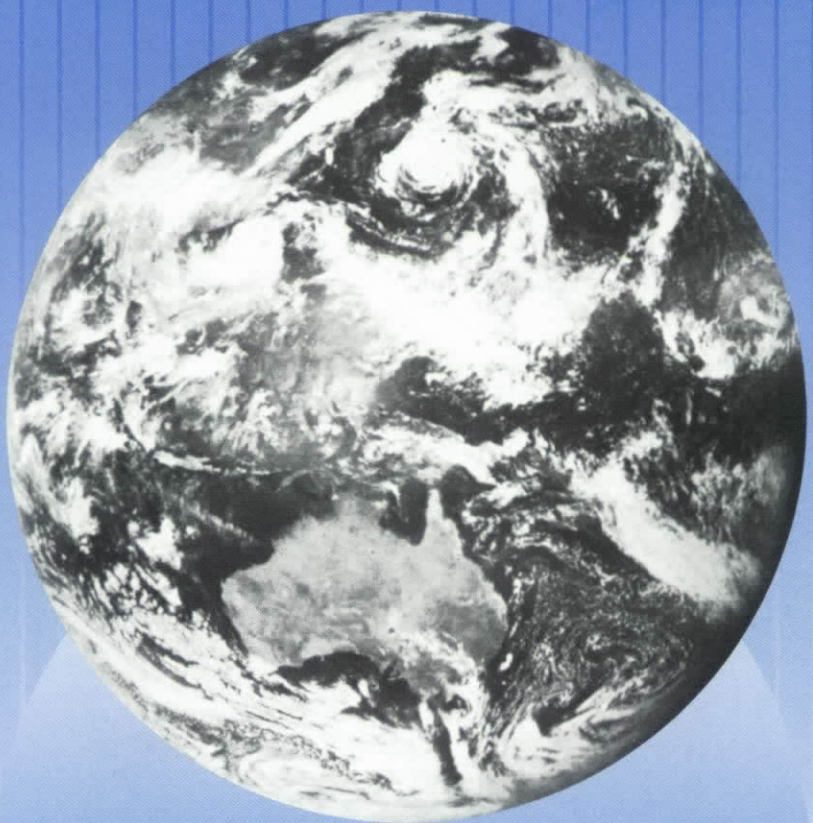
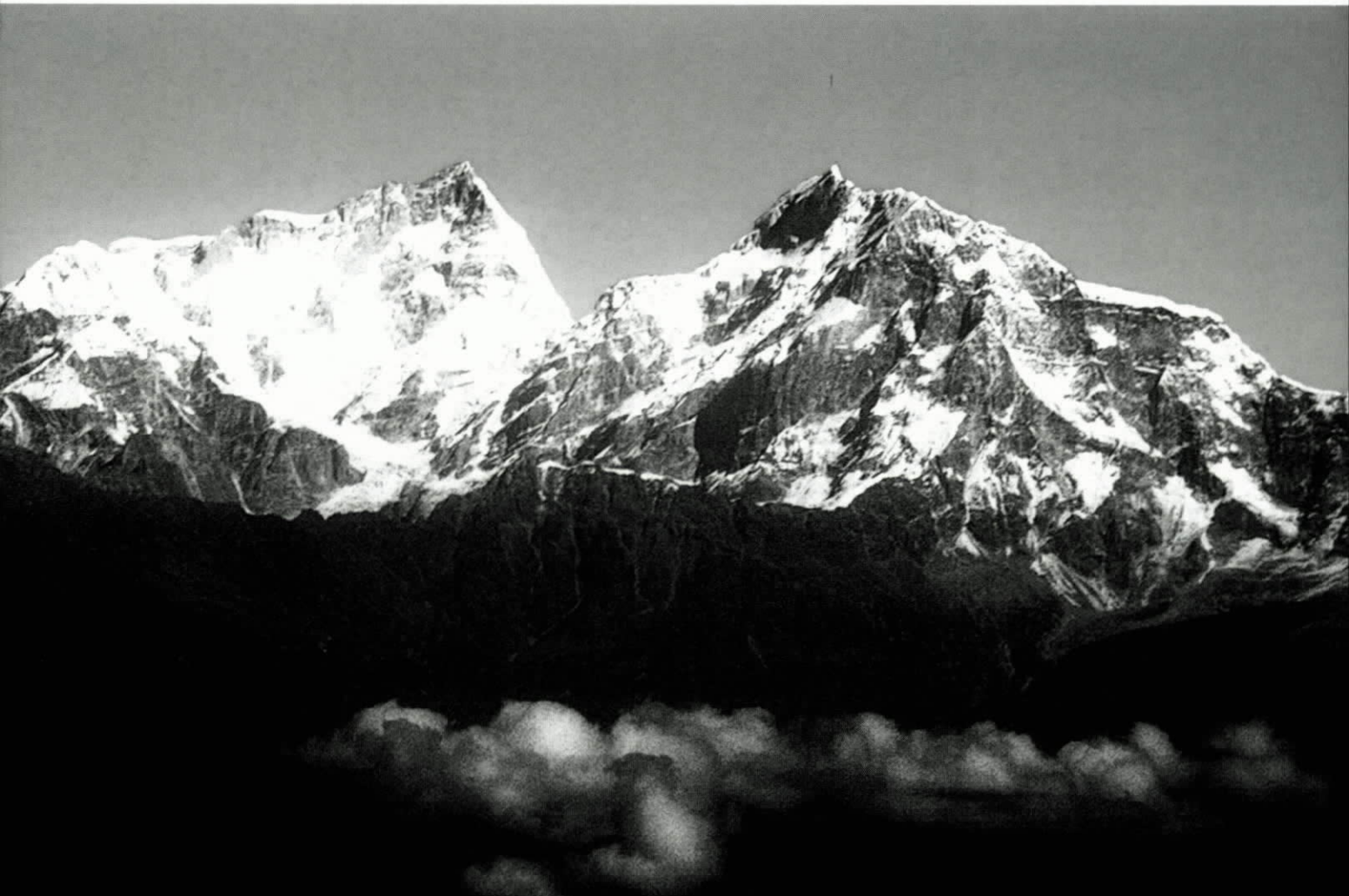
21世紀フォーラム

No.86



財団法人政策科学研究所

マナスル：空撮／山田圭一



21世紀フォーラム

目次

［第86号］

21世紀コラム

物の決め方・決まり方 ―― 佐藤安弘 2
発泡酒増税に関しての雑感

「気」のはなし ―― 岩城 修 3

歴史に学ぶ引き際 ―― 服藤早苗 4

暦くらべ ―― 伴 美喜子 5
マレーシアから帰って

特集 持続可能な社会への挑戦

特集にあたって ―― 政策科学研究所 6

温暖化対策をめぐる近年の科学技術の動向 ―― 西宮 昌 8

サステイナビリティ原理による地域的社会統合 ―― 佐無田 光 16

第11回「グローバル・システムと文明」研究会
循環型社会の構築にむけて ―― 鈴木基之 24
持続可能性研究の状況

第51回 今井隆吉 部会
地球をめぐる水と水をめぐる人々 ―― 沖 大幹 32
地球レベルの水循環を考える

<第8回 木田宏 部会>
大学評価をめぐって ―― 牟田博光 42
評価を受ける側から考える

<第7回「グローバル・システムと文明」研究会>
ナノテクノロジーの未来を探る ―― 榊 裕之 52
21世紀に期待される先端産業の基盤技術

物の決め方・決まり方——発泡酒増税に関しての雑感

佐藤安弘
（キリンビール㈱代表取締役会長）

発泡酒の増税問題が二年前に始まり、今年で三年目を迎えました。私共業界としましては、消費者・マスコミに訴え、結束して増税反対運動を展開いたしました。

「三度目の正直」とは言えませんが、遂に三五〇CC缶で十円の増税が、平成十五年五月以降実施される事に決められました。この事についての私共業界の言い分、増税反対の理由等を今ここで述べるつもりはありませんが、業界のまとめ役として三度の経験からの感想を述べさせていただきます。

毎年十一月、十二月になると自民党税制調査会が始まります。これが「いかにも限られた時間」という気がいたします。と申しますのは、調査会の最終決議が、十二月十二日、十三日あるいは十四日に決まっており、正味検討期間は精々一週間程度なのです。

検討対象案件の量、質から鑑み、どのくらい検討時間が取られているのか疑問です。推測の域を出ませんが、その時期になると「バタバタと」決められていく様な気がしてなりません。

これでは納税者、担税者はたまったものではありません。官庁当局はその事が仕事ですから、当然研究・勉強をしていることと思いますが、一方政治家は「どの程度勉強されているのでしょうか?」勿論、人に依ることと思いますが、勉強していなければ最終的に、官庁の言いなりになってしまうような気がいたします。

官庁当局は「論理、論理」と言いますが、どれ程のものか疑問に思います。実に「徴税政策ありき」が本当のところではないでしょうか?

また、当局には過去の徴税額に拘る面があります。時代が変わり、世の中も移り変わっていくにもかかわらず、過去に拘ってばかりでは、論理が成り立つとは思えません。

もうひとつ感じたことは、官庁の縦割り組織、担当者の在任期間の短さ、単年度主義等です。従って、短い期間に担当官が自らの成果を挙げるべく汲々としているようにも見えます。

単に徴税のみではなく、それが広く企業に国民に「どのような影響を与えるのか」を考えるのは、政治家であり、また決めることも政治家であると思います。その為には先述のとおり、時間も勉強も必要になってくることと思います。そうでなければ、政治家が主導的立場に立つ事も出来ないことでしょう。

一方、党税調の正副会議・小委員会において、党税調の考え方に対する反対派が多いにもかかわらず、時間切れ寸前に「会長一任」で多数決を強行し、最終的に「反対派を無視した反対の結論」で決まることも理解し難いものと思います。これでは何のための正副会議なのか、小委員会なのか、理解できません。

決定方法については、何かしらの工夫が無いものかと思います。従来からの慣行では今後済まない気がいたします。

以上が銀杏の黄葉が散り始める頃から十二月半ばまでにかけて、議員会館、党本部を走り回った三度の経験から感じた事柄です。

この陳情活動時の館内での混雑さも大変なもので、これについても「何か他に良い方法があったら」と思います。

（さとう　やすひろ）

「気」のはなし

岩城　修
（イワキ㈱代表取締役社長）

私は京都が好きだ。

JR東海のテレビコマーシャル、「そうだ京都へ行こう」を見ると、京都の美しい景色、光景が紹介され、思わず行きたくなってしまう。そう感じるのは決して私だけではあるまい。

しかし、私の京都好きは、ちょっとかわっているかも知れない。長いこと京都にお住まいの方でさえも知らないところ、行ったことがないところに、私の興味はあるようだ。それは平安京にまつわるところである。

私は以前から「気」に関心があり、本を読んだりテレビを見たりしていて「気」に関するものがあると、書き留めるほどだ。京都の礎とも言える平安京は、桓武天皇がさまざまな霊のたたりをおそれ、呪い封じの試みを随所に施したことはご存じだと思う。中国の風水の思想に基づき造営された都は、中国の長安をまねたとも言われ、「気」のパワーに満ちた都だ。

東西南北に守り神を配し、四方を守らせる「四神相応」の思想が取り入れられ、北の守り神「玄武」にあたるのが船岡山である。船岡山は、織物で有名な西陣の北側にある小さな岡だ。ここを起点にして、平安京のメインストリート朱雀大路が作られた。朱雀大路は今は無く、その一部が千本通りのようだ。平安京ではこの朱雀大路の南端に巨大な城門、羅城門があった。芥川竜之介の『羅生門』の舞台になったところだ。

羅城門をはさんで東西に建てられたのが官寺の東寺と西寺。東寺は建設途中に真言密教の空海に与えられた。東寺の五重塔は日本一の高さを誇り、京都駅からも見えるほどで、観光客も多く、また弘法さんの縁日で地元の方にもおなじみであろう。西寺は、空海のような優れた指導者がいなかったせいか廃れてしまい今は無い。

平安京の政庁は大内裏で、正門朱雀門を入ると朝堂院がありその奥に大極殿があったとか。朝堂院は朝廷の儀式が行われる中心場所で、東西対象に配された十二の建物の中心にあったのが大極殿である。大極殿は朝堂院の正殿で即位式などの最重要儀式を行う場所。今の千本松原の交差点そばで、民家に囲まれるように小さな公園があり、石碑が建つのみとなっている。公園の規模の割に、この石碑は大きくて立派だ。

この大極殿からほど近いところに、神泉苑がある。現在の二条城の南側だ。二条城は観光客も多いが、そのすぐ脇の神泉苑を訪れる人は少ないだろう。ここには、太古、京都盆地が湖だったころの名残の池がある。平安時代には今より遙かに広大な池で、禁苑（天皇の園遊の場所）だったそうだ。

風水と「気」の話しに戻ろう。風水では「気」は龍がもたらすといい、天空にいる龍はときおり水を飲みに地上に降りてくるとか。平安京ではこれが神泉苑の池とされ、水を飲みに来た龍がもたらす「気」のパワーは、神泉苑のすぐ脇の朱雀大路を下って流れ、羅城門にぶつかり、左右に分かれ東寺と西寺の五重塔からまた天空へと登っていくと考えられた。

この循環により、龍のもたらす「気」のパワーは平安京の中に満ちあふれ、悪霊から都を守り続けたと言われている。京都がたいした災害にも遭わず、千年以上栄え続け、世界にも類を見ない都市であり続けられるのは、このお陰ではないかと私は思っている。

「気」のパワーは、われわれもさまざまな方法で、取り入れたいものだ。「気」によって、血液はサラサラになり、循環・代謝もよくなると言う。もちろん、風水を信じなさいと言うつもりは無い。

私たち日本人にとって「気」は、古来から大切なものだったはずだ。「元気」「勇気」は「気」が満ちているからこそ、出て来るものだろう。狭い日本で上手に暮らすため、人間関係を円滑にしなければならない。その為、相手に「気」をつかう。「気」が何かの原因で病になるのが病気だ。

長引く不況、デフレ経済からなかなか脱せられない日本。今年は癸未（みずのとひつじ）の年にあたり、気学の世界では、厳しい環境の年回りだという。しかし企業人には、今こそ「気」力が必要ではないだろうか。「気」のパワーを取り込んで、明るく元気よく一年を過ごしたいものだ。きっと、いいことがやってくるはず…。

「気のせい」だとお思いだろうか。いや、「気」の持ちようが肝心なのだ。

（いわき　おさむ）

歴史に学ぶ引き際

服藤早苗
（埼玉学園大学教授）

現在、多くの会社や自治体での定年は六十歳位のようである。若い後輩に仕事やポストを譲るという意味では、効率よい制度に違いないが、しかし、今では六十歳は働き盛り、体力や知力が充分残っている人は多い。また、社長や会長、重役等の管理職の方々は、定年など無い場合も多いようである。

私が専門とする平安時代には、定年は無かった。といっても、奈良時代に作られた法律では、七十歳になると辞表を出すことが許されていた。しかし、次第に辞表提出は減少し、ほとんどの貴族が亡くなる直前まで官職にしがみついていた。官職に基づく莫大な収入や特権を手放さなかったのである。その一人で九十歳の長寿をまっとうした右大臣で右大将を兼ねていた藤原実資（さねすけ）の場合をご紹介したい。現在にも通じる身の処し方が学べるに違いないからである。

実資は、九五七（天徳元）年に誕生した。藤原道長より九歳年長である。道長が六十二歳で亡くなると、実質的な政権のトップにたった。道長の息子の頼通は関白左大臣の地位にあるものの、どちらかと言うと優柔不断で、姉の上東門院彰子（しょうし）の子どもたち、後一条天皇と後朱雀天皇の後見をあまりしない。何か難題が持ち上がると姉を頼る。姉の上東門院は、「賢后」とうるさ型の実資にも評価されたほど、思慮深く、頭脳明晰だった。子どもや孫の天皇たちを、八十七歳まで後見した長寿の国母であった。国母や内親王の歴史については、最近私が編集した『歴史のなかの皇女たち』（小学館）をぜひ御覧頂くことにしたいが、頼通は、実資と上東門院の二人の補佐を受け、どうにか職務をこなせたのである。

実資は、八十歳以上になっても、右大臣として月二、三回は、朝廷の会議に出席する。当時の会議は、夕方四時頃から始まり、夜中、時には朝方まで続く。京都の真冬は、冷え込む。しかし、寒さで欠席することなどない。出仕の際、手を貸そうとする孫の手を振り払い、矍鑠（かくしゃく）とした足取りで、周囲を感嘆させる。また、驚くべき記憶力で先例をひもとき、後輩のどのような質問にも、的確な判断をくだす。若い時から、勉強家で、碩学だった。人々からの信頼を集めていたのである。

ただし、後輩を嘆かせたことが一つあった。右大将を辞任しないのである。武官である右大将は、天皇の行幸や勅使派遣の時などには、華やかな軍服を着て、随身を従え、騎馬し、付き従い、行列を荘厳する。ところが、七十歳頃から馬に乗れなくなると、参列しなくなった。左大将が服喪期間中の場合など、左右大将のいない行列になり、威儀が保てない。にもかかわらず、本人は右大将を辞めようとしない。なぜなら、大将に公的に支給され、普段の外出の際にも身辺警護のためにつき従っている随身を没収され、権威と権勢を誇示できなくなるからである。人々は、「早く右大将を辞めてほしい」と裏で囁くものの、誰も鈴を付けられない。やっと、自ら辞任したのは、八十七歳のことであった。

先例をもっとも大切にした当時、記憶力がさほど衰えなかった実資は、右大臣の職務は全うできた。しかし、騎馬できない以上、右大将は辞任すべきであった。実資ほどの碩学で、冷徹な目を持ち、人々の思惑を判断して行動し得た人物でも、身体的衰えによる職務不能を判断することができず、身の処し方を間違えたとしか思えないのである。

健康で長寿を保つことは、古来からの願望である。その際、周囲の人々に尊敬されつつ老後を送るためには、自身を冷静に見つめる能力と、引き際が肝要である。これは、女房や女官も同じであった。女官など、八十歳近くになると、憧れの役職を姪などに譲り、退職することが多い。だから、一族は、老女を大切に扶養する。惜しまれて譲ること、これも賢い老いであろう。拙著『平安朝に老いを学ぶ』（朝日新聞社）から、賢い老い方を学べるのではないだろうか。

（ふくとう　さなえ）

暦くらべ——マレーシアから帰って

伴　美喜子
(財)大学セミナー・ハウス企画広報課長
元マレーシア国民大学日本語講師)

新しいカレンダーの表紙をビリッと破った。常夏の国、マレーシアで十年余り暮らし、帰国後初めての正月を迎える私にとって、それは二重の「新しさ」を実感するものだった。再び日本のカレンダーで生活するということは、忘れかけていた日本人としての生のリズムを取り戻すことを意味する。南国で弛緩した心身がピリッと引き締まった。

私が住んだマレーシアは総人口二三二七万人、イスラームを国教とする多民族国家である。マレー系等が六五%、中国系が二六%、インド系が八%という構成である。それぞれに宗教が異なる。マレー系はイスラーム、中国系の大半は仏教・道教・儒教、そしてインド系の多くはヒンドゥー教を精神的なバックボーンに生活している。言葉も、食べ物も、着る物も違う。

しかし、私が一番驚いたのは生活のリズムを規定している「暦」が違う、ということだった。イスラームにはヒジュラ暦が、華人には中国農暦が、そしてヒンドゥー教にはヒンドゥー暦がある。しかも、これらの暦は「太陽暦」とは異なる「太陰暦」または「太陰太陽暦」で、一年の長さが違っていたり(約十一日短い)、一年の月数が違っていたりするのである！　私にとって、目から鱗が落ちるような「発見」だった。

