

Synthesiology 発刊 5 周年記念座談会

科学・技術・イノベーション時代の新しい研究方法

— 基礎的研究における構成的アプローチについて —

製品化あるいは事業化のための研究開発はその目標達成のために必要な要素技術を統合していくアプローチがとられるのに対し、基礎研究は知的好奇心を原動力として進められることが多い。一方、公的資金による研究開発では民間企業としては実施できないような基礎的・基盤的研究を行うことが期待されるとともに、公共の益になる成果を出して社会にイノベーションを起こすことが期待されています。発刊 5 周年を機に関係する有識者の方々にお集まりいただき、こういった期待を持たれている基礎的・基盤的研究をどのように進めるべきか、そして Synthesiology が取り組んできた構成的アプローチの意義やその可能性、さらに今後の科学・技術・イノベーション推進の方向性を議論いただきました。

シンセシオロジー編集委員会



座談会出席者 (五十音順)

有本 建男	科学技術振興機構 社会技術研究開発センター長
安西 祐一郎	日本学術振興会 理事長
桑原 洋	元総合科学技術会議議員
柘植 綾夫	日本工学会 会長
中村 道治	科学技術振興機構 理事長
古川 一夫	新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事長
吉川 弘之	科学技術振興機構 研究開発戦略センター長 (産総研最高顧問、Synthesiology 誌編集委員)

司会進行: Synthesiology 編集委員会 (赤松 幹之編集幹事)

赤松 研究開発の成果をいかに社会で使われる形にしていくかという科学技術的知の統合を記述する論文として『Synthesiology』を 2008 年に発刊し、本号で 5 周年を迎えました。まず最初に、吉川先生に Synthesiology が生まれた経緯を振り返っていただけますか。

吉川 工学系の学会等では「シンセシスは論文になるか」という議論が古くから行われていました。「新しい機械ができただけでは論文にならない」という話や、「分析だけでは工学はあり得ない」という意識はあったものの、シンセシスとは一体何かということがわからなかった。ところが、2001 年に私が産総研へ行ってみて、標語的に言えばシンセシスを行っている 3,000 人の研究者集団に巡り合って非常に驚いたのですが、そこでは従来からあるような論文にはなりにくい仕事をしていました。そこで、シンセシスで論文が書けないと苦労している研究者が投稿できる雑誌を作って、これを学会誌として認めてもらおうという、ある意味、現実的

な目標を立てました。つまり、“もの”はできても“もの”を作る方法論は残っておらず、シンセシスは歴史的に人類の継承ができていなかった。それをいわゆる分析型の学会誌のように、のちの人々に残せるようにしようというチャレンジだったわけです。学会誌の名前は、赤松さんが Synthesis (統合・構成) と logy (学) をつなげた Synthesiology を提案してくれました。今は Synthesiology という名前も徐々に認知されてきつつありますが、シンセシスが人類にとっての科学や技術においてどのように寄与し、発展していくのかということはまだ結論が出ておらず、Synthesiology の使命は非常に重要だと考えています。

赤松 “第 1 種基礎研究”の世界と“製品化研究”の世界をつなぐためになすべきことは何かという課題なのですが、こういった基礎的研究による人類的課題達成とイノベーションの促進のためには公的な研究開発資金の投入が重要な役割を果たしています。ファンディング

エージェンシーや企業のご経験のある方々においでいただいていますので、これまでの方法論だけでいいのか、そこに構成的アプローチを導入することが有効なのかについてご議論いただきたいと思えます。

研究開発プロジェクトの計画や事前評価において、構成学的な考え方が役立つのかということについていかがでしょうか。

構成的アプローチは有用か

柘植 シンセシスが学術論文となるかという議論の前に、イノベーションとは社会的な価値や経済的な価値に結びつくものであり、構成学を“実用”と捉えてお話しします。1995年から2010年までのGDPを見ると、世界が2倍伸びているのに対して日本は横ばい、明らかに世界の持続的発展に取り残されている。これにはいろいろな原因があると思うのですが、国を挙げた科学技術投資がイノベーションに結びついていない。では、どのようなイノベーションをおこそうとしているのか。これは20世紀のキャッチアップ型ではなく、とんでもなく難しいフロントランナー型のイノベーションをおこそうとしているわけですし、個別先端科学技術創造能力と、それをインテグレーションして社会経済的な価値にしていく統合化能力、その両方の能力と人材が不可欠であり、構成学のいわゆる社会的な活用としては「統合化能力」とその「人材」と私はとらえています。

産業はイノベーションと人材育成を、国研は研究開発、人材育成・教育を、そして大学は教育と基礎研究を担っているのですが、それぞれの参加者が担う価値創造とそれらのフローやインターフェースを明確化しコミットメントすることが必要です。これが欠けているために、科学技術がイノベーションまでいかないというメカニズムに陥っているのではないかと。そこに構成的アプローチの役割の重要性があると考えています。

赤松 具体的にインターフェースをどのようにイメー



柘植 綾夫氏

ジされていますか。

柘植 研究を担う参加者とコーディネーターの2つあると思いますが、今、国がリサーチ・アドミニストレータという職種を育てようとしています。コーディネーターやリサーチ・アドミニストレータは論文を書けないかもしれないけれども、社会的・経済的な価値に対する貢献はあります。そういう職種も社会的に評価すべきです。

