

記 録

文書番号	S C J 第 2 1 期-230930-21600000-032
委員会等名	日本学術会議環境学委員会
標題	地球社会の環境ビジョン —これからの環境学
作成日	平成 23 年（2011 年）9 月 30 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

この記録は、日本学術会議 環境学委員会における第 21 期の活動の結果をとりまとめ、記録として公表するものである。

日本学術会議環境学委員会

委員長	進士五十八（第三部会員）	東京農業大学名誉教授
副委員長	石川 幹子（第三部会員）	東京大学大学院工学系研究科教授
幹事	淡路 剛久（第一部会員）	早稲田大学大学院法務研究科教授
委員	碓井 照子（第一部会員）	奈良大学文学部地理学科教授
委員	桑野 園子（第一部会員）	大阪大学名誉教授
委員	岸 玲子（第二部会員）	北海道大学環境健康科学研究教育センター長・特任教授
委員	林 良博（第二部会員）	東京農業大学農学部教授
委員	飯塚 堯介（第二部会員）	東京家政大学家政学部服飾美術学科教授
委員	鷺谷いづみ（第二部会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
委員	池田 駿介（第三部会員）	建設技術研究所池田研究室長
委員	今榮東洋子（第三部会員）	国立台湾科技大学講座教授
委員	大垣眞一郎（第三部会員）	（独）環境研究所理事長
委員	栗原 和枝（第三部会員）	東北大学多元物質研究所教授
委員	仙田 満（第三部会員）	放送大学教授、環境デザイン研究所会長
委員	古川 勇二（第三部会員）	職業能力開発総合大学校校長
委員	毛利 衛（第三部会員）	（独）科学技術振興機構日本未来科学館館長
委員	安成 哲三（第三部会員）	名古屋大学地球水循環研究センター教授
委員	内山 巖雄（連携会員）	京都大学名誉教授
委員	小澤紀美子（連携会員）	東海大学特任教授

報告書及び参考資料の作成にあたり、以下の方に御協力いただきました。

益永 茂樹（連携会員） 横浜国立大学大学院環境情報研究教授

目 次

1	はじめに	1
2	「宇宙からみた地球」	3
3	環境への慣れと適応 ー音環境を例として	7
4	環境疫学研究は市民協力による科学的エビデンスの収集	13
	我が国で初めての本格的な出生コーホート研究を 2001 年から実施した経験から	
5	化学物質の環境リスクマネジメントとその展開	19
6	科学とコミュニケーション	
	壊滅した街の復興に科学コミュニケーションはどう貢献できるか	24
7	水域・陸域連携によるサンゴ礁保全の科学	29
8	環境学の一つの分野としての環境工学	34
9	エコデザイン学 (Ecodesign)	37
10	自然・社会・文化の持続性で「美し国」めざそう	40
	： バイオダイバシティ・ライフスタイルダイバシティ・ランドスケープダイバシティ	
11	「子どものあそび環境」	49
12	環境教育	54
13	風景の目・ランドスケープの眼	60

地球社会の環境ビジョン ーこれからの環境学

日本学術会議 環境学委員会

はじめに

環境学委員会は、日本学術会議の分野別委員会として第 20 期に初めて設置され、いま第 21 期で 6 年間最初のステージを閉じようとしている。そこで、この 6 年間のひとつのケジメとしてこの記録をまとめる。

環境学委員会の特徴は、委員会メンバーの専門が 3 つの部にわたり文理混合（融合でない）であること、研究の対象が地球レベルから、国土、都市農村、緑地、建築、人間、生物、分子レベルとその空間スケールが極端に幅広であること、研究へのアプローチ方法が実に多彩でほぼ既存の学問のすべてを包含していること、などである。

ただいずれの会員にも共通するのは、これまでの自らの専門的研究を展開するなかで「地球自然と人類の持続可能性のために、何事かを成さなければならぬ」という強い問題意識と使命感をもつが故の環境学委員会への参加であった。

委員会は当初、当に文理融合をめざし、これからの「環境学」の構造や枠組み、体系について議論したが、その座標軸を抽出するに止まり、むしろ方法論上の多様性と多面性を改めて確認することになった。

考えてみれば多くの学問が人間か生物かはともかく何らかの主体をとりまく環境という客体との関係を考察するものであれば、あらゆる専門分野に「〇〇環境学」や「環境〇〇学」が成立しうるわけであるから、「体系としての環境学」を目指そうとすることそのものが、環境学の本質をみていないのかもしれない。

いま重要なことは、二度も宇宙から地球を見た毛利衛会員の次の言葉に耳を傾けることだ。「我々人類を取り囲む環境が、自らの活動によって直接的に影響される」いま、「そして人類の存続に関わる環境の急激な変化が起きるまでに、残された時間はあまりない」いま、「これから何をすべきかを考える」べきであり、そして行動することこそ「環境学のミッション」であるのだろう。

環境学委員会が今後も果たすべき役割と使命は、研究者各自が自らの専門を通じて「何をなすべきか」「いかにあるべきか」を問い、環境問題解決に真摯に向き合うことであろう。そのために、会員各自がそれぞれの「地球社会の環境ビジョン」を描いてみる。そのことを、多くの市民に発信することが大切

になる。そのことへの大方のご理解を願って、委員会メンバー全員が各自のディシプリンを基本に置いて、いま現在の問題意識を表明すべく、多彩なテーマで執筆を得、本報告書を取りまとめた次第である。

「宇宙からみた地球」

第三部会員 毛利 衛

私の専門は「真空表面科学」で、とくに「核融合炉壁材料」を研究してきた。具体的にどのようなことをしていたかという、材料にイオンや電子、紫外線、エックス線といったビームを照射して、そのときの材料表面の原子の挙動などを観測する研究である。つまり研究者としての私は、非常に小さなものを扱ってきた。

しかし宇宙飛行士としての仕事では、これとは逆にきわめて大きなものを見てきた。そしてそのことから、実にさまざまな触発を受けた。私のなかに「ユニバソロジー (UNIVERSOLOGY)」という概念が浮かび、これをずっと考え続けるようになったのだ。

例えば英語で宇宙を「スペース」といったとき、空間という以上の意味はない。しかし「ユニバース」というと、そのなかにすべてを包含する空間としての宇宙が表現される。ユニバソロジーは、物事をいろいろな角度から見るとどうなるのか、という問題意識ともいえる。

私の中でこの概念が芽生えたのは、最初のミッションでオーロラを横切る経験をしたときだった。オーロラのひだの厚さは 0.5～1 キロメートル、そこをスペースシャトルは秒速 8 キロメートルで突っ切っていく。時間にしてわずか8分の1秒。前方にオーロラが見えたかと思うと、瞬間的に逆側に抜ける。もやもやとしながらも、ある形を持っていたオーロラだが、近づけば光の粒子が浮いているだけ。このときに私の中に浮かんだのは、「コスモスとカオス、あるいはデジタルとアナログというのは、ただ人間が解釈するための都合であって、どちらもまったく同時に存在するのではないか」という思いだった。

また、無重力の船内では、上下が逆になっても、感覚としてはまったく同じだ。天井が床になっても、床が天井になってもまったく違和感はない。同等である。もし、同等でなくなるとすれば、それは自分を中心とした思い込みがあるからだろう。このあたり、私と違って、アメリカのクルーはかなりの違和感を覚えたようで、文化的背景の違いを垣間見た気がしたが、この世界は相対的なものだと思えてならない。

◎ あらゆるものが「つながり」を持つ

2000 年の宇宙飛行では、私はシャトルでの 10 日分の仕事を終え、船窓から地球を見ていた。ただこのときは、見てはいても、そこに丸く美しい地球が本当に「在る」ということを、肌では感じられないとでも表現すればよいのだろうか、実感として感じていたわけではなかった。

ところが、2時間近くも飽きることなく地球を眺めているうちに、感覚としてわかった

ことがある。太陽が当たっている部分は昼間、当たっていない部分は夜。知識としてはもちろん知っていたが、本当に「わかった」のは、初めてだった。さらに、夜の部分の雲に朝日が斜めに差し込んだのをみたとき、「確かに地球は球として在る」ということを実感した。そして意外なことに、暗闇に浮かぶ地球がそこに存在すると感じたとき、同時にもう1つのことを意識した——「地球は特別ではない。どこにでもあるものだ」。

似たような経験をもう1つ、ご紹介しよう。1992年のミッションでは、毎日宇宙酔いに悩まされながら、サルの腎臓細胞を顕微鏡で観察しては培養液を取り換え、成長する過程の写真を撮り続けるという作業をしていた。「ああ、疲れたな」と頭を上げると、実験室の窓はちょうどオーストラリアのマクドネル山脈を見せていた。そのとき、私は思わず声を上げた。「なんだ、地球は細胞じゃないか」。スケールはまったく異なるものの、山の稜線や点在する湖の様子は、いま自分が覗いていた細胞と、とてもよく似ている。「すべては相対的なものだ」ということを心の底から理解し、「どんな物事も、本質の部分では「つながり」があるのではないか」という意識が私の中で非常に大きくなった。

◎ 宇宙の普遍的な地球、地球の普遍的な生命

スペースシャトルから肉眼で昼間の陸地を見たとき。当然ながら、人間の存在はまったく確認できない。では、生物の存在を垣間見ることはできるのだろうか。確実に見えるのは黒々とした森林や青々とした草原などの植生だけ。海に目を転じれば、珊瑚礁も見ることができるが、これらだけが、唯一その存在を確認できる生物だ。

ところが、裏側に回って夜の地球に行くとたん、それまで見えていた森林も草原も珊瑚礁も見えなくなり、光が見えてくる。70億の人間がつくり上げた都市の灯りだ。それは、実に驚くべき光景だ。夜の陸地には光が灯り、しかもその光は、道路や鉄道によってネットワーク状につながっている。もちろん今日では、このように目で見えるものだけではなくて、さまざまなネットワークが私たちをつなげている。

これらのことを実現してきた科学技術のありようとは、いったいどのようなものなのだろう。

私たちは科学技術によって、いくつかのことを実現した。

1つには、宇宙から地球全体を見られるようになった。

また1つには、生命のもと(ゲノム)がわかった。

そして、「すべての生命はつながっている」ということの理解だ。

この「つながっている」という意味は、先ほど述べた物理的なネットワーキングに限らない。もちろん、主観的な意味でもなければ、ましてや宗教的な意味でもない。ヒトゲノムを解読した結果、私たちの生命情報がDNAの塩基の組み合わせでできているという事実、他の生物の生命情報も同じくDNAからできており、塩基の並び方が人と少し違うだけという事実から、科学的に証明されたといえる。

はてさて、何という皮肉だろう。これまで私たちは要素還元的な科学を推し進めてきた。すべての現象を細かく区切り、個々の本質を明らかにすれば、おのずとすべてがわかるだろうと考えてきた。それが創造主である神に近づく方法だと考えていたわけである。

ところが、人間自身を器官ごと、臓器ごと、さらには細胞ごとと細かく区切り、ついにはDNAにまで行き着いてすべてを読み取った瞬間に、「何のことはない、人間は特別ではなく普遍的である。地球上の他の生命と何ら変わりはない」ということを自ら証明した。

実はこのことは、アジアの人たちは素朴な感覚として理解している場合が多い。しかし欧米を範とする自我の強い社会にとっては、非常にインパクトのある事実である。

◎時間のつながり、空間のつながり

初めて宇宙に行く前、無重力環境について読んだり、聞いたりして予備知識をあらかじめ蓄えた。私はそれですっかりわかったつもりでいた。実際に五感で感じた無重力環境は、その予備知識とはまったく違っていた。わずか1時間経験しただけで、そもそも言葉で伝えようとすることに無理があったのだと納得した。

重力加速度が感じられなくなったとたん、からだの細胞のひとつひとつまでもが必死に新しい環境に適応しようと懸命な努力をしている様子が感じられた。無重力状態は頭で理解するようなものではないのだ。そして2度目の宇宙飛行の時は、からだ全体の「気づき」からすぐに無重力に適応していた。最初の飛行から8年も経っているのにもかかわらずである。生命のすごさに驚かされた。

人間はこの「気づき」を他の生命とは違う方向に磨いている。社会全体として生き延びるために磨いているのだ。それが「真善美」を究めようとする文化ではないかと思う。科学や技術、芸術ばかりではなく法律も、政治も、経済も、さらには次世代の教育も、文化として社会が生き延びるためのそれぞれひとつの方法だ。

そして「生き延びる」ということは個人が生きるということばかりでなく、生命として次の世代にさらに種として繁栄するようにつなげるのが本質と思う。そういう目で見ると社会の実に多くの決まりごとは新しい世代に有利なように工夫されている。年配の人達が「今の若者は……」と自分たちの経験した価値観で若い人たちを批判しているのをよく見かける。しかし、実際には、若者の方が、新しい環境により早くより良く適応できる能力を生命として秘めているはずである。

宇宙から生命の環境圏を見て以来、自戒を込めて常に問うていることがある。

新しい世代との「時間のつながりを意識して」生きているか

空気、水、他の生命との「空間のつながりを意識して」生きているか

この2つの「気づき」が21世紀、さらに人類が持続的社會を営むための共通の鍵になろうかと思う。

これからは、この「つながり」に「気づく」ということを強く意識して生きなければ、さまざまなことが解決できない時代になっていく。地球には限りがあり、その中に息づく数千万とも1億ともいわれる生物種は、過去 40 億年間のつながりを経て、今がある。そのメカニズムの理解をベースに、新たなユニバソロジーを構築していく必要があると、私は強く思っている。

環境への慣れと適応 ―音環境を例として

第一部会員 桑野園子

1. はじめに

日常生活環境の中で、われわれの周りには様々な刺激が存在する。しかし、そのすべてを常に意識しているわけではない。今、この原稿を書いているコンピュータからもずっと連続してファンの音が発生しているが、ほとんど気にとめていない。しかし、聞こうと思って注意を向けるとはっきり聞こえる音である。環境へ適応している状態とは、必要な情報を得るための刺激以外、他の刺激の存在を意識しない状態ともいえよう。暑くもなく、寒くもない、すなわち、気温のことを意識しない状態や、いやな音、邪魔な音がない状態であろう。健康に悪影響を及ぼす環境を改善する必要があることはいうまでもないことであるが、人が感覚で受け止める環境についても、適応しやすい環境を創ることは、快適な環境へ向けての大切な方策である。

慣れ (habituation) とは 「特定の刺激が持続もしくは繰り返して提示されると、刺激に対する反応がしだいに弱まり、ついには消失する現象」である。我々は日常生活の中で多くの刺激に取り囲まれて生活しているが、その中で、必要な情報を的確に抽出するために、変化しない（新しい情報のない）刺激に対する感度を低下させることは、人が環境に適応する上に重要な機能である。ここでは、音環境を例として、音環境への適応と慣れの問題について考えてみたい。

2. 慣れやすい音と慣れにくい音

筆者らが10年間にわたって毎年、実施したアンケート調査では、居住年数が長いほど、音環境に満足しているとする回答者の比率が高い傾向がみられ[1]、当初は気になった環境の音も次第に慣れて、環境に適応する様子が示唆された。鉄道騒音のように、かなりレベルが高い音であっても、気にならなくなったという声も珍しくない。曾根ら [2] は、東海道新幹線と山陽新幹線沿線の住民にアンケート調査を行い、山陽新幹線沿線の住民の方が新幹線の音に対して厳しい態度を示す結果を得ている。これらの調査が行われた時期が、山陽新幹線の開業に近く、ここで見られた差は慣れによる影響である可能性を示唆している。

一方、上述の筆者らのアンケート調査で10年間を通じて、暴走族の音や建設工事の音は聞こえると、うるさいと受け止める比率が高く、社会的に受け入れられない音やレベルの高い音、間欠的に発生する音などは慣れにくいことが示唆された。さらに、日本、ドイツ、アメリカ、中国、トルコの5か国で行っ

た調査では、ドイツではドアの音など固体を伝わる音がうるさいという反応が多いことなど、文化による相違もみられた。

その社会で受け入れられている音、そこにあることが自然な音には、比較的慣れやすく、適応しやすい。

しかし、いかに生活に必要な機械からでる音であっても、音を聞くことが目的でない場合には、不快さを減じる対策を講じることは必要であり、さらに、快適な音環境を求めるために、一般的な音源対策、防音対策とともに、次に述べるマスキング・サウンドを利用することも1つの可能性として考えられる。

3. マスキング・サウンド

騒音とは、「望ましくない音。例えば、音声、音楽などの聴取を妨害したり、生活に障害、苦痛を与えたりする音」(JISZ8106)と定義され、たとえ多くの人に好まれる音楽であっても、受け止める人が、邪魔な音であり、なければよいと思えば、騒音になる。望ましい音環境は、不快な音がなく、聞きたい必要な音が明瞭に聞き取れる環境であろう。したがって、一般的には、静かな環境がよいということになるが、しかし、静かすぎる環境というのも必ずしも快適とはいえない。防音対策が進められ、最近のマンションは静かになってきているが、それまで問題にならなかったようなどこからか聞こえるかすかな音が耳障りになるという苦情も増えている。また、静かすぎるオフィスでは、紙をめくる音やコンピュータのキーボードにタッチする音などレベルが低い音でも気になることもあり、落ち着けない。気にならない音なら、音がある方が落ち着けることも多い。

複数の人が働くオフィスでの人の会話や電話の話声、医療現場での医師と患者の会話、薬局での薬の説明など、さまざまな場所においてスピーチ・プライバシーを守るために、マスキング・サウンドという人工的な音を導入する試みが行われている。また、マスキング・サウンドはスピーチ・プライバシーを守るだけでなく、他の音の不快感を低減する役割ももつ。永田[3]は、オフィスで隣室からもれてくるスピーチ(S)と暗騒音のレベル(N)の S/N がゼロの時、50%の人が支障があると回答していることを紹介している。また、お互いに見知らぬ人が比較的長時間ともに過ごす新幹線の車内でも、他の人の話し声が気になったり、自分の話し声が他の人に聞かれることが気になることもまれではない。筆者らは新幹線の走行に伴う車内の音と人の話し声との関係について実験を行い検討した[4]。その結果、全体のうるささと、会話のレベルと車内音の S/N の関係は単純な線形関係にはならず、最適な車内音のレベルがあることがわかり、そのレベルはほぼ50-55dBであることが示唆された。新幹線の車内音のみの評価では、騒音レベルが低いほど望ましいという結果がみられたが、

