INFOPRO 2009特別講演

イノベーションと情報循環

Innovation and Information Cycle

独立行政法人産業技術総合研究所 最高顧問
独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センターセンター長

吉川 弘之

YOSHIKAWA Hiroyuki

.....

(情報管理 52(12), 685-700)

1. はじめに

吉川でございます。よろしくお願いします。

私は情報のプロフェッショナルの分野の人間ではございません。むしろ科学技術情報のユーザーという立場でいつも隣に接していたという人間であります。今日は主としてイノベーションの角度から情報という問題を考え、情報循環ということをお話します。

こんな内容で話そうと思います。イノベーションとは経済学の中の1つの概念です。従来の1つの仕組みを壊しながら、新しい経済的価値を生み出すものをイノベーションと呼ぶと定義されています。ですが、現在のような環境時代あるいは持続性時代には、ただ単に経済的な問題として考えるよりは、もっと大きな仕組みの変更に重点を置いた考え方が必要になるのではなかろうかと考えています。そこで、1つの例として気候変動がどのように社会の仕組みを変えたのかという観点で、その中にわれわれがもう

吉川 弘之（よしかわ ひろゆき）氏 略歴

独立行政法人産業技術総合研究所 最高顧問，独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センターセンター長。

1956年，東京大学工学部精密工学科を卒業し三菱造船入社。1956年，株式会社科学研究所（現 理化学研究所）入所。1978年，東京大学工学部教授。1989年，東京大学工学部長，1993年，東京大学長。日本学術会議会長，日本学術振興会会長，放送大学長などを歴任し，1999年，国際科学会議（ICSU）会長就任。

本稿は，2009年10月14日（水），日本科学未来館で開催された「第6回情報プロフェッショナルシンポジウム（INFOPRO 2009）」での講演内容を，編集事務局で編集したものである。なお，同シンポジウムの開催報告は、『情報の科学と技術』vol. 60, no. 3に掲載されている。

少し小さな意味で言っているイノベーションがたくさん出てくるというお話から、現代のイノベーションの定義を試みたいと思います。

情報循環とは、社会の中に情報が巡っているということです。これは当たり前といえば当たり前で、情報というのは本来巡るもので、死蔵していたら情報ではないわけです。その情報の流れ方が実は一方向ではなく、循環しているということが非常に大事です。私はこの情報循環という言葉を発明して盛んに使っているわけです。世の中に情報は循環している、その循環をどのようにとらえるのか、その中で、情報の循環をどうやって加速し、また正当なものにしていくのかという大きな課題を負っている方々がお集まりだと思いますが、イノベーションに限っても、世の中が進化していくためには情報循環が必要だということです。

しかしながら、それは1つのモデルであり、現実を見ると非常に不完全です。もちろん情報循環というのは、情報専門家だけではなく、広い意味での科学者の役割もあります。科学者が持っている社会における役割——ただ研究していればいいというのではなく、大きな情報の担い手でもある科学者の役割は何なのか。

最後に、情報専門家の役割のお話をしますが、これは私の専門とするところではないので、むしろここは皆様に考えていただこうと思っております。

2. 最も大きなイノベーション：気候変動 において役割を果たした人々

2.1 持続性時代のイノベーション

最も大きなイノベーションの1つが、気候変動です。

昔から気候変動という話題はありましたが、それが非常に深刻だということが1950年代、今から50年以上前に言われました。そのため、価値観が非常に変化してきたのだと思います。価値観の変化は、

もちろん倫理、哲学、科学などに影響を与えますが、それだけではなく、われわれの現実の行動にも大きな変化を求めているのです。

現実行動としては、技術開発、事業経営、経済活動、国際関係などに及び、それは単なる過去の知識の適用ではできない。このことが、例えば気候変動という1つの科学の発見が、多くの人々にイノベティブな行動を要請している、というように現代をとらえなければいけないわけです。

産業革命以後、現在の持続性時代になるまでの開発時代には、社会経済の革新を引き起こすことがイノベーションの本質だとされました。それに対して、持続性時代の要請にこたえるイノベーションは、もともとと言われていた本質に加えて、持続性向上に貢献するという条件が課せられている。何か新しい仕組みで新しい富を生み出せばいいというだけではなく、方向が決まっているということです。これは過去のイノベーション、シュンペーターのいうイノベーションとは異質だということを、まず考える必要がある。

それは一体どういうことか。気候変動——これは温暖化に限って言っていますが、もともと温室効果とは、フーリエ級数で有名なフーリエが19世紀にすでに言っているわけです。空気がなければ気温は零下になってしまい、日が当たるとものすごく暑くなる。空気に守られているから地球は温暖で、生物が存在している。これは19世紀から非常に大きな話題であったわけです。

しかし、それから次第に、大気の成分が変わると温度が変わるということに、有名なチンダルやアレニウスという学者が気がつきます。しかし、例えば、アレニウスはスウェーデン人でストックホルムに住んでいましたから、温暖化して次第にまきの費用がかからなくなるので豊かになるだろうと言って、危機感はなかったわけです。

それに対して、50年代になって科学者たちが、気候変動によって、例えば、氷が解けて海面が上がる、

生態系を変化させて新しい病気がはやるといった危険がいっぱいあるということを指摘し始める。しかし、この指摘がなかなか社会に届かない。ここに情報の難しさがある。50年代からたくさんの、正確に数えたことはないですが、恐らく数千の論文が出ています。しかし、その数千の論文には社会が気がつきなかったわけです。気候変動があることはわかりましたが、それによって何をすればいいかということについて、世の中は動かなかった。