これらの多様な暦が、太陽暦の上に幾重にも重なって、マレーシアのカレンダーにはさまざまな民族や宗教の祭りが、祝日として赤く記される。

イスラームの断食明け大祭、巡礼祭、イスラーム正月、預言者ムハンマド誕生日、華人の農暦新年、ヒンドゥー教のディーパバリ(灯明祭)、その他にウィサック・デー(仏誕節)やクリスマスも祝日である。これらの祝祭日は、その日の主人公たちにとって、先人たちの足跡を振り返り、自らのアイデンティティーを再確認する精神的な節目なのである。

暦も違えば、時計も違う。ムスリムの人たちを見ていて、そう思った。世界共通のグローバル・タイムとは別に、彼らはイスラームの時計を体内に宿している。一日五回の祈りの時間を刻む、Subuh(夜明け)、Zuhur(昼過ぎ)、Asar(夕方仕事を終える時間)、Maghrib(日没)、そして一日最後のIsyak。それは日が昇り、日が沈む限り、永遠に止まることのない、もう一つの時計であった。

夜明け前のひんやりした空気を伝わって聞こえるSubuhの祈り、美しい南国の落日をバックにMaghribの祈りを呼びかけるアザーンの響き。イスラームは叙情詩なのだなあと、思ったものである。

この一日五回の祈りが「小拍」だとすると、毎週金曜日のモスクでの祈りが「中拍」、そして年一回の一カ月にわたる断食が「大拍」。これが彼らの、生きる「リズム」なのである。

他方、華人たちはムスリムほど顕著ではないけれど、「二十四節気」というリズムを持っている。常夏の地で、「立春」「春分」「清明」「中秋」などの言葉が生きていることは驚きであり、記憶の彼方にあった日本の「旧暦」が思い出され、ノスタルジアを誘った。働き者の華人は一年中ほとんど休みなく働き、年一回農歴新年にたっぷり休む。中国系の中小企業では一カ月近く休むところもあると聞いた。

華人たちは、農歴新年の他、清明節、端午節、中秋節、冬至などを祝う。

インド系の暦については深く知る機会はなかったが、前述のディーパバリの他、本国のインドでさえ禁止されている「タイプーサム」という奇祭がますます盛んになっている。民族の強力なパワーを感じずにはいられない。

こうしてアジアの伝統色の強い暦の中で暮らし、改めて日本の暦を眺めてみると、何か精気を失っているようで寂しい気がする。祝日の名称がファースト・フードのように無味乾燥で、民族の歴史や伝統があまり感じられない。例えば、十一月二十三日などは「勤労感謝の日」とせず、稲の収穫に感謝する「新嘗祭」として残すべきではなかったか。一月十五日の「成人式」や十月十日の「体育の日」が便宜的に移動しているのも納得がいかない。

民族の記憶を呼び戻し、日本人としての生のリズムを取り戻さなければ、日本民族はこのままでは凋落するのではないか。新しいカレンダーを眺めながら、そんな思いを打ち消すことができなかった。

(ばん　みきこ)

特集

持続可能な社会への挑戦

持続可能な社会という目標は、さまざまな有限性に直面した地球規模から地域レベルの社会で、総合的で人間主体的な概念として形成されてきた。持続可能な社会は、持続可能な環境、持続可能な経済によって支えられているという構図はある。しかし、それぞれのダイナミズムと関連、持続可能性の内実などの解明は不十分であり、主体内在的ないわゆる「行き詰まり問題」の性格をもつ複雑な問題である。

その実態や移行の道筋は価値の選択を伴う個性的なもので、技術イノベーションと社会イノベーションが必要となろう。社会の目標体系を創生し、社会・経済・環境に関する統合政策を構想し、戦略的に資源運用することが必要である。我が国においては、従来得意としてきた外部環境適応型の社会運営とは異なる運営が迫られている。

今回の特集は、持続可能な社会・経済・環境という問題の捉え方に関わった解明の動向や取り組みをレビューし、われわれがもう一度俯瞰的な角度から問題を考え、新たなアプローチを模索することに供するために企画し、また当研究所の研究会の成果を編集したものである。なお、特集では、社会・経済・環境のガバナンスを地球的規模で論ずるだけの学問的基盤が未確立であり、関連学問の新しいパラダイムを切りひらくことが要請されていることが図らずも強調されることになった。

収録論文の概要と特徴は、以下のようなものである。

●

地球温暖化問題は、科学技術の知見と政治・政策が直結してきた新たな問題領域である。

西宮論文は、近年の科学技術側の知やシステム開発の動向を、その政策的な意味を押さえつつレビューしたものである。具体的には、気候変動に関する政府間パネルＩＰＣＣの報告を踏まえて、地球温暖化のメカニズムや予測・評価の現状について、整理している。さらに、このような報告書が科学的かつ公平性をもつものとして機能していることを評価しつつ、今後の課題として、予測・影響・対策がリンクした信頼度の高い情報の提供、気象極値の発生可能性の予測や危険レベルを回避できるＣＯ2濃度シナリオの作成という問題を抽出している。

また、我が国においては京都議定書を遂行するうえで森林吸収がもつ政策的意味が極めて大きくなっているが、数字合わせの画餅となりかねない問題があり、森林や吸収に対する明確な定義づけや政策効果の評価、吸収源の算定方法や検証方法の合意などが必要と指摘している。京都メカニズム、とりわけクリーン開発メカニズムＣＤＭを活用するには、対象となるプロジェクトが、地域ニーズへの適合性や環境影響への配慮など、ホスト国に受容される要件を整える必要がある。第二約束期間以降になると、わが国の目標と達成方法からみてＣＤＭは一層重要になるが、その交渉が極めて困難になる見通しが示され、障害を除く取り組み課題も提起されている。

温暖化対策が、自主的取り組みを喚起する政策に裏づけられるべき問題という捉え方からは、省エネルギーを基本とする技術の重要性が示唆される。さらに、地球温暖化対策は、長期的・地球的視野にたち、「環境倫理」に基づく「後悔しない」技術によって、対策を講じなければならないことも提起される。そのうえで、二十一世紀のエネルギー利用技術の性格を掲げ、近未来の科学技術への期待を具体的に展開している。

●

持続可能性は社会・経済・環境にわたる統合概念として実践的に発展してきた。佐無田論文は、サステイナビリティ（維持可能性）を理念とした欧米の地域づくりを紹介したものである。

地域政策として先行しているのは欧州連合（ＥＵ）である。複合的な経済・社会・環境問題に国家が有効に対応できずにいる中で、地方分権と条件不利地域への配慮政策にも支えられて、都市ないし地域レベルで一体統合的な解決を模索する取り組みが続いている。事例では、地域固有の構造的特徴や社会経済関係・統治制度の違いをふまえ、地域の場で、目標を社会的に形成し、環境、経済、社会のサステイナビリティを統合して追求している。国家を超えた都市間ネットワークを意識して、特定領域に知識と資源を集中して問題解決を図る戦略的対応がとられていることが特徴である。

米国でも地域レベルでは、「サステイナブル・コミュニティ」と称される取

り組みが発展している。例えば、計画的にコンパクトで効率的な成長をめざす都市圏レベルの地域政策の展開や、多様な利害間のパートナーシップによるコミュニティ開発の蓄積、土壌汚染の浄化負担ができずに放置されたブラウンフィールドを対象にした産官学共同の地域イニシアチブによる再開発などがある。米国では非営利組織NPOの自発的なネットワークが中心的な役割を担っていることが特徴である。

これらの事例から、佐無田氏は、サステイナブルな地域発展に、地域共同のマネジメントによる計画的管理の原則、行政部局間の調整により相乗的な政策効果を指向する政策統合の原則、政治経済的な地域環境システムの視点も含む生態学的アプローチによる政策目的の総合化の原則、地域全体の利益を発展させる方法を学習しつつ進める地域パートナーシップの原則、を認めている。さらに進んで現在は、成長原理による国家的社会統合から、維持可能性原理による地域的社会統合への模索期にある、という仮説を提起しており、刺激的である。

●

当研究所の「グローバル・システムと文明」研究会（茅陽一主査）では、国連大学のゼロエミッション研究構想などの推進者である鈴木基之氏を招き、「サステイナビリティ（持続可能性）革命」の理念とこれを支えるシステム構想、パラダイム転換の必要性について提起をいただき議論を行った。報告では、大量の生産・消費・廃棄という物質流を改め、廃棄物を未利用物質として有価物化する技術によるプロセス・ネットワークを実現することなど、資源の使用と廃棄物の環境放出を抑制しようとする、ゼロエミッション物質循環の事例が紹介された。これには、廃棄物をベースとする資源化処理システムの物質収支やエネルギー収支を明確にすることなどの基本的な課題がある。また、再資源化技術と未利用物質の詳細データベース整備が必要である。鈴木氏らは、企業アンケートにより産業間のネットワークの方向性を示すことや地域産業の最適ネットワーク化を評価するシミュレーションを行った。

循環型社会の実現には、製造業は、作りっぱなしからライフサイクル対応やサービス・価値提供に焦点をあてた産業へ、また、需要に応じた生産プロセスへの転換が必要である。消費もサステイナブルな態様を求めて、所有主義から機能・サービス調達主義への転換、短寿命の持ち家指向からの脱却などが要請されてくる。

討議の中では、必要なパラダイムシフトをもたらすインセンティブをどう社会に組み込むかなどが論じられた。経済的インセンティブを働かせる制度改革とともに、社会のストックに支えられた真の生活の豊かさの実感や環境にセンシティブな知的水準が基盤として必要である。社会的な満足度指標を生み出すことや、新しい社会的な教育・学習の方法に促された意識変革が不可欠であることが論じられた。

鈴木氏からは、こうした問題を扱うために、システムと複雑性に対する従来の工学を超えた新しいアプローチが必要であるという提起もあった。

●

「水」問題は、地球環境問題での重要課題である気候変動と環境汚染の双方に深く関係している。当研究所の今井部会では、沖大幹氏を講師に、水問題を取りあげた。

水は循環し持続的な資源で単価が安いものであるが、必要なときに必要な場所で必要な質が確保されなければ価値がない。利用できる社会資本も不可欠である。水資源は、現実には、賦存の不均等性が極めて大きく、また、水循環の変化や水需要の増加による危機が常に危惧されてきた。実態として、一立米の水で一日しかもたない国から一年間もたせている国まで、各国の生活・工業・農業用の水利用構造は大きく異なる。加えて、食糧などの輸入を通じた大量の水資源移動である「間接水」という国際問題を伴っている。沖氏らの算定によれば、わが国は国内使用量に匹敵する規模で水資源を海外に依存している状況にある。

水需給の逼迫さを示す水ストレス指標を図示すると、地球上に極めて不均等になっていることが明らかである。しかも、人口増や都市化などの社会変化と温暖化に伴う水需給の変化が、世界の中に水ストレスを拡げ、またそれが深刻化することになることが危惧される。今後は、間接水の輸出入や水の間接消費の実態をも含むかたちで、水資源安全保障の枠組みが求められてくるという指摘には注意を喚起したい。

沖氏らは「世界の水政策決定支援ツール」をつくる取り組みに着手しているが重要である。世界の水危機に対して、地球環境学には、まずは信頼のできる水循環情報を提供するという貢献が要請されている。相当精度の高い部分的なシミュレーションも可能になったが、グローバルな水循環のモニタリングや激しい関連災害予測、温暖化との相互作用を織り込んだ水循環予測など、政策的に必要なレベルの情報はなお開発途上である。生態系への影響の予測に至ってはこれからの課題である。したがって、解像度の高い地球環境情報の集積や手法の開発とともに、水問題においても、IPCCのような国際的で本格的な共同アプローチと体制も必要となっている。

温暖化対策をめぐる近年の科学技術の動向

西宮　昌
(財)電力中央研究所
狛江研究所上席研究員

国連気候変動枠組条約の履行に際し、わが国は第一約束期間（二〇〇八～一二年）までに二酸化炭素（以下CO2）等六種の温室効果ガス（以下GHG）の総排出量を基準年の一九九〇年比で六%削減するという京都議定書を批准した。議定書に定められたわが国の基準年排出量は、炭素換算で十二億三千三百万トンである（以下、排出量の単位は全てCO2換算表示）。したがって、第一約束期間の初期割当量は、年間約十一億五千九百万トンになる。しかし、二〇〇〇年度のGHGの総排出量は十三億三千二百万トンで、基準年に比べ八%、九千九百万トン増加した。

環境省の将来予測によれば、原子力発電所七基の増設を含む現時点までに決定された確実性の高い政策・対策の実施を前提としても、わが国の二〇一〇年におけるGHGの排出量は十三億三百万トンで、既にそのレベルを超えている。

省エネの進んだわが国にとって六%の削減は厳しい達成目標である。しかし、国際公約として遵守義務がある。いや、目標を達成すること、あるいは達成に向けて最大限の努力をすることが、わが国の環境技術立国としての未来が保証されるであろう。

ここでは、地球温暖化問題について、科学技術の現状と将来への期待、その展開の際の問題点を考察したい。

1　地球温暖化のメカニズムや予測・評価

(1) 気候変動に関する政府間パネルIPCC第三次評価報告書の概要

確実な温暖化対策の実施には、世界の人々、特に政策決定者の地球温暖化についての正しい理解から始まる。

気候変動に関する最新の科学的知見を広く調査・評価し、各国政府に助言・勧告を行うことを目的に、世界気象機構と国連環境計画は一九八八年に、政府間機構として気候変動に関する政府間パネルIPCCを設置した。①観測事実・予測、②影響・適応策・対応策、③社会経済的側面の三つの作業部会で構成され、世界有数の科学者が参加している。これまで九〇年に第一次、九五年に第二次、二〇〇一年に第三次の評価報告書が発表された。

第三次評価報告書では、人間活動による気候変動が既に検知されるまでになっており、温暖化の影響が顕在化していることを初めて明確に指摘した。

第一作業部会［気候変動の科学的根拠］

- 過去五十年間の温暖化の大部分は人間活動に起因する。
- さらに二十一世紀末までに、一九九〇年に比べ、地球の平均気温が最大で五・八度上昇、平均海面水位が最大八十八センチメートル上昇、さらに豪雨や渇水等の異常気象現象の増加が予想される。

第二作業部会［影響・適応・脆弱性］

- 温暖化は、既に脆弱な生態系に影響が現れている。
- さらに、地理的場所、時間、社会・経済・環境条件によって異なるが、四十センチメートルの海面上昇で、世界の浸水被害が七千五百万～二億人増加する、途上国の農業生産等に大きな悪影響を与え南北格差が拡大

する、生態系が破壊され伝染病が拡大する、等の影響が予測される。

第三作業部会［緩和対策］

- 技術対策面で大きな進展があった。これを活用することにより、全世界の排出レベルを二〇一〇年から二〇二〇年までに二〇〇〇年の水準以下にできる可能性がある。
- 先進国間で排出量取引を実施する場合、二〇一〇年における予想されるGDPの損失は〇・一～一%で、実施しない場合に比べ半減させることができる。
- 既存技術で、百年後に大気中のCO2濃度を現状（三七〇ppmv）の一・二倍～一・五倍程度に安定化できる可能性があるが、そのためには社会経済的・制度的な変革が必要である。

(2) IPCCに対する課題と期待

気候変動枠組条約の議論に際し、IPCC評価報告書は科学的かつ公平性を持って極めて重要な役割を果たしてきた。今後の交渉においても報告書に盛り込まれた科学的情報を積極的に活用していかねばならない。そのため、今後さらに、次を期待したい。

(a) 予測・影響・対策のリンクが不可欠

本来、気候変動予測結果を受けて影響や適応可能性を評価し、適切な緩和策を講じる、さらに詳細な詰めが必要であれば時間的・空間的に対応する次元の予測情報を出す、というのが望ましい。しかし、三つの作業部会には情報間にさまざまの時空間のミスマッチがあり、必ずしも最新知見ではない予測・評価結果を前提条件とせざるを得ないことも多い。そのため、「…かもしれない」の域を出ず、評価情報にも曖昧さが残る。

今後できるだけミスマッチを改善し、評価対象の予測・影響・対策がリンクした信頼度の高い情報の発信が求められる。

(b) 気候変動に伴う気象極値の発生可能性の信頼度向上

温暖化の本当の怖さは、急激な気象の変化や過酷な事象、さらに現在の気候モデルの能力を超える「予期せぬ」現象の発生が危惧されることである。気温が何度上がるかよりも変化の速度であり、年間の降水量が何ミリ増減するかだけでなく一回の降水の強度や量、継続時間がどう変化するか、である。

一般に、地球規模の気候変動のスピードが速くなると、局地的な気候変動の振幅が大きくなると考えられている。即ち、極端な暑さと寒さが周期的に発生し、局地的な豪雨や暴風雨、熱波や寒波等、異常気象といわれる極端な気象現象が起こり易くなる。その結果、生態系や人間活動に大きな被害が及ぶようになる。

しかし、気象極値の予測研究は緒についたばかりで、何時、何処で、どのような現象が生ずるかのシミュレーション結果の信頼度はまだ低い。自然環境への影響が大きいだけではなく、市民生活にも直接影響するだけに、適応策を検討する上でも早急な取組みが求められる。

(c) 危険なレベルを回避できる低レベルCO2濃度シナリオの作成

温暖化による影響評価や適応策の検討には気候モデルが描く将来のさまざまな気候の変化シナリオが必要である。現状のIPCCでは、必ずしも合意されている訳ではないが、最低のCO2濃度安定化レベルを五五〇ppmvに設定している。このとき気温は最大五・八度上昇する。

しかし、IPCCによれば、地球の平均気温が一～二度上昇した場合でも、グリーンランドの棚氷の崩壊により、数メートルの海面上昇が起こる危険がある。また、熱帯・亜熱帯諸国での穀物生産は重大な被害を被り、多くの発展途上国では農業自給を悪化させる。

さらに、地球の平均気温が二～三度上昇すれば、三億人にマラリア感染、五千万～一億二千万人に飢餓、一億人に沿岸洪水、三十億人以上に水不足の危険を与えるとともに、貴重な生態系を失い、珊瑚礁に大きな被害を及ぼす。

したがって、気温上昇を回避し、今

世紀後半から将来にかけて地球平均気温を下げるための排出削減政策を検討する際の基準として、現状の濃度レベルは無理としても、より低レベル、例えば四五〇ｐｐｍｖで安定化させたシナリオを描く必要がある。

2 温暖化対策としての森林吸収

(1)森林吸収の問題点

わが国の場合、一九九〇年以降の新規植林、再植林等によるＧＨＧの吸収量は基準年におけるＧＨＧの排出量の僅か約〇・三％と見込まれている。一方、二〇一〇年頃のわが国全森林による純吸収量を削減量として考慮できれば、その量は基準年の約三・七％に相当する。そのため、「森林」の定義によっては、わが国の削減量六％のうち三・七％を森林の吸収量でカバーすることができる。これが九八年六月に制定されたわが国の地球温暖化防止大綱（旧版）の骨子の一つであった。

わが国が京都議定書の交渉過程で吸収源の拡大に固執したのは、森林吸収分として三・七％を確保しなければ政府自らが数値目標六％という国際公約を反故にするからである。もし確保できなければコントロールしにくい民生や運輸ではなく、産業界に追加削減のしわ寄せが行くことになるが、産業界がこれを甘受するとは考えられない。そのため、「森林」の定義が定かでないにも拘わらず、数字的に譲れない立場にあった訳である。