他の人の会話が聞こえる場合には、ある程度の騒音レベルの車内音がある方がよいことを示唆している。

さらに、筆者らは自動車交通騒音に良質で、かつ周波数特性が滑らかで低域成分が優勢な模擬空調音を重畳させ、その大きさを評価する実験を実施した [5]。その結果、模擬空調音が付加されることにより物理的に全体の音のエネルギーは増えるにもかかわらず、自動車交通騒音の大きさを評価が減少することがわかった。また、カラオケの音について、種々のレベルの模擬空調音を重畳させた時の、カラオケ音の検知閾（カラオケ音が聞こえる閾値）、認知域（メロディがわかる閾値）を求めた筆者らの実験でも、空調音のレベルが上昇するのに伴って、カラオケ音の検知閾、認知閾ともに上昇することがわかった。隣家からもれてくる会話やカラオケは睡眠に与える影響も大きい [6]、エアコンの音を付加することにより、これらの音の影響を緩和できる可能性も示唆された。このように、マスキング・サウンドによる音環境の制御は対象音が有意味音でレベルが低い場合に有効であるとともに、自動車交通騒音や工場騒音のようにレベルの高い音に対してもある程度有効であることがわかった。

4. 慣れやすい音の追求

上述のように、マスキング・サウンドの利用は音環境を改善する 1 つの対策として考えられる可能性がある。しかし、当然マスキング・サウンドが不快な音であったり、そのレベルが高ければ、マスキング・サウンド自体が騒音源になってしまう。どのような音がマスキング・サウンドとして適切なのか、すなわち、慣れやすく気にならない音はどのような音なのかを追求する必要がある。従来の心理学的測定法では、一般に、実験参加者に刺激を提示して、その判断を求めるという手続きを用いる。しかし、聴覚における慣れとは、前述したように、聴覚器官に特定の刺激が持続もしくは繰り返して提示されると、刺激に対する反応がしだいに弱まり、ついには消失する現象をいうので、判断を求めるために、刺激に注目させる従来の心理学的測定法で測定することは難しい。「慣れ」を測定するためには筆者らが開発した“カテゴリー連続判断法” [7-9] のような手法を工夫する必要がある。カテゴリー連続判断法は時々刻々変化する刺激に対して、時々刻々の印象を評価する方法であるが、実験参加者は必ずしも時々刻々反応する必要はなく、印象の変化に気づいたときのみ反応すればよい。筆者らが行った実験では、被験者に精神作業をしながら、その間に聞こえる音の評価をカテゴリー連続判断法を用いて求め、精神作業に熱中して音の評価を忘れた時間の総和を指標として音に対する「慣れ」の測定を試みた [10]。その結果、音に対する「慣れ」には個人差があること、個人内では一貫した傾向がみられること、また、 L_{Aeq} （等価騒音レベル：変動音のエネルギー平均値。

種々の音について、主観的な大きさとよい対応を示すことが実験的に証明されている [11]) の値が高い音には慣れにくいことなどが確認できた。さらに、アンケートで、音の慣れやすさを尋ねた回答と、実験でみられた行動との間に対応がみられ、このような方法から慣れを測定できる可能性が示唆された。

なお、マスキング・サウンドは不自然な印象を与えないように配慮する必要がある。近年、住宅やオフィスなどの居住空間の機密性が高まり、空調や換気を24時間行うことも珍しくなくなった。そのため、スピーカからわざわざマスキング・サウンドを付加するのではなく、空調音や換気扇のファンの音があることが自然であり、かつ定常的で、広帯域の周波数成分を含んでいるので、これらの音をマスキング・サウンドとして利用することも適当であろう。

ある音に対する許容値を求めることも難しく、実験参加者はその音に対する判断を求められることがわかると、次回からその音に注目するため、許容値は厳しい値になる可能性がある。上述した実験の中で空調音の許容値についても検討した[12]。実験を実施した防音室の空調音はNC15以下の大変低いレベルなので普通は聞こえない。そのため、人工的に作成した空調音を実験参加者に見えないところにおいたスピーカから提示し、約3時間の実験の最後に、1人の実験参加者について1つの条件のみの判断を求めた。空調音についてまったく気づかなかった者もいて、自然な状態での判断が得られたことが推測された。その結果、35 dB ~ 40 dB くらいまでの空調音なら気にならないこと、および45 dB をこえるレベルになるとうるさく感じられることがわかり、空調音の許容値は35 dB ~ 40 dB と推定された。

なお、マスキング・サウンドとしてふさわしい音の種類やレベルは、その環境における人の行動、およびマスクしたい音の特性によって異なり、いわばオーダーメイドのサウンドデザインが望まれるが、概してマスキング・サウンドとしてふさわしい音といえば、上述のように周波数特性が滑らかで低域成分が優勢で、かつレベルが一般環境における暗騒音のレベルに近い音といえよう。

5. 慣れのメカニズム

どのようなメカニズムで慣れが生じるのかについて、Sokolov [13] の仮説によると、刺激に対して中枢内に形成される neural model がなれに関係するという。neural model が形成されている刺激に対しては慣れが生じ、意識されないが、一方、neural model が形成されていない新奇の刺激に対しては、注意がむけられる。また、この neural model が形成されるためには、情報処理能力が関係するという報告がある。このような neural model がどの程度長く存在するのか、また、刺激の種類による相違や個人差、さらに環境の相違など、神経レベルだけでなく行動、社会、文化の影響も関与するだけにさらに広い観点から

の総合的な検討が必要であろう。

6. おわりに

人間の行動は環境に影響され、また、逆に環境は人間の行動によって変化する。このような相互作用の中で、人間と環境が共生する方策を考える必要がある。ここでは、音環境を例として、慣れと適応について紹介したが、そもそも音環境については、音源から出る音を制御する音源対策、音が伝わる経路を制御する防音対策がある。しかし、人間にとって、快適な音環境を考えると、物理的な側面とあわせて人間がどのように受け止めるかを考慮に入れることが大切である。我が国の騒音に係る環境基準は、1998年に L_{Aeq} を指標として用いるように改訂されたが、 L_{Aeq} が物理的にも測定・予測が容易であるという利点をもつことともに、主観的な印象との対応もよい[11] ことが、採用された大きな要因の1つである。

環境には様々な音が存在する。また、視覚や振動感覚など、他の感覚で感じる要因も相互に影響する。音環境を総合的にとらえ、それぞれの環境においてふさわしい音、よりよい音環境の追求が望まれる。

引用文献

- [1] S. Kuwano and S. Namba, "Longitudinal survey on the attitude to sound environment", Proc. Inter-noise 2011 (2011).
- [2] 曾根敏夫, 香野俊一, 二村忠元, 亀山俊一, 熊谷正純, "沿道住民に及ぼす新幹線鉄道騒音の影響", 日本音響学会誌, 29, 214-224 (1973).
- [3] 永田穂, 静けさ よい音 よい響き, (彰国社, 1986) .
- [4] S. Kuwano, T. Okamoto and S. Namba, "Psychological evaluation of sound environment of a high-speed train", J. Sound Vib., 277, 491-500 (2004) .
- [5] S. Namba, S. Kuwano and H. Fastl, "Loudness of road traffic noise using the method of continuous judgment by category", Proc. ICBEN, 241-246 (1988).
- [6] S. Kuwano, S. Namba, T. Mizunami and M. Morinaga, "The effect of different kinds of noise on the quality of sleep under the controlled conditions", J. Sound Vib., 250 (1), 83-90 (2002).
- [7] S. Namba and S. Kuwano, "The relation between overall noisiness and instantaneous judgment of noise and the effect of background noise level on noisiness", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 1, 99-106 (1980).
- [8] S. Kuwano and S. Namba, "Continuous judgment of level-fluctuating sounds and the relationship between overall loudness and instantaneous

- loudness", Psychol. Res., 47, 27-37 (1985).
- [9] S. Kuwano, "Continuous judgment of temporally fluctuating sounds", in H. Fastl, S. Kuwano and A. Schick (Eds.), *Recent Trends in Hearing Research*, (BIS, Oldenburg, 1996), pp.193-214.
- [10] S. Namba and S. Kuwano, "Measurement of habituation to noise using the method of continuous judgment by category", J. Sound Vib., 127, 507-511 (1988).
- [11] 難波精一郎, 桑野園子, “種々の変動音の評価法としての L_{eq} の妥当性, 並びにその適用範囲の検討”, 日本音響学会誌, 38, 774-785 (1982).
- [12] 桑野園子・難波精一郎, “空調機騒音の許容値について”, 人間工学会講演論文集, 144-145 (1985.5).
- [13] E. M. Sokolov, “Higher nervous functions: The orienting reflex”, Annu. Rev. Psychol., 25, 580-585 (1963)

環境疫学研究は市民協力による科学的エビデンスの収集 我が国で初めての本格的な出生コーホート研究を2001年から実施した経験から

第二部会員 岸 玲子

I 環境疫学（市民協力による科学的エビデンスの収集）の重要性

疫学とは、人集団における病気の分布と頻度、およびそれらに影響を与える要因に注目して、健康障害の原因について“人びと”を直接対象にしてその原因を解明する科学的な方法です。古くは1854年にロンドンで起こったコレラの対策から、チェルノブイリでの放射線とがんの関係まで、すべて疫学という方法論が用いられてきた。

19世紀から20世紀の半ばまでは当時の流行病（感染症）の原因や予防法の発見に疫学研究が応用された。一方、20世紀半ば以降はあらゆる疾病と健康障害の原因の解明に用いられ、証拠を見出すようになった。特に、20世紀後半にはがんや環境化学物質や放射線など低濃度環境汚染と人の健康への影響の研究の研究が進み、また Evidence based medicine の普及から臨床疫学の発展が目覚ましい。このように疫学は私たちの生活に密着した健康リスクとその原因の解明に用いられるようになった。近年は、遺伝子解析研究が進み、健康障害を引き起こすリスクの高い人に対して、そのリスクを軽減できるように働きかけるための科学的な知識を蓄積することにもなされている。その結果、水質汚染や大気・土壌の汚染など環境が引き起こす健康障害を予防し、がん、心臓や呼吸器の病気や感染症などの病気の発症を予防し、発生を遅らせ、あるいは病気の悪化を防ぎ、良好な健康維持に役立てることができるようになった。

環境と健康に関わる様々な疫学研究があるが、私自身は対象を既に特定の病気を有している患者さんではなく、むしろ予防医学の視点から地域に住む一般の人びとや産業職場で働く人々として生活や労働の場で研究を進めてきた。そうした意味で、疫学研究によって確立しようとする科学的なエビデンスは、一人一人の市民や働く人の参加と協力によって成し得た成果ともいえる。

これまで実施した数多くの環境疫学研究の中から、本稿では妊婦と子どもを対象とした我が国で初の本格的な前向き出生コーホート研究（環境と子どもの健康に関する北海道スタディ：先天異常・発達・アレルギー）を紹介する。

II. 出生コーホート研究が盛んになった背景

環境要因が子どもの健康に与える影響、とりわけ環境化学物質の胎児期曝露による影響についての世界的な関心の背景として、1996年発刊の Colborn らに

よる「奪われし未来 (Our Stolen Future)」において、環境化学物質の内分泌かく乱作用の影響は胎児期が最も感受性が高いとされたこと(1)、翌年 1997 年の 8 カ国環境大臣会合において「マイアミ宣告」が採択され、子どもの環境保健は環境問題の最優先事項であり、政策の実施が緊急の課題となったことがあげられる。一方、“疾病の胎児期起源説 (Fetal origins hypothesis)”として循環器疾患や II 型糖尿病などへの罹患しやすさが胎児期の低栄養等の影響を受けるという Barker 仮説 (2)によれば胎児期に過酷な環境に適応し「儉約型」体質にプログラミングされ小児期の肥満や成人期疾患につながる懸念があることが指摘されている。さらに「Developmental Origins of Health and Diseases (DOHaD)」概念に発展し、胎児期から成人期までライフコースアプローチによる生涯を通じた疫学研究が大きな関心を持たれるようになったことも挙げられる(3)。現在、子どもの健康に与える環境要因を解明するために、世界中の国と地域で出生コホート研究が実施されている。

Ⅲ. 北海道コホート研究と環境省エコチル調査の関係

わが国では 1990 年代には出生後の乳幼児を追跡する調査が幾つかの地域で実施されていたが、胎児期曝露に焦点をあて出生前から追跡した研究はほとんど存在しなかった。そこで著者らは厚生労働省および文部科学省の研究助成を受け、2001 年から「環境と子どもの健康に関する北海道研究(北海道スタディ)」(3)を立ち上げた。胎児期の母親の血液、分娩時の臍帯血などを長期保存し、先天異常、出生時体格、神経発達、アレルギー疾患など種々のアウトカムについて、環境化学物質の実測値に基づく暴露リスク評価をこれまで約 10 年間にわたって調査してきた。この北海道スタディは、500 人と 2 万人の大規模コホートで、北海道地域の母と子のサンプルから多くの科学的な成果が生まれ、既に海外でも評価されるコホートとなっている。

今年の 2 月から全国で始まった環境省の「子どもの健康と環境に関する全国調査(エコチル調査)」の基本設計では、その先駆け的な研究として北海道コホートから多くの関係資料を提供し、北海道コホートはその原型(計画のモデル)ともなった。そこで本稿では、北海道スタディの概要と最近の科学的知見を紹介し、最後に地域における子どもの健康と環境に関する今後の調査研究のあり方や課題についても述べることとする。

Ⅳ. 「環境と子どもの健康に関する北海道研究」の概要

1 研究デザインの特徴

「環境と子どもの健康に関する北海道研究：先天異常、発達、免疫アレルギー(北海道スタディ) 英語で 正式名称 The Hokkaido Study of Environment and

Children's Health, malformation, development & allergy」は2つのコーホートで構成される。特徴は1) 低濃度の環境要因の影響解明に焦点を当てたこと、2) 前向き研究とし母体血および臍帯血の採取保存により、器官形成期など胎児期の環境要因について曝露測定を行ったこと、3) 先天異常、体格、神経行動発達、甲状腺機能、免疫機能など種々のアウトカムを対象に4) リスク評価を行ったこと、さらに5) 個人の感受性素因に着目し、環境と遺伝の交互作用を解明する目的で、化学物質代謝酵素・Ah レセプター・神経伝達物質受容体等の遺伝子多型も考慮したハイリスク群の発見と予防対策の検討を行っていることである。

「札幌市内1産院コーホート」では、妊娠週数23～35週の妊婦514人とその出生児を前向きに追跡し、児の神経発達への影響を測るために詳細な対面調査を実施している。BSID-IIを6ヶ月時と18ヶ月時に実施、Fagan testを7ヶ月時に、日本版DDSTを18ヶ月時にを行い、42ヶ月時には日本版K-ABCと母親のWAIS-Rを、43ヶ月時にはCBCLを実施し、就学時以降は児の行動発達調査を実施している。臍帯血IgEや出生後の感染症、アレルギーなど免疫系への影響を調べている。環境要因としてはPCB・ダイオキシン類、PFOS・PFOA、水銀の測定を行い、農薬、ビスフェノールA、OHPCBなどの測定も進み、アウトカムとの関係を報告している。

「大規模コーホート」は、全道の30の産科施設に協力をいただき器官形成期にあたる時期に母体血の採取と質問票の回収を行い、臍帯血を採取し、マーカ一奇形55種を調べ、生後は、発育とアレルギー、行動発達に関し環境要因との関係を追跡している。20,000人を目標に2011年6月現在、妊婦約19,500名が参加し、現在も登録を継続している。

2. これまで得られた成果

(1) 環境化学物質の次世代影響：

1) PCBダイオキシン類と出生時体格

PCDDs、PCDFs および PCBs は親油性かつ難分解性の有機塩素化合物で、環境中に広範囲に分布し、おもに食物連鎖を介してヒトの体内に蓄積される。生体内の半減期が長く体内に長期に蓄積され、また母乳および臍帯を介して母親から児へ移行する。高精度のGC/MS分析を用いて、世界で初めて母体血中のPCDDs、PCDFsの同族異性体分析およびdioxin-like PCBs濃度を測定し、またWHOが設定したTEFを用いてダイオキシン類(29種類)の毒性等価量(TEQ)の算出を行い、交絡要因を調整した結果、総PCDFs濃度、総PCDFs/TEQ濃度と出生体重との間に有意な負の関連を認めた。男児では総PCDDs濃度、総TEQレベルが高いほどリスクを上げ出生時体重が有意に低かった。女児ではそのような傾向は認められなかった。(4)

2) 有機フッ素系難燃剤 PFOS、PFOA と出生時体格

1950 年頃から難燃剤として世界で使用されてきた PFOS、PFOA の濃度と出生体重との関連を調べたところ、母体血清 PFOS 濃度は出生体重との間に負の関連を認めた ($\log_{10}$ -unit: $\beta = -148.8\text{g}$ 、95%CI: -297.0 to -0.5)。しかし PFOA の影響は見られなかった。

3) ダイオキシン・PCB 類の児の神経発達に与える負の影響

児の神経発達に与える負の影響が示された。PCDF と PCDD の異性体濃度が高くなると生後 6 ヶ月時の BSID-II の得点が低くなる負の関連が、特に運動発達に顕著に見られた。Total TEQ 値も BSID-II の得点と有意な負の関連が運動発達で見られ低い得点と有意に関連した。(5)

4) 免疫・アレルギーへの影響

母体血中ダイオキシン類濃度が高いほど臍帯血 IgE レベルが低下した。18 ヶ月までのアレルギー症状および感染症との関連を検討したところ、アレルギーとの有意な関係は認められなかったが、ダイオキシンレベルは中耳炎と関連が認められた。TEQ 値は PCDFs が 1 増加すると中耳炎オッズ比が 1.36 倍と有意に増加した。男児のみ母体血中ダイオキシンレベル増加に伴い中耳炎 OR の有意な増加が認められ、女児では有意な関連が認められなかった。

(2) 遺伝的感受性素因によるハイリスク群の存在

母親の CYP1A1 遺伝子、AhR 遺伝子、および GSTM1 についてみると、AhR 遺伝子と CYP1A1 遺伝子の特定の組み合わせで体重への影響がマイナス 315g と最も低かった。CYP1A1 遺伝子 TC/CC 型では TT 型よりも酵素活性が上昇しているため、中間代謝物であるジオールエポキシドなどの発がん性物質の生成が促進され影響に個体差がみられたと考えられる。