しかし、1985年に、非常に重要な会議が、オーストリアのフィラハで開催されました（フィラハ会議）。そこに科学者、政治家、行政関係、マスコミといった人たちが大勢集まって議論しました。必要なのは科学者のコンセンサスで、科学者が一致して物を言わなければいけない。科学者がばらばらにいろいろなことを言ったのでは、結局、その情報は本当に届いてほしい人に届かないのではないか。そういったことが話し合われました。

これがきっかけになって、ブルントラント委員会から「我ら共通の未来」（1987年）という有名な本が出ています。その本で初めて地球温暖化という問題が大きく取り上げられました。それがリオデジャネイロの地球サミットにおいて、気候変動枠組条約（FCCC）や、すでに科学者が参加して始まっていたIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）と一体化して、ついに政治的な話題になりました。

2.2 情報のインピーダンスとは

あるところで情報が発せられながら、それが詰まってしまう。情報のインピーダンスと私は呼びますが、インピーダンスが大きくなってどこかで詰まってしまう。あるときにあるきっかけでそれがどっと流れる。そういう不思議な構造を世界は持っていて、恐らくそこにインフォブロという方々が大変苦労されている面もあると思います。現代社会になって情報化時代と言われながら、さまざまな問題がある。温暖化だけをとってみても、そういうこと

があるということです。

皆様も科学者と接する機会が多いと思いますが、科学者はあまり人の言うことを聞きたくない。人と違うことを言わないと有名にならないから、みんな違うことを言っている。そういったばらばらの発言は情報としては扱いようがない。そういった問題ははっきりしてくるわけです。

これはその1つのケースです。今お話ししたことですが、基礎研究者が研究して、新しい知見が出てきて、それが社会に対する警告になる。そうやって初めて情報が科学者の中から外へ出ていこうとするわけですが、しかし、実際にそれは出ていかない。50年という時間がかかってしまった。しかしながら、サイエンティストの声がそろった声——unique voiceになったとき、初めてそれは国際機関等に影響を与えて、政治の世界へくる。こちらは科学者がさらに研究を続けるということで、ここに科学者と社会が協力して1つの方向が出てくるわけです。

科学者が新しい知見を発見して、世の中に警告を発して、何かしなければならぬということをするのは、言われてみればわかります。一方で、世の中から科学者に対して何をしてくれというのもまた情報です。これは非常にインピーダンスが大きい。ジェーン・ルブチェンコという人が——アメリカの海洋気象庁の長官になった女性で、国際科学会議（International Council for Science: ICSU）では私の次の会長で親しくしていましたが、強くこのことを主張しました。

科学者の研究はほとんど公的機関の、公的なお金を使っているのです。公的な一般の人々が科学に期待しているから、その研究費が出ている。科学者はそのことを知らなければいけない。ところが科学者というのは、科研費に当たったと言って、宝くじに当たったように「さあ、今年は研究ができるぞ」と喜んでいる。それは間違いで、社会から科学者コミュニティに対する、科学者に対する重要な期待感が研究費の上に乗ってきているわけです。ですから、

お金というのは、この場合、極めて重要な情報で、研究費をもらったというのは、その期待感を突きつけられたことに等しいとルブチェンコは言ったのです。したがって、研究費をもらったということは、「いいことをやりますよ。だから、お金をください」と契約し履行することだと、科学者に対して非常にはっきり言った。

ここにそもそもこういった1つの情報循環があって、社会の期待が科学者の提言になって、また研究成果という形になってこちらに流れていって、その結果、また新しい期待が生まれる。これはある種の情報循環です。情報循環という言葉では言いませんが、こういった概念はすでにそのころからあったということです（図1）。

図1

2.3 科学的発見からイノベーションへ

さて、なぜ気候変動がイノベーションなのかという話に戻ります（図2）。気候変動をはじめ環境問題は、あらゆる分野で議論されてきました。例えば、哲学の分野では、レイチェル・カーソンが『沈黙の春』を1962年に出しました。今でいえばケミカルリスクという概念がすでに62年に言われている。これは大変重要な本の1つだったと思います。そういった哲学者と言っている人たちがいろいろなことを論じて、環境問題は非常に重要で、人類が持続性という概念で事を運ばなければいけないというのは、少

“気候変動の発見がイノベーションをもたらした”

哲学	科学	政治	経済	技術	教育
沈黙の春 (Rachel Carson, 1962)	気候変動研究 (1950~)				教育における 領域の完成 (19 th century)
成長の限界 (Club of Rome 1972)	IPCC (1988~)	人間と環境会議 (UN, 1972)	石油危機 (1971, 1979)	省エネルギー	
ファクター 4 (Club of Rome, A.Lovins, 1995)	IPCC (3 rd 2001)	地球サミット (UN 1992)		再生エネルギー	知識の 急激な増加
Cool Earth (2007)	IPCC (4 th 2007)	UNFCCC1992~ 京都議定書(1997)	排出権取引 (2002, UK)	二酸化炭素 隔離	高度に領域化を 達成した 教育システム
	持続性科学研究	G8- サミット Gleneagles (2005) St. Petersburg (2006) Heiligendamm (2007) Tooyako (2008) L' Aquila (2009) 国連総会 (2009.9)	セクター アプローチ (2007)	適応技術, 軽減技術	持続性教育
	持続性科学の 創出（社会の ための科学）	資源（負）問題に おける国際協調 の仕組み	新経済制度： 排出権取引、 気候変動経済学	新エネルギー 適応技術、 軽減技術	持続的開発の ための教育 (UNESCO-ESD)