桑原 私も「構成的アプローチが有用である」と申し上げたいと思いますが、二つに分けて考えたい。一つは、研究開発のプロジェクトがシステム開発であれば単独の技術で成り立つわけではなく、「複数の技術をどういう順番でどう組み合わせ、誰がどうやって制御して最終の形にまで持ち込むか」ということですから、必然的に目的、プロセスを明確化し、管理して最終的なところへ中間評価を含めて持っていかという中で構成的に考えることは必須です。企業でも未熟なところがありますが、これがちゃんとできているものは成功の確率が非常に高い。もう一つは、研究開発プロジェクトが個別の科学技術開発であれば、目指す目的がおぼろげであっても、研究の位置付け、推進方法、必要となる人材の明確化のために構成的アプローチの有用性は高い。この2つの分野での構成的アプローチは、たぶん一つになっていくのではなかろうか。検討の過程でお互いを含めて全体を俯瞰することが、漏れがなく正しい方向に行くのではないかと期待を持っています。

敢えて付け加えると、私は基礎研究を自由発想に基づく基礎研究とイノベーションを実現するための基礎研究の二つに分けたい。前者についてはあまり強いシナリオは危険だと思いますが、後者については目的や構成方法、中間評価での選択、必要となる他の技術の予測術、最後にこれをどうやってイノベーションを担う人たちに渡していくのかという明確なシナリオを作っておくべきだと思うのです。

赤松 NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の研究はイノベーションを意識して目的を設定し、それに必要な開発をする性質が強いのではないのでしょうか。

古川 私は Synthesiology について勉強して本当に素晴らしいと思ったのですが、なぜこういうことをあまり意識しないで来られたのか顧みますと、この40年のほ

とんどが海外を追いかけるというフェーズでしたので、その場合には絶対にシンセシスよりアナリシスなのです。追いついて、追い越そうとしたときにシンセシスということが極めて重要になる。目標、目的をいかに作り上げるかということが重要だと再確認すると同時に、こういう言葉が逆に基礎研究の皆さま方から出てきていたというのがちょっとショックでしたね。基礎研究、応用研究はJSPS（独立行政法人日本学術振興会）やJST（独立行政法人科学技術振興機構）にやっていただき、その果実を産業として大きくしていくことがNEDOに与えられた課題だと思っております、その意味からもSynthesiologyというコンセプトはNEDOにとっても極めて重要ですし、私どもシステム側からこういうことを考えなければいけないということを改めて感じた次第です。

研究論文の最後の1行と目標をつなぐツール

中村 JSTは自由な知的好奇心に基づく基礎研究をされる大学の研究者と産業界の中間から少し大学寄りに位置していますが、死の谷を克服して社会的・経済的価値に結びつけるということで、“バーチャル・ネットワーク型研究所”を標榜しております。期間を決めて世界あるいは日本で最も優れた研究者を集めて一つの研究所をバーチャルに作っていくという意味ですが、国の言葉で言うところの「戦略目標に合った」基礎研究をすることと、そこから出てくる成果を産業へ一貫してつなげ、運営する。企業につなげると新たな課題が発生しますので、それをまた目的志向の基礎研究に戻すことをスパイラルアップ的に回しています。戦略目標は、CRDS（独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター）の戦略プロポーザルという形で科学技術イノベーションの方向性や取り組む課題を検討し、それをもとに文部科学省で決めるわけですが、この出発点を間違えると5年後、10年後に大きな影響を及ぼします。

戦略目標を研究領域に落とすところからJSTの事業



中村 道治氏

が実際にスタートするのですが、「うまくいくとこういう社会的・経済的価値に結びつく」というより、世界の動きを見ながら、あるいは「これが大事だ」と先生方や学会が言っているからやっているという感じもあり、まさにシナリオ作りをしなければいけない。基礎研究は非常に不確かな、しかもかなり先の話になりますが、みんなで努力してスタートラインのシナリオあるいはビジョンを持って、それを実際に進めていきながら改善していこうとしています。シナリオを作るあるいは研究プロジェクトを立ち上げ設計する方法論として、構成学（Synthesiology）がもっと我々が使えるツールになれば、あるいは共通のツールとしてもう少し広く使えるようになれば非常にありがたいです。

赤松 JSTのグラントリクエストに「提案者はシナリオを書く」というレベルにまで落とそうということでしょうか。

中村 今はそうなっていないです。「将来こういうことが解明できて、人類の健康に役立ちます」と必ず最後に1行書いてあるのですが、それは実際の研究とはほど遠く、最後の1行だけが社会の言葉で書いてある。そこをつなぐ努力が我々は今できていない。基礎研究といえども、そこをいつも考えながらやったほうがいいと思うのですが、現状はそのツールがないということです。

ファンディングとイノベーション

赤松 研究開発プロジェクトの中間評価や事後評価の段階に話題を移したいと思います。有本さんは多くのプロジェクトをマネジメントされておられます。

有本 ファンディングのプログラム、プログラムの下で走る研究課題であるプロジェクトのそれぞれが、日本全体のイノベーション・エコシステムの中でどの位置にあるのか。次に、イノベーションの長い時間軸の中で社会や市場のどこに向かっているのか、今どこにあるのか、そのポジションをPD（プログラム・ディレクター）、PO（プログラム・オフィサー）がスタートの段階からステージに応じて共有しているかということ、甚だ心もとないところがあります。ただ、ブルースカイ型とミッションオリエンティッドな研究とでは評価やマネジメントの仕方が明らかに違うわけですが、ブルースカイ型でマネジメント側が介入的にやるとおかしくなるし拒否もされますが、ミッションを帯び出したらしっかりマネジメントすべきと考えています。私がRISTEX（独立行政法人