発癌物質ニトロソアミン類代謝活性化に関与する NQO1 遺伝子の多型の検討も行った。喫煙母親の NQO1 遺伝子多型が CT/TT 型では体重が 77g 低いのに対して、CC 型では体重低下が -199g であった。NQO1 遺伝子の多型は身長と頭囲にも影響がみられ、より大きな低下を示した。妊娠初期に禁煙した場合は非喫煙の母親と変わらなかった。

V 北海道コーホートの今後の予定

以上、まとめると、北海道コーホートでは世界ではじめて同属異性体レベルで PCB・ダイオキシン類の胎児期曝露影響が詳細に検討され、生下時体重に負の影響が示された。ダイオキシン類では生後発達への影響や感染症罹患リスクを上げる可能性も示唆された。総 PCDDs 濃度、総 PCDFs/TEQ 濃度と出生体重との関連には性差が認められ男児のほうが感受性は高かった。性差の原因については、Ah 受容体とエストロゲン受容体の両者の作用で引き起こされる可能性が示唆さ

れている。しかし、詳細なメカニズムは不明であるので、今後、種々の角度から検討を進める予定である。

PFOS・PFOAについては既にPOPS条約に入れられたが、我が国ではまだ規制が弱い。北海道（小規模）コーホートでは出生体重への影響が認められ、甲状腺機能に対しても影響が認められた。今後、大規模コーホートでさらに検討を進める予定で準備をしている。特に、今後、生後発達への影響についても解析する必要がある。

胎児期に参加した子どもが学童期を迎えた今、1) アレルギーやADHDなどがより明確になる学童期以降までの追跡、軽度発達障害の研究を始めている。今後は2) 複合曝露による影響の評価や 3) 生後曝露の測定と評価、4) エピジェネティック作用の検討が重要になる。受動喫煙をコチニン量で評価し、また葉酸値を全員について測定しているので受動喫煙、葉酸サプリメントや葉酸値そのものと児の胎内成長や先天異常なども解析を進めている。

さらに4) 「社会的要因」の重要性を指摘し、地域における子どもたちの健康と安全の問題に、これまで以上に積極的な関与と情報発信が不可欠であると考えている。2006年にはOECD統計によればわが国が先進国の中ではアメリカについて第2位で貧困層の率が高く、13人に一人が貧困と言われるからである。北海道スタディでは今後、それら社会的環境要因を含めた調査や解析によって健康障害や疾病のリスク要因を明らかにしていくことになる。

VI 疫学研究の成果を環境リスクマネジメントにどう活用するのか？

日本の場合、農薬等のみならずダイオキシン類はその取り込み源は9割が食品、特に魚介類である。またフッ素系化学物質では6割から8割が食事由来で、そのほか飲用水からも比率が高い。従って一般のお母さんたちへの影響は非常に大きい。しかし残念なのはせっかく上述の新しい知見が日本の国民を対象にしたデータから過去10年、数多く出てきており、海外のトップジャーナルに発表されているにもかかわらず、それらを利活用し、リスクマネジメントや環境化学物質対策に利用することをまだ十分できていないことである。我が国では研究データの発見や知見の蓄積と、それらへの予防的な諸対策の間の距離が非常に大きいように感じられる。

一方、環境省エコチル研究は、日本で初めての出生コーホートのように誤解されているが、そうではなく、我々の北海道スタディと東北大学のコーホートは既に過去10年の蓄積がある。、バースコーホート研究は甚大なエネルギーと費用がかかるが、国家財政が今後、非常に厳しいことを考えると、国の政策としては、たとえ他の省庁（厚生労働省と文部科学省）の補助金で実施されてきたとしても、それらで何がわかって何がまだわかっていないのか？それらを十

分整理しながら、より科学的に、かつ課題を絞って実施するための方向が大事ではないかと考えている。

参考文献：

- (1) Ther Colborn, Dianne Dumanoski, and John Preterson Myers: Our Stolen Future、Dutton、1996 (邦訳)「奪われし未来」翔泳社 1997
- (2) Barker DJ, Osmond C. Infant mortality, childhood nutrition, and ischaemic heart disease in England and Wales, Lancet 1986; 1:1077-1081.
- (3) Kiishi R, Sasaki S, Yoshioka E, et al: Cohort Profile: The Hokkaido Study on Environment and Children's Health in Japan. Int J Epidemiol 2010; doi: 10.1093/ije/dyq071
- (4) Konishi K, Sasaki S, Kato S, et al: Prenatal exposure to PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs in relation to birth weight. Environ Res 2009; 109(7):906-913
- (5) Nakajima S, Saijo Y, Kato S, et al: Effects of prenatal exposure to Polychlorinated Biphenyls and Dioxins on Mental and Motor Development in Japanese Children at 6 Months of Age. Environ Health Perspect 2006 ; 114(5) : 773-778

化学物質の環境リスクマネジメントとその展開

連携会員 内山巖雄

連携会員 益永茂樹

1. 公害からリスクへ

私は研究者としての経歴を通して環境汚染に関与してきた。1960～70年代の日本は公害の時代であり、企業犯罪と呼ばれるような大気や水の汚染による周辺住民の健康被害が実際に目に見える時期であった。こういった時期に中高時代を過ごし、大学では被害者側に寄り添う研究者を目指したいと考えた。在学中は、工業地帯の汚染調査などにも関わり、公害反対を叫びながら工場近くに住み続けるか、補償を受けて立ち退くかを迫られる周辺住民にも接し、健康を害してまで周辺に留まり反対を続けて欲しいとはとても言えないような状況も見てきた。その後、裁判における被害者勝訴、そして公害行政の進展と共に、こうした明確な健康被害は次第に減っていった。そして、個々の人について因果関係は証明できないが、集団としては影響が認められるという、確率的な影響として環境汚染に対峙するようになった。これはまさに、不確実性と切り離せないリスクとして影響を捉えるということであり、化学物質汚染による人健康影響や生態系への影響は環境リスクとして評価される時代になったと言える。

2. 化学物質の人健康リスク評価

さて化学物質のリスクの定量評価方法であるが、「化学物質の曝露量（摂取量）」と「用量－反応関係（ある曝露量における影響の程度）」の2つによって決めるというのが一般的な考え方で、前半は曝露評価、後半は影響評価と呼ばれる。影響評価では、影響が生じるか否かの限界の曝露量である閾値（いきち、しきいち）を持つ化学物質と、どんなに小さい曝露量もそれなりの影響がある閾値を持たない化学物質で扱いが異なってきた。現在の所、変異原性を有する発がんだけが閾値を持たない化学物質として扱われ、その他の化学物質の影響は閾値があるとされている。

一般的に行われてきたリスク評価では、閾値を持つ化学物質については、予想される曝露量が閾値を超えるか否かでリスクの有無を判定し、他方、閾値を持たない化学物質については、曝露量に応じた発がん確率で評価してきた。このように評価方法が異なることから、リスクマネジメントにおいては、閾値を持つ化学物質については閾値を超えないように曝露量を抑えるという考え方に基づいて環境基準や排出基準が設定された。他方、閾値を持たない化学物質については、発がん確率をある値（例えば、生涯発がん確率として 10^{-4} ～ 10^{-6} が採用されることが多い）以下に抑えるという考え方に基づいたマネジメントがな

されてきた。このことは、同じ化学物質に対して、全く異なる2つのマネジメント理念を適用していることになる。すなわち、閾値を持つ化学物質についてはリスクを許容しない（ゼロリスク）規制であるのに対し、閾値を持たない化学物質についてはある程度までのリスクを許容するという理念が適用されてきたのである。

このような異なるマネジメント理念の併存と、閾値を持つ化学物質におけるリスクの有無によるリスク判定は、化学物質の間でリスク比較を妨げてきた。そこで、統一原理の下にリスクの定量評価を可能にする努力が続けられてきた。すなわち、閾値を持つ化学物質については、リスク評価対象集団における曝露量の分布と、閾値の分布（感受性の分布、または耐性の分布と呼ばれる）を求め、それらの重なりから曝露量が閾値を超えるが発生する人が現れる確率を求めるという手法の導入である。これによって、閾値の有無にかかわらず、発症確率でリスクを表現できるようになった。

しかし、発症確率だけではリスクの大きさは決まらない。症状の重篤度の定量化も必要になる。そこで各症状の重篤度とそれによって生じる寿命の短縮（損失余命）の関係を明らかにし、損失余命によって重み付けする方法が提案された（Gamo et al., 1995）。これによれば、リスクは「1人の発症による損失余命」×「発症確率」で表現され、化学物質のリスクを損失余命という統一スケールで表現することが可能になった（Gamo et al., 2003）。もちろん、このようなリスク推定に必要な情報が揃っている化学物質は限られるが、統一的な手法が提示されたという意味は大きい。

近年では、損失余命では捉えきれない生活の質（Quality of life）の低下も考慮しようと、質調整生存年（Quality Adjusted Life Years; QALYs）や生涯調整生存年（Disability Adjusted Life Years; DALYs）による表現もいろいろな場面で行われるようになってきた。これらの数値は化学物質によるリスクに留まらず、他の原因によるリスクについても求めることができる。WHOでは人健康が何によって損なわれているかを明示するために、国別、原因別のDALYを統計資料として公開している（WHO, 2004）。

3. 化学物質の生態リスク評価

化学物質の環境リスクには人健康の他に、野生生物や生態系に対するものがある。これを生態リスクと呼ぶが、これについても評価手法の開発が積み重ねられてきた。人健康リスクマネジメントは人という種に属する全ての個体を守ることを目標とするが、生態リスクの場合は個体の保護ではなく、種としての存続が目標となる。さらに広く見れば、多様な種が存在する生態系の健全性（integrity）の保全が目標である。種の存続を目標とする場合は「種の絶滅確率」などを指標とすることができるが、生態系の健全性を目標とする場合の指

標を明確にすることは必ずしも容易ではない。また、多くの毒性試験は生物個体に対して行われてきており、データも蓄積されてきているが、個体群に対する毒性試験の実施は困難である。個体群が共存する生態系での試験となるとさらに大きな実験が必要となる。こうした場合、個体に対する実験結果から個体群動態をモデルにより予測したり、個体群間の相互作用を組み込んだモデルにより生態系レベルでの予測をしたりするなど、低次データに基づいて高次の生態影響を予測する手法の開発が必要となって来ている。これら手法の開発は将来の課題である。

他方、このような生物多様性を目標とする評価とは別に、生態系の機能に焦点を当てる評価も存在する。二酸化炭素を吸収する、酸素を供給する、あるいは、木材を供給するなどの生態系の機能を評価しようというものである。この場合は、それらを人為的に代替した場合のコストとして金銭評価に持って行くのが普通である。この方法も現在開発途上にあるとすることができる。

4. 化学物質のリスク・トレードオフ

化学物質によるリスクの低減を目的として国際的、あるいは各国独自の規制が次々と導入されつつある。また、昨今は塩ビフリー、ハロゲンフリー、鉛フリーなど、有害性の懸念が報道された物質を含まないと称し、環境への優しさを商品の宣伝材料として企業が積極的に活用する例も見られる。規制に対応し、あるいは自主的にある化学物質の使用をやめる場合、代替物質により置き換えられることになる。対象化学物質によるリスクは確かに無くなるが、代替物質によるカウンター・リスクが生じる。これをリスク・トレードオフと呼ぶ。問題は、代替化学物質のリスクの方が被代替物質のそれより小さいことの確認なしに代替が進んで行っていることである。単に公開された毒性情報が少ないことが代替化学物質として選択される理由になっている場合も多い。今後は、リスク・トレードオフに対する適切なリスク比較手法の確立、そして、その適用が必要となる。そうしなければ、代替に大きなコストとエネルギーをかけたにもかかわらずリスクは減らないという事態になるだろう。

残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約、ヨーロッパの REACH、そして日本の化学物質審査規制法など、現在使用中の物質に対する再評価と規制が強まる方向にある。今後、使用中の化学物質の代替リスク比較は重要な課題になるであろう。

5. 環境問題におけるトレードオフ

環境問題に対策する際、リスク同士でトレードオフが起こるだけではない。例えば、下水を浄化し河川戻すことは、下流の都市における水道水源や河川環境の保全のために重要に重要なことである。その際、下流のリスクを下げるには、一般的な活性汚泥処理に加えて、オゾン処理や活性炭吸着処理を加えるこ

とが有効である。この処理施設の整備や運転には、多様な鉱物資源、発電のための化石燃料などを必要とする。また、二酸化炭素など温暖化ガス、硫黄酸化物や窒素酸化物のような有害排ガスも環境に放出される。すなわち、水源保全や生態系保全による人健康と生態リスクの低減と引き替えに、資源・エネルギーの消費や地球温暖化といった別の影響が引き起こされることになる。もちろん、処理の高度化以外の他の良い解決策(Risk-Superior Move) (Graham & Weiner, 1995) を見つける出すことができれば良いが、それが無い場合には、これらの異なる指標を総合した結果から最適解を選択することが求められる。

このようなプロセスや製品に関する環境負荷の積算はライフサイクルアセスメント(LCA)として取り組まれ、エネルギー消費、温暖化ガス排出、鉱物資源消費、有害な排ガス量、種絶滅影響など多彩な評価項目が取り上げられるようになってきた。そして、これら異なった評価項目を一つの尺度に統一しようとする努力も続けられてきた。日本で開発されたLIME2ではコンジョイント分析に基づき、各種評価項目の金銭換算による統合が図られている(産業技術総合研究所, 2007)。ただ、統一指標の導入により結論は定量化し明解になるが、価値観が評価に入り込むため、客観性からは離れていくという難点には留意すべきだろう。

4. 複雑化する環境問題を俯瞰するために

過去の環境対策はエネルギーを使うことによって解決が図られることが多かった。しかし、気候変動や化石燃料の枯渇が喫緊の課題となり、3.11 東日本大震災により原子力も多大なリスクをはらみ、多くを期待すべきでないことがはっきりした。閉塞した社会環境ではあるが、一方では技術と社会システムのイノベーションによってRisk-Superior Moveを探索し、他方では、現有の技術とシステムを適切に選択することにより最良の改善策を実施していくことが求められている。本論で述べてきたリスク評価やライフサイクル評価はまだ成熟した科学的手法ではなく、社会的に受容されるレベルに達したとは言えないが、人類が環境問題を俯瞰的に解析し、最適解を見つけるための重要なツールになると考えている。これらのさらなる発展が期待される。また、このような分野横断的な評価を支える人材やグループ・組織をいかに育てていくかも、考慮して行かなければならない課題である。

引用文献

- M. Gamo, T. Oka, J. Nakanishi (1995) Method evaluating population risk from chemical exposure: a case study concerning prohibition of chlordane use in Japan, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 21[1] 151-157.
- M. Gamo, T. Oka, J. Nakanishi (2003) Ranking the risks of 12 major environmental pollutants that occur in Japan, *Chemosphere* 53[4] 277-284.

- WHO (2004): Mortality and burden of disease in Global Health Observatory Data Repository, <http://apps.who.int/ghodata/?vid=2469>
- John D. Graham, Jonathan B. Wiener (1995) *Confronting Risk Tradeoffs in Risk versus risk: tradeoffs in protecting health and the environment*, Harvard University Press.
- 産業技術総合研究所 (2007) LIME2 (Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling,
http://www.aist-riss.jp/main/modules/groups_alca/content0004.html

科学とコミュニケーション

壊滅した街の復興に科学コミュニケーションはどう貢献できるか

第三部会員 毛利 衛

高台に位置した施設の展望レストランからは、ガラス越しに海岸の一本松を遠く望むことができる。外国人2人を含む4人グループの話題は自然と一本松の話になった。観光客として外国から来たポールたちは、海岸を美しく彩っていた景勝・高田松原がたった1本だけの“一本松”になった事情を知らない。「この下は、震災伝承館になっているんだよ」「じゃあ、そこに行こう」

上に紹介したのは8月6日に岩手県陸前高田市で実施された「学生復興会議」での一場面である。この企画は、津波被害の当事者である県立高田高等学校の生徒39人に、街の復興を考えてもらおうというもの。テーマは「陸前高田の象徴として誇れ、地元の人や訪れた人の間に交流が生まれるシンボル施設」で、これを6~7人のグループで考える。アイデアを言葉のまま説明するのではなく、プロの建築家の手を借りてデザイン画にし、さらに寸劇に仕立てて、復興のリーダーである市長に向けてプレゼンテーションをした。寸劇にしたのは、そのシンボル施設をどういう人たちがどのように利用し、その場でどんな心持ちになってもらいたいのかを、当人たちに考えさせ、表現させるためだ。冒頭のグループは、外国人も来るような施設にしたいという想いを、寸劇に外国人を登場させることで表した。

「学生復興会議」は、津波で壊滅した街の復興という社会の大きな課題に対して、科学コミュニケーションの新しい役割を探る試みであると同時に、実際に役に立つためにはどうすればよいかに挑んだ企画でもあった。日本学術会議の広渡清吾会長は8月15日の会長談話で、学術会議の役割を「復興のために、科学・技術が何をできるかを実践的に追求し、被災地域への具体的な助言・提言を用意」と述べている。さらに、その活動は「被災地域の住民のみなさまとのコミュニケーションのなかで進めなければなりません」ともしている。「学生復興会議」はこの会長談話の発表前に実施したものであるが、期せずして、その理念を具現化した内容であったと自負している。「学生復興会議」を通して、科学コミュニケーションのあり方の1つを提言したい。

復興にはビジョンが必要

津波に襲われた三陸地方の復興は、順風満帆に進んでいるとはいえない。だ

が、時がたてば必ず街は復興する。それは、三陸の歴史を見れば明らかで、この地は繰り返し大きな津波に襲われてきたが、その都度、人の住む街を再建してきた。

とはいえ、復興にはビジョンが必要だ。ビジョンなしに街を復興させても、それは過去の再現に過ぎず、新しい時代のスタートとはならない。先に引用した広渡会長の会長談話には「8月15日は、大切な多くのものを失ってしまった日であると同時に、振り返れば、新しい社会を築き始める希望の出発の日でもありました」とある。3月11日も同様で、後世に振り返ったときに、この日が新しい時代のスタートであったと思えるような日にしなくてはならない。これは震災や津波で亡くなった方々に対する責務であろう。

若い人たちを当事者に

ではビジョンをもって、復興にあたるべき当事者は誰なのか？ 行政や政治家がこれにあたるのは職務として当然だが、私たちは若い人々、具体的にいえば高校生に参加してもらいたいと考えた。経済力も選挙権もない高校生であっても、当事者意識を持って復興にかかわってほしかった。彼らこそが、将来その地の発展を担う当事者になるからだ。