その後、ＣＯＰ６再開会合で採択された「ボン合意」において、議定書三条四項に基づく森林管理における国別の割当量の目安が定められ、わが国は最大四千七百六十七万トン（炭素換算で千三百万トン）までカウントできるようになった。これは基準年総排出量比約三・九％に相当する。しかし、三・九％は議定書三条四項の拡大解釈によるものであり、所詮、数字合わせの画餅であることには変わりない。（表1・表2）

森林による炭素の固定は炭素循環の一形態であり、長期的にみれば発生源でも吸収源でもなく平衡状態を保つ。森林の果たす役割は、生態系、種の保存、気象、水資源等多岐に亘る。

温暖化対策としてのＣＯ２吸収能力を維持するには、樹木を常に呼吸よりも同化作用が勝る成長過程に置くこと、定常状態にある成熟期の樹木を火災や腐食から守ること、伐採された場合は木材として恒久的に保存すること、しかない。したがって、ＧＨＧ削減を森林に期待することには無理がある。森林資源の維持拡大、即ち、世界的に減少し続けている森林面積を回復させ、炭素蓄積量を増やすことのみが森林による炭素吸収（森林シンク）になり得るのである。

(2)森林シンクに対する今後の課題

しかしながら、排出目標達成のために、京都議定書に示された土地利用変化や森林吸収源に関わる活動を通して森林シンクを行うとすればいくつかの問題をクリアしなければならない。

森林シンクには、時間的にも空間的にも変動が大きく代表的な評価パラメーターが無い、という極めて大きな不確実性がある。そのため、扱い方がしばしば議論される。植物や土壌は炭素の吸収源となれるが、どれだけの炭素を大気中から除去できるかを推定する科学的知見はまだ確立されていない。植物の生長は大気中のＣＯ２濃度や大気汚染に由来する窒素降下物の増加によって促進される。その一方で気温上昇によって呼吸も指数関数的に増加する。このため、二十一世紀中には呼吸が同化作用を上回り、陸域生態系はＣＯ２の排出源になる可能性も指摘されている。

また、温暖化に起因する自然や人為的な火災、病虫害の拡大等が生態系に影響すると考えられており、これも森林シンクの大きな不確実要因の一つになっている。さらに、森林シンクによって達成される炭素蓄積の恒久性について、倒木や火災等による蓄積分の喪失の点から評価しなければならない。

このように、森林や吸収についての明確な定義付けや、九〇年以降の意図

表1　京都議定書の吸収源に関する条項の概要

条　項	概　要
3条3項 （新規植林、再植林、森林減少活動）	・1990年以降の直接的、人為的な新規植林、再植林、森林減少 ・第一約束期間における炭素貯蔵量の変化として測定される排出・吸収量のみを算定 ・透明かつ検証可能な方法で報告
3条4項 （追加的な人為的活動）	・農耕地土壌、土地利用変化および林業分野における追加的な人為的活動における排出・吸収量を評価 ・1990年以降の活動については第一約束期間に利用可能
6条（共同実施）	・数値目標を持つ附属書Ⅰ国との共同プロジェクト ・吸収源を強化する目的の事業を評価 ・事業による追加的な人為的吸収量を評価 ・附属書Ⅰ国間での排出削減ユニットを取引 ・国内対策に対して補完的
12条（CDM）	・数値目標を持たない附属書Ⅰ国以外との共同プロジェクト ・ホスト国の持続可能な開発に資すること ・CDM執行委員会によって監督 ・排出削減量は運営組織によって認証される ・民間および公的主体の2000年以降の活動

表2　新地球温暖化対策推進大綱で示された6%の削減目標の内訳

施　策	内　容	効　果
国内での排出削減	エネルギー起因のCO_2の排出抑制	±0.0%
	革新的技術開発と国民各界各層の努力によるCO_2排出削減	−2.0%
	メタン・一酸化二窒素・エネルギー起源以外のCO_2の排出削減	−0.5%
	代替フロンの排出抑制	+2.0%
森林吸収源	議定書の拡大解釈による吸収源の確保	−3.9%
海外での削減	京都メカニズムの活用	−1.6%
計		−6.0%

的な気候政策の結果どれだけの変化が起きたかも明確に評価する必要があり、締約国は吸収源の算定法や検証法について早急に合意しなければならない。

さらに、クリーン開発メカニズムCDMに森林シンク・プロジェクト活動を含めるには、これらのプロジェクト活動に関する問題、即ち、非永続性、追加性、リーケージ（漏れ）、規模、不確実性、生物多様性、さらには天然生態系への影響を含む社会経済的・環境的影響、等を考慮する必要がある。また、途上国には炭素捕獲のためのみに森林を利用することに対する警戒心もある。

3　温暖化対策技術の動向

(1)温暖化対策に求められること

国連気候変動枠組条約の究極の目標は、「気候システムに対して、危険な人為的干渉を与えないレベルでGHG濃度を安定化させること」であるが、そのレベルがどの程度なのかについての科学的見解は未だ定かでない。

しかし、地球温暖化問題は、手を拱いたままではその影響が顕在化したときには既に手遅れで、対策費用が膨大になり、あるいは原状回復が不能になる危険性がある。そのため、不確定要素が多々あるものの、予防原則に立って対策はできるだけ早急に講ずる必要がある。仮に将来、予想されるような温暖化が起こらなかったとしても、講じられた対策や開発された技術は、持続可能な社会の形成にとっては極めて意義が大きい。

昨今のわが国の温暖化対策は、本来の技術対応の指向から、京都メカニズム、税、規制にシフトしているように見える。この選択は第一約束期間には対処できるとしても永続性はなく、枠組条約の究極の目標を達成する道筋からは逸脱する。

地球温暖化は文明生活を享受する国民一人ひとりが加害者であり、被害者である。そのため、CO_2排出の増大を招くエネルギー消費の無駄を排除し、効率よく使うことはエネルギー資源の乏しいわが国国民の義務であろう。

京都議定書の国際約束を果たすために、政府は地球温暖化対策推進大綱で種々の削減対策を掲げた（表2）。その中で、「民生」に対しては、各家庭における生活様式やエネルギーの使い方、省エネ製品への買い替え、等を、また「運輸」に対しては、自家用車の利用自粛やエコドライブの進め、モーダルシフト、等を〝指導〟している。しかし、地球温暖化は生活型環境問題であるため、従来の公害問題とは異なり、効果的な行政指導は難しく、その対策は規制に馴染まない。

CO_2の管理はエネルギーの管理そのものであり、これは産業活動の管理

表3　地球温暖化対策技術

分類		技術	概要
CO_2排出の抑制		省エネルギー	エネルギー効率向上／エネルギー需要の抑制
		燃料転換	天然ガス
		非化石燃料転換	自然エネルギー（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス、海洋エネルギー）
			原子力
			エネルギー利用技術（電気自動車、燃料電池、水素エンジン・タービン等）
排出されたCO_2の削減	排ガス中のCO_2削減	分離・回収	化学吸収法／物理吸着法／ガス分離法
		貯留・隔離	地中貯留（帯水層、油・ガス田、炭層）／海洋貯留（深海／中層）
		固定化	化学的固定（電気・化学的反応／接触水素化反応）
	大気中のCO_2削減		生物的固定（植林・再植林／菌類）

や生活スタイルの管理につながる。これは国家による国民一人ひとりのライフスタイルを管理することであり、民主主義社会においては極めて危険な発想である。国民一人ひとりのモラルや自主的取り組みを喚起する政策が求められる。

(2)温暖化対策は省エネルギーが基本

エネルギー消費増大の趨勢において、わが国の選択肢は何か?

温暖化対策には既存・新規を問わず、あらゆる技術とその組み合わせによって、効果が見込めるところに導入することが重要である（表3）。省エネルギーをはじめとするCO_2排出抑制策は、大いに期待される技術である。しかし、エネルギー利用効率が既に世界最高水準にあるわが国にとって、更なる省エネルギー技術の開発は現状では費用対効果が小さい。また、天然ガスへの燃料転換も化石燃料依存には変わりなく、抜本的な温暖化対策技術にはならない。

さらに、自然エネルギーは、天候依存性や規模、系統不安定等の特性から、宇宙発電や太陽電池による広域ネットワーク等の革新的な技術やシステムの開発がない限り、当面エネルギー源の主力にはなり難い。一方、運転時にCO_2を排出しない原子力は、わが国の温暖化対策の切り札と目されていたが、新増設が困難な社会情勢にある。

自然エネルギーや原子力の利用見通しが不透明な現状では、今後の十～二十年を考えると、資源に限りがあるとはいえ、世界的なエネルギー需要増に対処するためにはある程度の化石燃料の利用は止むを得ない。その場合、事後対応ではあるが、化石燃料を使用しつつ、燃焼ガスとして排出されるCO_2を極力削減し、大気中CO_2濃度の増加を抑制する対策も選択肢の一つに挙げられている。

現在さまざまな燃焼排ガスCO_2を分離・回収し、地中や海洋中に貯留・隔離する技術や植物等への固定化技術の開発が進められており、既に実用可能なレベルに達している技術もある。エネルギー需要の増大が見込まれ、石炭資源が豊富な中国やインド等の途上国では、CDMの一手段として、これらのCO_2回収・隔離システムを備えた火力プラントは有用性が高いと考えられる。

ただし、海洋中に溶解したCO_2は弱酸性を示し、海生生物の棲息環境に悪影響を及ぼすことが懸念される。隔離・貯留したCO_2がいつ何時高濃度で噴出するかもしれない。植物に固定されたCO_2も火災や伐採で大気中に開放されることも考えられる。そのため、これらの技術の適用に際しては、CO_2隔離に伴う厳密な環境影響評価が不可欠であり、CO_2固定には生態系の保持や永続性が求められる。予測不能な新たな環境負荷が懸念される化石燃料を利用するCO_2分離・回収・隔離技術は国際世論の反発が強く、国際的合意形成は至難といえる。

したがって、温暖化抑制の基本は、省エネルギーと無・低CO_2排出エネルギーの利用に尽きる。

わが国は温暖化対策の柱は省エネルギーである。九九年四月に改訂された『エネルギーの利用の合理化に関する法律（改正省エネ法）』では、①自動車の燃費や家電製品の省エネ基準にトップランナー方式を採用、②工場の省エネ基準を強化、③住宅やビル等の建築物にも断熱性の向上等省エネ基準を強化、等の省エネ性能を規定している。

現状では大工場や大企業、大型オフィスビル等では自主的行動により良好な遵守状態にあるが、中小の工場、企業、ビルは、省エネ投資が環境改善やコスト削減につながり市場価値を高めることを理解しつつ経営資源の逼迫から遵守不能に陥っている。したがって、適切な支援措置があれば省エネが進むと考えられる。

温暖化問題の解決のためには、長期的かつ世界的規模での大幅なCO_2削減が必要である。そのためには、持続可能なエネルギーシステムへの変革が絶対条件である。「改正省エネ法」で方向付けられたさまざまなCO_2排出抑制策こそ、わが国が進む道であろう。

(3)京都メカニズムの活用

わが国が六%の削減目標を達成するためには、九〇年比で一四%増加している現状（二〇〇〇年度）から九千九百万トンを削減する必要がある。国内対策を最優先に取り組むとしても、前述のように大きな効果が期待されないとすれば、京都メカニズムを利用して削減する必要が生じる。

同じ費用をかけて削減する場合、国内で対策を立てる場合と、海外でのプロジェクトによって削減する場合とでは、GHGの削減量は大きく違ってくる。効率性だけを考えると、京都メカニズムを利用したほうが世界全体のGHGをより多く削減できることは確かである。

国内対策として環境庁は一キログラム当たり五十円（一トン当たり五万円（四百ドル））の支援策を検討している。一方、世界銀行での炭素基金では、一トン当たり四ドルで、四百ドルあれば百トン削減できる。ただ、国内には、京都メカニズムは柔軟性措置としての国内対策の補完的な対策であるから、高い費用を払っても国内対策を優先すべき、という声がある。

CDMの実践によって、途上国に対し、経済的、社会的および環境的に持続可能な選択肢を提供することが可能になる。短期的には、地球温暖化防止に取り組み易くするために、途上国における開発の推進に関する基礎の構築とキャパシティビルディング（能力形成）が必要となろう。また、長期的には、途上国における地球環境問題への意識を啓発し、気候関連活動を促すことにより、途上国が持続可能な方法で発展目標を達成できるような仕組みづくりが必要であろう。

CDM事業の内容や規模、CO2削減効果等はホスト国によって多種多様である。例えば、インドネシアのニーズは、蛍光灯への転換、ガス複合発電、水力、小規模水力、コジェネ、澱粉工場の廃棄物管理、製紙工場の燃料転換、地熱、パーム油工場のボイラー効率向上、等であり、市場規模は約二億三千万ドル、クレジット（GHGの追加的削減量）は約一億二千五百万トンと見込まれる。

また、タイは、多くの場合、小規模CDMで、バイオガス再生可能エネルギー、バイオマス再生可能エネルギー、耕作放牧地への植林、非鉄金属・製紙工場の生産工程効率向上、ボイラー関連施設省エネ、燃焼効率向上、冷房システムの効率改善、等である。タイではこれまでも海外投資による社会開発が行われており、その半分が日本である。そのため、CDM事業に馴染みやすいと考えられる。

一方、ベトナムでは、石油火力プラントの天然ガスへの燃料転換、石炭火力の能力回復・効率改善、風力発電、地熱発電、太陽光発電、バイオガス発電、セメント工場の効率改善、製紙工場の効率改善、等がCDMの対象となるが、実施に当たってはいくつかの障害がある。それは、政策担当者や経済界の認識の低さ、適格性に関する複雑な手続き、人材不足等で、市場規模も約二億四千万ドル、約千二百八十万トンと小さい。したがって、基盤づくりと能力形成が優先されることになる。

(4)第二約束期間以降に向けて

第二約束期間以降のわが国の削減目標とその達成方法を考慮すると、CDMが重要になる。他の先進諸国に比較して国内対策の削減費用が非常に高いわが国は、第二約束期間の削減目標の設定に関して、拡大するEUバブルやG77+中国等との厳しい交渉を繰り広げることになろう。即ち、国内対策で省エネ余地のないわが国と随所でエネルギー改善が可能なEUバブルが、半渇きの雑巾と濡れ雑巾とで絞り比べをするようなものである。

GHG削減目標達成政策の具体化によって、産業界が懸念する「国際的な競争力の低下」が現実化するか否かの予想は困難であるが、わが国の持続可能な発展を阻害しないような方法で削減目標を設定する必要がある。そのためには、わが国の産業界が有する世界のトップクラスの技術の世界標準化を目指し、その技術力が利用可能なCD

M事業を、第二約束期間以降における削減目標達成の中心に据えることが望ましい。

二十一世紀前半には世界のGHGの半分以上が途上国から排出されると予想されている。温暖化対策を全地球的視野で見た場合、途上国の温暖化対策を優先的に進め、途上国が低炭素排出型の経済成長策を選択することを支援する必要がある。その第一ステップとして、CDM事業による排出削減とそれに伴う技術移転や能力形成が非常に重要になる。

京都議定書への途上国の参加問題に関しても、先進国自らの排出削減はもちろんのこと、途上国のGHGインベントリの整備、適応策の推進、CDM事業推進等、各国の状況に応じたさまざまな取り組みを進めることにより、技術的・制度的な対応能力が高まり、障害が取り除かれると考えられる。

4 二十一世紀に求められるエネルギー

(1)環境倫理の視点で

有限の地球環境容量やエネルギー・資源の下で、人類の持続可能な発展を保証するための今後の人間活動の行動規範の根本原理が「環境倫理」である。環境倫理は、自然（人間だけでなく、生物の種、生態系、景観等）の生存権・世代間倫理（現代世代と未来世代、世代間の時間差）・地球全体主義（地球生態系は閉じており物質とエネルギーの総量は有限）を柱としている。

「地球温暖化」は、無限の地球資源を前提とする科学技術に支えられた二十世紀までの人間活動の帰結である。

二十一世紀は、地球が温暖化し、これまで経験したことのない気候変動が起こり、地球環境システムに決定的なダメージを与える可能性が高い。それを回避するため、環境倫理に基づく環境負荷の少ない高効率エネルギー利用技術を追求し、具体化させることが肝要である。即ち、二十一世紀に求められるエネルギーは、

①宇宙船地球号（有限な環境と資源）を意識した循環型社会システムへの移行を前提とする「後悔しない」温暖化対策技術

②エネルギーの脱炭素・低炭素化や自然循環システムのバイパス利用

③研究・技術開発の途上にあり、近い将来実現可能な技術の重視と「夢」の技術の追求

④既開発技術の最適組み合わせによるGHGの削減効果が期待できるシステム

が必要である。

我々人類（現代世代）が地球環境問題の究極の課題である地球温暖化問題に真摯に取り組むには、このような環境倫理を前提として行動しなければならない。そのためには、開発しなければならない技術、過渡的には利用されても将来的には廃棄すべき技術、開発してはいけない技術、等、温暖化対策として現在挙げられている技術を精査し、後悔する技術（環境倫理の基本に反する技術）か、後悔しない技術（現時点では技術的、経済的、政治的に可能性が低くても、温暖化対策として大きな効果が期待される技術）か、の分別が必要である。

地球温暖化対策は京都議定書の短期的な数値目標にとらわれず、長期的・地球的視野で構築しなければならない。「環境倫理」に基づくと、世代倫理と地球生態系の有限性という二つの観点から、有限な埋蔵資源に依存するエネルギー戦略は未来世代の生存可能性を破壊する。それゆえ、倫理的に許容されるエネルギー利用の究極の形態は、太陽エネルギーを用いた資源の循環的利用しかない。

(2)二十一世紀のエネルギー利用社会

二十一世紀末に実現していると見られるエネルギー利用社会を描いてみよう。

(A)循環型社会・経済の形成

a　バイオマスを原料とエネルギー源とする有機工業社会が到来する。構造材はバイオマスから作られたプラスチックや繊維が多用され、電子回路も有機半導体やバイオエレクトロニクスが主流となる。エネルギーに

ついても、バクテリアによる水素・メタンの生産を利用した燃料電池が普及する。

b　ナノテクノロジーの活用によって、あらゆる物質（ゴミを含む）を原子レベルまで分解し、その原子を直接自由に操作して、物質や材料の合成を行う完全リサイクル技術が実現し、完全循環型の社会が構築される。