科学技術振興機構社会技術研究開発センター)を引き受けたとき、設立当初の目標と異なって論文生産のファンディングになっていたの、これは実験だと思って、社会実装への重点シフトを常に考えながら領域総括(PO)を選ぶ、公募条件の工夫等を進めて来ました。社会実装を意識的に掲げ継続していくと、申請する側も研究体制づくりや成果の社会実験の仕方あるいは研究組織をどう構成するかを旧来型でなく考えます。まさしく構成学の一つであると思えます。

赤松 あるところまで介入すると、そこで行われている研究開発がプロセスの中で適切だったかどうかを評価しなければいけません、プロジェクトはいったん始めるとなかなかそこはいじれない世界になっていませんか。

有本 おっしゃるとおりですが、RISTEXではPI(研究主宰者)や研究体制を何件かプロジェクトの途中で変えています。プロジェクトごとの個々の研究成果、評価だけではなく、一層上のプロジェクトが集まったプログラムのレベルで、マネジメントの方法等について構成的・俯瞰的な分析をし、RISTEX全体の運営改善に反映させる。こうした相互作用が非常に大事だと思っています。

赤松 JSPSはどちらかというと基礎的なファンディングをしておられますね。

安西 目的志向の研究以外に、知的探求から出発したアプローチがいろいろなところに芽を出していて、それを拾うことがイノベーションに大きな役割を果たしていると思えます。あるところを選択してテーマを決めても、それ以外の畑に芽が出ているかもしれない。フィールドは無限にあり、科学技術の可能性は広い。その広いところの芽を常時育てることが、特に日本のような「追



安西 祐一郎氏

いつけ追い越せ]の時代を過ぎて、自分でオリジナリティを持ってイノベーションを進めていかなければいけない国にとっては極めて大切で、今までの話につなげれば、JSPSは無限の畑で芽をはぐくむ、それも自分から芽が育っていくように施肥するファンディングの機関だと考えるべきではないか。それは往々にしてマーケットから遠いため地味なのですが、科学技術のテーマの広さや、これからのイノベーションが全く新しいところから芽が出るかもしれないという、シンセシスのおもしろさにはそういう面がありますし、そういうシンセシスから出てくるイノベーションを支えるためには、私は広い畑を地道に耕し、芽を出させる仕組みが安定的・強力に必要なだと思っています。

もう一つ申し上げます、「シンセシス」と言うとイノベーションのプロジェクトマネジメントに近い話に聞こえますが、私はイノベーションは人から生まれる面が強いのと思います。開発者、技術者、研究者が信念を持って、可能性を伸ばしながら新しい芽を生み出す、それがなぜ、どのようにしてできるのかを解明するのが「シンセシスの科学」の方向だと思えます。

赤松 これが芽になっているのか、蕾になっているのかという判断はどのように考えたらいでしょうか。

安西 評価はファンディングの目的に依存すべきだと思うのです。例えば、JSPSが扱っている奨励研究や若手研究者向けの少額のファンディングで、厳密に2年間で結果が出たかどうかを評価することには私は賛成ではなく、長期的にその人が研究者として育っていくかどうかを評価しないといけないと思いますが、反対に多額のもの厳しく評価しないといけない。

ただ、これは政府のR&D資金の評価の問題と言えらるかもしれませんが、どちらかというと申請時点の評価が厳しくて、研究成果の評価については目線が次の予算を取るほうに移っているのではないかと。しかし、そこが曖昧だと、芽を出す研究と目的を持った研究が同じように評価されてしまう。基礎研究については縦断的に見ながら長期的な評価を行い、目的志向の研究については研究期間が終わった時に、産業界や違うセクターから見てもきちんと成果が出ているかどうかを評価するという、メリハリをつけることが必要だと思えます。

中村 JSTも分野やフェーズによって違うマネジメントをしないといけないと考えています。特にフェーズについては、初めに多めの研究テーマを設定して、2年目

くらいに大体見えてきますので、そこで3分の1くらい落とすことをJSTも始めています。その時の落とす理由は、「研究としては立派なものが出ているけれども目的に合わない」とはっきり申し上げた上でプロジェクトを組み直しています。

赤松 ステージゲートで「目的に合わない」と先生方におっしゃったとき、どのような反応がありますか。

中村 これは、大変な反応をいただいています（笑）。先生方はいろいろところで研究できる能力のある方ばかりですので問題はないのですが、学生やポストドクがかなり入ってきてくれていますので、1年くらいソフトランディングして止めるとか、その辺は少し苦労し、工夫しながらやっています。ただ、我々はある目的に対しての基礎研究をしているので、そこは今まで以上に明確にするべきではないかという議論をJST内では随分やっています。

赤松 もう少し目的が厳しいというか、もっとスペシフィックになっているNEDOはいかがでしょう。

古川 NEDOは経済産業省の独立行政法人ですので、経済産業省の政策に基づいた定性的な方向性がありますが、それをいかに定量的な目的・目標に刷り込んでいくかということが重要だと思っております。我々も幅広い範囲や金額の案件をいろいろやってまいりましたが、今はかなり絞り込んで、グリーン・イノベーションやライフ・イノベーション等、大きな方向でのナショナルプロジェクトにフォーカスしています。そして、中間評価、事後評価、追跡評価を行っていますが、当初の目標立案の曖昧さが出てきてしまうこともあり、この評価は重要だと痛感しています。