とはいえ、高校生が復興を考えるという企画を、ただのイベントで終わらせないためには、学校現場はもちろんのこと、教育委員会や自治体の首長も巻き込んだ協力体制と意識の共有が不可欠になる。いわゆる「根回し」という作業だ。

陸前高田市での「学生復興会議」の場合、主体の高校生が所属するのは県立高等学校なので、県の教育委員会の管轄となる。シンボル施設のアイデアを実際に街の復興に取り込むかどうかの最終判断をするのは市長だ。企画を持ち込んだのは、ともに震源地から遠く離れた東京に拠点を置く民間企業（主催・株式会社リコー）と日本科学未来館（共催）。未来館は国の機関とはいえ、国交省の管轄ではない。有意義であることは誰もが認めながらも、強い意思を持って進めないと、すぐにでも頓挫、空中分解をしかねない企画であったことは、ご理解いただけたと思う。企画の主体は高校生であり、プログラム構成を練り上げたのはリコーと未来館の若いスタッフだったが、根回しには館長である私も参加し、陸前高田市に赴いて現地の関係者と打ち合わせを十二分に行った。

理念の優れた企画であっても、実現に結びつかなかったり、実現してももとの理念から離れたものになったりすることは少なくない。そうした例の多くは、事前の根回し不足が一因だ。とくに今回のように若い人たちを主体者として、大きなことを成し遂げようとするときには、より入念な根回しが必要となる。昨今、根回しという言葉が、プロセスの不透明さや日本の古い慣習といった文

脈の中で使われているのを散見するが、これはオープンにできないような根回しが横行したせいだろう。本来の根回しは、ミッション達成に本質的に必要な手順であり、これも重要なコミュニケーションであることは強調しておきたい。

言葉だけの表現の限界

「学生復興会議」は高校生への教育的なプログラムである。ここでの教育は、知識を得たり、難しい事柄を理解することではなく、「科学的なものの考え方」を身につけてもらうことだ。今回のような建築物に限らず、アイデアを実現可能なものにするためには、すべてのプロセスで科学的なものの考え方が必要になる。逆に言えば、科学的なものの考え方が身につけば、アイデアを絵空事で終わらせないための突破口を自分で見つけられるようになる。これこそが、生きる力だ。「学生復興会議」に参加した高校生には、それぞれのグループについて科学コミュニケーターやプロの建築家などのアドバイスを受けながら、アイデアを具体化するプロセスを通じて、科学的なものの考え方の重要性を学んでもらえたと思う。

チームでまとめ上げたアイデアを実現可能にするには、想像力を働かせて細部まで詰めていく必要がある。今回の企画では、建設の予算や施設の利用人数などを科学コミュニケーターが聞いていくことで、細部がより具体的になっていった。また、岩手県の建築家に参加してもらい、高校生たちのアイデアをデザイン画に描き起こしたが、そのプロセスで、たとえば側面のデザインや色など、言葉で考えていたときには曖昧なままだった課題が数多く見つかった。冒頭で紹介したように寸劇というプレゼンテーションの仕方をとることで、シンボル施設が実際に建った後、5年後や10年後についても想像力を働かせることができるようになった。

科学者はともすれば、言葉で考え、言葉で説明しようとする。チームメンバー同士のアイデアをまとめる段階までは言葉による議論は有効だったが、実現化を考える段階では絵にしたり、シミュレーションをしたりといったプロセスを通さないと気がつかないものがあった。社会で実際に役立つものにするには、こうしたプロセスは不可欠であろう。

「広くあまねく」の限界

「学生復興会議」は企業の資金援助を得て実現できた。このことは、実現や成功に大いに関係がある。一般に国が行う事業は「広くあまねく（＝普遍性）」の原則があり、画一的になりがちだ。公平性の観点から致し方ないとも言えるが、せっかくの事業を十分に活かしきれずに終わる例は、この画一さが一因であろう。Think Globally, Act Locallyという言葉があるが、その土地などの条件

にあうようにアレンジできる点では、企業やNPOの資金のほうが、融通が利く。

具体例を挙げよう。陸前高田での「学生復興会議」ではシンボル施設を課題にしたが、当初は「駅」をデザインする計画だった。大都市ではターミナル駅こそが人の集まる場所だからだ。しかし、現地で打ち合わせをしながら、陸前高田市では「駅」は必ずしも人の集まる場所ではないことに気がついた。地域性を考えず、東京に住む者のイメージのままに「駅」で企画を進めていたら、おそらくピントのずれたものになったはずだ。

また、今回の企画を実行する前に、埼玉の高等学校でまったく同じプログラムをリハーサルとして行った。埼玉の高校生も何か復興支援になることをしたいと考えており、このリハーサルに彼らなりの熱意をもって参加してくれたが、日常生活が営まれている街の高校生と津波で真っさらになった街の高校生では、言葉では言い尽くせない差があった。「学生復興会議」は昼休みを含め7時間に及ぶプログラムを1日で敢行した。埼玉では、途中、中だるみすることもあったと聞くが、陸前高田では一切なかった。事後のアンケートを見ると埼玉の高校生もこのプログラムで得たものはあったようだが、自分たちの街に対する想いの強さの差は、得られたものの習得度の差にもなったように思う。

最初から埼玉の高校生を対象とした企画であったならば、アレンジが必要だったろう。科学者は普遍性を重視する。しかし、「実際に社会の役に立つ」ということを考えた場合、普遍性の重視はときとして適切ではなくなる。

真のコミュニケーションは相手から引き出すこと

「学生復興会議」は、高校生たちに、課題の本質をとらえることの重要性和科学的なものの考え方を身につけてもらうための企画だった。陸前高田で成功した要因としては、これまで書いてきたように①目的を明確にして②根回しを通じてそれを関係者で共有したこと③そして実際のプログラムでは、言葉だけに頼らない方法をとったこと④地域性を十二分に考慮した企画にしたこと——などを挙げることができる。しかし、最後に、非常に大きな役割を果たした「ファシリテーター」について触れておきたい。

誰かと意見交換をしているうちに、それまで漠然と考えていたことをより深くとらえるようになり、「自分はこんなことを考えていたのか」と驚いた経験はないだろうか？あるいは、アイデアを説明しているうちに、そのアイデアが立体的になり、新たな発想がわいてきた経験は？聞き手がアイデアを引き出すのに長けた人であると、コミュニケーションは1+1が5にも10にもなる。ファシリテーターは会議やシンポジウムの「まとめ役」とされることが多いが、その一番の役目は参加者のアイデアを引き出すことである。

未来館の科学コミュニケーターには、優れたファシリテーターになれるよう

に訓練を積みさせている。「学生復興会議」では、グループごとにファシリテーターをつけたが、ここでの役割は高校生のうまく表現できないアイデアを引き出し、具体的な言葉として語らせるところまでもっていき、さらにはアイデアの実現性を高める手助けをすることだ。

冒頭で寸劇の場面を紹介したグループは、シンボル施設の立地を高台にすることはすんなりと決まった。そのグループのファシリテーターは津波が来ても安全だからだろうと考えたそうだが、あえて高台を選んだ理由を聞くと、「一本松が見えるから」。でも、松は枯れるかもしれない。それに、今は津波のせいで建物がなく見通しが利くが、建物が建ち始めれば高台といえども一本松は見えなくなるかもしれない——こう話を向けると、一本松のクローンを施設の庭に植えようというアイデアとともに、次のような言葉も出てきたという。「高い建物が建って一本松が見えなくなるのなら、それはそれでいい」。ここから、高校生たちが自分の考えていたのは“街を一望できる場所”であったことを自覚できたのはすぐだった。

このグループでは比較的早い段階に、シンボル施設に込めるメッセージは「支援してくれた人たちへの感謝」であることをファシリテーターが引き出していた。その「感謝」をうまく盛り込めなかったと寸劇の後で話していたそう。しかし、復興した街を見せることが何よりの感謝の表現になることを、おそろくすぐに気がつくだろう。

科学コミュニケーションというと、専門家でない人に科学の知識を解説することだと思われがちだが、それだけでは不十分だ。真の科学コミュニケーションとは、科学的なものの考え方を通して、アイデアを引き出すことにある。双方向のやりとりだ。このことは強調しておきたい。

水域・陸域連携によるサンゴ礁保全の科学

第三部会員 池田 駿介

1. はじめに

河川や海における環境保全に関する研究が開始されたのは、我が国がバブル経済に向かいつつも、多くの国民が水環境に安らぎを求め始めた 1980 年代半ばである。筆者は、20~40 歳代にかけて、河川における力学現象を経験則に基づかず、流体力学・水理学に基づいて全て明らかにしようと意気込んでいた。その中で、河川の自己形成機構や河川の蛇行現象などを精緻な力学や非線形数学に基づいて解明する研究を行っていた。

水環境に立ち入る研究を行い始めたきっかけは、1990 年ごろ沖縄で赤土流出の現場を見せられたことである。これまで自身が研究してきた分野において何か役に立つ実際問題に取り組みたいと考え始めていたので、これは大きな契機となった。案内してくれた琉球大学の先生に伺うと、石垣島と西表島の間に石西礁湖という狭い場所ながらグレイトバリアーリーフに匹敵する種類の多さを誇るサンゴ礁の海があり、それが農業をはじめとする石垣島の開発によって大きな影響を受けていることが分かった。

従来、さんご礁の保全研究は、影響を受けていないきれいな海でいかに増殖をさせるかという研究が中心であったので、陸域の環境を改善することでサンゴが生息できる海域の環境を生み出そうと考えた。つまり工学が得意とする問題解決型の学術研究を目指した。以下はその研究の概要である (Ref. 1)。



図 1 名蔵湾の土砂堆積とサンゴの様子

2. マングローブの水・土砂環境の研究

当初、熱帯・亜熱帯の河口付近に生えるマングローブ林を利用して土砂や栄養塩類を沈殿させることはできないかということを考えた。研究の場所は、石西礁湖に向かって口を開けている石垣島の名蔵湾にある名蔵川のマングローブであった。ここでは、流れや浮遊して流れてくる微細な土砂の濃度、それに付着している N, P などの栄養塩類、水質、植生、地形などを詳細に調べ、マングローブ林に存在するクリーク網を通じて物質のやり取りが盛んに行われること、土砂や栄養塩類がマングローブ林に蓄積されることを定量的に調べた。個々の

洪水によって、どの程度の土砂・栄養塩類が堆積・捕捉されるかを調べるために、平面 2 次元流としての乱流モデルと土砂の輸送方程式を組み合わせることで非定常流の数値計算を行い、その結果、捕捉される土砂・栄養塩類は、上流から流れてくる土砂・栄養塩類の高々2～12%程度（潮汐が高い場合によく捕捉される）しかないことが判明した。このマングローブの水理研究で分かったことは、マングローブのみには期待できず、また発生源対策をしない限りは、抜本的解決にはならないということだった。

3. 陸域での研究—流域の土砂生産—

陸域での研究を進めるには、先ず流域のデータが必要で、GIS データを作成するために、地形測量、土地利用状況、植生、などを調べた。この流域には、沖縄の最高峰であるオモト岳（標高 526m）が存在するが、その流域面積は 16.1 km² であり、1 研究室で取り扱いきやすいサイズである（図 2）。図の Pt. D は 3 支流の合流点であるが、その直前の Pt. A, B, C で、土砂や栄養塩類の量を測ると面白いことが分かった。それぞれのサブ流域ごとの森林、水田、サトウキビ畑などの畑地の面積割合は流域のデータから判明しているので、簡単な代数方程式を解くことによって、土地利用ごとの土砂・栄養塩類の流出率が計算できる。結果は、森林は土砂を生産するものの畑地の約 1/4、水田はむしろマイナスで土砂を沈殿させていることが分かった。当然の結果ではあったが、グロスの取り扱いで問題点を定量化することができ、次にサトウキビ畑での研究に移った。この河川での観測の結果、N, P の濃度は、土砂濃度とよい相関があったので、基本的には土砂流出を減らせばよいことが分かった。

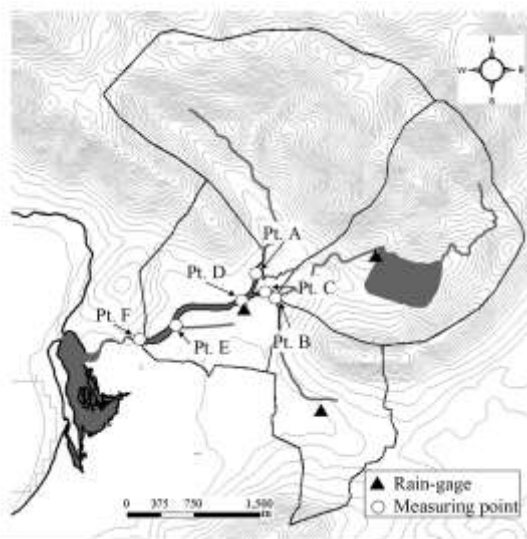
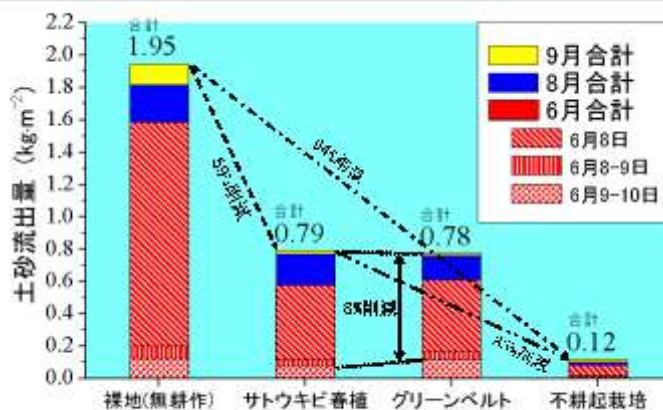


図 2 流域での観測点と流域分割

4. 畑地での観測

この研究の目的は、畑地でどの程度の土砂・栄養塩類が流出するのか、その程度は営農形態でどの程度変わるのか、流出を減らすとともに農業収入を増やす方策はあるのか

現地試験結果（観測期間全体の土砂流出量の総和）



・不耕起栽培は最も効果的な対策となり得る
・植生帯(グリーンベルト)は土砂の捕捉効果が低い

図 3 営農形態の相違による土砂流出の変化

か、ということであった。これを調査するために、地元の理解がある農家からサトウキビ畑を借り、裸地、春植え、夏植え、無耕起・株出し栽培（機械化農業によらない復帰前の営農形態）、によってどの程度土砂・栄養塩類流出が変化するかを3年間調査した。図3はその結果である。春植えのサトウキビ畑では、台風による雨が多い夏期（6月～9月）には裸地と比較して59%削減し、従来流出対策として推奨されてきた畑下端でのグリーンベルトはほとんど効果がなく、伝統的営農形態の無耕起・株出し栽培では、94%の削減であった。無耕起・株出し栽培の大きな削減効果は、機械によって掘り起こさないことから刈り取りの際などに地表面に残る葉柄などがマルチング効果を発揮し、雨滴による土砂流出を防ぐためである。このことから、復帰前でも大規模なサトウキビ栽培が行われながら、何故サンゴ礁が健全に保たれていたかが理解できた。

5. WEPP を用いた数値計算による土砂流出削減量の把握

サトウキビ畑以外にも、牧畜が行われている草地、水田、林地、などの土地利用原単位からの土砂流出量を把握できたので、WEPP（Water Erosion Prediction Project）を小流域に適用できるよう改良し、そのモデルによる計算結果を河川に流出してくる流量や土砂量の観測結果と比較して、その妥当性を確かめた後、様々な対策によってどの程度土砂流出量を

削減できるか数値計算を行った

図4はその結果である。現在の状況のままでは、50tの土砂の流出があるが、畑の傾斜や長さを土木的工法で改良させた場合は流出量が34.8tに、土木的工法と営農形態を伝統的営農形態などと組み合わせることにより10.2tに削減することが出来ることが判明した。つまり、適切な組み合わせによって74%の土砂流出削減が可能であることが分かった。

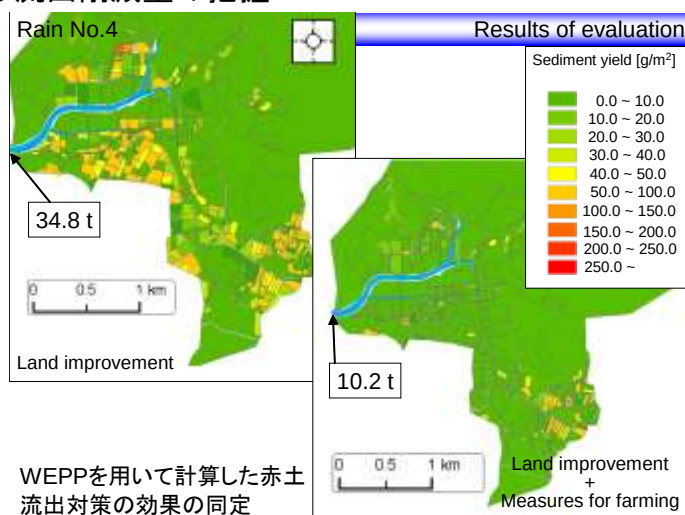


図4 対策の組み合わせによる土砂流出量の変化

水質・底質調査:2005年5月～, サンゴ実験, 藻類実験, 測器による観測:2006年5月～
サンゴ着生・生育試験

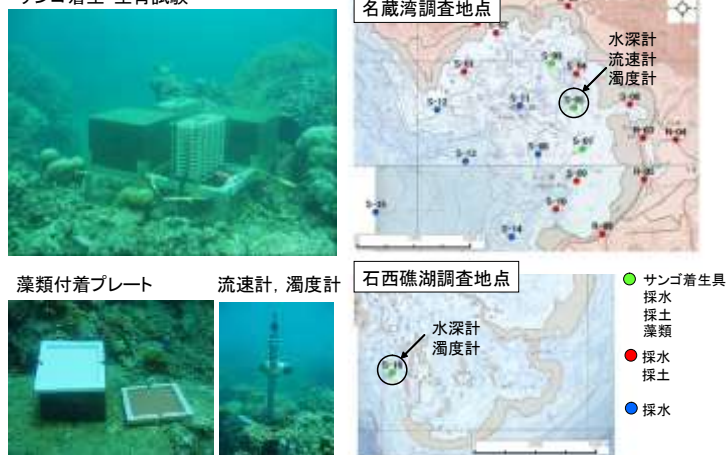


図5 海での観測とサンゴの養殖実験

6. 海での観測とサンゴの養殖実験

どの程度土砂流出量を削減すべきかは、受容体であるサンゴの生育条件から定める必要がある。サンゴの養殖実験は、専門家に御願いして健全な生育環境が保たれている石西礁湖、陸域の影響が比較的少ない名蔵湾沖、名蔵湾内、の3箇所で行った。それと同時に、この3箇所で土砂、栄養塩類の濃度測定を行った。その結果、通常はこれらの濃度は場所によって大きな差異はないが、雨が降ると名蔵湾では石西礁湖の数十倍から百倍程度の濃度となることが分かった。つまり、強雨時の対策が重要であることが判明した。

サンゴの生育実験は継続中で、最終結果は出ていないが、生育することが出来る条件が判明すれば、それを実現するための陸域の条件を調べ、WEPPによって対策を定量化することが出来ると考えている。

7. 農家への支援など

土砂流出量削減には、農家の理解と取り組みが鍵となる。そのために、環境保全型農業への支援基金の整備やサトウキビとカボチャの同時栽培による収入の増加策を実地栽培によって研究した(図6)。また、行政と協力して地元で数回公開講演会を開催し、これらの成果を地元の方々に伝えるように務めた。環境研究は、論文を書くのみでなく、社会への還元を中心とした貢献も大切である。

カボチャの収穫（収量調査）



図6 サトウキビ畝間のカボチャ栽培

8. おわりに

環境研究は多様であり、ここで示したような分析的研究や統合研究の組み合わせや様々な分野の協力（この研究では、土木、農業土木、生物学、計画学、農家、行政）が必要になる。このような複雑さが「環境学」というディシプリンの確立を困難にしているが、これが逆に環境学研究の面白さでもある。

地球環境問題の解決には地域からの取り組みが大切、というのが私の信条であり、この研究が発展して自然共生流域圏の構築につながって行くことが夢でもある。

今回の大震災は、短期の経済的観点から、自然地理や人文地理に基づく本来あるべき土地利用への転換を問うている。環境学研究もこのような視座からの

取り組みや提言が望まれる。

文献

1. Ikeda, S., K. Osawa, Y. Akamatsu, Sediment and nutrients transport in watershed and their impact on coastal environment, Proc. Japan Academy, Ser. B, 85, 2009.

