェクト2061ではありませんけれどもHow people learn という本を全米科学財団(NSF)の方から出しております。こういう本ですけれども、これは日本でも出版されているというふう聞いておりますけれども、既にこれはオンラインでも買うことができるというふう聞いております。

それから、3つ重要な、これはいろいろな専門用語で書いてありますけれども、極めて重要です。まず、生徒が教室に入ってくると、生徒たちは既に世界がどのような仕組みで動いているかという先入観を持っています。空っぽということではありません。最初に理解するとき積極的に関心を抱いて理解しようとしないと新しい概念や情報を教わっても理解できなかったり、あるいは単にテストのためだけに覚えていて、一たん教室の外に出るとまたもとの先入観に戻ってしまう。いろいろな考えを生徒たちは持っているでしょう。中にはよいものもあります。その上にどんどん積み重ねていけるものもあるけれども、奇妙な考えや先入観を持っているという人たちはいます。それには生徒たちが自分で対峙して正しいことを理解しなければなりません。例えば、月に見える黒いところ、これは地球の影だと思っている人たちがたくさんいます。授業でしっかり教えて、そしてテストをやるとできる。しかし、2週間後に同じこと

を聞くとまた同じように地球の影だという答えが出てくるのです。

2つ目の結果ですけれども、ある領域に対する能力を育成するには生徒は事実に基づく知識基盤を持たなければなりません。事実を知っていなければならない。それから、次に、概念的枠組みというコンテキストで事実や教え方を理解しなければなりません。さらに、検索や応用ができるように知識を組織化する必要があります。単に知っているだけではなく、それを利用できる能力を持っていないといけないのです。これは初心者がどうやってエキスパートになるかという記述のところに書いてあります。コンテキストの中でそれを理解し、使えるようにするという事です。

3つ目の研究の結果ですけれども、それはわかったこと、指導に対してメタ認知的なアプローチをとると生徒たちは学習のゴールを定め、達成に向けた進歩をモニターすることで自分たちの学習をコントロールできるということです。私たちは全部を教えることはできないのです。自分たちの生徒が自分たちで思考していることを自分たちで見えていくということを教えなければならないのです。例えばその考え、本当にわかっているかどうか、しっかりと自信を持っている、あるいは自信を持っていないということを自分で見きわめて自信がないときにはそれに対応する行動をとれるようにするということが重要です。

では、システムということをもう一度考えてみましょう。このようなツールがあります。また、いろいろリサーチが行われてきていると。こういったことを私たちが行おうとしていることに対してとても重要です。すなわち、教育システム、その中で生徒たちが科学的なリテラシーを科学、数学、技術に対して持っている、そういうシステムをつくっていかうと思っているのです。ツールを慎重に使っていかなければなりません。そのツールを使ってカリキュラムを形成する、あるいはテキストブックができる。また、教員の教育に使える、現職の教師あるいは新しい教員、大学で教えるときの教材を形成していかなければなりません。また、評価も必要です。カリキュラムの中と外での教え方に対して評価をしていかなければなりません。

これを行うためには、甚大な、膨大なリソースが必要です。リソースを見つけなければなりません。これだけの作業をしなければいけないのですから。リサーチプロジェクトとしてこの作業は行わなければなりません。多くの答えはまだわかっていないのです。やって、今試みていること、成功するものもあればうまくいかないものもあるでしょう。

私たち自身のメタ認知的アプローチが必要なのです。自分たちで自分たちが何をやっているかをしっかり理解するという事です。システムエンジニアというのはフィードバックループを持っています。自分たちの作業のループというもの、フィードバックループというものをし

っかり持っていると思うので、私たちも同じアプローチをとる必要があるでしょう。

プロジェクト2061ではよくいうんですが、これはまだまだ2061年というのは先のことなんです。いろいろやりたいことを見てみると、それからゴールを達成するためにやらなければいけないことを見てみると、この2061年というのはもしかしたら早すぎるかもしれないと、もっともっと先になってしまうかもしれないと考えることがしばしばあります。ただ、私たちが直面している問題は現実の問題であり、今起きていることです。したがって、今開始するというのが大事なのです。今始めなければ、10年後全く同じところにいるでしょう。そうなると、世界は今とは違っている状況にあって、私たちはもっと悪い状況になってしまうかもしれないので、今から忙しく始めてください。日本のプロジェクトもぜひ今始めてください。十分にもう時間がないかもしれませんから。

さて、物理に戻ります。大気を見ています。ハリケーンです。300メートル上から見るとハリケーンはこんなに美しいものなんです。もちろん中にいると大変ですけども。物理学者にとってはハリケーンというのは方程式によってあらわすことができます。幾つかのロンリニアなパーシャルディフレンシャル、微分、積分の方程式なんですけれども、解き方はわからないというものはあります。少なくとも方程式は、式はわかっています。教育での改革というのはいくらももっともこれよりも複雑なものになるでしょう。

ある新聞で私が言ったことが書かれたんですが、アメリカではロケット科学者でなくても理解できるということをよく言うんですけども、私自身がもうロケット科学者です。あるとき、教育改革というのにはロケット科学ではないと言いました。ロケット科学よりももっと難しいものなんだと、教育改革は、そういうふうに私は言ったのです。どういった変化が必要なのか、まだその式の書き方はわかりません。どういう式なのかはわかりません。ただ、子どもたちがよりよい、より健全な世界でより高い生活水準で住めるように私たちが努力をしなければなりません。ある1つの国や1つのグループに限定された努力ではありません。ぜひ皆さんと一緒にやっていきたいと思っています。