構成学的なアプローチという視点でお話ししますと、Synthesiologyの「構成学で求める論文の4つの要素」



古川 一夫 氏

で書かれている「開発研究目標と社会的な価値」「研究成果の社会への導入のシナリオ」「要素技術の選択と統合」「研究結果の評価と将来展望」は非常に重要で、もちろんNEDOとしても評価軸を持っていますけれども、こういうアプローチが最初の基礎研究から行われて、そこが我々に引き継がれてくれば、悪夢の時代、死の谷、ダーウィンの海を渡っていけるのではないかと。

いずれにしても、アカウントビリティやマネジメントの問題における中間評価、最終評価については、従来の流れに乗ってやっていくということではなく、その目標に対してきちんと到達・達成できているか、また次の方向性が正しいのかということはかなり厳しくやっているところです。

Synthesiologyの社会的使命

吉川 基本的な研究プロジェクトの在り方の話だろうと思います。その中で特にキュリオシティドリブンでない研究の難しさが次第に浮き彫りになってくるのですが、キュリオシティドリブンにはシナリオを作るという意思はないわけです。ニュートンの『自然哲学の数学的諸原理』ではいわゆる3法則の仮説が書いてあって、それに対して500ページの分析があって、この仮説が正しかったということを証明している。ところが、Synthesiologyは「なぜニュートンは3法則を導いたか」という論文なのです。ある種の仮説を立てるのは一種のシナリオだと思うけれども、一般の分析研究はなぜこういう仮説を立てたかについては一切問わず、おもしろいことが自然に起こって、こうではないかという仮説を出して、それを実証すると大論文になる。目的のある研究はその目的に合ったシナリオを作らなければいけないので、Synthesiologyはそこを評価しようと目的の内容が詳しく書かれている。しかし、こんなことは他の論文にはなく、中村さんがおっしゃったように最後の1行に書かれている。その最後の1行をとことん突き詰め、最後の1行を実現するにはあなたの方法でいいのかということまで問う。目的研究とは本来そうあるべきなのではなかろうか、という問題提起がこの論文にはあるのです。

柘植 吉川先生の課題に対して直接の答えではないのですが、Synthesiologyの発想が学術としても価値があるのではないかとということと今日の話題であります科学・技術・イノベーション時代を重ねますと、もう一つSynthesiologyの社会的な使命があるのではないかと。Synthesiologyが生まれたきっかけは、まさにこれが知りたいという意味のキュリオシティドリブンの基礎研究

と、そこから始まる社会が求めているものに対して役に立つかもしれないという仮説のもとでの一種のキュリオシティドリブンと言えるかもしれないと私は思っています。独自シーズを活かした目的基礎研究や分野融合による新たな社会価値創成研究としての Synthesiology の役目があると思います。一方、社会から見ると、それだけでは社会的価値にまで結びつかないので、市場価値・社会的価値にまで持っていく全体のプロセスをアーキテクチャーとして設計し、それを実行するエンジン役として引っ張ってくれる Synthesiology、この2つの課題に取り組まないといけないのではないのでしょうか。

吉川 Synthesiology ではイノベーションをする人に渡せるところまでやろうと言っているので、具体的なイノベーションの担い手や、それが社会に対してどういうインパクトがあるかということについて十分検討しなければ論文になりません。ややラジカルに言えば、出発点はキュリオシティなのです。「天体はなぜ動いているのか」と「明日の地球が滅びてしまうのではないか」、これはどちらもキュリオシティです。天体については説明できれば「良かった」となる。地球がどうなるかについては「大変だ」ということになって、すぐ行動に移り、それが具体的なイノベーションにまでつながっていく。キュリオシティによってその後続く人間の行動が非常に違うわけです。「それではどうしようか」につながる研究という意味では、問題を明らかにしただけでは完結しない。応用研究も、応用の対象を研究者が発見することで始まるのであるから、人間の根源的なキュリオシティから出てくるものばかりなのではないかということを行っているのです。

赤松 キュリオシティドリブンとシナリオ型の仮説、同じような仮説検証だけれども思考の仕方が違うのではないかという問いかけに対していかがでしょうか。

安西 抽象的な言い方になりますが、「ここでこういうことをやるとこういうことが起こるのではないか」という因果関係ですね。実際やってみて起こった、あるいは起こらなかったというのは、とにかくやってみようというトライアル&エラーのアプローチで、それに対して、結果がわかって良かった、反対にこうなると困るというのは、ある意味、因果関係の表裏と見ることができます。これを両側からやっているのだと思えば、両方がシンセシスに関与していることになる。

桑原 吉川先生に質問があるのですが、Synthesiology そのものが論文の中で単独の価値を持つべきものか、あるいは論文のわかりやすさ、起源も含めて明確にするために Synthesiology 的に書くべきであると言われておられるのか。

吉川 これはチャレンジングな話なのですが、前者です。人間の知恵は断片的な科学研究が積み重なって巨大な科学知識になったわけですが、ものづくりは決して巨大な知識になっていない。ものづくりが消えてしまったら社会的にもものづくりがなくなってしまう。科学は消えなくてもシンセシスは消える、人類はものづくりを通して行われた貴重な思考を記録することができず、大損失をしているのではないか。その結果の一つが、作ってはいけないものを事前に認識できず環境を壊している結果を招いているのだから、「ものを作るとこうなるぞ」という基礎的な知識を人間は身につけなければいけないのではないかというのが私の基本動機なのです。