環境学の一つの分野としての環境工学

第三部会員 大垣眞一郎

1. 科学技術基本計画と環境学

このたび策定された第4期科学技術基本計画(2011年8月19日閣議決定)は、社会的課題の解決を基本方針としている。もともと、3月に閣議決定されるはずであったが、3月11日の東日本大震災を受けて修正され、この8月になって閣議決定されたものである。その結果、第1の柱「震災からの復興、再生の実現」が加わった。第2、第3の柱に、「グリーンイノベーションの推進」と「ライフイノベーションの推進」を掲げている。前の第3期の重点分野型の政策は、既存分野を強化する傾向となり、新しい分野が発展しにくい恨みがあった。また、社会的重要性、緊急性よりは、シード(科学的真理探究に基づく発見、発明)に頼る施策になり、社会的課題解決へ向けたイノベーションを喚起しにくかった。この第4期では、社会の課題を解決する課題解決型の科学・技術推進政策へ舵を切ったわけである。

それでは、社会的課題とはなにか。科学・技術の根源的な社会的必要性とは何であろうか。真理の探究としての科学を別にすれば、社会的課題の根源とは人の生命を守ることである。わかりやすい例を工学分野の環境工学に見てみよう。環境工学は日本では、明治期に衛生工学として始まった。「衛生」は「生を衛る」の意である。都市の劣悪な衛生環境の不備によるコレラなど感染症の流行への対応や、いわゆる大気や水系の公害(鉱業による重金属汚染が典型)への対応、その未然防止のための科学技術として発展してきた。健康を守る、あるいは、生活と生産の場の環境の安全・安心を達成するための科学技術である。すなわち、衛生工学とその発展形としての環境工学は元々課題解決型の科学技術であり、日本の科学技術政策がその思想に改めて近づいてきたと解釈することもできる。

自然環境の解明から発展してきた環境学の諸分野も、自然と人間のかかわりの中で環境科学・技術分野として展開してきた。すなわち、環境の科学・技術は、その原点を社会的課題解決と人の健康保持、自然との共生にしていると整理できる。あるいは、社会的共通資本に関する科学については定義が広すぎるであろうか(文献1参照)。

2. 環境工学の性格

環境工学の性格をより詳しく紹介しよう。以下この節の最後までは、拙文(文献2)からの引用である。

「環境工学」は、土木工学のもっとも根源的な分野の一つである。「衛生工学」（人の生命を衛る技術）をその起源としている。すなわち、上下水道などを計画し建設するための学問であった。現代科学技術の発展の中で、衛生工学は、「環境工学」として、生活と生産の場を取り巻く水環境、大気環境、土壌環境、廃棄物管理、生活空間設計などに対象を拡げてきた。自然を含む広い意味での社会基盤全体（社会的共通資本）の形成に、直接関わる工学大系へと成長した。社会の価値観が多様化する中、水処理技術など個別技術のみではなく、環境技術システム、社会的・文化的要素をも考慮した環境マネジメント、地球規模の環境などに研究対象を拡大してきている。

「環境工学」は、人間にとってより安全で快適な生活・生産空間および自然環境を守る応用学術である。現在では、その応用を支える基礎科学との連携がより重要となっている。環境工学の中にさまざまな基礎学術と先端科学を取り込んでいる。たとえば、分子生物学などの先端生命科学分野、ナノ濾過膜に代表される新材料工学分野、最新化学の分析分野、計算機の発展に支えられた数値計算・情報技術・計測分野などは、「環境工学」にとって不可欠の要素分野となっている。

環境工学のイメージを図1（本稿では略）に示す。は、たとえば、健康という価値を実現するための、物質分子から都市社会インフラストラクチャまでのさまざまな知識が連なりながら体系を形作っている。この連関図には、水環境に関する一断面のみを表示しているが、破棄物、大気、土壌、都市環境、自然環境、有害物質、エネルギー、など同様の連関がそれぞれの層を形成し、重層し相互に関連し合いながら、「環境工学」を形成している。すなわち、遺伝子から地球までを扱っていると表現できる。たとえば、1953年のDNA二重らせん構造の発見と1985年のPCR法の発明などによる分子生物学の急速な発展が続いている。環境浄化技術においても微生物の機能と微生物生態系の構造が次々と明らかになってきている。一方、都市域の海岸などは、自然と人の活動が複雑に絡み合う環境である。環境設計のためには、湾岸レクリエーション環境の設計から廃棄物の処分場のあり方まで、また、気象と沿岸流の数値流体力学解析から、海水中の病原ウイルスの検出まで、環境工学の幅広い知が求められている。

いうまでもなく、環境に国境はない。仙台市の大気は北京の大気とつながり、琵琶湖の水はタイ湾の水につながる。人をはじめ食料や工業製品が国を超えて大量に移動する時代である。あらゆるものの地球化（グローバリゼーション）は拡大する一方である。有害物質や微生物も世界を動く。国を越えた国際地域環境（例えば、アジアモンスーン地帯）も、「環境工学」の重要な対象である。国際環境工学分野の研究展開が専門教育と併せ鋭意進められている。

「環境工学」の大きな特徴は、その専門領域として新しい開拓分野が常に生ま

れ出てくるところにある。人々の生命と社会の持続性に関わる環境の課題は、時代とともに常に新しい課題(開拓すべき分野)が立ち現れる。この次々生まれる新しい課題への挑戦には、人間社会全体を俯瞰でき、工学の深い知識をもつ専門家群が必要である。

3. 災害環境科学の必要性

この展開の中に、さらに加えるべき分野がある。非定常時の環境に関する科学・技術である。異常時ほど人の命と健康を守らなければならない。環境の科学・技術は、多くの場合、定常時あるいは平時を前提としているものが多い。たとえば、河川の水質環境基準であれば、低水を想定している。洪水時や異常渇水時はその対象外である。しかし、今回の東日本大震災の大災害時はもちろんのこと、人の安全と安心を守る科学・技術は、異常時にこそその課題解決の知と機能が発揮されなければならない。自然的・人為的災害の時の方が、当然、安全性は失われ、人々は不安になる。地震、津波、暴風雨、洪水、渇水、火山噴火、タンカー事故、原子力関連事故などの非定常時における環境に関する科学・技術、たとえば「災害環境科学」と呼ぶような分野が必要である。

災害時に、人は環境からいかなる影響を受けるのか、生態系はどのように反応し回復するのか、その計測と予測、機構の解明と評価、対策技術と施策、被害軽減計画の立案方法、リスクコミュニケーション手法など、統合的な体系を「災害環境科学」は提供する。生命と生活・生産を守る社会的課題解決の科学として、遅まきながら、災害環境科学の確立を急がなければならない。

参考文献

1. 科学技術振興機構社会技術研究開発センター編、科学技術と知の精神文化Ⅱ、pp. 124-138、第Ⅰ部第1章の九、大垣眞一郎、社会的共通資本にみる学術・科学・技術のあり方
2. 土木学会環境工学委員会編、自然・社会と対話する環境工学、pp. 2-5、土木学会出版、丸善(販売)、2007、

エコデザイン学 (Ecodesign)

第三部会員 古川勇二

1. 機械工学としての環境学に対する立脚点

人間は自然の資源を人工的に工業製品に変換してその利便性を享受してきたが、この人間の生産行為が自然環境に及ぼす負荷は、今日、無視できないまでに大きくなってしまった。私は機械工学専攻の学生として、当時、環境問題にほとんど関心を抱いていなかったが、その頃、米国の生物学者レイチェル カールソン女史が“Silent Spring”を著し⁽¹⁾、DDT（殺虫剤）を取り上げて環境汚染問題を初めて世に問うたことを知った。1962年であったから、工業製品が自然環境に及ぼす影響が問題になって僅か50年である。

地球温暖化を初めとする自然環境問題が今日これだけクローズアップされているのは、自然・人間・人工の3界のバランスが崩れつつあることに他ならないし、その相当量の責任は、工業製品を開発・供給し続けてきた技術者、とりわけ機械技術者にあるといっても過言ではない。それゆえ、機械工学分野の専門家・技術者が前面に出て、工業製品の面から3界のバランスを積極的に修復する努力をしなければならないと考えている。そこで第17期学術会議の生産科学分科会委員長として、機械工学を中心に、工業製品が自然環境に及ぼす影響を最少化ないしはゼロ化できる努力を促す目的で、関連の学協会に呼びかけて“エコデザイン学会連合”を組織し、以来、国内会議と国際会議を隔年で開催し、エコデザイン学の確立と啓蒙促進に努めている⁽²⁾。第20期、21期学術会議においても、「21世紀ものづくり科学のあり方」と「資源循環型ものづくりを実現するための学術的指針 - 地球温暖化対策を主対象に - 」を報告してきた。

2. エコデザイン学とは

カリフォルニア大学建築学科のシム・ヴァンダーリン教授が、ecological な（環境にやさしい）観点から建築設計を行おうと5つの原則を公表したのは1995年で⁽³⁾、それが日本でエコデザインと呼ばれ始めた契機である。1997年には UNEP（United Nations Environment Programme、国連環境計画）が“Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption”を発表した。多分これが Ecodesign/エコデザインが一般的に用いられた最初で⁽⁴⁾、工業発展と自然環境維持を調和させていくために以下のチェック項目を提案した。

- ・ 新しいコンセプト開発
- ・ 低環境負荷材料の選択
- ・ 材料使用量の削減

- ・ 製品技術の最適化 ・ 物流システムの最適化 ・ 製品使用時の環境負荷低減
- ・ 当初製品寿命の最適化 ・ 製品寿命時システムの最適化

これらは今日でも十分に通用する基本的考え方を網羅し、21世紀における工業製品の開発・設計技術者が環境を配慮する上での基本となっている。2003年には Eco-design and Product Service Systems (PSS)に展開され⁽⁵⁾、製品からサービスおよび社会システムまで検討範囲が拡張され、工業製品の価値のあり方とビジネスマネジメントにまで言及している。

工業製品が及ぼす環境負荷の定量化方法としてはライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment: LCA) が知られ、[ISO14040/44](#) は、LCA の目的・評価範囲の設定、インベントリ分析、影響評価、結果の解釈 から構成することを規定している。インベントリ分析とは、工業製品の生涯における所要の材料とエネルギー量、および排気ガス、廃棄物量を分析し、影響評価とは、環境負荷を環境影響量に換算することである。LCA は今日多くの製造企業で実施されているが、要素の重み付けが各社各様であるため結果の解釈が一般化されていない実状にある。

エコデザインは環境適合、環境配慮、環境調和設計などともほぼ同義で、いわゆる設計論としては DfE (Design for Environment) として呼称され、設計ツールとプロジェクトマネジメントの双方を含んでいる。ISO/TR 14062:2002 は、製品の設計・開発プロセスへの環境面の統合に関する概念と実施方法について以下の規定を行っている。

- ・ 環境適合設計の狙いと期待される利益 ・ 環境適合設計戦略に関する検討課題
- ・ 経営層の検討課題 ・ 製品の検討課題 ・ 製品の設計開発プロセス

周知のように EU は環境先進国であり、以上の流れに沿って Environmentally-friendly Design of Energy-using Products: Framework Directive for setting eco-design requirements for Energy-using Products、「エネルギーを使用する製品に対するエコデザイン要求設定に関する枠組み指令」(Directive 2005/32/EC、通称 EuP 指令)を 2005 年 8 月 11 日に発効した⁽⁵⁾。地球温暖化防止を工業製品設計・使用・廃棄の観点から徹底するとの方針であるが、内容的に一般要求事項と特定要求事項の開きが大きく、今後、実施に向けての詰めが必要と思われるが、我が国産業界に大きな影響を及ぼしてきている。

3. 日本の対応

工業製品の設計においては、設計の進行に伴って変更自由度が減少するので、

前述した ISO/TR 14062 では、設計初期の概念設計段階で環境配慮するべきとしており、そのため、QFD（Quality Function Deployment、品質機能展開）の取り込みを薦めている。（独）産業技術総合研究所では、この考えを更に QFDE（Quality Function Deployment for Environment）に展開し、製品設計の環境面と品質機能面の要求を同時に満足させるためのソフトウェアを開発している⁽⁶⁾。また工業製品の製造に関しては、（財）製造科学技術センターの下に「インバースフォーラム」が設置され⁽⁷⁾、従来の製造工程が材料-加工-製品組立-検査-出荷の正工程重視であったのを見直し、製品の使用-廃棄-回収-リサイクルの逆工程に着目し、総合的に環境配慮した製造を実現するための方法論を開発してきている。これらが総合されて、3R（Reduce, Reuse, Recycle）政策が展開されている⁽⁸⁾。

EU が行政面では環境先進国であるが、民間では我が国製造企業の環境対応技術は世界的に先端にある。自動車業界では省エネ、環境対応面で世界をリードしており、同様の事例が情報家電、生産財などあらゆる工業製品で見られる。これは、「環境対応ビジネスを志向して世界競争に打ち勝つ」との意識が我が国企業には高い証左でもある。

環境問題に対して更なる責務を負うべき機械技術者が、エコプロダクトをエコデザインするとの役割で前面に出てきた現況にある。この努力が次代を担う機械技術者に引き継がれ、技術開発が人類の利便性供与と自然環境維持という、一見、相矛盾する要求を同時に満たすようにして欲しい。[了]

参考文献

- (1) [Rachel Carson](#)、Silent Spring、[Houghton Mifflin](#)（1962）
- (2) www.ecodenet.com/unioneco/unionofeco_kaisoku.html - 22k -
- (3) Sim Van der Ryn、Ecological Design、Island Pr（1995）
- (4) [Han Brezet](#)、Ecodesign : a promising approach to sustainable production and consumption、UNEP IE Cleaner Production（1997）
- (5) [EuP :ec.europa.eu/enterprise/eco_design/index_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/eco_design/index_en.htm) - 21k -
- (6) unit.aist.go.jp/lca-center/ci/activity/software/qfde/index.html - 26k -
- (7) www.mstc.or.jp/inverse/panf/panf.pdf -
- (8) www.meti.go.jp/policy/recycle -
- (9) www.ecodenet.com/unioneco/unionofeco_kaisoku.html - 22k -

自然・社会・文化の持続性で「^{うま}美し国」めざそう

： バイオダイバシティ・ライフスタイルダイバシティ・ランドスケープダイバシティ

第三部会員 進士五十八

「美」を追究する環境学—私の造園学の出発点

私は都立化学工業高校を卒業して、数年間、呉羽化学株式会社の東京研究所で働いた。

実験中、注意不足で目を傷めて入院したのを契機に、給料の高さよりも大切な何かがあるように思い転身を決意した。研究所の物性班や重合班とは180度ちがう東京農業大学の農学部造園学科に入学したのだ。

私は小学校でも中学校でも大東京祭の「東京を描く絵画コンクール」でいつも特選に入賞していた。いま、あちこちの審査委員長を務めてわかるのだが、絵画が上手だったのではなく私が育った深川の木場風景がコンクールでは必要だったのかもしれない。しかし、その頃は漠然と絵心を生かせる職業につけたらと思ったものだ。中学校で化学クラブ、高校でも化学研究班というクラブ活動に入って、結構理科好きでもあったし、母親から画家では食べていけないといわれてあきらめて化学会社に入ったのだ。それが研究所勤めで、はじめて学歴社会の現実を知ったこともあり、自らの人生というものを如何に生きるべきかを初めて考えることになったというわけである。

研究所への通勤は省線（総武線）で両国駅から大久保駅経由であったが、浅草橋駅近くのビルの屋上で日本庭園を造っていた。それを毎日車窓から眺めていた。次第に、美しい空間になっていく。絵心が生かせて食っていける、それに自分ならではの世界を創っていける。そう思ったら、矢も盾もたまず、研究所を休んで進学ゼミの手続きをしていた。もっとも、そう簡単に退社させてもらえず、一年余も待っていきなり農大を受験してしまったというわけである。