図2

なくとも哲学（思想）の世界ではこの数十年の間に成立してきたと思います。

科学では、まさに先ほど来言っている気候変動研究がたくさんあって、多くの研究成果が出されました。しかし、多くの研究者が集まって、人類の行動が温度変化をつくっていると結論したのが、このIPCCのグループです。

政治では、現在、環境問題は大きな話題になってしまいました。G8サミットで毎回大きな話題として地球温暖化という問題が出てくる。

それを受けて、経済でも排出権取引がいよいよ世界的な経済システムに大きな影響を与えようとしています。わが国ではセクトラルアプローチというのを採っています。2007年に英国でスターン報告が出て、これはまさに経済の主要問題であり、経済学は現在の経済学でしかなかったわけですが、スターン報告では未来の人類を巻き込んだ新しい経済学をつくらなければいけないと言っています。

技術については、省エネルギーというのは日本が始めたわけですが、これは環境問題というよりは石油ショック対策で始めた。それが今生きているわけです。最近になって適応技術や軽減技術がたくさん出てきた。

教育でも、最近は持続性教育が重要になってきている。

こうして各分野で大きな変化が出てくる。イノベーションというのは伝統的な仕組みを変えて、新しい仕組みで知的な新しい生産物をそこでつくっていかうということだと解釈すれば、これはみんなイノベーションです。狭い意味では新しい技術がイノベーションですが、経済制度の大変化というのも重要なイノベーションであるし、こういった国際協調の仕方についてもこれほど大きなイノベーションはありません。そういったことで、気候変動という1つの科学的な発見が、非常に大きなイノベーションを引き起こす。それを強く認識しなければいけないと思っています。

3. 現代のイノベーション

3.1 条件付きのイノベーション

さて、現代のイノベーションの代表的なものは気候変動からくるさまざまな社会的、経済的、技術的变化だと言いましたが、ここでもう1回これを振り返ってみたいと思います。

イノベーションと今盛んに言われている。なぜ今、世界的に、一斉に、個人も企業も政府もイノベーションを求めるのか。これは多分いろいろな理由があって、個人レベルでは、理由はよくわかりませんが、追い立てられるように何か買わなければいけない、という生活をしている。企業も大競争時代と言われ、立ち止まったら負ける。国家においても、ベルリンの壁が壊れて平和な時代が来ると思ったら、ローカルには次々と難問が出てきてしまってどうしようもない。だから、今のままでは人類はやっていけないということがわかってきました。変わらなければいけない、今より良い仕組みがあるはずだ、それを求めようと、個人から国家の水準に至るまでみんな考えている。これが、イノベーションという言葉が非常に心地よく聞こえ、必要だと考える理由です。

地球環境というのは、昔は恩恵でした。無限の空気と無限の資源と無限の空間があって、それを使えば豊かになれる。ところが、今やそれは上手に維持していかなければならない対象になったわけです。国際関係は、脆弱なものだということがわかってきた。社会や経済も伝統的につくってきたものだけではうまくいかないことがわかってきた。教育もたくさん知識が増えたのに、教育のインピーダンスによって情報の流通が非常に悪くなって、難しい状況に立ち至っている。

これらを解決するためのイノベーションですから、何でもいいから新しければいいという、経済学者の言ったイノベーションではなくて、イノベーションの方向が決まっているわけです。環境も良くなり、開発も進んで豊かになるということが同時的

図3

に動かなければいけないということです（図3）。従来は、環境を良くしようと思えば、開発は抑えた。開発をすると環境は悪くなった。それを環境も開発も両方が良くなる方向へ動かす。これがまさにイノベーションです。私たちは踏み外してはいけない方向という中でイノベーションを考えなければいけない。条件付きのイノベーションだということに気がついたので。

3.2 日本のイノベーション：過去の成功と現代の問題

前世紀、20世紀において最大のイノベーションを行ったのは日本だったのではないかと私は思っています。それを忘れて外国に範を求めるよりも、もう1回、日本で何をやってたのかということをよく考えようというわけです。

基礎的な知識、科学というのは、戦後しばらく停滞していました。しかしながら、日本は先進科学を学ぶことが非常に得意でした。それが産業に対して知識として流れるという道筋が1960年から1990年の高度経済成長時代には存在していたわけです。知識の流れ、これはまさに情報の流れです。

非常に多くの社会的な仕組みの上に乗って情報は流れます。例えば国鉄が鉄道研究所を中心に新幹線を作り上げていく歴史を見ると、そこには日本の復興の夢が若者の心をとらえ、そして、志があり能力

のある人間が結集して、骨身を削って新幹線を作っていくという歴史がある。すばらしい日本全体の知を結集する、まさに情報が集まってくる構造が存在していたわけです。

現在、日本で優秀な研究が行われていますが、それも研究者を上手に結集する——結集というのは1つに集まるというだけではなくて、そこには非常に多くの協力、情報交換があって、1つのパワーをつくり出してきたという過去があったからです。

今はどうもそういう流通がなくなったのではないかと思います。失われた10年、15年と言われる90年代以降の停滞は、おそらく、日本がずっと成長してきたやり方、仕組みがうまく通用しなくなった、あるいは、ある種の意図によってそれが抑えられてしまったことが原因です。