桑原 その時に Synthesiology はどう役立っているのでしょうか。

吉川 “もの”を作る基本原理を次々に明らかにしていくということです。ある材料を作る、システムを作る、社会構造を作るということは、みんな「作る」です。それらを積み重ねていくと、次に何か新しい「作る」をしたとき、過去の経験が生かされて、こういうことをやったら地球にとって良いとか悪いということを知ることがわかってくる。今は新しく作ってみて、「ああ、駄目だった」ということを依然として繰り返しているのです。

桑原 目的を持ってプロジェクトマネジメント的な完成まで持っていく「ものの考え方」もいろいろあると思うのですが、それ自身が論文対象になるということですか。

吉川 “もの”を作った人は、1つ論文を書いていいと思うのです。職人が「技能を盗む」と言うけれども、ああいう方法しかないと言われていたわけでしょう。その人がどうやって作ったかという記録が残っていないから、次に作る人が作り方について学べない。

桑原 平たく言うと、あらゆる研究はシンセシスを記述すべきであるか？

吉川 “もの”を作った人が、どこでうまくいき、どこがまずかったかを記述すればするほど蓄積され、人類は賢くなっていくだろう。今は結果として“もの”しか残っていませんが、“もの”を作った過程も客観的に記述しようという提案が Synthesiology です。

桑原 それは非常に貴重な、残せる事実ですね。

有本 小林直人さんを中心に Synthesiology の論文 70 編くらい蓄積されたものをアウフヘーベン型、ブレイクスルー型、戦略的選択型の 3 つに分けて構造化されましたが、あれは非常に勉強になります。ファンディングのマネジメントの仕方や、どうやってシナリオを設計し具体化していくかという思考の枠組みを作るときに役立ついいものだと思います。今後もぜひ続けていただきたい。

中村 世の中に価値を生み出すという意味では、すべて構成的なアプローチをとってきていると思うのです。例えば、企業の研究報告の中には隘路となった主要事項が書かれているのではないかと思います。そういうものはなかなか外には出てこない。これらが蓄積されて、そこから何を学べるかというふうになってくるとすごく役立つのではないかと思います。

吉川 ちゃんと書いて公開してくれると人類として効率がいいですね。

柘植 経済的に社内の財産だからということはあるでしょうけれども、今の学術界の評価関数ではそれをまともにも評価されないというメカニズムがあることも一つの原因ではないでしょうか。そういう意味で、この Synthesiology を始められた意義は非常に大きいです。

イノベーションをおこせる人材

赤松 人材育成が重要になってくると思うのですが、いかがでしょうか。

柘植 構成的アプローチの役割を担う人材の育成の少し上位の課題として、科学技術創造立国や将来を担う科学技術人材の育成において一番大きな問題は、どんな人材を育てるのか、あるいは自分はどんな人材になりたいのか、育てるほうも育てられるほうも見えていない。教えるほうも、あるいは育つ学生あるいは子どもたちも「どんな人間が社会を支えているか」ということをもっ

と早い段階から各教育レベルで見えるようにしていくことが大切です。そうすると、自分はこのふうになりたいというイメージを持って勉強できるのではないのでしょうか。

科学技術で日本が生きていくなら、少なくとも 4 つのタイプの人材カテゴリーが必須だと思います。まず、最先端科学技術を担う type-D (Differentiator) ですが、これには 2 つあって、純粹のキュリオシティドリブンからなるケースと社会的な目的があるケースです。2 つ目は、持っていなければ必ず負けてしまう技術を生み出す type-E (Enabler Technologies)、3 つ目は幅広い基礎技術と基盤技術・技能を有する type-B (Base)、そして 4 つ目が type-D、E、B を統合し、社会経済的な価値を生み出す type- Σ です。タイプ Σ 型統合能力人材をいかに育てるかという視点が今の科学技術政策や教育政策の中で私は欠けていると思っているのですが、そこを“見える化”し、教育と研究とイノベーション政策と一緒に育てていく。D 型、E 型、B 型で一芸に秀でた人がひょっとしたら Σ 型に育っていくのではないかと思います。

赤松 同感です。私の周りの研究者を見ていても、D 型、E 型、B 型の中でシンセシスに対する感覚のいい人が中にいて、何かの機会にその能力が拡大していくことがあるという印象があります。

桑原 シンセシスはそれ単独で主張があるべき分野であることと、構成的アプローチはそれとは全く別のものだけれども、シンセシスを記述していく上では極めて有益な連結ができる一つの手段というふうに全体を整理してほしいと思います。

全体の中の一部であるイノベーションについてですが、イノベーションをおこそうと思ったら構成的なアプローチをとらなければいけない、これは明々白白です。ただ、「イノベーションとは何か」という定義が曖昧に



桑原 洋氏

なっている気がします。辞書や客観的に言われていることから考えると「従来の壁を破って、全く新しいものに到達すること」であり、従来のものの改造や改良ではなく、「イノベーション」という言葉そのものが社会への出口を非常に意識していると理解すべきです。「従来の壁を破って」となると、創造的人間や有能な人が必要です。そういう人たちの教育と、イノベーションに積極的に参画してくれる人の教育を分けて考えるべきでしょう。前者に対して私はあまり経験を持っていませんが、メーカーは「これだ」と思う人にいろいろと経験させ、失敗もさせ、それで育て上げていくという選択と実践のプロセスです。もっといい教育法があつてしかるべきだと思ふけれども、まだ思いつきません。もう一つの積極的にイノベーションに参画する人には、イノベーションはどういうものかを正確に教えてほしい。私の理解では、研究成果だけでできるものではなく、これを担う母体である国や企業が必要な投資を積極的に行い、投資のリターンの確実性をより大きくするように計画し、社会の受容性を考え、実現できるようにする。それには規制緩和や政府のインセンティブな策も必要でしょう。また、参画する人は部分的に参画していくわけですから、イノベーションをよくわかっている人たちが全力を挙げて協力して初めてできる。この人たちの育成は具体的にできると思いますので、教育として一つの形を作れるといい。