私は、1944年4月8日京都市生まれ。少し戦中ということで幼児のいる世帯は疎開せよということで、福井県の越前平野のど真中吉川村（鯖江市）に疎開、小学校5年生の夏まで田舎暮らしを体験した。一方、京都にはわが家の寺もお墓もあって末っ子の私は母に連れられ、盆と正月は京都に遊びにつれていってもらって育った。それで、日本庭園の雰囲気が好きだったということもある。

古代エジプト以来人類の歴史に、神殿や宮苑はつきものである。造園術は古

代、神殿の荘厳のため真すぐの並木道をつくり、国王の権威を象徴するシンメトリカルな景観構成による美しい宮苑をつくった。中世になると、修道院の、そして日本では禅院などに精神的意味を付与した庭園がつくられる。近世になると囲われた空間としての庭園（garden）の中から、眺められる国土や地方の自然景観を景観構成に取り込んだ風景式庭園（landscape style garden）、日本では借景手法を生かした大名庭園などが数多くつくられる。それが近代社会に入って工業化と都市化の徴候が出はじめると、その都市集住と人工文明化が生物としての人間の生存環境を悪化させるとの危惧を感じさせ、“都市と自然”あるいは“人間と自然”の調和共存を目指すべきだと主張する新たな職能がアメリカで誕生する。gardening, landscape gardening に次ぐ landscape architecture で日本ではこれを造園学と翻訳した。Architect（建築家）に対する自然環境基調の専門家という意味の Landscape architect（造園家）である。なお明治から大正にかけて Architecture を造家学と呼んでいたので Landscape Architecture を造園学としたのである。中国では風景園林学、韓国では造景学が、台湾では景観造園学を使っている。

私は、古代、中世、神と国王のための Gardening 時代、近世の貴族や富豪のための Landscape gardening 時代、そして近代、現代の市民と社会のための Landscape architecture 時代の 3 期に区分しているが、一貫して共通する造園の特質があると考えます。

gan はガード、防御する、eden は悦び、愉しみ、いわば理想である。garden は、gan と eden の合成語だから「安全で快適な美しい理想境」ということである。また、land は土地自然、scape は全体総合であるので、ランドスケープ・アーキテクチュアは、地球、国土、環境や地方、地域、地区、敷地の各単位が多段階の空間を扱う技術であり科学であり芸術である。

古来、庭園は樹木、花卉、水、動物など生物的自然（いわゆる緑）を基調に造られ、尚且つ柵や塀、垣などで囲われ安全で独立した小宇宙として敷地計画がなされた。それが現代では、地球的スケールに拡大したのである。しかも、そのランドスケープ計画は、地形、地質、植生、水理、動物など自然環境条件を基調に、人間の利用をそれに共生させていくことが最大の目的となっている。

自然との共生、環境と人間社会の持続性、そして美しい理想境を市民社会に実現することが、ランドスケープ・アーキテクチュア（造園学）の目的と意義であり、方法の独自性なのである。

植栽・緑化や水工など造園技術のほとんどは、農業技術の延長といえる。しかし、植物をどれだけたくさん育て収穫量をあげるかという“生産性の向上”を追究するのが「農学」であるが、「造園学」だけは美しい生活環境の実現を目指すところが大きくちがう。そのために造園学では、自然科学のみならず、人

間や社会を学ばなければならない。その点は環境学に要請されるのと同じでもある。最終的に「美」を追究すると点が、環境学のなかで造園学の独自性ということである。

ランドスケープの作品・空間・環境—私の多面的かつ総合的研究アプローチ

一般のひとは、「造園」といえば、世界に誇る日本文化としての「日本庭園」、まちの緑と「都市公園」、「自然保護」と「国立公園」と思う。私の整理では、①小自然・(ペットの緑)・庭園、②中自然・(家畜の緑)・公園や緑地、③大自然・(野生の緑)・自然保護や国立公園となる。そしてどこの大学の造園学科もおよそこうした仕分けで研究室が構成されている。ところが私は不思議なことに、(実際は学内事情で)そのすべてにわたって研究してきた。研究室の縄張りや人事上の都合で、色々の仕事をやらされることになったが、今では良かったと感謝している。私にとってはそれぞれに興味深く、それぞれ自分なりに精一杯取り組んだし、それなりの評価もうけた。

庭園研究は、もともと自分がやりたかったテーマでもあったし、一番論文数も多く日本造園学会賞、日本農学賞、読売農学賞など、紫綬褒章を受章した。学位論文は「日本庭園の特質に関する研究」(1986)。出版物は『日本庭園の特質—様式・空間・景観』(東京農大出版会、1981)とした。私の研究では日本庭園は、“縮景・借景・樹芸・然び”の4つのキーワードで、そのすべてが説明できるというもので、庭園史だけとか、空間論、景観構成だけとかでなく、そのすべてを体系的に現象論、機能論、構造論、象徴論で捉えた。後、市民向けに書いた『日本の庭園—造景の技とところ』(中公新書、2005)は好評を得ている。

都市や公園の緑の研究では、代表論文「住環境におけるグリーン・ミニマムの研究」(造園雑誌、1975)であり、300mメッシュ単位で自然面率50%が結論。大都市でこれまでたくさんの都市計画、緑地の計画、景観計画等の委員長をつとめ、実際のランドスケープ計画を立案策定してきた。その中で景観のあり方、空間のあり方を「安定景観論」や「安定空間論」(1978)として日本建築学会で数十本の論文を発表し『緑からの発想』(1983)、『緑のまちづくり学』(1987)『アメニティ・デザイン—ほんとうの環境づくり』(1992)、『風景デザイン』(以上、学芸出版社、1999)また、市民向けに『グリーン・エコライフ』(小学館、2010)、『日比谷公園』(鹿島出版会、2011)など出版してきた。井下賞、土木学会景観デザイン賞、公園緑地北村賞など、この分野での受賞だ。

自然保護や国立公園研究の始まりは、教授への委託計画研究の仕事からで、吉野熊野、大山、霧島など国立公園の保護と利用の計画策定であった。そのプ

ロセスで、計画の科学的根拠を示すべくアメリカペンシルバニア大学の I. McHarg 教授ら創始による『Design with Nature』を日本の実情にアレンジして、土地の自然条件（地質、地形、植生、地下水など）を分析、数値化、評価して開発可能性、言い換えれば、保護の必要性の程度に分級することに成功し、国立公園協会から田村賞(1984)を頂戴した。まだ環境庁が出来る前のことだが、この受賞を契機に自然保護問題、自然環境計画など、いわゆる「環境学」につながる諸研究に携わることになった。日米国立公園会議の重要議題になっていた「自然公園の収容力の研究」(1972)をまとめたのもこの頃である。こうしたことから私は、委託などの仕事を、自らの研究テーマとして委託先が求める以上の調査をすればそれは立派に自らの研究となり、実績ともなることを学んだ。研究者の研究と社会貢献というのは、応用科学分野では同じということなのだ。

以上のように、庭園・都市公園・自然公園の3つの対象は、空間的スケールでは小・中・大、自然性においてペット・家畜・野生と、それぞれ性格の異なるランドスケープである。そこで、その性格からその言い方を私は①「ランドスケープ作品」、②「ランドスケープ空間」、③「ランドスケープ環境」として整理している。当然その研究の観点も、方法も異なってくるということだ。

作品研究では作家（造園家）個人の原風景や自然観、風景観、ときには人生観が重要になる。それには、人文科学、文学的アプローチが重要となる。空間研究では、特に公園など、パブリックスペースの計画のためには、人間の行動科学や環境心理、社会のあり方などが計画の前提となり、社会科学的アプローチが必要となる。これに対して自然保護計画などの策定に当たっては、土地自然の潜在的能力、環境容量といったものを、絶対的に基本に置く必要がある。福島原発の最大の問題点は、津波のような大災害が予想される立地に十全な安全対策を行わずに建設したことだろう。

私の方法は、各種のデータを重ねあわせて自然の潜在力を評価するオーバーレイ法である。すなわち、地質的に脆弱な場所は黒く、丈夫なら白、地形的に急傾斜なら黒、緩く安定しているなら白、その中間は灰色、植生的にも破壊に弱いなら黒、復元力のある植生は白、という具合にマッピングし、それを重ねグラデーションを分級して、土地利用方針を決定する。従って、ここでは、自然科学的データが決定的に重要とある。

このように、ランドスケープの科学も環境の科学も、旧来の自然科学、人文、社会科学などの分類を超えた“学際性”が最も重要であるし、造園計画に当たっては、科学のみならず歴史、民俗、習慣、宗教などありとあらゆる要素を踏まえることが肝要だと私は考えている。

環境を全体として捉えるときに「要素還元」ではなく、「総合・風景の目」でなければならないことは別に述べることにするが、真の「美」を追究しようと

いう造園学にとって、“総合性・トータリティ・トータルランドスケープ(全景)”こそが真の美しさに通じる基本中の基本だと言っておきたい。ひとの目に「ほんとうに美しい！」と映るのは、その環境の自然条件、社会条件、文化条件、ほんとうは経済条件も含めて、すべてが良い方向にある状態のときなのである。

3つの共生・3つの持続性・3つの多様性—これからの地球生活

私は、「美し国づくり協会」という NPO 法人の理事長を引き受けている。

「美しい」ではなく、「美し(うまし)」である。倭(やまと)言葉である。日本の自然風土、歴史文化などを十分にふまえた美しい国づくりを考え、そして具体的にすすめようという運動団体だ。

美し国と同様の言葉に、ヤマトタケルがふるさと大和国を詠んだ「まほろば」(真秀場)がある。英語の「amenity」(アメニティ)も同義。ラテン語の amoenitas(アモエニタス)、語源は amore(アモーレ、Love の意)に遡る。

では、どうすれば「美し国」「真秀場」「アメニティのある環境」が創れるのか。それを研究し実践するのが造園学であり、環境計画である。

私は以前から、「安定環境論」(1978)を提唱している。人間という生物が生きていくためには、環境が安定していなくてはならない。近年の地球温暖化やヒートアイランド現象も、大気の組成のアンバランス、また、都市の人工面率(コンクリート、アスファルトなど不透水面、比熱の小さい人工面の割合)の増大により不安定な環境になった結果である。私たちはよく、“大変”という。恒温動物である人間にとって、例えば気温が大きく変化すると身体がついていけなくて風邪をひいてしまう。大きく環境が変化することは大変なことである。

私の安定環境論では、“開発”イーコール“破壊”ではない。ハイスピードで環境を改変したり、環境容量を超えるビッグスケールで開発すると破壊になる。自然の保護と土地開発の調和は、適正スケールと適正スピードで自然のポテンシャルの範囲でやれば可能だというのが私の結論だ。これまでたくさんの環境アセスメント・事業評価の経験からの見解である。また歴史的環境や文化的景観の保全の必要性もここにある。浦島太郎のお伽噺は急激な環境変化が人間に及ぼす影響を示唆している。

では、都市化、人工化が極限まで進み、深刻な地球環境問題に直面している我々の地球社会はいったいどうすれば救えるのか。

この 100 年間に人口は 4 倍にしか増えていないのに、経済活動は 20 倍、エネルギー消費は 25 倍にも増やしてしまった地球を健全化するには、「3つの共生」「3つの環境持続性」、そのためには「3つの多様性」が必要だと私は考えてい

る。そのすべてが実現した地球社会は、それぞれに「美し国」となるだろう。

20 世紀文明の負の遺産をクリアするためには、「自然共生」「環境共生」「地域共生」の 3 つが必要だと私は考えてきたし、そのための『環境市民のまちづくり』（全 3 巻、ぎょうせい 2003）を提案してきた。

これまでは、都市や国土の隅々までをコンクリートにして、土地利用を単純化し、“生物”を排除してきた。これからは、たとえ大都市といえども、水系を保全し、農地や樹林地を保有し、どうしてもそれが無理なら都心では屋上緑化や透水性舗装に転換すべきである。それが「生物的自然との共生」である。

前に指摘したように 20 世紀工業文明は、大量の生産・流通・消費・廃棄による資源やエネルギーの無駄使いを、あたかも美德のような錯覚を与えてしまった。福島原発事故は、いわばこうした 20 世紀型文明生活の悲惨な結果であったともいえる。リデュース・リユース・リサイクルの 3R やもったいない運動など「資源・エネルギーとの環境共生」はこれからも“環境教育”や“ESD”の主要テーマでありつづけるべきである。

3 つ目、環境問題の社会性に注目すると、もうひとつ「地域間の共生」が重要テーマとなる。都市と農村、発展途上国と先進国など異なった性格を持つ地域同士の共生関係の樹立がすすまないことには、社会的平等、地域格差の解消、多国間の平和互惠関係は進まない。

都市農村政策はどうしても、政治すなわち選挙の票数の多い大都市住民の意向に傾斜し、国土の自然環境の保全とか、その基礎となる農林水産業の振興には向かないおそれがある。国際間の南北問題も同根であり、国際テロ問題なども宗教間対立として認識し易いが、基底には経済格差、地域共生理念の欠如があるように思える。

なお、ここでつかった「共生」は、1992 年リオでの地球サミットの決議を受けて日本政府が翌 1993 年に公布した「環境基本法」の基本理念である“循環・共生・参加・国際的取組”の 4 つのキーワードのひとつであり、2010 年名古屋市で開催された生物多様性条約締約国第 10 回会議（COP10）で日本政府が提案した「SATOYAMA イニシアチブ」の目標概念「自然共生社会」においても位置づけられた重要な考え方である。

生物学では、異なった種類の生物種同士がお互いに自分の持っている良さを相手に提供し、相手の良さを受けとって共に生きていく関係を「共生」

（symbiosis）といている。私はこれに仏教に言う共生（グシヨウ）とか、夫婦間で言う共生（ともいき）という考え方も加えたいと思う。

いまわざわざ“共生”を叫ばなくてはならないのは残念なことである。近代工業化以前の世界では、たとえば農業のように“自然共生技術”によるしかなかった。それが、たとえば化学肥料や農薬の多投入、或いは土地のエコシステ

ム（生態系）を改変してしまうほどの大規模農地造成をすすめる自然とは対立してしまった。人間たちは、自然の微妙なバランス、たとえば多様な微生物、動物、植物の相互共生によるエコ・ピラミッドと、各生物間、環境要素間のホメオスタシス（動的平衡）を無視して、工業力と人為的な薬品など化学力、機械など物理力によって生産性の向上を図ろうとした。自然観察や人智の活用を止め、科学技術力による楽な道を選んでしまったのだ。

ところで、9月初めカナダのレスブリッジ郊外でオーガニック農場を営む私の長女のところに滞在していたときのことである。

明け方の気温が2℃から0℃の間になり、いちご畑に霜が降りるかもしれないということで、早朝、外にある自動車の屋根とボンネットの上に、うっすら凍っている状態を観察。一斉にスプリンクラーから放水をはじめた。地表にあるいちご、1mぐらいの高さのボンネット、1m50 cmぐらいの車の屋根の50 cm差の微妙な凍り方のちがいの観察からの判断だ。私など、こんな寒さの中で放水とは何事か？と思ったが、そうではない。太陽が昇る直前での放水だし、水が凍って氷になるには熱が放出されるから、このタイミングだといちごへの霜害を防ぐことが出来るのだという。

この一例をみても、農業とは自然界の微妙な変化を、人智でコントロールするものであって、化学薬品などの力を借りようというのは、自然共生思想に反するものだなあと実感した。

最後に、2011年3月11日東日本の大震災、津波、福島原発以後のこれからの日本の国土とまちづくりのことを考えてみたい。

もっとも重要なことは、20世紀がつくりあげた世界を画一化しようとする人工文明、大都市主義、ひいてはエネルギー多消費型ライフスタイルからの脱却を目指さなければならないということであろう。

これから21世紀地球社会の持続可能性と自然共生社会の創造には、「3つの多様性」が不可欠であると私は考えている。日本学術会議第21期の『日本の展望・環境学』（2010）でも検討されたことであるが、これからの環境の持続可能性を自然・社会・文化の3つに分けて考えてみよう。

第一は、言うまでもなく「生物多様性」（bio-diversity）である。いまさら説明する必要もないほど広く知られている考え方だが、生物生存の基盤となっている“生物的自然環境の持続可能性”には「バイオダイバーシティ」の保全と回復が不可欠である。大都市のように機械論的に人工環境化をすすめると、当然のことながら土地利用も単純となり生物相も単調となってしまう。

私がかつて「グリーンミニマム50%」の結果を導いたように、都市にも自然面を確保すると同時に、その自然面も樹林地、草地、農地、水面など多様な自

然地面の組み合わせが求められる。東北地方の復興に当たっても、ひたすら従来通りのコンクリート型整備手法を推進することなく、生物的自然相を保全し、多様な土地利用へ誘導することが求められる。

第二は、“社会的環境の持続可能性”のために「生活多様性」(ライフスタイル・ダイバーシティ、lifestyle-diversity)を尊重すべきだということである。20世紀のグローバリズムは、経済を中心に欧米特にアメリカイズムが目指され、世界の大都市はみんなミニ・ニューヨークとなり、日本の都市はみなミニ・東京になり、マスコミとメジャー企業の思惑通りのライフスタイルが広く流布した。これに馴染むことが、あたかも“善”であるように多くの人々は疑問も持たずに馴染んでしまった。大いなるアメリカ文明に、地球は一色に塗りつぶされようとしている。世界各地には、自然風土、言語、信仰、民俗、歴史、文化など多様性にとんだ地域文化が存在し、それぞれの民族のアイデンティティを支えてきた。それが多くの大都市ではインターナショナルスタイルが普及してモノカルチャーとなった。多くの人々はこれを歓迎しているように見える。

私は真に安定した社会的環境が持続するには、それぞれの民族や地域社会が育んだ“それぞれの暮らし方”や“各人独自の生き方”を大切にすべきだと考える。いわゆる多言語、多文化、多信仰や、自然観、風景観、人生観の多様性を尊重する社会こそが、真の持続性につながると思うのである。

第三は、“文化的環境の持続性”のためには「景観多様性(ランドスケープダイバーシティ、landscape diversity)を尊重すべきだということである。「景観」(landscape)というものは、その大地の上でくりひろげられる農林水産業や工業、都市生活、その土地の歴史文化などのすべてが眼に映ずるワンシーンとしてあらわれるものであるから、自然的環境のダイバーシティと社会的環境のライフスタイルダイバーシティが発揮されていれば、結果的に「景観的多様性」は招来されることになる。