(B)炭素エネルギーから水素エネルギーへ

a　宇宙で太陽光発電を行い、マイクロ波で地球に送電する太陽発電衛星システムが確立する。

b　太陽光発電が普及し、世界全体で太陽エネルギーを有効活用するネットワークが構築される。ビルや家屋の外壁、窓ガラス、瓦等が、すべて太陽電池機能を持ち、高効率の蓄電技術が開発される。

c　地球上の各地、特に砂漠地域に大規模太陽光発電所を分散配置し、各発電所を超電導ケーブルで結ぶことによって、晴れた昼地域から降雨地域や夜地域へのエネルギー（電力）を輸送する。

d　世界のサンベルトにおいて太陽エネルギーと化石燃料によるハイブリッド・システムにより、集光太陽熱を用いて石炭や天然ガスの水蒸気改質を行い、水素とメタノールを生産する。消費地には液体燃料として輸送する。既存の化石燃料利用設備がそのまま代用でき、太陽エネルギーを化石エネルギー産業に容易に導入できる。

e　地球規模のエネルギー輸送・利用媒体としてメタノール利用システムが構築される。炭素源を木材や農業系廃棄物等のバイオマス、水素源を砂漠等での太陽エネルギー（太陽光・熱発電、風力発電、等）としてメタノールを合成することで、全一次エネルギー源を再生可能エネルギーに転換する。また、液状のメタノールは消費地で燃料電池の原料として用いる。

f　火力発電や核分裂式発電に替わって燃料の増殖は行わないパッケージ型高速炉のような小型・安全な原子力発電の方式が開発され、原子力が基幹エネルギー源として見直される。さらに核融合発電技術が確立する。

g　世界規模で常温超電導ケーブルを使用した電力ネットワークが発達し、各国間の時差を利用したピーク電力の融通等最適なエネルギー供給が行われる。

h　再生可能エネルギー、未利用エネルギー、燃料電池等による分散電源方式が確立する。

i　夏の熱を蓄積し、冬に利用できるような蓄熱技術が開発され、太陽熱エネルギーの高効率利用が実現する。

j　台風、地震、火山のような自然の猛威をエネルギーに変換し利用する技術が開発される。

一九〇一年に、二十世紀に期待する科学技術の実現可能性が予測されている。百年後の現在、一部はまだ「夢」の途上にあるが、「電気や自動車の世界」、「七日間世界一周」、「無線通信」、等多くの「夢」は実現した。それ以上に、遺伝子情報の解読やクローン生命の誕生、原子力の利用、人工衛星や惑星探査による宇宙への進出等、百年前には夢想だにしなかった科学技術が現実のものになっている。

人類が消費する全エネルギーを賄うことができる上記の科学技術は決して夢物語ではない。

（にしのみや　しょう）

サステイナビリティ原理による地域的社会統合

欧米における維持可能な地域づくりの動向から

佐無田　光
（金沢大学経済学部専任講師）

はじめに

近年、サステイナビリティ（維持可能性）(1)を理念とした地域づくりが注目されている。

サステイナビリティという用語は、一九八〇年代後半に地球環境保全と経済開発の対立をめぐり南北諸国が妥協的に到達したサステイナブル・ディベロップメント概念に由来するが、その後独自の進化を遂げ、いまや社会のあらゆる領域がサステイナビリティの側面から見直されようとしている。Sustainable Agriculture, Sustainable Transportation, Sustainable Energy, Sustainable Building, Sustainable Tourism, Sustainable Finance, Sustainable Cities, Sustainable Communities, Sustainable Society, 等々。

これらの理念もしくは取組では、まず共通して環境保全を一つの枠組みとして重視し、多くの場合、地域レベルで具体的な取組が実行され、地域の取組をサポートするため国家的枠組みをも超える横断的ネットワークが何らかの形で意識されている。

なぜサステイナビリティの理念がこのように多彩な領域で広がりを見せているのか。なぜ従来の政策的中心であった国家レベルよりむしろ地域レベルでの取組が注目されるのか。

維持可能な社会に向けた経済社会システムの改革プロセスは、最初から国家・国際レベルでは失政リスクが大きいため、まずは地域レベルから試行錯誤的に社会実験を積み重ねる必要があるという考え方もできるが、それだけではなかろう。地域における個別具体の政策は、成果が確認された段階で国家主導の政策に拡張される性質のものではなく、あくまで地域主導であり、国家機関の支援や地域間の情報共有を通じて普及・進展していっている。問題解決の場、総合的な発展戦略の単位として地域の重要性が増しているようである。地域の諸問題を同時的に解決し、地域内の諸利害を共通の発展方向に統合する上で、「サステイナビリティ」という概念が基底的な発展原理となってきているのではないか。

小論では、欧米におけるサステイナブルな地域づくりの動向とその調査研究の成果を概括し、「成長原理による国家的社会統合から、維持可能性原理による地域的社会統合へ」という仮説的観点を提起したい。

欧州のサステイナブル・シティズ・プロジェクトの展開

サステイナビリティを理念とした地域政策において、もっとも先行しているのは欧州連合（EU）である。

欧州では、一九七〇年代以降、伝統的な福祉国家が次第に力を失ってきた。国民経済を支えてきた製造業の成長が鈍化し、生産拠点の海外移転とともに、産業構造の転換と失業の解消が各地で課題となった。自由化・民営化・規制緩和による改革が進み、アメリカ型の

注

1）“Sustainability”の訳語については諸説ある。「持続可能性」と訳すのが比較的一般的であるが、開発や経済成長など人間活動の諸過程を主体的に「持続」させるという20世紀的課題ではなく、人間生活の基盤としての環境、経済、社会の状態を客体として「維持」していく発展モデルが課題とされているという認識から、ここでは「維持可能性」と訳しておく。“Sustainable Development”を「維持可能な発展」と訳した都留重人・一橋大学名誉教授に習うものである。ただし、プロセスとしての「開発」の意義がなくなったわけではない。「維持可能な社会」を構築するために必要な適切な「開発」が求められる。

2）http://www.sustainable-cities.org/

3）佐無田光(2001)「欧州サステイナブルシティの展開」『環境と公害』31巻1号、岩波書店

4）http://www.sustainable-cities-share.org/

5）Expert Group on the Urban Environment, European Commission (1998), European Sustainable Cities: Report, Second Edition

6）accessibility：接近可能性と訳される場合もある。必要なサービスに到達する人々の能力と説明されている。

個人主義的生活様式が浸透し、移民の増加とあわせて社会の連帯性が弱化してきた。経済成長の犠牲になってきた環境と生活の質に対する市民の要求が高まったが、既存の政党はこれに十分こたえることはできなかった。

複合的な経済問題、社会問題、環境問題に対して、国家が有効な対策を示せずにいる中で、都市ないし地域レベルで一体的な解決を模索しようという試みが始まった。ボローニャにおける歴史的街区の現代的再生、フライブルクの自動車抑制のまちづくり、北欧諸都市の再生可能エネルギー導入などが先行的に取り組まれた。さらに一九八〇年代後半になると、エムシャーパークにおける工場跡地・廃坑のエコロジカルな再生や、ストラスブールにおける公共交通建設など、市民生活の質と都市経済の活力とを両立させようとする挑戦が多様な方面に広がってきた。

一九九〇年の欧州共同体（EC）都市環境緑書は、各地の実践や問題意識を反映して、都市問題と環境問題を統合して扱う政策研究の必要性をECレベルで初めて提起した。これに基づいて都市環境専門家グループが設置され、先行事例となる諸都市の調査・情報収集に着手した。都市問題解決に向けた「下から」の要求に加え、地球環境問題への関心の高まりを背景にEC全体の発展戦略をサステイナビリティの方向性へ向けていこうとする「上から」の流れが重なり、一九九三年、都市環境専門家グループと欧州委員会は、「サステイナブル・シティズ・プロジェクト」（以下SCPと略）を開始した。

一九九四年には、デンマークのオールボー市において第一回「サステイナビリティへの欧州諸都市会議」が開催され、八十の自治体が「サステイナビリティへの欧州諸都市憲章」（オールボー憲章）に調印した。これより、都市間の相互支援の促進、地域レベルの実践例に関する情報の収集・普及、サステイナブル・シティ賞の選考などを行うキャンペーンが実施されてきた(2)。

オールボー憲章に調印しキャンペーンに参加している自治体の数は、二〇〇〇年までに当初の十倍以上の八百八十になり、二〇〇二年時点ではさらに倍近い千六百五十に達した。以前から環境保全に熱心な都市ばかりでなく、環境破壊的な歴史を持つ重化学工業都市などにも取組が広がってきている(3)。キャンペーンは、二〇〇二年から、欧州のサステイナブル・シティの経験を世界中の地方自治体と共有するための呼びかけに活動を広げている(4)。

サステイナブル・コミュニティの意義

SCPの意義は、各地域の取組事例に関する初めての体系的な調査研究と、自治体間ネットワークの形成にある。

都市環境専門家グループは、欧州のサステイナブル・シティに関する調査研究をまとめ、一九九六年に最終報告書を刊行した（第二版は一九九八年）(5)。

この報告書では、サステイナブル・シティの原則を、①都市管理（Urban Management）、②政策統合（Policy Integration）、③エコシステム思考（Ecosystem Thinking）、④協力とパートナーシップ（Cooperation and Partnership）という四つにまとめている（この原則の理解については後述）。

そして、サステイナビリティ概念の特徴を、環境的限界と需要管理、環境効率性、福祉効率性と公平性という形で整理し、これらを実現するための都市の開発政策を詳述している。すなわち、①自然資源・エネルギー・廃棄物の連関的地域管理、②都市における環境・経済・社会の統合（経済活動の環境効率性改善、雇用・人的能力・コミュニティ利益を促進する都市経済、社会的排除を防止する都市環境）、③アクセシビリティ(6)の維持・改善（交通需要管理、公共輸送機関の充実、移動の必要を最小化する土地利用）、④中心市街地を核とする広域的空間計画（歴史的街区における文化的遺産の保存活用、工業跡地の再生、生態学的観点に立つ土地利用管理）という内容である。

要約すると、都市の経済的社会的文

化的機能に焦点をあて、これを維持するために、エコロジーの観点から、地域に蓄積された資源を保全的かつ効率的に活用し、その実践を通じた学習によって都市の共同的自治能力を形成していく開発政策が述べられている。

産業構造、空間構造、交通システム、エネルギー供給システム、水資源供給システム、物質資源―廃棄物循環構造、生活様式などには、それぞれ地域固有の構造的特徴があり、地域固有の政治行政司法制度や社会経済的関係に基礎付けられているため、これらをサステイナブルなシステムに改革しようとすると、地域固有の創造的な解決策が求められる。もちろん地域単位の資金、人材、技術、政策力には限りがあるため、特定領域に知識と資源を集中して問題解決をはかる戦略が必要になる。しかし、地球環境保全を考えた場合、個別地域個別領域の取組だけでは不十分であり、あらゆる地域あらゆる領域に取組が広がっていかねばならない。

SCPは、自治体の自主性を原則としつつ、経験と情報の交流を促進することで、他地域の政策実験をヒントに個別地域では発揮し得ない政策の創造性を促し、同時に、優秀な取組を広範に普及させて地球環境保全へと発展させる役割を担っている。従来の垂直的な国家組織を媒介とせず、イノベーションの社会的分担と水平的な自治体間ネットワークによって地域を支えていこうというプロジェクトである。

SCPの有効性を下支えしている二つの重要な要件についてふれておこう。

一つは、地方自治制度が欧州の自治体の自立的な取組を担保していることである。欧州評議会は、一九八五年に地方自治の擁護と強化をうたった欧州地方自治憲章を採択し、現在までに三十四カ国が批准している。欧州統合と関連して、より住民に近い地方自治体に優先的に政府機能が配分されるべきで、より上位の政府は、下位の政府が十分にその役割を果たせない場合にのみ補完的にその役割を担うべきという「補完性原理」(Principle of Subsidiarity)の考え方が浸透してきた(7)。

この考え方に基づき、イタリアでは一九九七年以降バッサニーニ法によって産業政策権限を州政府に移管するなどの広範な地方分権改革が行われてきた。フランスでは、固有税源を持つ「都市圏共同体」や「コミューン共同体」の制度によってコミューン間協力を進め、経済振興、住宅政策、都市計画、環境保護などにおいて自治体政策の実効性を強化する改革が進行している。

もう一つの要件は、農村や条件不利地域、構造不況地域への配慮である。基本的に地域の自主性を重視するSCPの政策は、資金面人材面で豊かな都市部や経済先進地域で有利に働く可能性があるが、都市と農村の共存がなければ真のサステイナビリティではない。EC／EUでは都市に先んじて、農村の環境保全的改革が進行した。EC共通農業政策の枠組みにおいて、一九八三年に環境保護に合致する特別ハンディキャップ地域に対する支援制度が導入され、八五年には条件不利地域対策とは別個に「環境面からセンシティブな区域に対する各国援助」に関する制度が設けられた。

一九九九年においてEU財政の四二%にあたる四百九億ECUが農業政策に向けられている。さらに、EU周縁部の低開発地域や、産業構造の転換により工業部門の雇用者数が激減している地域、農業分野の条件不利地域などに対して構造転換を促すため、EUの構造基金が三百九十三億ECU提供されている。こうした資金が、農村部や経済停滞地域においてサステイナビリティを目指す取組を支えている。

米国サステイナブル・コミュニティの潮流

欧州は都市・環境重視、米国は市場・経済重視と見られがちであるが、地域レベルに目を向けると、米国でも欧州とは異なるルーツでサステイナビリティを重視する同様の取組が発展を遂げている。欧州のようなコンパクト

注

7) 諸富徹(2002)「地方環境税による環境管理 —その理論的根拠と制度設計—」横浜国立大学経済学会『エコノミア』53巻1号、p.54
8) VanderRyn, Sim, and Calthorpe, Peter (1986), Sustainable Communities: A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns, Sierra Club Books; Calthorpe, Peter (1993), The Next American Metropolis, Ecology, Community, and the American Dream, Princeton Architectural Press；塩崎賢明(2002)「維持可能な発展と都市の再生」『環境と公害』31巻3号、岩波書店
9) アワニー原則については、川村健一、小門裕幸(1995)『サステイナブル・コミュニティ』学芸出版社、参照
10) 例えば、Bank of America (1996), Beyond Sprawl: New Patterns of Growth to Fit the New California, Bank of Americaでは、「抑制されないスプロールは、カリフォルニアの成長のエンジンから、いまや成長を脅かし生活の質を低める力にシフトした」として、スプロール化を明確に否定している。
11) Calthorpe, Peter, and Fulton, William (2001), The Regional City, Island Press
12) O' Connor, Alice (1999), Swimming against the Tide: A Brief History of Federal Policy in Poor Communities, Ferguson, Ronald F., and Dickens, William T. ed., Urban Problems and Community Development, Brookings
13) 大野輝之、レイコ・ハベ・エバンス(1992)『都市開発を考える』岩波書店
14) 連邦環境保護局の定義によれば、ブラウンフィールド(brownfield)とは、「放棄、遊休化、または低未利用状態にある工業・商業施設で、実測または知覚された環境汚染によって拡張・再開発が困難になっている場所」のことである。全米で25万～75万カ所にのぼると推計されている。

な都市自治の伝統が薄い米国では、「サステイナブル・コミュニティ」という表現が比較的多く用いられている。

米国のサステイナブル・コミュニティには、いくつかの潮流が含まれる。

一つ目の潮流は、都市計画の分野から発生した。米国では一九六〇年代後半から七〇年代にかけ、自動車に過度に依存した郊外開発と都市スプロール(市街地区の無秩序な外延的拡大)の問題——大気汚染、交通渋滞、自然破壊、コミュニティの崩壊等——を指摘する声が徐々に大きくなってきた。七〇年代以降、米国の建築家グループの中で、古き良き時代のアメリカの町並みを意識し、可能な限り自動車の利用を排除して、人々の対面関係を回復するデザインを追及するニュー・アーバニズムの一派が台頭してきた。中でもピーター・カルソープは、サステイナブル・コミュニティという理念を提起し[8]、アワニー原則の中心となった[9]。

都市スプロールが、巨大な社会的環境的経済的コストを引き起こし、もはや経済成長の阻害要因になっていることは、従来不動産開発を推し進めてきた金融資本の側でも常識的に理解されている[10]。これに対応して、TOD(Transit Oriented Development：公共交通指向型開発)や広域成長管理あるいはスマート・グロースという考え方で、計画的にコンパクトで効率的な成長を目指す都市圏レベルの地域政策が、オレゴン州ポートランド、フロリダ州、メリーランド州はじめ各地で進められている[11]。

サステイナブル・コミュニティの二つ目の潮流は、社会政策の領域におけるコミュニティ開発の歴史である。自由市場主義志向の強い米国では、人種問題とも絡んで欧州以上に社会の分裂が進行している。とくにインナーシティのスラム地区は犯罪と暴力の巣窟となって社会の活力を削いでおり、貧困対策、雇用の確保、居住環境の改善が社会政策のみならず都市経済政策としても必要とされてきた。

コミュニティ開発政策は、古くは一九三〇年代のニューディール政策まで遡り、一九六五年までに住宅都市開発省のもとに一元化されるようになった。七〇年代に入ると自治体に自由裁量権をかなり認めるようになり、八〇年代に規制緩和・市場主義の経済開発型に一旦大きく振れた後、九〇年代には、自治体、ビジネス、近隣住民などコミュニティベースの多様な利害間のパートナーシップを重視する戦略に転換してきた[12]。この新しい方式が、包括的調整アプローチによるサステイナブルなコミュニティ開発と呼ばれている。

コミュニティ開発政策転換の背景には、サンフランシスコのミッションベイ開発計画に見られるように[13]、土地開発ディベロッパー側にとっても、コミュニティ団体と対立するよりも、住民参加の計画策定プロセスをとって実現可能な開発を進めるほうが長期的な利益になるという考え方が蓄積されてきたことがある。

三つ目の潮流は、ブラウンフィールド再開発問題である[14]。産業構造の転換による生産工場等の閉鎖・移転に加え、国内軍事基地の再編で発生した広大な遊休地と基地コミュニティのゴーストタウン化が全米各地で深刻な問題となっている。スーパーファンド法(一九八〇年成立)によって、汚染された土地の浄化が土地所有者・管理者等に義務付けられたが、土地を使用に耐える状態まで整備するコストが市場の生み出す価値を大幅に超えているために、放置されたままになっている場合が多く、地域経済社会の桎梏となってきた。

当初連邦環境保護局は、土壌汚染の解決に向けて取り締りや指令権限を強化してきた。ところが中央主導の規制だけでは問題解決が進まず、一九九〇年代に地域主導の再開発プログラムを支援する体制に転換した。きっかけは、空地率が一二・五%にまでなっていたオハイオ州クリーブランド市において、連邦政府の調査資金を呼び水に、多様な利害関係者の参加と民間資金の導入によって再開発に成功した政策実験だ

ったとされている。現在環境保護局では、コミュニティ・インボルブメントやリスク・マネジメントの概念を取り入れ、草の根人材育成を並行して行う「ブラウンフィールドのサステイナブル再開発」を進めている[15]。

このように米国では、郊外化の進んだ都市空間、過度の自動車依存交通、インナーシティのスラム、工業集積が残した汚染跡地など、いわば二十世紀成長社会の「負の遺産」を解消するため、新しい開発よりも、既存のコミュニティや市街地を再生して生活の質を高めようとする潮流が各分野で現れてきた。さらに、知識社会の時代に入り、イノベーションを生み出す人的資源こそが競争力の源泉と評価されるようになり、人をひきつける文化・環境・コミュニティに優れた住みよいまちをつくることが都市産業発展のためにも必要不可欠だという認識が深まってきた。

こうした各領域の取組をサステイナビリティという観点から一層進めようとする地域の事例が一九九〇年代に入って増加している。K・ポートニーによれば、二〇〇二年時点で、全米で少なくとも三十一の地域がサステイナビリティを地域目標に掲げた地域プランを持っている[16]。

テネシー州チャタヌガ市の事例

サステイナブル・コミュニティの代表的事例として、テネシー州チャタヌガ市をごく簡単に見ておこう[17]。チャタヌガは、鉄鋼、石炭、有機化学などの重化学工業都市であったが、一九六〇年代から製造工場が移転し始め、労働者の解雇、人種対立の深刻化、貧しい学校、インフラの侵食に加えて、六九年には全米一の汚染都市の称号を与えられるほどに環境が悪化していた。