余談になりますが、日本でイノベーションをおこそうと今言っていますが、何個おこすのかということの設定ができていないのではないかと。産業を含めた国レベルで考えると、経済の解決のために大きなものを考えないといけない。選択が絶対必要ですし、国としてそういうことを考え、設定するメカニズムが必要ですね。

赤松 大学でのイノベーション人材育成を考えたとき、どのようなアプローチがありますか。

安西 イノベティブなプロジェクトマネージャーを育てていかないと日本の将来はないと考え、慶應義塾大学では理工学部システムデザイン工学科を立ち上げ、独立大学院としてシステムデザイン・マネジメント研究科を作りました。研究科のほうでもドクターが出始めたところですが、半分以上が実務経験のある学生です。今申し上げたように、イノベティブなプロジェクトマネージャーを養成するために、システムデザイン能力、システムマネジメント能力、システム思考能力、コミュニケーション能力の育成が目的になっています。イノ

ベーションをおこすようなマインドにさせる学習の場を作るということが肝心です。新しいことを発想し、チームで仕事ができ、チームのリーダーになれる、そういう人材養成を念頭に置いて詳細なデザインを描き、プロジェクトを通して学べる実践的なカリキュラムを作っています。文理融合のチームを作り、企業でイノベーションをおこした教授たちがダイレクトに教える。日本の現状を考えると議論だけしては間に合わないの、人材育成の実践をしています。

赤松 研究科くらいになるとマネジメントの訓練をすることは可能だと思うのですが、もっと早くからそういう感覚を身につけられないかというお話がありました。

安西 高等学校の学力中間層の勉強時間がこの15年で半分減り、大学生については1週間の勉強時間が5時間以下が70%近くを占めている。それは学生が悪いのではなくて教育方法が悪い。一斉授業で、教壇から教員が一方的に話をし、期末試験では覚えたことを書けば大体単位が取れるという育ち方をしてくる、大学院に行くと、ポストドクになって、あるいは企業に行きなり「クリエイティブになれ」「イノベティブになれ」と言われて、できるわけがない。高校までに、合理的な思考の基本を身につけなければいけない。もちろん基礎学力も必要だということで、その二本立てで進めるという議論が中央教育審議会の高大接続特別部会で始まっています。これは非常に大事なことで、日本全体が「言われたことはできるが、新しいことに勇気を持って挑戦しない」とよく言われますが、そこを解決していこうというものです。これこそ小さい時からやらなければいけない教育という空気は盛り上がってきています。これができるかどうかは日本の将来にかかわる。

有本 大学の修士課程やドクター、ポストドクと話していると、自分のやっていることが大きな学問体系の中



有本 建男 氏

で、あるいは社会の中でどこにあるのか、関係はどうかということが十分認識できていないのではないかと不安を感じることがしばしばあります。一方、ある大学の経営協議会の場で、学生から「先生は一方的に講義するだけでこの授業はどういう位置付けなのか教えてくれない」と言われて、若い人たちも問題意識や危機感を持っていることがわかって感激したことがあります。

今、社会技術センターでキーワードにしようと思っているのは「踏み出す研究者」「踏み出すマネージャー」、分野・組織を超えてつなぐ人材。対語的には「こもる研究者」「こもるマネージャー」。しかし危険なのは「踏み荒らす研究者」「踏み荒らすマネージャー」もいる(笑)。最終的にはアナリシスとシンセシスということで、アナリシスは学問の伝統であり大事なことはもちろんですが、シンセシスあるいはデザインやシステムも大事なのです。去年、「世界化学年」の特集で、ネチャー誌が「化学は今後どういう方向にいくのか」という特集をして、「化学はアナリシスもあるけれど、歴史的にシンセシスが重要で来たはずではないか。これが今から21世紀の化学が他の分野をリードしていく思考の枠組みや方法論になるのではないかとまとめていましたが、シンセシスの重要性はいろんな分野で認識されてきていると思います。

もう一つ、大きなイノベーションをおこそうとすると、理工系だけではなく社会科学系の知識や人材も動員しないとイケない。経済学では「ポリシーデザインにはあまり関与したくない」と言う人たちも多勢いますが、私はそこが一番大事なところだと思うのです。科研費だけに任せるのではなく、ミッションオリエンティッドのファンドを作って、社会科学者たちもある社会的課題に対して問題解決に知恵を出してもらい構造を作らないと、今のままではさまざまな危機の中で社会科学はバラバラで、社会に役に立っているのかという批判が大きくなることを危惧しています。

古川 日本としてのイノベーションの方向かなと思うのは「水素社会実現」です。水素社会はどうあるべきかを考えると、規制問題や安全性の問題等のトップダウン的なところから、最終的には蓄電池や燃料電池をどうするかまでポイントになってきます。燃料電池も SPring-8 (大型放射光施設) や J-PARC (大強度陽子加速器施設) を使って基礎的なところからアナリシスをやっているのですが、現実問題として電池の振る舞いはよくわかっていない。一番上の社会的なシンセシスから電池自身の分子・原子レベルのアナリシスまで、これができると