ただ現実の行政現場では、逆方向に行っている場合が多い。2004年に「景観法」が成立した。それまでに5~600自治体で自主条例として「景観条例」が決定された。そのときには、“わが町・わが村の個性的風景や文化の保全”を目標にしようとしたにもかかわらず、国が景観法を制定し、地方は景観計画を策定して、地域固有の地域らしさのある“景観まちづくり”を推進することにしたら、地方行政マンたちは“色彩・規模・高さ・意匠”など基準を設けて指導を始め、結果的には全国を画一化する方向に向かってしまっているのである。

人の顔も生き方も個人々々で皆違うように、町も村もそれぞれの自然・産業・歴史・文化が息づき皆異なってこそ文化というものである。文化は、耕す(cultivate)から派生したように、土地によって皆耕し方は異なるもので、文化も地域々々で異なり独自のものである。よって世界の文明は、ひとつに向か

うがその逆に文化すなわち地域のくらし、個人の生き方は多様性に富んでいる方が地域らしい魅力をもたらすのである。

そうした地域の人々の暮らし方、生き方が外に表れたものが「地域のランドスケープ」である。世界を旅する楽しみ、いわば観光を考えてみると良い。

世界中の観光経済の規模と世界中の軍事費の規模はほぼ同じだといわれている。人々が交流して、相手を理解する「観光」行動は、意外に重要なものだということがわかるだろう。ランドスケープダイバーシティに充ちた地球社会こそ、それぞれ個別の国を尊重し敬意をもって接遇できる。究極の世界平和は、軍備の強化からではなく、ダイバーシティが担保され世界中の人々が観光などを通じて大いに交流することから可能になるのではなかろうか。

「子どものあそび環境」

第三部会員 仙田 満

はじめに

本論では現代日本の子どもの成育環境の中でも、あそび環境とその影響について論じ、次の時代をつくる子どもの力を育むためにどのような方策がとられる必要があるかについて考察する。

1. 現代日本の子どもの劣化ともいえるべき成育の状況

我が国の子どもの運動能力・体力は 1985 年頃より減退傾向にある。小学校 6 年生の最近のデータと 1985 年頃のデータを比較すると、走力、投力、背筋力等において平均 10%以上低い値を示している。近年ゴルフやアイススケート等のスポーツにおいて、日本の若者が国際的にも活躍しているが、その多くは小さな子どもの頃からのトレーニングの結果といわれている。突出した能力を示す極めて少数の子どもに対し、多くの平均的な子どもは運動離れを起こしている。また体位を見ると、身長や座高はこの 40 年間で 3%程度の上昇であるが、特に男子の体重は 12%も増加している。これは肥満傾向にあることを示している。また子どもの成人病も増えている。二型糖尿病も激増している。不登校もこの 20 年間で約 2 倍に増えている。若者には引きこもりも多い。子ども、若者の精神疾患も増えている。

意欲という点では神奈川県藤沢市教育委員会が 1965 年より 5 年毎に子どもの学習意欲についてアンケート調査をしているが、“ばりばり学習したい”と答えた学習意欲のある回答はこの 40 年間で約 40%も下落している。また 2007 年に UNICEF が 15 歳の子どもに行った孤独度調査の結果は極めて衝撃的である。ほとんどの OECD 加盟国で「自分は孤独だ」と回答する子どもは 5~10%の範囲に留まるのに対して、我が国の子どもは 30%近くが「自分が孤独だ」と回答している。このことはこの子どもの親も孤独であることを示していると思われる。このように我が国の子どもは心身ともに劣化ともいえるべき状況にある。このことは我が国の将来を担う子どものさまざまな力が減退していることを示す証拠ともいえ、少子化問題以上に大きな国家的問題としてとらえなければならない。

2. 子どもがあそびを通して獲得する能力

このような我が国の子どもの劣化状況をもたらしているのは、さまざまな社会的変化であるが、10 歳頃までの成育環境、特にあそび環境の悪化によるものが大きいと考えられる。子どもはあそびを通して 4 つの能力を獲得する。第 1 は身体性である。運動能力、体力の開発である。あそびを通して走る、投げる等の基礎体力から技まで、細部の運動能力を開発していく。近年の子どもの肥

満は食生活と運動不足、あそびを通した運動をしていないことによる表れでもある。第 2 は社会性の開発である。ロバート・フルガムが「人生にとって必要な知恵はすべて幼稚園の砂場で学んだ」というように、子どもは群れてあそぶことによって仲良くあそぶこと、けんかをしたら仲直りをするということ基本的な社会性を学び、コミュニケーション能力を学ぶのである。あそびは教育や学習のように強いられるものでなく、自由で自立的なものである。自然あそびを通して 3 番目の感性の開発をされると考えられる。自然の変化、不思議さに感動し、好奇心を育てる。生物の生死に立会いながら、情緒性や感受性を育む。そしてあそびはごっこあそびや基地あそび等を通して、第 4 の創造性や想像性を育む。自由な発想で物やシーンをつくりだす能力は、あそびを通して磨いていく。このような知識というより、あそびの体験を通しての自発的学習が重要なのであるのだが、現代我が国の子どもはそのような様々な能力を磨き、開発するチャンスに恵まれていないといえよう。

3. 劣化をもたらしている環境

戦後 60 年余り、我が国の子どものあそび環境の大きな変化は 1965 年頃を境にするといえる。この時代より前、子どもは外で群れてあそぶことに多くの時間を費やしてきた。1960 年代は高度成長期であるが、子どもの成育環境、特に子どものあそび環境に大きな影響を与えたのは自動車とテレビという 2 つの生活のツールである。あそび環境は 4 つの要素によって成立すると考えられる。空間、時間、コミュニティ（集団）、方法である。これらの要素が複雑に絡み合いながら、あそび環境を構成している。従来、空間、時間、仲間（コミュニティ）という 3 つの“間”が重要といわれ、あそび環境の“3 間”と指摘されてきたが、最も影響を与え、重要なのはあそびの方法である。

テレビは 1965 年、日本の 90% の家庭に入った。自動車のマイカー普及率は 30% でしかなかったが、それまで我が国の子どもの主たるあそび場であった道を独占し、法律によって子どもを排除した。そもそも我が国の子どもはずっと道をあそび場としてきた。我が国で初めて放課後の子どものあそび環境を学術的に調査した大屋霊城博士が研究結果として報告している。それまで多くのあそび場が道にブランチされ、大きなあそび場をもっていたが、道があそび場として使えなくなったため、一気にあそび場、あそび空間を失っていく。それは大都市で 20 分の 1、全体では 10 分の 1 に近い減少である。そのあそび空間の減少に対し、テレビという新たな生活ツールは子どもを家の中へ導き、あそび時間を消費させたと考えられる。そしてさらに 1980 年代テレビゲームの開発、さらに携帯、パソコン等、さまざまな IT メディアの発達によって、子どもはそれに接触する時間を増やしていった。今、小学校 5 年生で外であそぶ時間は平均 15 分、テレビ、テレビゲームに費やす時間が 4 時間以上ある子どもが 25% 以上いるとい

う報告もある。情報だけが与えられたのでは身体的な能力は開発されないことは 1963 年の動物実験により明らかである。今、都市では 2、3 歳の子どももバギー車に乗せられている。多くの母親たちは歩道が狭く、危ないので、バギー車に乗せておく方が安全かもしれないと考えている。しかしそのことで子どもが自分の足で歩き、発見し、気づく機会を失わせている。今、我が国の子どもはバギー車や自動車というライドに乗せられて、彼ら自身が多くの友だちや自然と触れ合う時間も機会も奪われている。子どものあそび空間量は 1975 年から 2000 年にかけて 3 分の 1 から 5 分の 1 に更に縮小している。すなわち 1950 年代の子どもに比べると 100 分の 1 のオーダーの規模であそび空間が縮小しているのである。それはまさに現代日本の子どものあそび体験が少なくなっていることが示されている。20 年ほど前の筆者の国際比較の研究では、アジアの子どもはヨーロッパやアメリカの子どもに比し、あそび空間量は小さく、東京の子どもはミュンヘンの子どもに比し 10 分の 1 という小ささであった。おそらくその傾向はさらに広がっていると思われる。

4. あそび環境は複合的に悪化している

あそび場、あそび空間が少なくなっている。公園は増えている。しかしかつて子どもにとって自由なあそび空間が都市のあらゆるところにあったものが制限され、公園でしかあそべなくなっているという状況でもある。しかも近年、公園は犯罪にあう場所という認識から、保護者から子どもだけであそぶことが禁じられている例が多い。また田園地域では山、川、田んぼが身近にあるのだが、そこであそぶことは危ないと、これも保護者から禁じられている例が多い。かつて自然あそびは伝承あそびで、年長者から年少者へ危険を避けながらあそぶ方法が教えられてきた。今、子ども集団の解体や、同年齢化はその伝承を失わせている。あそび時間も外であそぶ時間は家の中であそぶ時間に比し、極端に減少している。またさまざまなおけいこごとによって、子ども自身の時間が束縛され、同時にあそびを共有する時間をもてなくなっている。あそび時間の分断化である。友だちをつくるにも時間が必要だが、テレビやテレビゲームとの接触はその時間を少なくしている。空間、時間、コミュニティ、方法というあそび環境のエレメントが相互に作用しながら悪化の循環に陥っている。

空間的に公園があっても、自然があっても、それを利用できない。すでに公園緑地は物理的な存在だけでは子どもはあそぶことができない。あそび方が伝えられなければあそべない。戦前に日比谷公園には末田ますさんという高等女子師範卒アメリカ留学のプレイリーダーがいたことは良く知られている。今こそ、公園にはプレイリーダーが必要である。その証拠に世田谷区羽根木プレーパークは大賑わいである。いつも子どもで一杯だ。このようなプレイリーダーのいる公園は全国に 200 以上あり、増え続けている。公園だけでなく、今公共

施設は施設は利用の時代になったといわれている。空間だけではなく、人が必要なのだ。かつて子どもは父母だけでなく、おじいさん、おばあさん、そして多くの兄弟、近所の人々の目に守られながら育った。しかし今、子どもは親戚や地域の人々とはほとんど無関係に育てられている。日本というアメリカの国土の25分の1の小さい国土でありながら、庭付き一戸建て住宅が国民の夢としてつくられた国は世界でも少ない。アジアでも、ヨーロッパでも生活は集合住宅だ。日本の住宅政策がある意味で孤立を生んでいるともいえる。子どもは多くの大人によって育てられねばならない。北欧のようなコレクティブハウジングのようなみんなで育てる住環境が目指される必要がある。超高層住居と一戸建ての都市開発は子どもの成育という観点から望ましいものではない。子どもの成育環境を町づくりの点からさまざまに再点検していく必要がある。自然の中であそび、群れてあそぶ環境を再構築しなければならない。それはハードだけでなく、プレイリーダーのような支援システム、あるいは自然豊かな場での長期間の休暇というようなライフスタイルが重要となる。

5. 子どものあそび環境を改善するための方策

子どものあそび環境の悪化の循環を断ち切るためには、子どもの成育環境全体の総合的な理解が国民全体に共有されることが不可欠である。子どもは親、育つ環境、学校を自分で選べない。大人がそれらを決めている。子どもの環境を変えるためには、大人が、国民がその重要性に目覚めなければならない。我が国は資源のない国である。ある意味、人のみが資源の国である。科学技術や理工系に進む若い人が少なくなっているという。物をつくり、科学に進む人たちの多くがこども時代に自然の中であそび、科学的好奇心を育ててきた。自然あそびから遠ざけられ、科学に興味をもつ子どもが少なくなるのは、ある意味で当然といえる。我が国は自然災害が極めて多い国である。困難はいつもある。それを乗り越える人が育たねばならない。レジリエントな人が育つ必要がある。自然にはリスクもある。自然あそびを通してレジリエントな能力を育むと考えられる。脳科学によると8歳までに人間の脳は90%完成してしまうので、その間に多様な体験をしておかねばならないと言われている。150年前に来日した外国人たちは「日本は子どもの楽園だ」と皆絶賛した。しかし今、子どもの声がうるさいといって幼稚園の園庭で子どもをあそばないように求める近隣の住民が多くいる。子どもの育ちに対してきわめて不寛容な社会となっている。子どもは多くの大人の暖かい眼差しやふれあいの中で育まれる必要がある。核家族化の進行により、家族の孤独化、子どもの孤独化が進行している。生活の仕方も、町づくりも、子ども中心の生活、都市におけるつくり変えていく必要がある。そのためには子どもに関する行政も統合化され、また学術分野においても総合的な議論がなされる必要がある。また子どもの成育環境に関する研究は不十分

である。その学際的な研究がより活発に行われる必要がある。またその学術的成果が行政施策として反映できる社会システムがつくれねばならない。国民運動として「こどもが一番」の政治が行われ、学术界も行政も総合的な組織を確立していくことが重要である。子どもが少なくとも10歳頃まで外で、自然の中で群れて思い切り自由にあそべる環境をつくり、幸せな子ども時代を過ごさせることは、大人の責任であると同時に我が国の将来をつくることであると思われる。そうなれば少子化社会も改善するだろう。

おわりに

東日本大震災の復興においても、子どもが住み続けられる都市、まちの復興がなされなければならない。子どもの町づくりへの参加を促し、子ども自身も町の復興を考える機会とすべきと思われる。この災害が日本の子ども中心の町づくりの新しい起点になることを祈りたい。

環境教育

連携会員 小澤紀美子

1 今、環境教育とは

21世紀に入り、環境への関心が高まり、温暖化や異常気象の状況に不安をつのらせる人々が増えてきている。このままでは未来が「持続不可能」なのではという危機感が高まってきている。今日の地球環境問題は、グローバル化の波により、環境・経済・社会が相互に依存する関係にあり、一企業内や産業界、地域内における対処療法だけでは解決できない側面をもつ。日本学術会議「日本の展望—学術からの展望『環境分野の展望』」において、「世界各地には、『地球公共財』に準じる地域に即したコモンズ（共有地）が数多く存在していた。近代化、工業化の進展に伴い、これらのコモンズは、その多くが崩壊に見舞われた。20世紀が省みることのなかった「地球公共財」の持続的維持について規範を創り出し、これを道しるべとし、具体的行動に移していくことが重要である」（1）と指摘するように、多様な主体やセクターが連携して、持続可能な社会や地域づくりへ向けて責任ある主体的な行動が求められている。

低炭素社会や生物多様性にもとづく自然との共生社会、循環型社会づくりはもとより、サステナビリティ社会に向けて「環境教育」は極めて大きな課題である。そこで、環境学委員会環境思想・環境教育分科会では、20期において「学校教育を中心とした環境教育の充に向けて」（2）を提言した。そこでは、環境問題に敏感な国民の育成には、幼少期より豊かな自然体験や農業体験を基盤とする感受性を育み、義務教育である学校教育において、教科目として十分に時間数をとること、そのための施設として学校農園を配置し、里山体験などの多様なフィールドを確保するなど、すべての子どもにその機会を与えていくことである。さらに環境教育は、これまでも理科、社会科など他の教科のなかでも行われてきた。しかしすべての子どもたちが、21世紀を担う国民の「環境リテラシー」を身につけさせるまでにはいっていない。すなわちすべての子どもたちは、初等中等教育段階から「環境」に対する①基礎的知識、②人間生活との関係、③地球環境問題の現実と原因、④環境問題解決には産業のあり方・都市のあり方・ライフスタイルのあり方などへの革新が求められていること等々が理解されるべきである、としている。

環境教育とは環境問題(problem)について(about)教えることではない。「人と人、人と自然、人と地域、人と文化、人と地球との関係性の再構築」にむけての教育であり、「過去に学び、今を知り、未来から学び・創る」教育ととらえたい。すなわち「持続可能な社会や地域の創造」に向け、現在の社会経済活動や

ライフスタイル、そしてそれを支える社会システムを根本的に変革していく「責任ある行動」ができる「環境市民」を育成していく環境教育でなければならない。これからの環境教育は、地球公共財の自然・社会・文化の多様性にもとづく持続性を実現する方向で（１）、持続可能な地球社会への科学、また地球市民としての生き方のための科学の視点を基底として展開されなければならないと考える。

２ 国際的な動向にみる環境教育

1972 年、ストックホルムで開催された国連人間環境会議は、環境教育の国際的広がりのきっかけとなった会議である。この会議で採択された「人間環境宣言」では、環境教育の目的を「自己をとりまく環境を自己のできる範囲で管理し、規制する行動を、一歩ずつ確実にすることのできる人間を育成することにある」という理念を打ち出している。さらに人間環境宣言の前文で「自然環境と人為的（人工的）環境は、共に人間の福祉、基本的人権ひいては生存権そのものの享受のために基本的に重要」であり、「人間環境を保護し、改善することは世界中の人々の福祉と経済発展に影響を及ぼす主要な課題」としている。

環境教育のねらいを明確にし、その理念の準拠すべ枠組として用いられているのが、人間環境宣言の文脈上に開催された 1975 年の環境教育国際ワークショップ（ベオグラード憲章）や 1977 年のユネスコと UNEP 共同主催のトビリシ環境教育政府間会議（トビリシ宣言）である。これらの会議を通して、個人及び社会集団が具体的に身に付け、実際に行動を起こすために必要な目標が提起されている。

トビリシ宣言の勧告 10 で「環境教育は、国家間の責任と連帯の精神を助長し、経済的、政治的、生態学的な面から、近代的世界における相互依存性に対する関心を助長するのに役立つ者でなければならない。」とし、さらに勧告 11 では「それは当然、学際的で無くてはならない。環境教育は環境について（about）学ぶことではなく、環境から学ぶ（through）ことを意味する。このことは教育方法について、特に学校教育において、出来上がっているやり方を変更することをも要請する。学際的な性質のゆえに、教育は、環境と生命の理解を助ける目的を持ち、そのゆえにも、環境教育は教育組織の革新に重要な役割を果たしうるのである」（下線は筆者）と指摘している点に注目しなければならない。

「持続可能性」の概念は、1987 年のブルントラント委員会最終報告で明快に出てきたといえる。「世界環境保全戦略」（1980 年：国際自然保護連盟、国連環境計画及び世界自然保護基金の共同執筆）において「持続可能な開発」の考え方の重要性が提起され、その概念が国連の「環境と開発に関する世界委員会」の「我ら共有の未来」（1987 年）によって世界的に注目を浴び、1990 年代から