一方、96年以降、科学技術基本計画によって基礎研究が多くなり、1950年に比べれば、日本の研究水準は今、非常に上がりました。研究論文という点でも、citationという意味でも、いろいろな国際賞という意味でも、日本はどんどんいい成績を上げてきた。したがって、大学、研究所など科学コミュニティにはたくさんの情報がたまりきっている。ところが、それが産業界へどっと流れていって産業の世界的な競争力をどんどん増しているかというと、どうもそうではない。この間の情報流通のインピーダンスが高くなってしまったのではないかと。

では、どうすればいいか。私たちの問題点の1つとして、研究は上手にできたけれども、その研究成果が豊かさを生むという形がどうもうまくいっていない。問題は情報流通、知識を流す仕組みでしょうね。産学連携はなかなかうまくいっていません。これは一体なぜなのか。日本全体の仕組みも含めた1つの情報流通の問題があるのではなからうかというわけです。

3.3 研究と製品化の間の2つの障壁

もう少し話を狭くして、イノベーションに限って考えると、イノベーションも1人の人がやるものではありません。いろいろな人が関わっています。その間に情報の受け渡しが必要になる。それがうまくいったときにイノベーションは成功する。イノベーションにもいろいろありますが、最近言われているのは、科学技術基礎研究をもとにして革命的な実際の社会的価値を生み出すイノベーションです（図4）。科学技術イノベーションに限定すれば、基礎研究がまず存在し、そして、企業による製品化研究があり、その製品化によって——製品化というのは決して物ばかりではなくて、制度やサービスなどいろいろなものがありますが、新しいコンセプトが社会に入っていくって、社会に新しい価値を生み出す。基本的には基礎研究があって、製品化研究があって、イノベーションがあるということになります。

この間に障壁がある。障壁は2つあると私は言う

図4

ています。1つは、基礎研究が具体的な物として形をなしていくための研究です。これは非常にやりにくい研究で、研究者がやりたがらない一種の暗黒空間がここに存在しています。もう1つは、物になっても、それを社会に取り込んでいくというところには第2の障壁がある。今日の言葉で言えば、それは情報のインピーダンスが極めて高いということになるわけですが、情報が流れていかない。

それを解決するために、新しい研究として第二種基礎研究というのを科学者の間で私は提案しています。科学者というのは、大発見、画期的発明が好きです。発見・発明をすると、その人は偉い科学者だと認められるからです。しかし、自分の大発見がすぐに現実の社会に役立つことにはなりません。発見を役立たせるためには非常に時間も労力も新しい種類の研究もしなければいけないわけですが、あまりに労力が多いために、科学者の多くは論文を出してしまうと、次のテーマに変えてまた新しい論文に取り組む。結局、大発見は研究側にとどまっているわけです。産業側につながらない。

では、誰が研究側の知を産業側へ流すのかという問題になるわけです。これは私がハンガリー人と2人でやった研究ですが、統計を取ると、ほとんどの新しい技術に対する社会の関心はこういう経過をたどっています（図5）。この谷をnightmare（悪夢）と名づけました。

これはCAD (computer-aided design) 発明の例です。

図5

コンピューターの中でいろいろな幾何学的な図形を扱えるということを最初に示したのが、1963年のアメリカにおける学会で、サザーランドというMITの研究グループの1人が発表しました。これはすばらしい。大賞賛です。今まで図面の上で絵を描き、自動車の設計図も全部製図板で描いていましたが、そんなものは全部コンピューターの中に入ってしまうと言われた。この発明によって製図板は5年後に社会から姿を消すであろうと言われ、みんな期待感が上がった。しかし、5年たっても製図板は一向になくならなかったわけです。

コンピューターの中で幾何学図形を扱うことは本質的な無理があった。曲面というのはアナログの世界ですから、デジタルで扱ったら誤差が出ます。その誤差をどう処理するかという大変重要な数学がなかったわけです。交点を何回も求めているうちに誤差が爆発して、ばらばらになってしまうわけです。これでは実用化・製品化にならないということはすぐわかります。そして、失望の時代が来て、逆に、「あなた方は詐欺師だ」と非難されて、研究者の1人はアル中で亡くなったり、本当につらい悪夢の時代を過ごしてしまう。

しかし、現在、計算幾何学 (computational geometry) によって、曲面をコンピューターの中で扱うときに、その誤差を分散しないようにうまく制御していくという基礎数学ができて初めてCADが具体的にできるようになった。この間に何と1960年から1980年代まで、20年という時間が経っていました。

開発から製品化の間には、そういう悪夢の時代がある。これはある種の情報変換です。ここで出てきた基礎的な知恵は、そのままでは製品になりません。現実存在するものになるためには、ある大発見の知識だけではなく、すでにあった知識や新しい発見を集めてきて、構成的研究、syntheticな研究をする。新発見は分析的な研究ですが、構成的な研究です。そういった研究には平均15年くらいかかる。

壁にぶつかったら、新しい基礎研究をやって知恵をつくり出したり、あるいは、考えてもみなかった新しい分野の知識を持ってこななければならない。昔は機械技術者と電気技術者は別々にやっていればよくて、あとは電線で結べばよかったわけですが、それが一体となって物を考えるような全然違う思考形式が必要になり、そのようにして新しい研究をする。