日本の強みだと思います。水素社会に関してはいろいろなご意見がありますが、2015年に500万円程度のFCV (燃料電池車) を販売するとコミットされている自動車会社もあり、社会の仕組みから部品レベルまで社会全体がそういう方向に行くことがイノベティブな動きになるのではないかと思います。

桑原 今のお話は大変重要で、国として水素社会を構築するように最大の努力を傾けていこうということであれば、研究の重点化は必ずとできます。国としての大きなプロジェクトは多くないし、あってもできない。そのくらいは国で候補を挙げるべきですし、日本の研究開発だけで駄目なら海外の成果も使う等、日本が世界に先んじて着手するという気概がないとイノベーションはおきません。ただ、それを決めると予算はみんなそっちに行ってしまうと考える人が大勢いるのですが、明確に「他を排除するものではない。大型のものはこれを進めよう」とすれば、安西先生が言われた「フィールドは無限にある」ことも含めていけるだろう。無作為は何も生まれないと思います。

Synthesiology は産業の出番

赤松 研究の進め方、組織の作り方、人材育成について皆さまからご意見を伺いましたが、吉川先生から総括をお願いできますか。

吉川 最近は、Synthesiology に外部の大学や企業の人、国外等から投稿もあり、非常にいい方向だと思っています。その根幹である Synthesiology のコンセプトが何かという厳しいご質問を桑原さんから受けたわけですが、最後はわかっていただけだやうで安心しました(笑)。簡単に言えば、科学の進歩がアナリシスを主体にしてきたけれども、人間の行動のほとんどはシンセシスであった。行動した結果や自然物についての議論はあったが、行動そのものに追ろうとしたとき、シンセシ



吉川 弘之氏

スという非常に学問的な新しいフィールドが出てきた。実は産業のほとんどがシンセシスなのだということで、シンセシスの重要性は非常に大きいし、それを担っていくためにこの雑誌の存在はよろしいというご理解をいただいたのではないかと思います。

「人間の行動とは何か」ということで「イノベーションだ」という話があったのですが、担う母体や社会の受容性、その結果、母体が潤うのか、それを作るエコシステムとは何かといったことも含めたものをイノベーション推進者として理解しなければいけないというご指摘がありました。これは非常に大事なことで、個々の行為がすべてシンセシスなのです。そういった意味で Synthesiology の単位とは、製品を1個作ったということよりはイノベーションがおきやすいエコシステムをどう作るのか、それは先ほどの政策論になるわけですが、そこまで将来広がっていかねばいけません。この雑誌が広げるかどうかは別として、そういった問題を内包する大きな問題提起だという気がするわけです。そうすると、シンセシスをどのように研究させるかというファンディングや研究成果の評価が非常に大きくなるわけで、JSPS、JST、NEDO、RISTEX はそれぞれ違う立場ですが、ファンディングにおけるシンセティックな能力についての評価も大事なのではなからうか。急に現実的な話になるのですが、Synthesiology にたくさん投稿している人にはたくさん研究費を出していただきたいと、こういうふうに思うわけです（笑）。

そして、「人を育てる」というお話がありました。イノベーションは人の頭の中にあるのですが、次世代につなげていくところが欠落している。もし、人類が環境問題で滅びるようなことがあると、分析的には大きな蓄積をしたが、“もの”を作ったり自然を改変する知恵は世代を通じた継承が非常に貧弱だったために、時代を通じて人類は利口になってこなかったこととなります。そのプロセスを伝えることと人を育てることは深い関係があるわけで、教育は考え直さなければいけない多



赤松 幹之氏

くの問題をはらんでいる。どういう人間を育てるかが Synthesiology あるいはシンセシスを考えたときの一つの切り口というご指摘は重要だと思います。

また、日本のイノベーションとしての水素社会実現というお話が古川さんからありました。小さなイノベーションはもちろん必要ですし、同時に国としてのイノベーションが少なくとも1つ2つ欲しい。日本が大成功した高度成長時代は、マーケットも製品のサプライヤーも、ヨーロッパの2.5億人とアメリカの2億人、日本は1億人くらいでしたから5.5億人強の中で1億人が頑張って「勝った」と喜んでいた。今、世界の人口は80億人に近くになり、それが産業での供給者となり、マーケットになりつつある。5億の相手が、80億に、10倍以上になった。このような競争の質的変化が起こる中で「小さな」日本の優位性とは何か。それはたくさんある。多数の優秀な基礎研究者の存在、そして基礎研究によるナノテクや材料技術等、また高度成長時代に生み出した技術の根幹そのもの、それは生産技術や工作機械、基本的な設計方法論かもしれないが、そういったもので商売をしようと思えばマーケットは何倍にも増えている。実は大チャンスが来ているわけで、Synthesiology 的な知恵を働かせればいい。これがおそらく古川さんや桑原さんの言われる「国として何をするかという話の背後の分析をもっときちんとやるべき」ということですし、私たち CRDS も研究プログラムを作る上で、どちらに研究方向を向ければいいのかというときの大きな条件として考えようと言っています。そして、リーダーが必要だと。私はリーダーは産業ではないかと思うのです。Synthesiology は、言い換えれば産業の出番ではなからうかと申し上げたいと思います。