の環境教育の理念に反映されてきたのである。

その文脈上に 1992 年のリオデジャネイロ「国連環境開発会議」では「アジェンダ 21：持続可能な開発のための行動計画」が採択された。その第 36 章「教育、意識啓発および訓練の推進」では、持続可能な開発のための教育について、「教育は持続可能な開発を推進し、環境と開発の問題に対処する市民の能力を高めるうえで重要である。（中略）教育が効果的なものとなるためには環境と開発に関する教育が物理的、生物学的、社会経済的な環境と、人類（精神的な面を含む）の発展の両面の変遷過程を扱い、これらがあらゆる分野で一体化され、伝達手段として公式、非公式な方法および効果的な手段が用いられるべきである。」と表明されている。

さらに 1997 年のテサロニキ国際会議「環境と社会：持続可能性のための教育および意識啓発」では「テサロニキ宣言」が出され、その第 10 項目「持続可能性に向けた教育の全体的変革は、すべての国における全段階のフォーマル・ノンフォーマル・インフォーマル教育を含むものである。持続可能性の概念は単に環境だけではなく、貧困、人口、健康、食料の確保、民主主義、人権や平和を全て包括する。持続可能性とは、究極的には文化的多様性や伝統的知識を重んじる道徳的・倫理的義務である。」とし、環境教育を「環境と持続可能性のための教育」と表現してもかまわないと、されている。

そうした文脈の中で、1999 年「これからの環境教育・環境学習—持続可能な社会を目指して—」が取りまとめられ（４）、第二次環境基本計画へ反映されたのである。

３ 環境教育の進め方と育成したい能力

環境教育の進め方として、①環境問題は様々な分野と密接に関連しているので、ものごとを相互連関的かつ多角的にとらえていく総合的な視点が不可欠である。②すべての世代において、多様な場において連携をとりながら総合的に行われること。③活動の具体的な目標を明確にしながら進め、活動自体を自己目的化しないこと。④環境問題の現状や原因を単に知識として知っているということだけではなく、実際の行動に結びつけていくこと。⑤そのためには課題発見、分析、情報収集・活用などの能力が求められるので、学習者が自ら体験し、感じ、わかるというプロセスを取り込んでいくこと。⑥日々の生活の場の多様性を持った地域の素材や人材、ネットワークなどの資源を掘り起こし、活用していくこと。⑦地域の伝統文化や歴史、先人の知恵を環境教育に生かしていくこと、としたい（４）。この内容は、トビリシ原則を基底としたものである。

また内容としては①自然の仕組み（自然生態系、天然資源及びその管理）②人間の活動が環境に及ぼす影響（人間による自然の仕組みの改変）③人間と環境のかかわり方（環境に対する人間の役割・責任・文化）④人間と環境のかかわ

り方の歴史・文化、を系統性と順次性を視野に入れて展開していきたい。

こうした文脈を継承して、2002 年「持続可能な開発に関する世界首脳会議」（ヨハネスブルク地球サミット）において、日本からの提言で「持続可能な開発のための教育の 10 年（ESD）」が位置づけられているのである。しかし日本では、トビリシ勧告の「経済的、政治的、生態学的な相互依存性」や「学際的アプローチ」、「教育の変革」についての議論はほとんど展開されていないのである。

そこで環境教育の展開は次のように考えたい。まず学習者の関心を喚起させ、その「気づき」を次のステップの「調べる」（意欲・判断力）という学習活動へ導き、その事象の背景や問題の構造を「探る」、「考える」（思考力）活動へと導き、解決のための代替策を洞察し、学習者自ら答えを導き出すと共に（批判性・問題解決力）、互いに協力しあう活動もとりいれ、様々な主体間の連携・協働の意義・意味を考えさせ、実践する（学習者の価値観や態度が社会参画に向かう）展開が必要である。具体的には、「関心の喚起（気づく）→理解の深化（調べる）→思考力・洞察力（考える）→実践・参加（変える・変わる）」といったフィードバックを伴うスパイラルな学習過程をたどる方法論を用いたい。

反省的思考の学習過程により「未来を創る力プロセススキル（コミュニケーション能力、パターン分析力、批判性、論理的思考力と意思決定能力、自分とコミュニティへの責任、他者と共に働く能力）」の育成をめざしたい。

4 義務教育課程から大学における環境教育の展開

日本の学校教育における環境教育の展開は、教科書の基準となる学習指導要領改訂（1989 年）において環境が重視されるようになった。それが教員むけの「環境教育指導資料（中・高等学校編）」（1991 年）、「環境教育指導資料（小学校版）」（1992 年）の発行に結びついてきた。’91、’92 版環境教育指導資料では「環境」を自然環境と社会環境を含めた総合的な事象として理解していくとして、「環境や環境問題に関心・知識をもち、人間活動と環境とのかかわりについての総合的な理解と認識の上にたって、環境の保全に配慮した望ましい働き掛けのできる技能や思考力、判断力を身に付け、持続可能な社会の構築を目指してよりよい環境の創造活動に主体的に参加し、環境への責任ある行動をとることができる態度を育成すること」としている。下線は 2007 年 3 月版「新環境教育指導資料」に挿入されている文言である。環境教育の目標として持続可能性の概念が導入されたと言える。

’91、’92 年版の環境教育指導資料策定時に準拠した英国（1989）の環境教育では、環境教育はクロスカリキュラ・テーマとして位置づけられ、環境教育、市民教育、健康教育、産業と経済の理解、キャリア教育が設定されていた。そうした枠組みが日本の環境教育指導資料に投影され、「つきたい能力」としては、

問題解決能力、数理的能力、情報処理能力、コミュニケーション能力、環境調査・評価能力であり、「育てたい態度」としては、自然や社会事象に対する関心・意欲・態度、主体的思考、社会的態度、他人の信念や意見に対する寛容さ、とし、'91年版「環境教育指導資料（中・高等学校編）」ではクロスカリキュラムとしての環境教育の概念を示されていた。

日本の教育は伝統的に知識や技能を教員から伝達する、結果のみを重視する「何を学んだか」を重視し、「どう学ぶか」といった視点からの教育が行われてこなかった。これからの学びは試験に応ずるために一方的に知識や文化を注入（伝達）するのではなく、一人ひとりの考えの道筋や興味・関心が異なることを前提として、思考態度や探求の方法をそれぞれ豊かに醸成すること、主体的に学び続ける能力を育成することが求められるのである。すなわち「知識伝達型」あるいは「知識注入型の教育から、学習のプロセスを重視し、教師も共に学ぶ「探究創出表現型」の学習観へ変革していく理念のもと、2002年に「総合的な学習の時間」が創設され、環境教育、情報、健康・福祉、国際理解などは総合的な学習の時間と各教科が連携して取り組むことが求められたのである。

現行の学校カリキュラムは、「要素（部分）の総和」が全体の知識になるという枠組みで各教科や教科の内容が組み立てられている。大学の研究・教育の展開においても「要素技術」にもとづく専攻や科目設置となっているのと同じ枠組みといえる。教科書に記述されている事実を児童・生徒・学生に「教え込む」（知識注入）という投入－産出型モデルが展開されており、産出された結果の「知識量」を「学力」としてテストではかるのが近代学校システムで、ブラックボックスの中の構造、すなわち一人ひとりの思考過程や価値観の違い、あるいは自己と環境と相互作用による変容の過程は無視されている。日本の知識注入型教育は量的に測定可能な尺度にもとづく知識の量を重視している。こうした受験学力育成型の教育からは、環境問題や横断的な課題 issues（問題解決にむけて論争が必要な課題）への取り組みの能力の育成は危うい、といえる。

今、大学の環境分野において、次世代リーダーの資質をもつ人材育成は喫緊の課題である（5）。さらに学際的な性格を有する「環境教育」に資するには、前述したように専攻分野の違いを超え、学際的でシステム論的なアプローチによる研究・教育の体制が必要である。具体的には①学際的なアプローチ ②システムズ・シンキング ③探究性や実践性を重視する参加型アプローチ ④批判性や多元的な見方を重視する問題解決型アプローチ ⑤多文化共生の視座を基盤とするアプローチ ⑥「かかわり」「つながり」を重視する統合的（ホリスティック）なアプローチ ⑦様々なセクターとの連携性や協働性に基づくアプローチ、が不可欠である（6）。連携性や協働性は2011年6月に改定された環境教育等推進法においても強調されている視点である（7）。

21 期環境学委員会環境思想・環境教育分科会では上記の枠組みを視野に入れて「高等教育における環境教育の充実に向けて」（査読中）を提言している。

そのために、環境研究・環境教育は、自然環境と文化の多様性を尊重し、科学的に依拠できる情報の提供と多分野にわたる研究者らの十分な対話により批判的思考を含めて文理融合の総合科学的体制の下で進められなければならない。また、そのような方法によって、環境問題に対する国民的意識の向上・定着を高めていく方向に向かうことを期待したい。

参考文献

- (1) 日本学術会議「日本の展望—学術からの展望『環境分野の展望』」
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h-3-1.pdf>
- (2) 環境思想・環境教育分科会「学校教育を中心とした環境教育の充に向けて」
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/index.html>
- (3) 森田恒幸・川島康子・イサム＝イノハラ(1992) 地球環境に配慮した経済的目標体系：「持続可能な発展」とその指標体系、季刊環境研究、第88号、環境調査センター
- (4) 中央環境審議会
「これからの環境教育・環境学習—持続可能な社会を目指して—」(1999)
<http://www.env.go.jp/council/former/tousin/039912-1.html>
- (5) 環境人材育成コンソーシアムが2011年3月に設立され、日本を含むアジア各地で、環境に配慮した持続可能な社会の構築をリードする「環境人材」を育て等をミッションとして「大学における教養科目としての『環境力』を有するT字型人材育成プログラムなどを提供している。
<http://www.eco-lead.jp>
- (6) 米国“education for sustainability—an agenda for Action”：本レポートは、1994年秋にサンフランシスコで開催された”National Forum on Partnerships Supporting Education about the Environment”の報告書。
- (7) 「環境の保全のための意欲の増進及び環境教育の推進に関する法律」（2003年）が「環境教育等の推進による環境保全のための国民の取組に関する法律」（2011年6月）と改正。

風景の目・ランドスケープの眼

第三部会員 進士五十八

1. 環境学の視点で重要なのは総合性

アル・ゴア氏の『不都合な真実』(2006年)は、それまでの科学者のデータを“総合的”に示し、自分史をまじえた“物語”として語り、水没し崩壊する大地ととまどう市民の姿を“視覚的”に見せた。もちろんアメリカ元副大統領という政治家の“信念”や“強いメッセージ性”があったからであるが、世界中の市民の問題意識を昂め何らかの取り組みに“参加”し、“行動”することを促したことはまちがいない。それも、ノーベル賞となったのであろう。

環境学研究を進めるに当たって、その当面の目標が「地球環境問題」や「人類の生存環境問題」の解決にあるとすれば、前述の“すべて”に配慮が必要であろう。ところが、ややもすると環境学研究においても、環境要素還元型の研究アプローチが、研究機器の高度化もあって優先してきたように思われる。

もちろん広域かつ複雑な環境の全体像を把握するには超マクロ、超ミクロに調査研究のベクトルが進むのは必然であるが、一人一人の市民に環境問題に向きあってもらうには“等身大”で“ビジュアル”に、できれば生活実感がもてるような“市民性”や“生活感”も、これからの問題解決型環境学、特に環境計画、環境政策、環境教育や運動論では重要な視点といえるのではないだろうか。そこで私はここで「環境」を理解する上で、ランドスケープの眼、風景の眼でみることの重要性を具体例をあげて指摘したい。

2. 高科学だけで環境問題は解決できない

森林から木材を伐り出すだけで植林をしなければ最終局面では砂漠化するし、地中の石炭や石油を地上で燃やし続ければ二酸化炭素が増え温室効果が増大する。人類は、この100年間にエネルギー消費を25倍に増やしておいて、環境変化が激しいとあわてている。

環境問題発生メカニズムは、決して難しくない。高度な科学機器を必要とするのは、その破壊の程度や濃度を地球規模で計測するためであろうが、観測の精度を上げることが環境問題を解決することになるわけではない。

問題解決の原則は、①産業界がクリアプロダクツ、徹底した省エネ循環環境型商品の生産や流通に転換することであり、②主として行政会が都市をコンパクト化し、エコロジカルシティに誘導することであり、③市民自身も自分たちの生活をエコライフスタイルに戻すこと、そのためには④環境教育を本格的に

徹底することなどして、政治、経済、社会のあらゆる面で「環境」の視点を主流化し、有効と考えられることを即実行することである。根本的には、地球規模に環境問題を拡大し生物生存に深刻なまでの物理的・化学的環境改変を促した近代科学文明を問いなおすこと。また、部分効率追求第一で自然共生を軽視してきたグローバル経済など現代社会システムを総点検し、改善することが不可欠だ。

ここで私が言いたいのは、環境問題はその正確な実態把握にハイレベルの科学が有効であるとしても、問題の本質的解決のためには優れて政治学・経済学、さらには人智、哲学、市民参加へと社会諸科学に期待せざるを得ないということ。環境問題は、分析科学や小手先の技術論に矮小化してはならない文明史的大問題だとの認識が最も切だと思うのである。

3. 産業化・都市化への自然（緑）からの視点

環境問題を予見して、これに対する新しい職能を提案していたのは、フレデリック・ロウ・オルムステッド（F・L・Olmsted、1822-1903）であった。150年前、ニューヨークのマンハッタンのセントラルパークを設計した人物である。その専門職を「ランドスケープ・アーキテクチュア」と呼び、自らランドスケープ・アーキテクト第1号を名乗る。

彼は、都市の無方針な成長と、②産業化による環境の人工化への対策として、緑地の系統的配置（Park System）と植物材料の活用（Landscaping）を進める。当時のニューヨークの人口は60万人でしかなかったのに、それでも自然と人間のバランス、都市における自然（植物）の重要性を既に示唆していたのだ。そして職能の要件の第一はScientific Farmer（科学的百姓）であって、自然に通じているべき専門家であることとした。後世の批評家が、彼らの職能をSocially Oriented Design Profession（社会指向型デザイン職）と指摘しているように、要件の第二はSocial Planner（社会計画家）だとした。彼自身、“A Wholly Unpractical Man”と規定するなど「広く全体を把握し、総合像を目指すべき」専門職能だとしている。

端的に言えば、第一が自然について、第二が人間すなわち社会についてのプロであるべきだということで、150年前既にいま風にいう文理融合の環境計画家を目指していたといえることができる。

以上は、私の専門、造園学・Landscape Architecture 草創期の物語である。地球規模にまで拡大した環境問題の根っこに「産業化（工業化）」と「都市化（人工化）」があるとの認識は、オルムステッドの末裔としての造園家である私もまったく同じである。ちなみに彼のランドスケープ思想は弟子のCharles Elliot（1859-1897）を記念して創設されたハーバード大学のランドスケープ・アーキテ

クチュア学科から世界に広がる。日本では、造家（Architecture）に対して造園（Landscape Architecture）という言葉で翻訳され、震災復興に向かう大正14(1925)年には社団法人日本造園学会が設立される。学会誌名も『造園学雑誌』、『造園雑誌』を経て、平成6（1994）年の第58巻からは『ランドスケープ研究』（当時の編集委員長／進士五十八）に改称している。会員数は設立時の100名が現在は3500名に増え、研究動向をキーワードで見ると「持続、循環、社会資本整備、生物多様性、自然再生、景観」など広汎な課題に取り組んでおり、正に「ランドスケープ研究」集団に成長している。特に近年は公園の管理や自然環境の把握よりも、それを生み出す仕組みや過程、個人の体験、社会文化との関わり等を重視した研究へ、いわば「モノ的ランドスケープからコト的ランドスケープへ」（小野良平、2008）と、研究の観点が変化し深化しているといえる。

4. 「ランドスケープ」の意味と意義

英語のランドスケープは、造園のほか景観や風景と訳される。中国では3世紀に既に「風景」（フォンジン）の語が登場し、日本でも8世紀の万葉集に「風景」が詠まれている。また、フランス語ではペイザージュ（Paysage）である。

学術用語としての「景観」は植物学者の三好学（1861-1939）がドイツ語のランドシャフト（Landschaft）の訳語（初出1902）として使ったもので、のち辻村太郎『景観地理学講話』（1937）など地理学分野でもつかわれるようになり、1980年代からは土木・建築・造園など建設分野において景観研究は活発化し、一方600以上の自治体で自主条例としての「景観条例」が制定され、それを受けて国も「景観法」（2004）を制定する。

なお、ランドスケープは視覚的環境を表すのに対し、ランドシャフトは「景域」とも訳され、地理的ひろがりをも含む。一般には、景観は科学的、風景は文学的で、景観の語そのものには美しいなど価値観を含んでいないとされる。

いずれにせよ、landには土地・自然性、大地性の意味が、またscapeには端から端まで目に映る全体・総合性の意味がある。前者からは生物多様性、生態系の保全、エコロジー、さらには自然性、地域性、土地らしさ、後者からは近景・中景・遠景、パノラマ、図景・地景、建築景観、都市景観、田園景観、歴史的景観、自然景観など、自然も歴史も文化も、政治も経済も、生産も生活も、地域から地球までをもすべてをトータルに「一目瞭然」することが大切だといえる。

わが国は全国総合開発計画（1962）を廃し、国土形成計画法（2005）へ移行した。いよいよこれからは、地質・地形・水理・植生・農林業・地理・気候・文化など土地自然を基調に、「生き物たちのエコ・システムと多様性を保全」し、これらと共生できる社会と「国土のランドスケープを形成」してゆかなければ

ならない。

実験的、実証方法論に重きをおいた近代科学の方法は、あらゆる事象を分化し、操作可能な要素に還元して研究を深化させることに慣れてしまった。科学者は、競ってミクロに向かい目に見えないモノをみることに情熱を注いだ。ふつうの市民の眼に映り、等身大で感じる生のひとや自然を眼に映るままに理解し、しかもそのすべてを「トータル」に理解することの大切さを忘れてしまったかのようなのだ。

哲学者の沢田允茂はその著『認識の風景』（1975）のなかで、環境を認識する場合、目に見えているものは認識しやすいと述べている。「ビジュアル」であることは、市民の目線で環境の変化やより好ましい環境を創造しようという呼びかけに極めて有効なのである。

自然を基調としたトータルでビジュアルなものの方、「ランドスケープの眼」や「風景の眼」をみんながもたなければならない。環境をよりの確に理解し、また理解させるためにも、よりよい環境を保全し創造するためにも、「ランドスケープの方法」は大いに役立つであろう。