イノベーションというのはそういうものです。イノベーションは、新しい知識が出ればできるのではなく、その後、世の中であまり認められていない大変つらい時期がある。研究者にとってなぜ悪夢かというと、この研究をやっていると論文が書けない。ですから、研究者として認められない。新しいポストが得られない。これは研究者にとっては致命的です。

3.4 構成的な研究の必要性

では、この構成的な研究は誰がやるのか。私はたまたま産業技術総合研究所に8年間いましたが、そこにいた若い研究者と議論をして、ひとつわれわれがやろうじゃないかと言いました。ルプチェンコが言ったように、私たちは研究費を一般の人々から期待してもらっている。産総研は公的研究機関ですから、われわれがそういうものをつくって社会にお返しする。もちろん基礎研究も一緒にやりますが、その基礎研究の結果を製品にまで持っていくという研究をやろうじゃないかと言ったところ、産総研の若い研究者たちが一緒にやろうと言ってくれた。それで、本格研究と名づけて一緒にやって、実際に基礎研究——産総研の場合は産業技術ですが、産業にどのように役に立つかということまで、実際に自分たちでやろうとしたのです。

産総研の研究ユニットというのは、第一種と呼ばれる普通の基礎研究の人と、企業で研究をするような応用研究、あるいはベンチャーをつくらうという人々と、今言った悪夢の研究をする人たち、三者が一体になって研究ユニットをつくりまします。これ

がまさに情報の流通に必要なところで、三者が別のところにいたらだめなわけです。情報というのはなかなかタフな存在で、紙にすれば、あるいは媒体にすれば伝わるというものではありません。こうやって一緒に危難をとともにすることで伝わるという面もあるのです。

産総研でそうやって50幾つかの研究ユニットをつくりましたが、1つのユニットに、平均どれくらいの分野（ディシプリン）の人がいるか（図6）。1つの研究ユニットの中に非常に多くの種類の研究者たちが入っていることがわかります。40人いるところでは、こちらのユニットの方でも9種類ぐらいのいろいろな人がいる。ごちゃまぜの研究グループになってしまう。一方、大学は自分で教育した人たちがその研究室に入るわけですから、完全均質組織です。1つ組織があれば、専門分野は1。機械工学科は機械工学の出身の人しかいない。こんなのはおかしいわけです。

言い換えれば、異なった研究分野の人の間の情報流通のインピーダンスはいかに大きいかということです。異なった研究分野の人がばらばらにいたのではだめで、例えば、大学にあって、機械工学科と電気工学科というのは仲が悪い、ということでは、情報が流通していない。そういうところではイノベーションが生まれるはずがない。それをどうやって克

服するかというと、1つは、一緒にしてしまうということです。そしてもう1つは、情報専門家たちの仕事はそこに待っているわけで、どうやって情報を流通したくない人たちの間に流通させるかという仕事があるわけですね。これは皆さんの仕事です。

4. 進化のための情報循環

4.1 進化と情報循環

いよいよ情報循環という話になります。

情報循環とは何かというと、今日話題にしております方向が定められたイノベーションということです。一步一步、そのイノベーションによってわれわれがある方向に向かって前進している。ある方向とは、持続的な社会の、持続的な地球の実現ということです。地球という、人間が置かれている環境に適応していくことですから、それはまさに進化です。進化というのは、生き物が自分の環境に適応して生きていく。生物はそうやって進化していくわけです。したがって、われわれもいよいよ進化の構造を持たないと地球の中で生きていけないということに気がつくわけです。それが開発時代から持続性時代へということです。

そういう時代に情報循環が必要なのです。それはなぜか。私はこういう図をよく描きますが（図7）、

図6

図7

情報循環というのはこういう構造を持っている。ある対象が持続的な進化, evolutionをするためには, こういう構造を持っていなければできないということです。

まず進化する対象がある。進化する対象がどういう状態にあるかを観察する人がいて, 観察の結果を警告する。先ほどの気候変動でいえば, 大気を観察している人は, 危ないぞと警告する。それを受けて, それでは炭酸ガスを減らす低炭素化社会をつくらう, それにはこういう技術が必要だというような, 具体的にどうすればいいかを提案するのが構成者です。その提案を受けていろいろな行動をする人が社会にはいて, その行動の結果, 対象が変化していく。その変化をまた観察する人が見つけて, いい方向に提案していく。これがうまく回転しているときに, 存在しているものは進化していくということです。

具体的にそういう例はたくさんあります。一番基本的なのは言語です。ソシュールという偉大なスイスの言語学者がいます。言語というのはどうしてできたのか。誰かが人工的につくったものではありません。誰かからもらったわけでもないです。人類がある1つの社会をつくったときに, その中のある1人が, ある別の人に何かを伝えようと思う。例えば, 何か恐ろしい猛獣が来たとき, 仲間に危険だと伝えますが, 言葉はないわけですから, 何か言ったわけです。何か言って, それが危険だという意味が通じ, みんながさっとどこかへ隠れる。そうすると, 通じた言葉が社会的に残る。そういうことをソシュールは言ったわけです。すなわち, 発話者がいて——彼はparoleと言いますが, 発話したものが社会で受け入れられたとき, それは社会的に登録され, 言語系をつくる。それを彼は社会的結晶あるいは同意配列的能力と言いました。何回も使っているうちに, 理解されなかったものはだんだん捨てられ, 理解されたものだけが生き残っていく。その結果できたのが言語です。これが言語の進化だと言ったわけです。