赤松 Synthesiology 発刊5周年にふさわしく、これからの研究方法について示唆に富むお話を多くいただきました。ありがとうございました。

この座談会は、2012年10月3日に東京都千代田区にある(独)科学技術振興機構(JST)東京本部別館において行われました。

略歴(五十音順)

有本 建男(ありもと たてお)

1974年京都大学大学院理学研究科修士課程修了、科学技術庁入庁。内閣府大臣官房審議官(科学技術政策担当)などを経て、2004年文部科学省科学技術・学術政策局長。2006年から、社会技術研究開発センター長、研究開発戦略センター副センター長、2012年から政策研究大学院大学教授、(兼)科学技術振興機構社会技術研究開発センター長、研究開発戦略センター副センター長。

日本の科学技術政策の策定に実務者として参画。近年は、「社会のための科学」の実践を目標に、新しい課題解決型研究ファンディング制度の開発に努力。著書・論文に、「グリーン・ニューデールーオバマ大統領の科学技術政策と日本」（共著、丸善プラネット、2009）、「科学技術庁政策史－その成立と発展」（共著、科学新聞社、2009）、「Science and Technology Policy」（by T. Arimoto, in *Have Japanese Firms Changed*, Palgrave Macmillan, 2011）、「Rebuilding Public Trust in Science for Policy Making」（by T. Arimoto and Y. Sato, *Science*, vol.337, pp1176-1177, 2012）など。

安西 祐一郎（あんざい ゆういちろう）

1946年東京生まれ。1974年慶應義塾大学大学院博士課程修了。カーネギーメロン大学客員助教授、北海道大学文学部助教授、慶應義塾大学理工学部教授を経て、93年～2001年同理工学部長、01～09年慶應義塾長。現在、独立行政法人日本学術振興会理事長、慶應義塾学事顧問。文部科学省中央教育審議会大学分科会長、学びのイノベーション推進協議会座長、公益社団法人全国大学体育連合会長等を務める。日本私立大学連盟会長、環太平洋大学協会会長、情報処理学会会長、日本認知科学会会長等を歴任。著書『心と脳』（岩波新書）、『「デジタル脳」が日本を救う』（講談社）、『教育が日本をひらく』（慶應義塾大学出版会）、『認識と学習』（岩波書店）、『問題解決の心理学』（中央新書）ほか多数。専攻は認知科学、情報科学。

桑原 洋（くわはら ひろし）

1960年東京大学工学部電気工学科卒業。日立製作所大みか工場長、電機システム事業本部長、常務、専務、副社長、副会長を歴任。元内閣府総合科学技術会議議員。日立マクセル、日立電線、日立国際電気各社会長を経て、日立製作所特別顧問。この間、COCON（産業競争力懇談会）実行委員長、JISTEC（科学技術国際交流センター）会長、横幹技術協議会会長、衛星測位利用推進センター理事長、海外水循環システム協議会理事長、日本工学会副会長などを歴任。現日立マクセル名誉相談役、日立製作所名誉顧問。

柘植 綾夫（つげ あやお）

1943年東京生まれ。1967年東京大学工学部卒、1973年同博士課程修了、工学博士。1987年Harvard Business School AMP101

修了。1969年三菱重工業（株）入社、原子力発電の研究開発に従事。原子力研究推進室長、高砂研究所長を経て同社取締役技術本部長、代表取締役・常務取締役技術本部長。2005年1月内閣府総合科学技術会議常勤議員、2007年1月三菱重工業（株）特別顧問、2007年12月芝浦工業大学学長。日本学術会議会員、日本工学会アカデミー副会長、2011年4月日本工学会会長、科学技術国際交流センター会長。

中村 道治（なかむら みちはる）

1967年3月東京大学大学院理学系研究科修士課程（物理）修了、理学博士 学位論文名「分布帰還形半導体レーザーの研究」、1967年4月（株）日立製作所入社、中央研究所勤務、1990年8月同社日立研究所副所長、1992年8月同社中央研究所所長、2001年4月同社理事、研究開発本部長、2004年4月同社執行役員副社長、2007年4月同社フェロー、2008年6月同社取締役、2011年10月独立行政法人科学技術振興機構理事長（現任）、2011年10月文部科学省科学技術・学術審議会委員（現任）。

古川 一夫（ふるかわ かずお）

1971年株式会社日立製作所入社、2006年6月取締役代表執行役員執行役社長、2009年4月取締役代表執行役員執行役員副社長、2009年6月特別顧問、2011年10月より独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構理事長。また、2007年5月～2009年5月社団法人日本経済団体連合会副会長、2011年5月より一般社団法人情報処理学会会長を務める。

吉川 弘之（よしかわ ひろゆき）

1933年生まれ。東京大学教授、同総長、放送大学長、産業技術総合研究所理事長を経て、現在、科学技術振興機構研究開発戦略センター長。その間、日本学術会議会長、日本学術振興会会長、国際科学技術会議（ICSU）会長、国際生産加工アカデミー（CIRP）会長などを務める。工学博士。一般設計学、構成の一般理論を研究。それに基づく設計教育、国際産学協同研究（IMS）を実施。主な著書に「本格研究」（東京大学出版会、2009）、「科学者の新しい役割」（岩波書店、2002）、「テクノグローブ」（工業調査会、1996）、「テクノロジーと教育のゆくえ」（岩波書店、2001）、「ロボットと人間」（日本放送出版協会、1985）などがある。