地域再生のための方策は、新しい企業などの誘致ではなく、地元住民や地域の企業を基礎にしたサステイナビリティ路線であった。とくに、市民ボランティア団体が地元の財団と協力して千七百人の多様な階層の市民を招待し、地域の問題と解決手段、地域再生のための新しいビジョンを話し合い、二〇〇〇年までの四十の目標を設定した「ビジョン二〇〇〇」（一九八四年～）という取組が評価されている。

ビジョン二〇〇〇で提起されたリバーフロント公園と水族館建設のために、民間主導の開発公社が設立された。河川水質浄化の公共政策と合わせて、荒涼とした工場跡地が市民のための憩いの空間と環境教育の場として再生され、いまや年間百三十万人が訪れる観光の拠点となっている。

インナーシティの荒廃した地区を低所得階層向けアフォーダブル住宅地として修復・レンタルする再開発プロジェクトも、ビジョン二〇〇〇の目標から始まった。参加型の住宅改修プログラムに並行して、教育改革も進行した。チャタヌガは、黒人の人口比率が約三分の一、貧困層と定義される家族が一四%を占めるが、平均失業率は三・五%（一九九四～九八年）と、他都市と比べて極めて低水準である。

大気汚染の改善に寄与するためチャタヌガ広域交通局と協力して電気バスを開発した地元小企業AVSが、全米最大の電気バスメーカーに成長したことはよく知られている。また、地元企業による住宅建材のリサイクルも最近注目されている。チャタヌガの地域再生は、決して産業再生を軸にしたわけではないが、地域の市民ニーズに応えるための事業を実施し、それが産業化して地域経済を活性化することにつながっている。

合衆国レベルの取組動向

米国では、各地のサステイナビリティ・イニシアチブに従事している十七のNGO・NPOが中心となって、サステイナブル・コミュニティ・ネットワークというパートナーシップ組織が運営されている。サステイナビリティ

注

15) Portney, Kent E. (2003), Taking Sustainable Cities Seriously, Economic Development, the Environment, and Quality of Life in American Cities, The MIT Press, p.90；上山信一 (2002)『「政策連携」の時代』日本評論社、第2章；http://www.epa.gov/swerosps/bf/index.html

16) op.cit. Portney(2003), p.23

17) PCSD (1997), Sustainable Communities Task Force Report, Appendix B; 井上智彦、須田昭久編『世界の環境都市を行く』岩波書店、2002年、p.2-18；op.cit. Portney(2003)等参照

18) http://www.sustainable.org/

19) PCSD (1996), Sustainable America: A New Consensus for the Prosperity, Opportunity, and a Healthy Environment for the Future; PCSD (1999), Toward a Sustainable America: Advancing Prosperity, Opportunity, and a Healthy Environment for the 21st Century (http://clinton2.nara.gov/PCSD/)。PCSDは、経済界だけでなく環境グループも内部化して、サステイナブル・ディベロップメントの国家戦略を構築しようとした点で画期的であったが、技術革新・効率性改善・グローバル市場拡大に基づく経済成長が繁栄と公平と環境の質を高めるために不可欠だと前提するなど、依然として成長志向の強さがうかがえる報告になっており、残念ながらサステイナビリティに向けた米国の戦略的転換を提起したものとまでは言うことはできない。

20) PCSD (1997), Sustainable Communities Task Force Report

を目指す全米的な市民の結びつきを強め、地域のプログラムやアプローチを実行していくために必要な情報、資料、データベース、ネットワークなどを提供する活動を行っている⑱。地域間ネットワークの形成において、米国では、非営利団体の連帯組織が中心であり、連邦政府や自治体間組織の関与は相対的に弱い。現在のところ、EUのSCPほどの広がりは見られない。

連邦政府レベルでは、クリントン＝ゴア政権において、一九九三年にサステイナブル・ディベロップメントに関する大統領評議会（PCSD）が設立され、主要な政府機関、多国籍企業、環境グループ、労働組合等の代表がメンバーとなって、サステイナブル・アメリカに向けての戦略提言が討議・提起されてきた⑲。

サステイナブル・アメリカの十の目標のうち一つが、サステイナブル・コミュニティであり、これに関連して、PCSDにサステイナブル・コミュニティに関する専門調査チームが設置された。専門調査チームは、環境NGO、環境先進企業、労働組合、少数民族支援団体、連邦政府諸機関、州政府などからの代表者で構成され、一九九七年に報告書を発表した。

報告書は、経済的機会とエコロジー的保全と社会的公平性の連鎖を強調し、①コミュニティの能力形成（多様な利害グループのパートナーシップによるコミュニティベースの戦略策定、広域的なコミュニティ間協力）、②サステイナブルな都市デザイン（エネルギーコストのかからないコミュニティ、複合機能のまちづくりやTODなど自動車依存を低減させる都市設計、郊外開発を抑制し既存の公的インフラを活用するスマート・グロース）、③経済開発と雇用（多様性のある強い地域経済基盤、利益と雇用と環境改善を同時に追求するエコ工業団地、住民と協同したブラウンフィールドの再開発）、④安全で健康なコミュニティ（住民・地元ビジネス・地域警察のパートナーシップによるコミュニティ治安、協同的柔軟でイノベーション刺激的な環境管理アプローチ）について言及している⑳。

前述したサステイナブル・コミュニティの潮流が、この報告書の中に見てとれる。全体として、地域的なパートナーシップが強調され、自治能力を持つ地域共同社会の再生、コミュニティの再生に焦点が当てられている。EUの都市環境専門家グループの報告書に比べると、環境制約の言及が徹底されていないが、かなりの領域で取組内容は重なっている。

この報告書は全米各地の取組実態調査を基礎にして作成された。執筆者の理論や連邦レベルの利害も反映されているであろうが、米国の地域レベルでは、ここに描かれたサステイナブル・コミュニティの現実が進行中なのである。ブッシュ共和党政権に政権交代して以降、連邦の環境政策は明白に後退しているが、地域レベルの取組の潮流は逆戻りできないであろう。

地域と維持可能性

欧州のサステイナブル・シティと米国のサステイナブル・コミュニティでは、欧州は都市の自治管理重視、米国はコミュニティの再生を焦点とするという戦略の方法論的差異があり、EU／連邦レベルの支援のあり方にも違いが見られた。しかし、サステイナブルな地域づくりの方法は、本質的に地域ごとに多様であり、欧米の相違点を論じるのはたいして重要ではない。この節では、むしろサステイナブルな地域共通の原則について、これまで見てきた欧米の調査報告や諸研究をベースに、発展段階的観点から論じてみたい。

二十世紀前半において、労働者と資本家の社会的対立と、生産と消費の矛盾を克服する形で、ケインズ主義的福祉国家が誕生した。規模の経済の追求による生産性の向上を基礎として、賃金水準の継続的上昇を約束し、消費市場の拡大を基礎とする生産設備の拡張がこれを支えた。経営者団体と労働組合団体は国家レベルで交渉・妥協して、

この正のフィードバック・ループを制御する諸制度を構築した。緩やかなインフレと地価の上昇が安定した経済成長の前提とされ、歳入の伸びを想定した財政出動によって、国家を経由した所得再配分および社会保障政策が実行された。

多様な社会階層の利害が調整され共通の発展方向に収束される「社会統合」の場は、主として国家であり、福祉国家は経済成長なくしては持続できない体制であった。拡大成長こそがこの経済社会システムの存立根拠であり、あらゆる領域の「成長」が、社会的発展と安定の代名詞であった。成長原理による国家的社会統合と言える。しかしこの体制は、資源の拡大的投入と大量の廃棄・排出の局面で矛盾を累積し続けており、早晩地球環境制約と衝突する運命にあった。

一九七〇年代以降、先進資本主義国の高度成長は止まり、福祉国家は危機に陥り、新自由主義改革によって福祉国家の諸制度が解体していく中で、経済開発利害と社会生活利害の対立が先鋭化している。かつてのように、需要拡大にあわせて社会インフラを拡張する福祉経済政策は財政的経済的に困難になった。新しい社会統合の形はまだ明瞭ではない。しかし、サステイナブル・シティ／コミュニティの事例を見ると、新しい社会統合の場は主として地域になるのではないかと示唆される。仮説的にこれを、維持可能性原理による地域的社会統合と呼んでおく。

地域的社会統合の原則を整理しよう。

第一に、地域共同による計画的管理の原則である。サステイナブルな地域では、市場に委ねた無制約的な成長は都市やコミュニティの機能を破壊するので、成長管理、需要管理など「計画」の論理によって、環境を保全し地域資源の機能を高め、より効果的な発展を誘導しようという考え方が基本にある。

それは例えば、自由な自動車利用に根ざした都市スプロールではなく、自動車利用の抑制や郊外開発の規制を通じた都心部重視の交通政策であり、エネルギー需要拡大に応じた新規電源開発ではなく、エネルギー利用効率化などの需要管理型エネルギー政策であり、スクラップアンドビルドではなく、補修改修によって既存の施設諸機能を有効活用する効率的な都市計画である。

その計画手法は、従来の国家的指令統制ではなく、地域共同のマネジメントによっている。地域の利害関係者による相互監視や、コミュニティベースの計画策定方式によって、個々の利害が少しずつ不自由を受け入れ地域共通の利益の方向性に調整される。

第二に、各領域の政策が効果を相殺しあう「政策矛盾」を克服し、行政部局間、政府間の調整によって、相乗的な政策効果を発揮させる「政策統合」が必要とされる。

実は政策統合は二十世紀の福祉国家の時代にも存在していたが、それは「成長」を原理とするものであった。すなわち、平等な社会資本整備という名目で、交通機関の拡大的整備を行い、都市空間を広げ、エネルギー消費を拡大すると同時に、自動車産業や石油産業などの成長に寄与し、税収の実入りが膨らみ福祉を支えるというような、拡大成長のフィードバック・メカニズムによって諸政策が結合されていた。この枠組みの中で、しかし、「環境」は外部要素であり、環境保全と経済成長がトレードオフの関係にあったのが、従来の政策統合であった。

環境と経済と社会の統合は、簡単ではない。これまで経済成長は環境保全と対立し、今後は少ない「パイ」をめぐり経済成長は社会的公正とも一致しなくなる。接着剤となる政策の「原理」そのものが変わる必要がある。

「環境」を含む新しい政策統合は、例えば、公共交通指向型開発によって地域のアクセシビリティを維持しながら地域環境と都心部の集積利益を保持し、市民ニーズを満たす技術やサービスを提供する事業を、経済的に維持させて地域コミュニティを支えるというように、「維持可能性」を主要な原理として、価値の地域内連関を実現する。

第三は、生態学的視点による政策目的の総合化である。要素ごとの総花的な対応ではなく、各要素の相互連関性や循環システムの理解に根ざした総合的な政策体系が要求される。地域の自然・資源の総合的利用においては、水系、生態系、大気循環などの包括的理解が必要となる[21]。

人間経済の領域に関しても、生態学的視点から見直される。エネルギー・物質資源の地域循環の視点が取り入れられ、ある産業の廃棄物を他の産業の原材料とする産業エコロジーや、地域コジェネレーション（熱電併給）によるエネルギー・水・廃棄物のエコサイクルが進められる。

さらに、交通流や都市施設や産業機能などの各要素が有機的連関性を持って、ある種の地域的システムを形成しているというとらえ方も、生態学的視点と関連している。それは、人間が関わるため、物理的構造にとどまらず、社会経済的関係や利害や政治によって規定される。政治経済的な地域環境システムの分析が必要となってくる。

第四は、主体の統合、地域的パートナーシップである。サステイナビリティは外部から命令されて進むのではなく、地域の内発的な取組が基本である。しかし、地域内の利害グループが深刻に対立したままではサステイナブルな地域社会は実現できない。相互に関連しあった地域の環境問題、経済問題、社会問題を解決するためには、さまざまな領域の関係者間の協力体制が不可欠である。

汚染を発生させる側と被害を受ける側、インナーシティの貧困層と郊外部の富裕層など、地域における諸利害は簡単には一致しない。にもかかわらず、問題の構造的関係性から、個別の利益を追求するためにもどうしても地域全体の幅広い協力を得なければならない局面があり、個別の利益を地域共通の利益の方向性と一致させる努力とアイディアが創出されたとき、諸利害の妥協が成立する。そのとき、媒介となるのが、地域のもっとも普遍的な共通利益である「環境」である。

従来対立していた社会関係を修復し、お互いの協力関係によって諸問題の解決をはかり、地域全体の利益を発展させる方法を学習するプロセス自体が、サステイナブルな地域の本質である。

環境や都市やコミュニティが維持可能であることは、地域の根本的な存立基盤だと言えよう。サステイナブル・シティ／コミュニティは、この意味で、地域本来の原理に立ち返った発展戦略であり、ひいては、ポスト福祉国家の可能性、定常経済の発展モデルをも示唆している。

むろん国家の役割は依然として重要である。国家もまたサステイナブルに改革されねばならない。市民生活を基本とする地域間協力の論理は、グローバル経済の下での地域間競争の論理と対立しながらも並存していくと考えられ、個々の地域は二つの論理のバランスの上で揺れ動くであろう。地域間競争で悪循環に陥った地域を国家または超国家的組織によってサポートする制度が不可欠である。そうでなければ、資金・人材・情報の集中する大都市ばかりで優れた環境整備が進み、グローバルな二極分化が進行するに違いない。

二十世紀には、同じ福祉国家といっても、北欧の高福祉国家から日本型産業国家まで多様であったように、二十一世紀の地域的社会統合のあり方も、地域によって多様でありうる。今後は、地域的社会統合や維持可能性一般ではなく、その中身が問われる。個別地域の事例分析の積み重ねが課題となる。

（さむた　ひかる）

注

21）シュツットガルト市をはじめドイツの諸都市では、都市の土地・建物などをコントロールして「風の運河」を形成し、周辺の森の丘から都心部に新鮮な空気を流入させる空間計画が実行されている。イタリアのエミリア・ロマーニャ州では、土壌の浸透度に応じて建物規制を行うなど、地下水を含む地域の水系を総合的に管理する地域計画が立てられている。

第11回「グローバル・システムと文明」研究会

循環型社会の構築にむけて

＝持続可能性研究の状況＝

講師
鈴木基之（国連大学副学長・東京大学生産技術研究所教授）
和気洋子（慶應義塾大学教授）

出席者
茅　陽一（(財)政策科学研究所理事長）
佐々木元（日本電気(株)代表取締役会長）
大橋忠彦（東京ガス(株)首席エグゼクティブスペシャリスト）
佐和隆光（京都大学経済研究所所長）
渡邉浩之（トヨタ自動車(株)専務取締役）
小宮山宏（東京大学大学院教授）
横堀恵一（産業創造研究所専務理事）
永野芳宣（(財)政策科学研究所所長）
近藤駿介（東京大学大学院教授）
和久本芳彦（国際交流基金日米センター参与）

▲鈴木基之 氏

サステイナビリティ革命

茅　本日は、国連大学副学長の鈴木先生からお話をうかがいます。先生は循環型社会実現のために、「ゼロエミッション」に関する研究を続けて来られました。よろしくお願いいたします。

鈴木　科学史家であり比較文明学者である伊東俊太郎先生は、人類の歴史を大きく六つに区分しておられます。

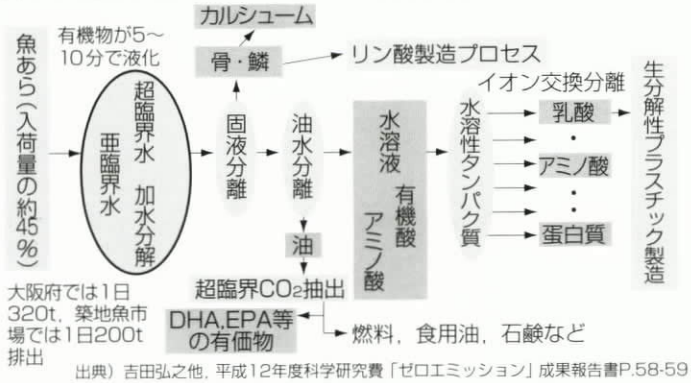
まず、五百万年前に人間が地上に降り立った「人類革命」、次いで一万年前に始まった「農業革命」、三千五百～四千年前の四大文明に象徴される「都市革命」、二千五百年前の「精神革命」と続きます。十七世紀になると西洋科学が興り、人類は石炭や石油を手に入れ、エネルギーを手にすることとなり「科学革命」を迎えました。世界人口は五億から六十億へと増加しましたが、同時に環境問題をはじめとして、さまざまな問題を抱えることになりました。そして現在は「環境革命」に直面しているというわけです。フランシス・ベーコン以来、自然をいかに機械化して人間の手のもとに置くかという考え方で進んできて、自然や資源にキャパシティがあることへの理解が足りなかったのだと思います。

私自身は「環境革命」より「サステイナビリティ（持続可能性）革命」と呼ぶほうが適切ではないかと考えています。サステイナビリティというと「自分の会社があと何年持つか」というような話になりがちですが、私が主張しているサステイナビリティとは、六十億人の人類が五十年後に九十億人になるという状況に、どう対応するかをまじめに考えていくことです。

高度成長期を経てきた私たちは、年々成長し続けることが是という考え方がインプットされていて、その率も一％よりは三％と、常に上昇しなければならないという思いがあります。しかし地球の有限性を認識しなければならない問題が次々と起こり、環境革命の思想が生まれました。特に人口増加は、途上国で起こる問題で非常に深刻です。工業化で豊かになった日本を含む先進諸国が、途上国にＯＤＡ的援助を続けても対処しきれない大きな問題だと思います。

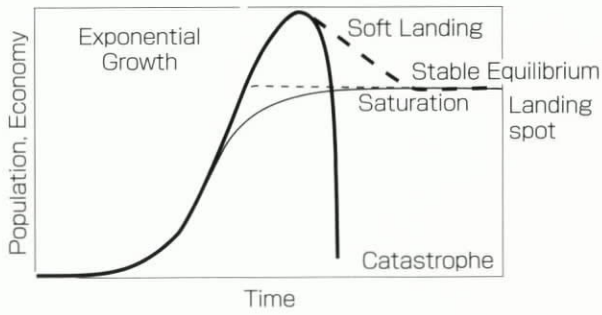
人類の歴史の中で、地球の有限性を感じたのは、私たちの世代が初めてではないでしょうか。微生物の世界であれば、餌がなくなれば増殖をやめて一定になることで維持されます。しかし、人間社会のようにシステムが複雑になってしまうと、問題発見が遅れたり、

図2　亜臨界水加水分解による魚あらの資源化技術



出典）吉田弘之他，平成12年度科学研究費「ゼロエミッション」成果報告書P.58-59

図1　成長のパターン



（鈴木基之作成による）

複雑な状況変化に追随できなくなったりして、本来止まるべきところをオーバーシュートして破局へと向かう危険性があります。それを回避して持続可能な状態を維持していくためには、めざすべき着地点を決め、そこに至る舵取りをしなければなりません。運動方程式を変えてサステイナブルな状態にソフトランディングさせる。つまり、それがパラダイムの転換であり、ライフスタイルを変えることにつながっていくと考えています。（図1）

廃棄物ゼロのシステムづくり

国連大学では、一九九二年のリオデジャネイロでの国連環境開発会議を受けて、九四年に「ゼロエミッション研究構想」をスタートさせています。また、平成九～十二年度には文部省（当時）の科学研究費の重点領域研究として「ゼロエミッションをめざした物質循環プロセスの構築」研究に取り組んできました。日本学術振興会のゼロエミッション第一六八委員会（平成九～十四年）でも、プロセスゼロエミッション、ゼロエミッションネットワーク、地域ゼロエミッションなどについて研究を進めています。