そのためには, 話し手と聞き手が両方いて, それ

がまさに対等に参加しているわけです。こちらから一方的だったら絶対に進化しません。その結果, 登録されたことを前提にして同じ言葉を使うから, 言語が進化する。進化というのはこういうループの構造を持っているわけです。

産業で, 製品が進化すると言いますが, これもある種の情報循環です。実際に新しい設計をして, 製品を世の中に出す。よく売れた。どういうふうに使われたかという情報をもとにして新しい製品を作る。ですから, こういった情報循環があって, 工業製品は上手に進化しているわけです。

4.2 気候変動と情報循環

さて, 先ほどの気候変動も一種の情報循環だったと解釈されます。それは, 観察者というのは気象学者であり, 大気の科学者でしたが, その人たちが実際に観察してそれに警告を発し, その警告を受け止めたのが, 政治の世界だったわけですが, 政治の世界に今度は産業も入ってきて, グリーン・インダストリーと言っていますが, そういった実際の行動者が行動し始める。そういう形で何かをすると社会が変わってきます。いいように変わったのかどうかというのを今の科学者, IPCCは常時観察して, いい方向に行っている, 悪い方向に行っていると言います。それは政治的な合意で, (2009年) 12月に行われる気候変動枠組条約締約国会議 (COP15) で議論して人間の行動を決めようということですから, よ

うやくこういう循環が回り始めたのです。その中に数々のイノベーションがある。仕組み自身もイノベーションでしたが、グリーン・イノベーション、すなわち、新しい産業が起こるぞとされているのは、このサイクルを加速するためのイノベーションがたくさん必要になっていることがわかってきたということです。今やイノベーションもこういう情報循環の中で位置づけることができるのではないかと思います。

ところが、これは皆様もお感じになっていることですが、その情報循環は非常に不十分なのではないかというわけです。

情報循環は、大きく分けて4つの主体から成り立っています。社会、自然という対象があって、観察型の科学者がいて、構成型の科学者がいて、行動者がいる。行動者というのは、社会のあらゆる人はみんな行動者です。ですから、行動者に本当の意味でいい情報が伝わっているかどうかが大事です。この行動の結果が社会を変えてしまうわけですから。

5. 情報循環の不完全性

さて、社会や自然がどう変化しているのかを、現在の観察型科学者が本当に上手にとらえているのかというと、どうもとらえていない。物理学者であれば、個別に物質はどうなっているかといったことを研究していますが、実際に植物、動物の種類が減っているということは、素粒子のことを研究している人にはまったく無関係です。現実には起きていることは、ごく一部の科学者しか見ていません。それはそれでいいのですが、一部の科学者が見たことがほかの科学者に伝わっているかというと、伝わっていません。

むしろ科学者は実験室に独特な環境や状況をつくり、ある刺激を与えて、ある反応を見る。そこに大法則が見つかる。そういうことをやっているわけですから、現実の社会で、あるいは現実の自然、山や

川で実験しているわけではありません。そうではなくて、実験室で実験しています。現実を切り出しているわけです。切り出した中で法則をつくりやすいような条件をつくって、法則をつくり出している。その科学者に本当の自然のことはわからないのではないか。それは科学者が反省しなければいけないことです。本当に持続的な社会を実現するために何が必要なのかということを考えながら自分の分野を決めている人は非常に少ない。これは大問題です。

そういった意味で、われわれ科学者が十分に観察しているとは思いません。したがって、そこから出てくる科学論文も必ずしも十分ではないですが、さらに科学者は、自分で関心のあること、知的好奇心という非常に美しい好奇心によって研究して、その研究した結果を論文として社会に出しますが、それが何に使われるかには関心を持っていないわけです。科学論文を使う人は使う人で、使えるものを使っているということになる。したがって、この間には非常に厚い壁があって、ルプチェンコの言ったような意味での循環はここには起こっていない。そういう意味では、ここに情報技術、情報専門技術が一体何をすればいいかという大きな課題があるのではないかという気がいたします。

また、仮に科学論文が出てきたとしても、この科学論文はどんどん放出しただけですぐ使える形になっていないので、科学論文がこんなに積もっても世の中は豊かになりません（図8）。世の中を変えて

図8

いくのは、行動の根拠をつくる工学系、応用系の科学者です。しかし、この人たちの方法論は極めて弱いわけです。分析に関する方法論は持っています。仮説を立て、実験をし、そしてそれを検証する。そうやって人類は科学的知識を公共財としてずっと増やしてきたわけです。しかし、工学の方法、すなわち、構成に関する方法論を私たちは持っていない。

さてその後、出てきた構成型科学者の結論が伝わって行動者が行動するのですが、この行動者に本当に必要な科学的知識が伝わっているかという、これまた不十分です。行動者というのは政治家、政策立案者、行政者、事業家、技術者、教育者、作家、芸術家などの専門家です。この人たちは、最近、多くの科学技術の知識を使いますが、正しい知識が届いているかというと、ランダムで、思いつきのようにして使っているように思われます。

実際はこの人たちが行った個別行動が社会や自然のありようを決めてしまうわけです。それが本当にうまくいくのか。例えば、言語のような上手な進化形式を科学技術知識でつくっているのだろうか。科学の中ではできているのかもしれない。しかし、全体としてそれを応用して社会全体が科学によって良くなり、持続性社会に向かっていくのかということについては、非常に不十分な状況しかないのではないだろうか。