我々の考えているゼロエミッション物質循環（マテリアルサイクル）とは、サステイナブル社会を実現するために、大量資源採取、大量生産、大量消費、大量廃棄というモノの流れを改め、資源の使用（摂取）と廃棄物の環境への放出をなるべく小さくしようとする概念です。

資源から製品を作る際には必ず廃棄物が出ますが、これを未利用物質であると考えます。この未利用物質を、次のプロセスで利用して有価物を取り出します。そこで出た未利用物質も、その次のプロセスに回して有価物を取り出す…。それを繰り返し、また組み合わせることによって、最終的に出てくるのは有価物だけにする、つまり、廃棄物ゼロにするという考え方です。

簡単にはいきませんが、たとえば農業をはじめとする他の産業との組み合わせによって、可能性はあると思います。それぞれのプロセスでエネルギーが必要となりますので、そのバランスをどう考えるかも大きな課題です。また、ゼロエミッションネットワークを構築するためには、既存の産業の物質循環の状況を把握し、その情報をデータベースとして構築する必要があります。そのデータをもとに、ネットワークのつくり方、マテリアルサイクル完結の仕組み、アセスメントのあり方を検討することになります。

ゼロエミッションマテリアルサイクルに関する研究成果として「魚あらの資源化技術」をご紹介します（図2）。

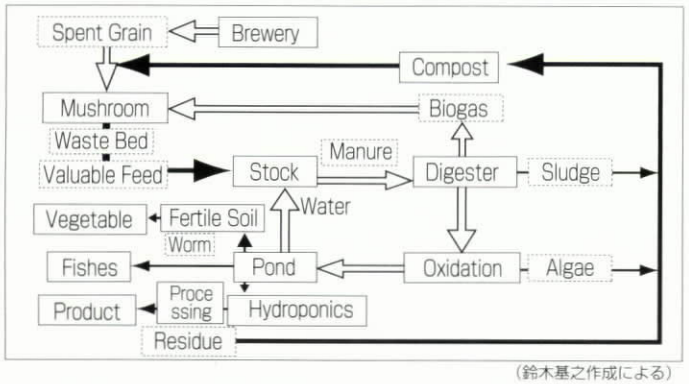
ゼロエミッションネットワークを構築する上では、あるプロセスの未利用物質（廃棄物）が他のプロセスの原料として直接利用できない場合に、適切な資源化技術を開発・導入してプロセス間に設置する必要があります。これはその技術開発の例です。

一般に魚あらは、入荷量の約四五％を占めるといわれており、たとえば大阪府で一日約三百二十トン、東京の築地魚市場では一日二百トンが排出されています。一部は飼料に回したり、廃棄したりしています。一九九六年一月から、ロンドン条約の改正で魚市場などから発生する魚腸骨の海洋投棄が禁止され、その処理方法の検討が大きな課題となっています。

魚あらは、亜臨界水加水分解（二五〇℃、三〇気圧程度）により五～十分程度の短時間で有機質の部分が液化します。液体から分離された骨は近い将来枯渇するといわれているリン酸の製造に利用されます。液体は油相と水相に分かれますが、水相には高濃度の水溶性蛋白質、乳酸、七種のアミノ酸ができます。乳酸は生分解性プラスチック（ポリ乳酸）の原料に、アミノ酸や蛋白質は食品・医薬品工業の原料に利用されます。油相にはＤＨＡやＥＰＡなどの高付加価値物質が含まれており、これらを分離した残りは食用油、石鹸、燃料などの原料として利用可能となります。

このように、価値を高める技術を若干加えることによって有価物を取り出

図3　フィジーにおけるゼロエミッションシステム



（鈴木基之作成による）

すことが可能です。日本全体で約百八十万トンの廃棄物が出るのですが、これを全て利用すれば、六百四十八億円の市場が開けてくるという試算があります。廃棄物を使って価値あるものを作る望ましい仕組みです。

廃棄物を出さない産業形態の検討

次に紹介するのは、地域ゼロエミッションの研究で、フィジーで行っているIntegrated Biosystems（IBS）に関する実験です（図3）。

この実験を設計したのは、ジョージ・チャンという中国系のオーストラリア人で、国連大学が九八年から実験を、東大生産技術研究所が分析を受け持ちました。

フィジーは人口約六十万人の小さな島です。ビール工場が一つあり、職業訓練学校の裏庭では、ブタを飼ったり、ヒラタケのようなオイスターマッシュルームを栽培しています。これらを効率よく組み合わせたシステムを構築して、極力廃棄物を排出しない産業形態の形成について検討しています。

ビールを一リットル（大ジョッキ一杯）作ると麦粕（スペントグレイン）が約七百五十グラム出ます。そのスペントグレインを利用してキノコを育てると、キノコの出す成分でグレインが持っているリグニン等が分解されて、残った菌床が良質の豚の餌になります。それを豚が食べて出す糞尿を何らかの形で処理する必要があります。ここではそれを貯めてメタンガスを取り出し、残りの若干きれいになった水は最終的には池に入れて、そこで魚を飼っています。

つまり、醸造廃棄物からキノコを採取し、ブタの餌をとる。出てきた糞尿は消化槽に送られてバイオガスに変わる。水は窒素分を除いたあとで池に入れて魚を育てます。このシステムに入ってくる原料は醸造廃棄物の麦粕だけです。もちろん、システムとして物質収支が取れるのか、池の面積、生産量、労働力などについても、きちんと計算しなければなりません。

従来、有機性廃棄物は、排水・廃棄物処理という観点で対策が考えられてきましたが、循環型社会を実現するためには排水や廃棄物も未利用物質と考え、廃棄物をベースとする資源化処理システムの基本的定量関係を明確にする必要があると考えています。

生産プロセスから資源・エネルギーの有効利用や環境負荷低減をめざすためには、個々の生産プロセスにおけるエミッション低減に加えて、プロセスのネットワーク化が不可欠です。

生産プロセスをネットワーク化するためには「再資源化技術」と「未利用物質」に関する詳しい情報を集積してデータベース化する必要があります。そこで我々は企業の協力を得て、アンケート方式で、アウトプットとインプットに関するデータをとり、業種ごとのアウトプット―インプット解析をしました（表1）。ある業種からのアウトプット（未利用物質）がどの業種のインプット（原材料）として利用可能かについて分析をしました。セメント、非鉄、鉄鋼が多くの業種からの未利用物質を原料として受け入れる可能性があり、都市、食品、化学からの未利用物質が多くの業種の原料供給元となり得ることなど、ネットワークの方向が示唆されています。

さらに、与えられた条件下でエミッション低減を指向した生産プロセスのネットワーク化のシミュレーションも行っています。これは地域産業のネットワーク化の組み合わせを検討するのに有効な方法です。たとえば、木材産業から出る廃棄物を利用する場合に、糖に戻したほうがよいのか、パルプや紙にするのかを選択するためには、どの方法を採用すると当該地域での廃棄物が少なくなるかをシミュレーションによって検討することができます。

モノの所有からサービス購入へ

循環型社会を実現するためには、産業部門だけでなく、消費者の側もサステイナブルな消費について考えなければならないと思います。そこで、「脱物質主義」、つまり物質所有からの解放を

表1　アウトプット－インプット解析

		アウトプット																	
		セメント	鉄鋼	非鉄	紙	石油	化学	食品	繊維	建設	家電	電力	自動車	機械	エレクトロニクス通信	建材	木材木製品	都市	農業
インプット	セメント		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○		○	○		○	
	鉄鋼				○	○	○	○		○	○	○	○	○				○	
	非鉄	○	○			○	○			○	○	○	○	○	○	○		○	
	紙						○	○									○	○	
	石油						○	○											○
	化学			○		○		○						○	○			○	
	食品							○											
	繊維								○										
	建設		○				○					○						○	
	家電																		
	電力																	○	
	自動車						○												
	エレクトロニクス通信						○												
	建材		○		○			○		○		○							
	木材・木製品																○		
	都市	○			○														
	農業							○	○								○	○	○

出典）吉田弘之他，環境科学会誌 Vol. 14, No.4 p.333（2001）

提案したいのです。

たとえば車を買う場合、車が提供する機能やサービスを買っていると考えれば、必ずしも車を所有する必要はありません。すでにリースのようなかたちで車を持てるような仕組みを企業でも検討していると聞きます。

住宅も、戦前は借家に住まい、家族構成が変われればそれに応じて移り住んでいました。それが、戦後の高度経済成長、持ち家制度によって、狭い土地、小さな家を所有することになりました。しかし、このような仕組みは次世代にとって使い道のないものを増やしていることにならないでしょうか。

生産プロセスも、従来のような大量見込み生産ではなく、需要に応じた生産（オンデマンド）が、これから非常に重要になっていきます。

コンビニのおむすびは、売れた分だけ運ばれてくるので、オンデマンドだと思っていたのですが、実は倉庫に大量に作ってストックしてあって、その売れ残りが一日に七百二十万食だそうです。このような無駄がＧＮＰを押し上げるかのような錯覚に陥ってはならないのです。

モノを作る産業は、従来のような作りっぱなしではなく、サービスを売る産業への転換を模索すべきでしょう。

もう一度、五百万年生きてきた人類の知恵を振り返って考えるべきです。江戸時代に戻れと言うつもりはありませんが、我々が地球と人間系を破壊してはならないと考えます。

持続可能性工学確立の模索

「サステイナブル・デベロップメント」という言葉は、一九八七年の環境と開発に関する世界委員会報告（ブルントランド報告）で基本理念として示されました。ヨハネスブルグサミットでも使われており、世界的に公式な場面で目にする言葉です。私たちの主張する「デベロップメント」とは、従来のような経済や、社会、人間の開発ではなく、サステイナビリティ（持続可能性）の開発です。

ではサステイナビリティと言うときに、持続すべきものはいったい何でしょうか。従来は、我々の生き方、西洋文明をどうやって維持するかという発想であり、自分の居場所、仕事、企業をどうサステイナブルにしていくかが主眼であったと思います。もちろんそのような発想もよいのですが、地球という限られたエコシステムの中で、どうやって人類活動をサステイナブルにするかを考えていかなければなりません。地球系のもつ容量の範囲での人類の活動を保証するシステムを開発していくことが、サステイナブル・デベロップメントではないでしょうか。

工学も、ポスト工業化社会から知識基盤時代、学習基盤（learning-base）時

代へと変わろうとしています。持続可能性とエンジニアリングをどう結びつけるか、サステイナブルデベロップメントに対応する工学教育はあるのか、検討すべき課題はたくさんあります。この点については、ヨーロッパで非常に熱心に検討がなされ、先日もデルフト工科大学で国際シンポジウムがあり、私も参加して議論をしてきました。

最近では「サステイナビリティエンジニアリング（持続可能性工学）」という言葉が見られるようになり、環境工学の核として位置づけているプログラムも出てきています。

持続可能性の理解には人間社会および環境の理解が必要であると同時に、時間的な軸、それから将来ということに対する洞察をきちんと組み込まなければなりません。社会と環境の関係はそう簡単ではなく、複雑でカオス的ですらあります。従来の工学でもシステムを扱ってはきましたが、それは限られた簡単なシステムであったと思います。今後持続可能性の議論を進めていくためには、従来の工学を超えたシステムと複雑性に対する理解が必要です。

しかしながら、「持続可能性」を現在の工学に包含しようとすると、さまざまな障害にぶつかります。デルフト工科大学のMulder教授のグループの指摘ですが、まず大学には、大学組織としての文化があり学科や専攻間の壁がとても高い。そしてアカデミックな文化、あるいはスペシャリストからみると、「持続可能性」という学際的な概念は受け入れにくい面がある。工学分野においても、すでに硬直的な仕組みができており、定性的な議論がしにくいと分析しています。

当面、持続可能性工学は、さまざまな学問分野の横にもう一つ持続可能性工学を立てるのではなく、それぞれの分野の中にどう組み込んでいくかを模索することになるでしょう。

インセンティブを社会にどう組み込むか

和久本　持続可能性を実現するためにパラダイム転換が必要というお話でしたが、私は、パラダイム転換は必要だから起こすという性質のものではなく、自然発生的に起きてくるものではないかと思っています。たとえば、国際関係や外交も、ルネサンスからウエストファリア条約まで百五十年、ウエストファリア体制と近代国家体制とのあいだに百五十年あるのです。その間にパラダイムが変わって、現在のものができてきたわけで、一気に変わったわけではありません。

鈴木　しかし、今現在この小さい地球の上で六十億人が生き、これがあと五十年で九十億人になるという、非常に切迫した状況に我々はいるのです。このままでも、いずれパラダイムは変わるかもしれませんが、たとえばアフリカが今のままで放置すればサステイナブルになっていくかと言えば、そうではないと思います。そしてその波及効果が必ず我が国にも及んでくるのです。ある種、強引にでも考え方を変えなければいけない時に来ているという認識です。

佐和　パラダイムシフトが必要だという先生の主張に異論はありません。しかし、そのためのインセンティブを社会の中にどう仕掛けるかが、最も難しい課題です。もちろん、政府が強権的に社会全体をサステイナブルな方向に動かしていくことは不可能です。

循環型社会の実現には、経済的なインセンティブは難しく、やはり意識の変革ということになるでしょう。

ポール・ケネディは、北欧三国とオランダ、デンマークでの環境意識の高さは、これらの国々が十分豊かであり教育水準が高いからだと分析しています。データでみると、一人当たりGDPは二万数千ドル、大学進学率は三〇%台の後半です。

日本は、一人当たりGDPは四万ドル、大学進学率は五〇%と、数字の上では十分に豊かであり、教育水準も高いということになります。しかし現実には、環境について一人ひとりが真剣に考えるほど豊かではないし、ゆとりある生活もしていません。大学に行っても知的水準はちっとも高くない…。

GNPを大きくすることを目的とし

ていた意識から持続可能性を目的とする意識へと変革をするためにも、本当の意味で生活が豊かになることと、日本全体の知的レベルをもう少し上げることがどうしても必要だと思います。ところが、依然としてGNP成長を是とする意識が、政府をはじめ社会の大部分にあるように感じますね。

鈴木　経済的インセンティブがなければ動かないというのでは、なんだか情けないように感じます。そろそろそういう社会から脱却してもよいのではないでしょうか。

　オランダ、デンマークでは経済的利益のみを追求する企業は、サステイナブルではないというコンセンサスが社会の中にありますね。

　意識の問題、あるいは生活レベルの問題を考えるときに、やはり教育が果たしている役割は大きいと思います。教師だけでなく親も含めて、教える側をもっと強化しなければならないと痛感します。そこでは日本が連綿と作り上げてきた伝統・文化の中で豊かさや価値観を見直すことも重要でしょう。

佐々木　マテリアルサイクルについては、経済的インセンティブがだいぶ働くようになってきているところも出てきています。資源循環型地域社会が形成されていれば、そこで回していったほうが、単に廃棄物として処理するよりもトータルコストは安くなります。

　また、最近では、企業の株式投資の尺度の中に、環境問題に対する配慮や対応を考慮したエコファンドができ、環境に配慮した経営が企業の競争力を左右するようになりつつあります。

　しかし、ここで問題になるのが、現行の廃棄物処理法です。たとえば、一回使ったモノを外に出す場合、それは全て廃棄物扱いになります。ある薬品を一度使ったあとで肥料の原料にしようとすると、それを工場から運ぶ運送業者には廃棄物運搬許可が必要ですし、肥料工場にも廃棄物処理業としての認可と施設認可を取らなければなりません。そのために膨大な資料を作成し、提出してから認可までには、一～二年かかります。そして役員が代われば、再度資料を出し直さなければいけません。このような制度を見直し、改善していくことも必要ではないでしょうか。

　教育の問題については、たとえば、技術者教育認定機構（JABEE）で、サステイナブルなエンジニアリングの評価が導入されるようになれば、教育機関でのコース設計の中にサステイナブルな考え方、教育が取り入れられるようになると思います。

　まだまだ課題は多いですが、めざす方向に少しずつ動き始めていると感じています。

若者を惹きつける教育のあり方

大橋　サステイナビリティは、結局自分たちの世代ではなく、将来世代のためにどう自然や資源を残すかということに尽きると思います。しかし、自分がイメージできる将来世代とは、自分の子や孫の世代くらいまでで、それ以上先のことは非常に抽象的であいまいになってしまいます。それでは、現世代が責任を持って将来世代に有効な対策を取ることは難しいですね。

　突飛かもしれませんが、輪廻転生、リインカネーションと言われるように、自分が何らかの意味で自分の将来に再生するかもしれないという考え方をすると、再生したときの自分のために、環境保全が必要であるという発想が生まれ、サステイナビリティの議論もできるような気がします。ヨーロッパなどで議論されているサステイナブル・デベロップメントとは少し異なるかもしれませんが、日本あるいは東洋発の考え方として発信していくことができるかもしれません。

渡邉　西洋科学によって、人間の規範の道筋は、かなり変わってしまったように感じます。便利さや豊かさの尺度を、ある意味間違ったとも言えるのかもしれません。しかし、この便利さ、豊かさを一度経験すると、なかなかそこからの脱却はできません。かといってこのままでは立ちゆかないのだから、変わらなければいけない…。ジレンマです。

鈴木　残念ながら、オーバーシュー

トしていったん壊滅状態を経験しないとわからないのかもしれませんね。しかし、そこをいかに賢く舵を切り直すかが問われています。その可否は、ひとえに教育にかかっていると思います。

近藤　新しい工学教育の方法論を何とか見つけなければならないと模索していますが、総合的なシステム思考が重要な世界であるにもかかわらず、縦割り型の教育が行われています。また単にシステム工学を教えてもだめで、たとえばプロジェクトベースの教育など、新しいシステムを大学が持たなければならないと考えてます。

倫理、安全、リスク管理は一般社会ではきわめて重要なのですが、大学の講義では全然人気がありません（笑）。私は安全学の講義をしていますが、残念ながら学生のレスポンスは芳しくなく、おもしろくないと学生たちは言います。十八歳から二十歳の学生に、どうやって理解を促したらよいか、方策が見えず苦労しています。

ゼロエミッション社会へのシナリオ

横堀　オープンな経済社会の中で、ゼロエミッションサイクルを組み立てることは、非常に難しいと思います。

フィジーのように、クローズな社会ではこのシステムは成り立ちますが、国際貿易が盛んな状況では、一国の産業としての国際競争力を維持できなくなるだけでなく、輸入品を通じる漏れが起こるのではないかと危惧します。

だからと言って、江戸時代のように鎖国をするということになるとは到底思えません。何らかの手段で外部便益を織り込む必要があるのではないかと思います。それとも開かれた自由競争を前提にサステイナビリティを考えることは可能なのでしょうか。

佐和　市場経済がサステイナビリティをおのずから達成することはあり得ないと思います。すべてを市場に委ねれば、アンチサステイナビリティな結果になります。

渡邉　地球を一つの国と考え、その中でのモノ流通と情報の流れ方を考えていけば、江戸の町と同じような一種の理想郷とでもいうものができて、うまくいく…、ということにはならないでしょうか。

茅　渡邉さんのお話は難しいように思いますね。

以前、農村の自立化という研究プロジェクトに取り組みましたが、自立をめざすほど、工業製品部分のリサイクルは難しいという結果になりました。工業製品の少ない社会での自立は比較的うまくいくのですが、工業製品を大量消費しているままで、サステイナブルな社会をつくるのは困難です。

鈴木　大量採取、大量生産、大量消費のパターンを維持したままでのサステイナビリティはあり得ません。

江戸時代は、インプットをミニマムに絞り込んであったので、アウトプットを否応でも回して使わなければならなかったのだと思います。

日本の場合、最も効果的な方法は、バージン材料を輸入する際に徹底的な課税をして、インプットを絞り込むことではないでしょうか。すでにストックはあふれているわけですから、それをうまく回すようになっていくと思っています。