6. 科学者の役割

6.1 持続的進化のための科学者の役割

今言ったような問題について科学者も責任を持たなければいけない。情報循環の中には科学者が2か所に入っています（図9）。実際にこのループの中の一員なわけです。これ以外にもループはいっぱいありますが、科学者という立場、あるいは科学技術情報のループと考えた場合には、これが非常に大事になります。

科学者が、行動者を含む社会、地球環境にどうい

う影響を与えていくか。もちろん科学的知識そのものもありますが、もう少し意図的な情報伝達ということ考えると、科学者が社会に助言をする。先ほどの気候変動はその典型だったわけです。ここに大きなインピーダンスがあって50年かかってしまったわけです。これをどうやってうまくやっていくのかというのが、科学者にとっても、社会の側にとっても非常に大事です。

次に、助言というのはどういうものがあるかというと、大きく分けると2つあります。政策のための科学「Science for Policy」と科学のための政策「Policy for Science」です。

政策のための科学は、いろいろな政策を決めるのに科学的知識が非常に大事になった結果重要になってきた。今話題になっているダム建設の問題も、あれは技術的な成果ですが、その結果、生態系に何が起こるのか、農業にどういう影響があるのか、自然環境にどういう影響があるのか、それらを理解するには科学的知識が必要なわけです。ですから、科学的知識という客観的な条件によって、このダムは造ってはいけない、このダムはいいという結論が出れば、みんなも「そうか」と納得しますが、結論が出なければそこで対立が起こってしまう。一体なぜなのか。私たちの知識、科学というのは、対立はありますが、いずれ結論が出てきます。ニュートンか

図9

ら量子力学に至るいろいろな議論がありますが、私たちはずっと一直線で科学的知識を増やしているわけです。そのような、調和的に知識を増やすといったことが現実の社会ではなかなか起きない。争いばかり起こってしまう。最初に申し上げたように、気候変動というのはどうやら争いを避けて協調の場面に行きましたが、ダムはそうはいきません。なぜなのか。そういう意味で科学的な助言はもっと必要だろうと思います。

政策のための科学というのは、いろいろな社会的な問題に対する助言ですが、中立性が大事になります。中立性と一貫性が必要であるわけです。

科学論文は中立です。ですが、ある科学者の意見は本当に中立かどうか、よくわからないわけです。ある種の情報として社会的に伝えていかなければならないというときに、中立的助言の水準があります。先ほど合意、コンセンサスという話をしましたが、科学者の合意に基づく間違いのない予測がほしい。ですが、100%正しいということはありません。不確実なところもあるという内容を持つ情報を入れたものを示した助言が、一番中立性が高いと言われています。GMO（遺伝子組み換え体）問題は、まさにこれに近い形で国際合意を取りつけようとしているわけです。しかし、イデオロギーや特定集団の利益のために提言、勧告するというケースもあります。科学的な助言が社会的な紛争を激化させてしまうことは、たくさん経験しているわけです。科学者にとっても、あるいは情報専門家にとっても重要なことは、社会の中で悪い助言は抑えていかなければならないということです。

科学者の間で合意の取れたunique voiceを助言すれば、社会の立場の違う人との間の紛争も最小化できる。しかし、ばらばらな助言をすると、ある人にとって有利な、ダムを造りたいという人は、ダムを造ってもいいという科学的な助言を採用し、反対者は、ダムを造ったら危険だという科学者の助言を採用する。ばらばらな声は紛争を激化させてしまいます。

図10

ですから、情報は非常に大きな力を持っていて、無色透明ではないわけです。情報がどういう形で提案されるのか。もちろんその情報をどう使うかは使う側の責任ですが、しかし、提供された情報自身を持っている性格によって紛争になったり、うまい協力になったりするということです。科学者の声を一致させるのは、科学者コミュニティの問題ですが、その情報が一致した声なのか、ばらばらなのかということは、今度は情報専門家にとっての1つの問題になります（図10）。

もう1つは、科学のための政策というのがあります。これは科学が正しく発展していくためにはどのような政策を立てればよいかという点についての助言をするものです。私のいたICSUという国際会議で、時代ごとに問題を指摘してきましたが、現在では研究倫理を中心に、科学の研究の自由と社会への貢献を考えた科学政策との本質的な関係を考えています。これは科学者の社会的責任ということであり、今日の話題で言えば、科学者の情動的側面の責任です。自分で研究していればそれでよいのではなく、その研究成果をどうやって社会に伝えていくかという責任も、広い意味で科学の政策として考えるべきでしょう。

6.2 科学者の二重の使命

科学者は2つの側面を持っています（図11）。

1つは、研究者、大学、研究機関に属して研究して、自分の研究が世界で一番いいと思っている研究者です。自分の研究がつまらないと思っている人はいません。全部、自分の研究が一番いいと思っている。大体において、科学政策を決める人たちに陳情という形で持ていきます。よく政治家も「科学者というのはお金を欲しがめる人種ですね」と言うことがありますが、それはそれで正しいわけです。自分の研究が正しいから、これは絶対強くしたいと考えます。

しかし、それだけではありません。例えば日本学術会議のメンバーになったら、自分の専門的能力はフルに使いますが、自分の専門を離れて、日本にとって一体何が必要なのか、そのためには自分の専門以外の分野に力を注がなければならない。ある意味ではつらい立場に立つわけです。そういう形での提言、中立的な助言、あるいは科学の自治的な政策提言をする助言者として科学者は日本学術会議に入っていくわけです。

総合科学技術会議というのがあって、ここは大学、研究機関からの陳情と、日本学術会議からの助言や政策提言の2つを聞いて科学技術政策を出す。具体的にはお金を出す。先ほど言ったように、お金というのはメッセージが乗っているわけです。政策は、

多くの場合、お金として行きますが、それを受け取る。ここにも情報の循環、ループがあるわけです。これがうまく回っているのかどうかは科学者として考えなければいけない。

私は日本学術会議に6年間いましたが、学術会議の人の意見をまとめるのは大変です。学術会議は、文科系もいるし、法律・経済もいるし、もちろん理学、工学、薬学、医学、農学、全部いるわけです。その人たちがみんな違うことを考えてお互いにそっぽを向いている。しかも、おもしろいことに、同じ法律の分野の中でも別のことを考えている人がいる。その二重のそっぽをどうやってまとめてunique voiceをつくるかというわけです。私はこういうところに情報専門家の方々がもっと入り込んできて、一体どういう情報が必要なのかということを、この科学者たちに教育するという必要になるだろうと思います。

科学というのは今や社会の中にどっぷりつかっていて、決して科学者だけが決めている話ではないということです。

6.3 教育における情報流通

教育も非常に大きな情報の流通です（図12）。これは水平ではなくて、世代間の情報の流通です。これに失敗したら、その国は滅びます。情報は正当に

図11

図12

伝わっていかなくてはならない。しかし、教育が今非常に難しくなっています。

昔は教育というのは易しかった。学生たちは教授にあこがれ、後々は教授のようになりたいたいと思っていた。価値観を共有していますから、教授が何か一言、言うと、学生はさっとそれを吸収する。そこに価値観を共有するvehicle、台車が存在しました。ですから、知識がよく流れていた。ところが、最近は違います。最近の学生は先生に向かって、「あなたのようににはなりたくない」と言うわけです。そういう人に向かって情報を流していかなくてはならない。ですから今、教育のインピーダンスは非常に大きいのです。初等教育から含めて教師は非常に苦しんでいます。要するに、運ぶ車がなくなってしまった。しかし、情報を伝えなければ日本は滅びますから、どうにかして世代間の情報伝達をやっているわけです。

基本的には好奇心の格差、curiosity divideが存在しています。昔は一般の人でも星を見て、美しいなと思い、科学者も星を見て、あれはどういう原理で動いているんだと思って、同じように星をじっと見つめていたわけです。ところが、今の人は違います。若者は、テレビやパソコンの画面を見て、その中で起きていることがおもしろいと思っている。科学者はわけのわからない加速器の中の結論を見ている。この2つは共通性を持つはずがない。好奇心の方向が全然違う方へ向かってしまっているわけです。これを変えなければいけない。情報の構造が狂ってしまったのでしょうか。ですから、今や情報専門家がどうやって関心の格差をなくすかという非常に大きな仕事、ビジネスが存在しています。それが必ずしもうまくいっていない。

7. 情報専門家の役割

最後に、情報専門家の役割です。最初に予告しましたように、私はここでは何も言いませんが、情報専門家は、今お話ししましたように、現代社会にお

ける極めて大きな主役なのではないかということを申し上げたいわけです。

科学技術だけに限って言っても、決して研究者だけが主役ではありません。社会がそれを支持し、社会がそれを享受し、その結果、どういう研究が必要かということを科学者に伝えるという大きな情報循環を誰が回すのかということです。先ほど申し上げたように、科学者自身の責任も存在していますが、そこに情報専門家というのが必要で、私はここに集合的知性（collective intelligence）というコンセプトを出したいと思います。知性というのは1人1人のものであって、collectivismという、何か変なことを言っているのではないかと思います。あらゆる分野の専門の人が情報流通を媒体にしつつ、協力し合う。そうしなければ、現在の持続性問題は解けません。したがって、ループをなすネットワークが持続性に必要な知識を創出するという図式が現代社会にはできているわけで、こういう中で情報専門家という方々がどのように活躍するのかというのを考えていただきたい（図13）。恐らくこの情報流通において、1つのブロックの中に限らずすべてに必要です。これをうまく回そうとすると、その人たちが情報専門家という1つの大きな固まり——社会的なセクターとして存在しているということを認識せざるを得ない。

実はこのループは欠点だらけです。四角で囲ったのが欠点です。例えば、交流の不足、ここは方法が未成熟である、ここは連携が不十分である、それから、この変化を全体的に見ている人が科学者にはいない。ですから、それは誰かが見なければいけないわけです。ここにも恐らく観察者、科学者でない観察者が必要だということになります。そういったさまざまなものが一種の情報化社会、情報化時代の科学技術において必要でしょう。仕事はいくらでもあるということです。

これは1つの例ですが、1つの製品をある企業が作って売る。それを需用者、消費者が選択して買う。

図13

この1つのやり取りの背後にいろいろな情報のやり取りが存在している。1つ製品を出すためには、申請をして許可をもらわなければいけない。そういう情報を行政でつくれば、それは需用者に対して開示しなければならない。1つの人間の行動は社会の中でさまざまな情報にがんじがらめになっているわけです。しかしながら、私たちは十分これを認識していない。情報専門家の責任だとは言いませんが、もっ

と目立ってほしいということです。情報専門家の方々がこういうところで実際に仕事をしているということを認識することが大事です。科学技術の研究においても同じことが必要だということです。

今日は情報専門家の方へひとつの期待感を述べて話を終えさせていただきます。ご清聴、ありがとうございました。