永野　目標を明確にして、それに向かって取り組む時代なのでしょうね。

渡邉　たとえばプリウスはCO2排出を半分にしようという目標を掲げています。しかし私は半分では足りないと思っています。現在七億台ある車が、あと十五、六年で十一億台になると言われているので、三倍以上の効率なりクリーンさを持った車をつくっていく必要があります。そういうビジョンを持って、目標に向かうべきでしょう。

佐々木　マテリアルの部分は工夫する余地はかなりあると思いますが、難しいのはエネルギーの問題ではないでしょうか。化石燃料を食いつぶしているという事実は変わらないわけですから、どうやってそこから脱却できるかを考えなければなりません。

大橋　中国やインドのエネルギー消費については非常に心配です。統計をどこまで信頼してよいかという問題がありますが、中国の場合、GDP一単位当たりの生産に対する商業用のエネルギー消費は日本の八・四倍です。非商業用の薪や動物の糞がエネルギーの四割を占めているのでそれをあわせると、エネルギー消費は十四倍になります。この効率を上げる努力が必要です。

経済成長が三倍増えても、エネルギー効率を日本の五倍程度の状態まで改善できれば、エネルギーの絶対量を増やさずにすみます。

そのためには、いままで薪や動物の糞を燃やしていた調理のかまどを、LPGにしなければなりません。結果として中国の輸入量が増えてしまうのですが、エネルギーの総消費量としてみると、いま非常にむだをしているだけに改善の余地があります。日本やアメリカも含め、国連を通じて利用方法が高度化できれば、途上国のエネルギー問題は大きな問題にならないで済むかもしれない可能性もあります。

近藤　東京大学、MIT、スイス連邦工科大学の三大学が連携して地球環境問題に関する共同研究を実施している「人間地球圏の存続を求める大学間国際学術協力協定（AGS）」では、中国のエネルギー問題が取り上げられています。

この研究のユニークな点は、クリーンで効率的な石炭利用技術のために、技術選択や制度のあり方等について、中国の研究者や行政担当者層も巻き込んで議論していることです。この取り

組みは、ライフサイクルアセスメントやリスク管理といったディシプリンを現実の意思決定に適用していくラーニングプロセスを同時進行させることができる点に特色があります。このような作業を世界各地で行っていくことが重要であり、望ましい変化を招来する道であると思います。

半分の生活と豊かさの実感

永野　中国はこれからWTOに参加し、ますます成長しようとしていますし、日本も構造改革で自由競争をもっと進めようとしています。二〇五〇年に世界の人口が八十億人になって、しかも成長指向であるとすれば、持続可能性を維持することは本当に可能なのでしょうか。

鈴木　大事なことは、南北間で将来像に関してどういうコンセンサスをつくっていくかです。

永野　先進国が、生活レベルを現状の半分以下に落とすということですか。

小宮山　半分以下の生活と言われましたが、その「半分の中身」を議論する必要がありますね。

たとえば車に乗る場合、ガソリンの消費量が三分の一になれば、二倍走っても、全体のガソリン消費は三分の二に抑えられます。イノベーションによる改善の可能性はあるわけです。

アメリカでは鉄は四八%リサイクルされていますが、それは彼らのモラルがすぐれているということではなく、それだけのスクラップが発生しているということです。品質に関する課題はありますが、鉄、セメントのような基本的な物質循環が回り、またエネルギーにも省エネの余地があって、あらゆるものが現在の三分の一ぐらいのエネルギー消費で済むようになるというシナリオはあると思います。

ですから、「半分の生活ができますか」という命題に対しては、環境を考える教育や意識の問題で対応する部分と、技術による答えがあるのではないかと考えています。

和気　何が保障されれば、今の豊かさの実感を持続できるのかを考えることも重要ではないでしょうか。

自家用車に乗りたい人もいるし、公共の大量輸送手段でかまわない人もいる。歩く人もいるでしょう。つまり、選択の自由が一定の幅であり得るかです。また、一日三〜四時間、週五日働けば、あとは好きなことができるなど、その人が持っている時間の制約条件の中で自由に使える余暇時間がどのぐらい使えるかで豊かさを測ることもできます。

エネルギー消費量、道路の長さ、あるいはGDPではない、社会的な側面での枠組みや指標で豊かさを測っていくと、サステイナブルな社会は実現可能なのではないかという気がします。

現在の過剰なマテリアル、過剰投資は市場が失敗したのではなく、ある意味で各国独自の政策の失敗なのではないでしょうか。

農産品も飢餓の地域を除けば世界中で過剰です。各国の農業政策が過剰な農産品を生んでいるという政策の失敗があり、それをできるだけなくすという道、つまり市場メカニズムを導入すべき側面もあるのかもしれません。

ただし環境問題やサステイナビリティの議論は、市場の失敗、政府の失敗の両方があって、マーケットフォースの問題、ガバナンスの問題の両面からみていく必要があるでしょう。

鈴木　満足度をどうやって測るかという問題では、ある程度選択肢が増える、余暇の時間が増えるという観点で満足を感じるパラダイムを、日本人は忘れているように思います。

去年よりちょっとよくなければ、隣よりよくなければ、という発想を変えていくことが大切です。

近藤　豊かさという点では、北欧やベネルクスの国々の豊かさを、鈴木先生も佐和先生も指摘されておられました。確かにGNPで比べると日本よりも低いわけですが、彼らはストックの点で圧倒的に豊かだと思います。そして、環境にセンシティブであることが豊かである一つの姿であるというポール・ケネディの指摘は正しいとして、我々の課題はいかにしてストックにセンシティブになるかでしょう。

茅　私は、社会科学系の方と工学系の方では考え方がかなり異なると思います。今日のお話は工学系の典型だと思いますが、理想の将来像があって、それを実現するために社会が変わる必要があり、社会側を変えられるという前提条件があります。

一方社会科学系では、社会はあまり変わらないので、技術に答えを探そうとしています。ただ本質的に言えば両方ともねらっているところは同じ、どこにどれだけ答えを託すかという考え方の差が出ているという気がします。

本日はどうもありがとうございました。

（二〇〇二年十月二十八日）

■地球レベルの水循環を考える

地球をめぐる水と水をめぐる人々

■第51回 今井隆吉 部会■

講師
沖 大幹（東京大学生産技術研究所助教授／総合地球環境学研究所助教授）

出席者
今井隆吉（原子力委員会参与／杏林大学教授）
内山洋司（筑波大学教授）
川又民夫（日本COM㈱相談役）
下山俊次（日本原子力発電㈱顧問）
竹下寿英（麻布大学教授）
武部俊一（科学ジャーナリスト）
十市 勉（㈶日本エネルギー経済研究所常務理事）
藤目和哉（㈶日本エネルギー経済研究所常務理事）
伊東慶四郎（㈶政策科学研究所主席研究員）
永野芳宣（㈶政策科学研究所所長）

▲沖 大幹 氏

地球環境問題と水資源

今井　今回は、沖先生から「地球をめぐる水と水をめぐる人々」というテーマでお話をうかがいます。先生は、東京大学との併任で総合地球環境学研究所に所属され、グローバルな環境問題に取り組んでおられます。よろしくお願いします。

沖　地球環境問題は、温暖化やオゾンホール、熱帯雨林の森林伐採や半乾燥地での砂漠化の進行といった地球規模の問題から、都市のゴミ問題、リサイクル、農薬と食糧の安全性、大気汚染や土壌汚染、環境ホルモンなど比較的身近な地域の問題までが取り上げられます。これらは自然科学だけの問題ではなく人間社会の問題でもあり、その解決のためには、多面的分野での横断的研究が重要です。総合地球環境学研究所（以下、地球研）は、地球環境問題の総合的な研究を行うために、二〇〇一年四月に文部科学省の直轄研究所大学共同利用機関として創設されました。表1に示すように五本の研究軸を設定し、研究プログラム―プロジェクト方式により、専任教官がリーダーシップを発揮しながら、内外関連研究機関／研究者との連携によって、研究を展開しています。

我々は、地球環境問題の根源には人口増加があると考えています。文明の発展に伴い人間は活動を拡大し、人口を増加させてきました。それがエネルギー問題と食糧生産の両方に影響を与えています。たとえば、エネルギー消費の増加によりCO2が増え、気候変動をもたらしています。また、食糧生産の増加は、窒素やリンを肥料として環境に放置することになり、環境汚染が起こります。

このままでは自然の限界を超えてしまい、人類は生存し続けられないのではないかという人々の不安から、ここ十年ほど地球環境問題への関心が非常に高まり、八〇年代後半から持続可能な発展、Sustainable Development が叫ばれるようになってきました。我々はそれを社会に持続性を構築すること、Sustainability Development であると捉えています。

地球環境問題において重要テーマである気候変動と環境汚染の両方に深く関係しているのが「水」です。

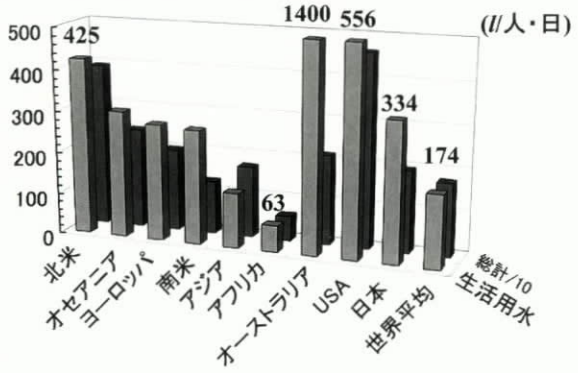
資源としての水は、飲料水だけではなく、農業用水、工業用水、生活用水のほかに、舟運や漁業あるいは景観のための水面・低水維持や水生生態系や沿岸域の海水保全などの目的で利用さ

表1　総合地球環境学研究所の研究活動

研究軸1．自然変動影響評価
　プロジェクト1-1 乾燥地域の農業生産システムに及ぼす地球温暖化の影響
　プロジェクト1-2FS　近年の黄河の急激な水循環変化とその意味するもの
研究軸2．人間活動評価
　プロジェクト2-1 大気中の物質循環に及ぼす人間活動の影響の解明
　プロジェクト2-2FS　持続的森林利用オプションの評価と将来像
研究軸3．空間スケール
　プロジェクト3-1　琵琶湖－淀川水系における流域管理モデルの構築
　プロジェクト3-2FS 流域環境の質と環境意識の関係解明－土地・水資源利用に伴う環境変化を契機として
　プロジェクト3-3IS　亜熱帯島嶼における自然環境と人間社会システムの相互作用
研究軸4．歴史時間
　プロジェクト4-1　水資源変動負荷に対するオアシス地域の適応力評価とその歴史的変遷
　プロジェクト4-2FS　湖沼生態系機能と人間活動の共役的応答に関する研究：水と人間の関わりの過去・現在・未来
　プロジェクト4-3FS　アジア・熱帯モンスーン地域における地域生態史モデルの構築
研究軸5．統合基盤
　プロジェクト5-1　地球環境情報ライブラリと世界モデルとを統合した水危機管理システムの構築

*研究プロジェクト方式
「インキュベーション研究」(IS)によって企画され、1年程度の「予備研究」(フィージビリティー・スタディー：FS)の対象となり、予備研究の結果が評価を受け、適当と認められれば「本研究」へと進み5年程度の研究が行われる。

図1　世界ではどのくらい水を使ってる？



れています。また、水力発電などでは落差を利用していますし、最近では温度差を発電に利用する例もみられます。

水は循環し持続的な資源で、単価が安いのですが、必要なときに必要な場所に必要な質が確保されなければ価値がありません。現実には、賦存の不均等性から水循環の変化や水需要の増加による水危機が常に危惧されています。

地球は「水の惑星」とも言われ、水が豊富にあると思う人も多いのですが、地球物理学的にみると地球の表面にある水は地球全体の重さの〇・一%にも満たないと言われています。マントルの中には表面の約三倍の水があるようですが、地球は主に鉄とニッケルからなる惑星で、「表面が水に覆われた惑星」と考えた方が適当であると思います。

地球上の水の量は、約一・四E㎥（一E＝一〇の一八乗）で、九六・五%が海水です。利用できる淡水は二・五%に過ぎず、その三分の二以上が氷河などの利用が困難な水です。水資源として使えるのは、河川、湖沼、地下水など地球上の水の〇・八%程度（約一京㎥）であると言われています。

地球上の水循環と水収支の計算によれば、世界の水の年間利用最大可能量は四万㎦となります。この数字はあまり実感がわかないと思いますので、まず一㎥の水でどのぐらい暮らせるかを調べてみると、世界平均では五・七日、一週間弱で使いきります。国別では日本が三日、アメリカは二日です。乾燥地であるにもかかわらず、庭の芝生にたくさんの水を撒くオーストラリアでは一日で使ってしまいます。一方、フィリピンは五日、タイや中国では十七日、そしてガンビア、ハイチでは一㎥の水で一年間暮らしています。これは一日当たり二、三ℓで、飲み水だけしか使っていないことになります。

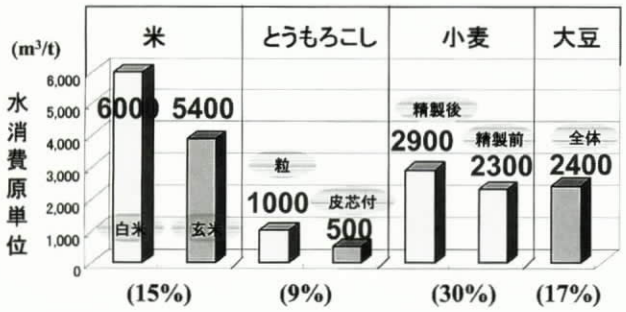
一日一人当たりで使っている水の量を調べてみると、図1のようになりました。手前が生活用水、色の濃い奥の値が生活用水、工業用水、農業用水の合計を十で割ったものです。生活用水利用量は、日本が三三四ℓ、アメリカが五五六ℓ、オーストラリアは一四〇〇ℓです。一方アフリカ大陸は平均で六三ℓしか使っていません。この図では手前と奥の値が近いところが多いのですが、これは蛇口から使う水のさらに十倍の水を農業用水や工業用水を含めた総量として使っていることを意味します。

日本での水資源の使い方

日本人の一日当たりの水使用量は、風呂、トイレ、炊事、洗濯など家庭での水利用が約二五〇ℓ、これにオフィスでの利用や公園の散水利用など家庭外での利用分を含めると、約三三〇ℓになります。三十～四十年前と比べると倍増していますが、これは共同風呂から内風呂へ、汲み取り式トイレから水洗トイレへといった生活様式の変化が影響しています。風呂、トイレ、炊事、洗濯で利用する水はすべて洗浄用であり、さらに飲み水も、体内の老廃物を洗い出すために飲むわけですから、「水を使うこと」は「水に汚れを運んでもらうこと」と言えると思います。

年間の使用量の内訳をみると、飲み水は一人当たり一日二、三ℓで年間約一㎥になります。家庭用水などの水道水は一人当たり一日三三〇ℓで年間一〇〇～一二〇㎥です。水資源というと、まず飲む水を思い浮かべてしまうのですが、その約百倍の水を家でいろいろなものを洗うために使っていることに

図2　単位重さ当たりのVirtual Water－穀物－



十大麦3,500m³/t（5%）で世界の全間接水貿易の75%がカバーされる
（Hoekstra and Hung, 2002）

なります。

さらに日本人が使っている農業用水は家庭用水の約四倍で、年間一人当たり約五〇〇㎥になります。ただし、これは取水量ベースの数字です。農業の灌漑用水はかなりの量が再び川に戻るなど、循環利用されるため、実際の消費量は取水量よりも少なくなっています。工業用水は年間一人当たりで約一〇〇～一二〇㎥で、これらを合計すると、年間一人当たり約七五〇㎥を使っていることになります。したがって、人口をかけた約九〇〇億㎥（九〇㎦）が日本全体で実際に使っている水の量になります。

一方、日本の最大利用可能量をみると、まず年平均約一八〇〇㎜の降雨量があります。蒸発量八〇〇㎜を引いた約一〇〇〇㎜に、国土面積三八万㎢をかけると、三八〇㎦となります。先ほどお話した日本全体の年間使用量九〇㎦はこの四分の一に相当します。年間利用可能量に対する年間使用量は世界平均で約一〇%です。この差は経済力の格差でもあり、日本ではダムや河口堰を作ることで、より多くの水を使うことが可能になっているのです。

日本の水資源の最大の特徴は、何といっても単位体積、単位重量当たりの価格の安さです。水道水は原価で一㎥当たり約二百円ですが、売値は逆ざやになっていて百二十円ぐらいです。ちなみにペットボトルの水は五〇〇㎖で約百円で、一㎥二十万円です。水道水と比べて約千倍も値段が違います。しかしきれいな水が飲みたいと思えば、たとえ千倍でも買うわけですね。

水の原価が安いので、貯留や輸送のコストは相対的に高くなります。貯留する場合には、大規模な貯水池を作るなど効率化しなければペイしません。また渇水時は給水車を活用すればよいと考えがちですが、水道局の話では、給水車の一人当たりの人件費は一日約十万円で、しかも運べる量はせいぜい数一〇㎥で、一㎥一万円の水になってしまいます。

最近では、不足地への輸送方法として、比較的長期間使用できるパイプラインや、巨大なバッグでトルコからカスピ海を渡って運ぶ方法が有名になりましたが、これもよほど効率的に行わないとペイしない状況は同じです。

間接水からみた水循環

日本の水資源を考えるときに、国内だけを考えればいいかというと、答えはもちろんノーです。たとえば日本は食糧を輸入していますが、その移動が大量の「間接水（Virtual Water）」の移動を引き起こしています。日本は食糧を作るために海外の水資源を間接的に使い、それを輸入することで間接水も輸入していると言えます。このような考え方は九〇年代に提案され、私は間接水の研究に取り組んでいます。

モノの生産には必ず水が使われています。たとえば学生が計算してくれた結果をご紹介しますと、牛丼並盛一杯（ごはん二六〇g、具材八五g）には二㎥以上の水が使われています。

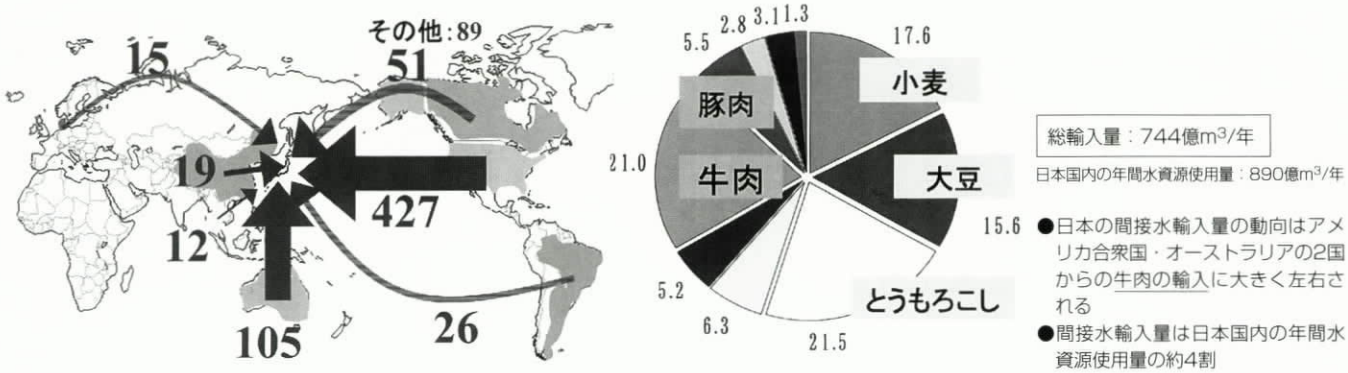
このように、あるモノの単位量当たりの生産に必要な水資源量（水消費原単位）を算定するために、我々は農学系の図書館に足しげく通い、いろいろな文献から情報を得ました。

たとえば、日本における水稲の場合、まず減水深という、田んぼに入れた水が一日で減る量（二・五㎝）、灌漑期間（百十日）、一ha当たりの収穫量（五・三五t）から、一tの米を作るためには、その約五千倍の水を田に入れる必要があるという計算結果が出ました。

光合成量からの算出も試みましたが、光合成に必要な水の量は、葉の気孔からの蒸散分の〇・一%程度でした。つまり、五千倍もの水は根から葉へ栄養素を運んだり、光合成に必要な酵素がはたらくように葉の温度上昇を抑えることに使われています。結局、蒸発や土壌浸透などを含めると植物が生育期間中に吸い上げた水量（要水量）よりはるかに多くの水を投入しなければ米ができないことがわかります。

このような水消費原単位の計算を主要穀物で行った結果が、図2です。一kgの玄米には五四〇〇㎥、精米一kgには約六〇〇〇㎥の水が必要です。とうも

図3　日本のVirtual Water年輸入総量



ろこしは光合成の回路が普通の植物と違って効率がよいので、ほかの農作物よりも水消費は少なくなっています。小麦粉も人間が食べる場合は、約三千倍の水が必要です。

農作物の水消費量原単位に輸入量をかけると、間接水の輸入量を出すことができます。日本の場合アメリカからの流入が最も多く年間三三三億㎥、その他にもカナダや南米、オーストラリアから水が入ってきています。総輸入量は年間四九三億㎥です。国内での年間農業用水使用量が五九〇億㎥ですから、その多さがおわかりいただけると思います。

同様の計算を畜産物についても行い水消費原単位を出しました。飼育に必要な飼料用穀物を作るために使われた水資源量も算定します。すると小麦は約三千倍でしたが、鶏は四千倍、豚は約六千倍、牛肉の場合には二万倍もの水を必要とすることがわかりました。

牛は豚や鶏に比べて、食べてもあまり太らず、しかも出荷までに時間を要し、非常に効率が悪い産物であると言えます。飼料用穀物の観点からも非常に不経済であり、人々が牛を食べるようになると、それだけ多くの飼料穀物が必要になります。これを穀物の間接消費と言いますが、経済レベルが上がると牛を食べるようになるために間接消費量も増加します。

畜産物の場合も輸入量から間接水の量を計算すると、年間総輸入量は二四一億㎥です。最も多いのは農産物と同様にアメリカからの輸入で九一億㎥です。中国からも一〇億㎥入ってきます。

工業製品については、工業統計をもとに、出荷額一億円に対してどのくらいの水を使うかを算出し、輸出入に関する間接水のフローを考えます。国内での年間工業用水使用量は一二〇億㎥です。輸出では一六億㎥、輸入では一〇億㎥の水が移動し、輸出超過となっています。

以上から日本の間接水総輸入量をまとめると図3のようになります。品目別シェアではとうもろこし、牛肉、小麦、大豆の順になっています。総輸入量は約七四〇億㎥で、国内の年間水資源使用量が約九百億㎥ですので、国内使用量とほぼ同量の水資源を、輸入によって海外に頼っていることが判明しました。当初、この値は少々過大だと感じていましたが、日本の食糧自給率は約四〇%ですので、残りの六〇%が間接水により作られていると考えれば、無理のない値ではないかと思います。

結局、日本人が一人当たり一年間に使っている水の量を間接水も含めて考えてみると、農業用水については、国内が五〇〇㎥、海外からの間接水が六〇〇㎥となり、飲み水、家庭用水、工業用水をあわせると、実に一三〇〇㎥にもなります。つまり、日本の水資源問題を考えるときには、日本国内の水だけではなく、世界の水資源にも目を向ける必要があるのです。

そして、日本は水資源の他に、輸入品を作るために必要な土地も海外に依存していることになります。アメリカ、オーストラリア、中国、南米、カナダなど合計で一六九三万haで、国内農地面積の約四倍、国土の約半分に相当します。食用穀物だけでなく、飼料用穀物も含まれています。

つまり日本は、水、土地、そして人的資源を海外にかなり部分依存していると考えなければなりません。

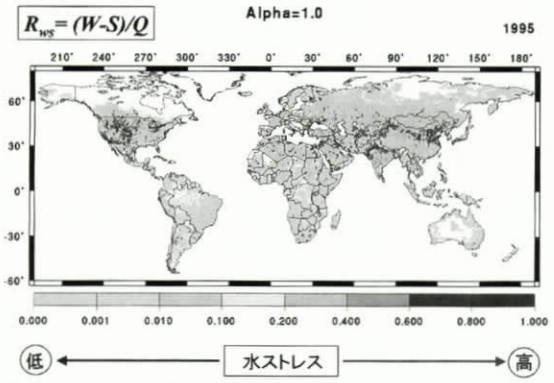
グローバルな水資源問題とアセスメント

現在、世界人口の五分の一に相当する約十二億人に、安全な水へのアクセスがなく、毎年三百～四百万人が水に関連した病気で死亡していることが、グローバルな水資源の問題としてあります。

世界の水資源取水量は、一九九五年の三八〇〇㎦から二〇二五年には四三〇〇～五二〇〇㎦に増大すると予想されています。人口増加や生活様式の変化（生活レベルの向上）などが水需要の増加をもたらし、過大な取水が生態系にダメージを与えているのではないかと言われています。

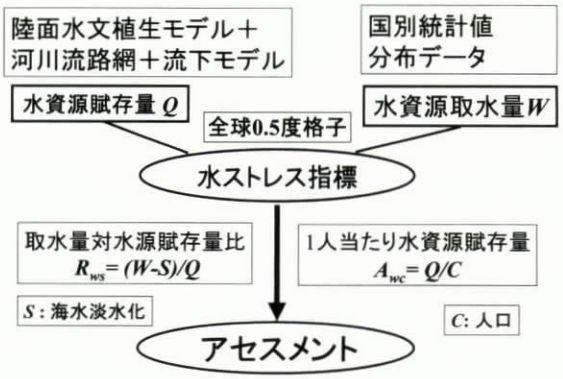
温暖化による水循環の変化や激化、都市化の進展による洪水・渇水被害の深刻化なども懸念されています。こう

図5　水ストレス指標（年利用量／潜在的年利用可能量）



(http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/#materials)

図4　水資源アセスメントの流れ



した問題は国際的な紛争の引き金にもなり得るとの指摘もあります。

人口増大により生じる水危機は、実は先進国にはほとんど関係がありません。日本の場合、輸出企業が外貨を稼ぎ、食糧を海外から買える間は、水資源問題には直面しないと思います。これはやはり途上国の問題です。

日本の地方中核都市でも都市化は進んでいますが、全体としてはすでに起こっている問題以上の問題は起こらないでしょう。一方、アジアや南米では、現在急速に都市化が進んでおり、過去二〇～三〇年の間に日本で起きた都市化による水害などの被害が生じるのではないかと懸念されます。

念頭に置くべきことは、温暖化によって水循環が変化することです。この影響が、先進国途上国を問わずどのように影響を及ぼすことになるかについては不明で、研究成果への期待が高まっています。

水資源の問題を考えるためにはアセスメントが必要です。世界レベルでは、「水資源賦存量」について地球物理的なモデルを用い、「水資源取水量」については国別統計値の分布データを使って、数値を格子点に落とし込み、「水ストレス指標」を出し、これをもとにアセスメントを行います（図4）。

●水資源賦存量（Q）

物理的なモデルは、陸面の土の中、陸面に生えている木の根からの水分の吸い上げなどから数値モデルを作ります（陸面水文植生モデル）。これは、もともと天気予報や気候温暖化に関する陸面状態のシミュレートのために作られたモデルです。下向きの放射量や降水量、地表面の気象要素、湿度や気温、物理量、植生に関するデータをこのモデルに与えると、蒸発散量、流出量、および土壌水分量、CO2吸収量が算定できます。

この方法で年間流出量を出してみると、東南アジアのバングラディシュ周辺や熱帯の赤道付近の流出量が多くなっています。現在これを河川流量に換算することに取り組んでいます。

地球を〇・五度の格子状（グリッド）にして、各グリッドの年間流出量を計算し、地理情報を入れて、河川流量に計算していきます。日単位でシミュレーションすることが可能で、たとえば、春に融雪が起き、だんだんその水が北に進んでいく様子なども計算できます。降雨量や太陽からの放射量などの観測データの信頼性が高いところでは、精度が非常に高くなっています。

大阪の枚方で淀川について流量を算定した結果をみると、観測データと、モデルを用いた推定月流量はとてもよく符合します。モデルを出したのは、アメリカ等にある世界各国の気象センターで、淀川や枚方という場所についての知識はありません。知らない場所のシミュレーションをして、これほど合致するというのは驚異です。

普通シミュレーションは、対象をよく知り、それにフィットしたパラメーターを選び、モデルを作っていきます。陸面水生植生モデルはグローバルに使える植生量や土壌パラメーターなどを使ってシミュレートしているのですが、特定の部分だけを引き抜いてきて、実際のデータとの照合をすると非常によく合っています。このモデルを使って、水資源賦存量（Q）のデータが得られます。

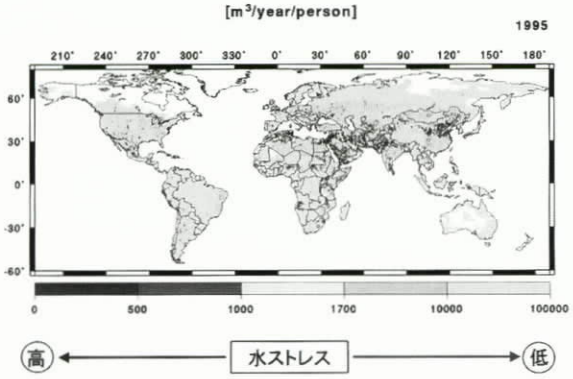
●水資源取水量（W）

次に水資源取水量（W）を出します。

都市用水・工業用水については国別の人口当たりの原単位を、農業用水については国別の灌漑面積当たりの原単位を算出し、各グリッドがどの国に属するかについて、人口の分布、灌漑面積の情報を加えます。これらから都市用水・工業用水、農業用水のグローバルな取水量分布が得られ、生活用水、工業用水、農業用ごとに分布を作ってたしあわせ、国別統計値とグローバルGISによる年水資源総利用量の分布を出します。

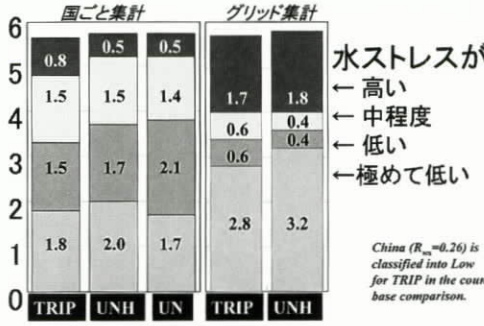
日本、中国、インドのチベットの南端からパキスタン国境、東欧を含めたヨーロッパ、アメリカ東海岸などでは非常に多くの取水量があります。南アメリカは人口密度も低いために取水量

図7　一人当たり潜在的年使用可能水量（m³／年・人）



(http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/#materials)

図6　水ストレス指標ごとの世界人口（単位：10億人）



TRIP: 東京大学生産研の算定値　　UN: 国連の推計値
UNH: ニューハンプシャー大学の算定値 (*Science*, 2000)

も少なくなっています。

●水ストレス指標1（利用可能量と実際の利用量の比）

水資源賦存量（Q）と水資源取水量（W）のデータを用いて、「水ストレス指標」を作成します。

この指標は二種類あります。まず一つめは、「取水量対水資源賦存量比（利用可能量と実際の利用量の比）」です（図5）。ここでは海水を淡水化して作った分は除いています。取水量の一〇％ほどを占める国もありますが、グローバルにみるとわずかです。

この指標が〇・一以下の場合、利用可能分のうち実際利用している量が非常に少なく、水量の変動から受ける影響が少ないということで、水ストレスが低いと言えます。逆にこの比率が高い場合は水ストレスが高いと言えます。

この分布をみると、中国の北部では黄河流域だけではなく、北京や華北平原でストレスが非常に高くなっています。また、インド北部からパキスタン国境の周辺、カスピ海沿岸、アメリカの西部も高くなっています。

我々の推定値に関する信頼性を確認するために、ニューハンプシャー大学と国連が出した算定値との比較を行いました（図6）。世界人口を、水ストレスが「高い・中程度・低い・極めて低い」の四分類して集計しています。国連、ニューハンプシャー大学、我々の結果はほぼ同じになっています。

またニューハンプシャー大の結果は、『サイエンス』に掲載されました。そこでは、国ごとの集計に加えて、グリッドごとの集計を行い、両者を比較しています。この結果では、水ストレスの高い人口が五億から十八億に増加します。国ごとの集計では国内でのストレスの高低差が平均化され、高いところが埋もれてしまうからです。つまり、国ごとにアセスメントを行うのではなく、グリッドごとに細かくアセスメントすべきだという主張でした。

ただし、いろいろと問題もあります。たとえば、自然の河川流量と現実の水資源賦存量は、実際には異なります。つまり、上流からの水はすべて使えるわけではなく、上流で取水したり、水質が悪化したりします。水資源は、必要な時に必要な場所に、必要な質で存在しないと使えない、ということを考慮しなければなりません。

また、取水のための社会資本整備が未整備では水資源を使うことができないという現実もあります。「自然」と「現実」は違うわけです。

自然科学はこれまで「自然」を対象にしており、人間活動は「自然」とは少々違うので別に考えていました。ところが地球環境問題は、人間が及ぼす影響を含めて対象とするため、どうしても人間活動も扱わなければなりません。

●水ストレス指標2（一人当たり潜在的年使用可能水量）

もう一つの水ストレス指標は、一人当たりの年間の河川流量がどのくらいあるかという値です。これは多い方がストレスは低く、少ない方がストレスは高いということになります（図7）。

これをみるとやはり中国北部、インド、パキスタン国境、そしてアフリカのアルジェリアの北部のストレスが高くなっています。

また先ほどの指標と比べると、中近東のストレスが高く、アメリカは逆に低くなっています。グローバルにみると二つの指標の分布はかなり似ています。

さらに、一人当たりの年間の使用水量をみると、インド、パキスタンの一部も多いのですが、何よりもアメリカの中西部が非常に多くなっています。これはまさに、他人が消費するもの、特に食物を作って輸出している地域だからだと考えられます。

地球環境学の社会貢献とは
信頼できる水循環情報の提供

水需要の将来推計にあたっては、人口増加や経済成長による水需要の変化と、気候変動による水供給量の変化の両方を考慮します。推定の仮定は表2に示すとおりです。

一九六〇年頃からの農地面積、人口、

灌漑面積の変化をみると、農地面積はほとんど増えておらず、人口の伸びに従って灌漑面積が増えています。食糧の増産は、農地面積ではなく灌漑面積の増大による単位面積当たりの収量の増加によって賄われてきたと言えます。したがって、推定では灌漑用水の増加は人口増加に比例していると仮定していますが、もう少し人文社会的なことを考慮する必要があると思います。

温暖化に伴って年河川流量がどう増減するかを予測してみると、中国では南部の長江から珠江の付近で減少気味です。幸いにして黄河の下流域は増加、インド・モンスーンの地域については、基本的に温暖化すると陸は海より暖まるためモンスーンの循環が激しくなり、雨量が増加します。ヨーロッパは全体的に減るという結果が出ています。

社会変化と温暖化に伴う水需給変化を予測するために、一九九五年と二〇五〇年の水ストレス指標を比較してみると、二〇五〇年の方がストレスの高い地域が多くなっています。いま問題がある地域でそれが深刻化することが予想されます。

二〇五〇年における水ストレス指標ごとの世界人口をみる（図8）と、人口増加だけを考慮した場合に水ストレスの高い人口は二十六億、人口増加と気候変動を考えると二十四億と少し減ります。温暖化すると、降水量が全体としては増えると予想され、水ストレスが高いところは若干減り、低いところが増えるためです。つまり、温暖化が起こった方が世界水危機は救われるという解釈になります。さらに、人口増加と気候変動に水消費の原単位の増加を考慮すると、水ストレスの高い人口は二十五億へと少しまた戻されてしまいます。

温暖化の影響については、さまざまな推定があり、使用する温暖化モデルが異なると、逆に水ストレスの高い人口が増えるという結果もあります。

世界の水危機に対して地球環境学が貢献すべきことは、まずは信頼のおける水循環情報の提供だと思います。

現在と過去のグローバルな水循環のモニタリング情報、集中豪雨のような激しい大気に関する準実時間予測の情報、エルニーニョ、ラニーニャなどに伴う気候の自然変動予測情報、温暖化など気候変化時における水循環予測情報などを提供していく必要があります。

また、今後は間接水の輸出入や間接消費の実態把握をもとに、水資源安全保障の枠組みの提示も求められます。そのためには自然科学だけでなく、政治学や経済学の分野の方々とも一緒に研究する必要があると考えています。

人間と自然の間には相互作用があるため、地球研では、人間系・自然系の水循環情報ライブラリとフィードバックを考慮した数値モデルから成る「世界の水政策決定支援ツール」を作る取り組みも進めています。

世界的には、贅沢に利用する人や水不足に苦しんでいる人がいて一様ではありませんが、三八〇〇㎥の水で六十億の人間が生きています。そして、将来の資源への投資を考慮すれば、八〇〇〇㎥までは使え、大雑把にみて百二十億人までが生きていくことができると思われます。しかし、今後は人間が使う水だけではなく、生態系への影響も検討課題であると思います。

文明の発祥地と水ストレスの関係

今井　人口増加は水ストレスに影響する非常に大きな要因というご指摘ですが、国連の推計ではアジアの人口比率は今と二〇五〇年ではほぼ同じです。

しかし、水ストレスでみると、地域的にかなり偏った状態になっていますね。人口が非常に多いはずのインドネシアやインドシナなどで問題が起きてこないのは、食糧供給にまだ余裕があるためですか。それとも、食生活の違いなど、ほかの要因があるのでしょうか。あるいは人口の集中度が関係しているということでしょうか。

沖　インドネシアのストレス値が高くならないのは、単位カロリー当たりに必要な土地面積が少ないためです。

また、水資源も非常に豊富で、年間三〇〇〇～四〇〇〇㎜の降雨量のうち、蒸発量は約一〇〇〇㎜で、結果として

図8　2050年における水ストレス指標ごとの世界人口

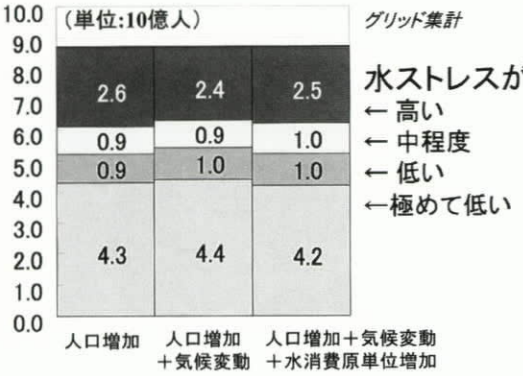


表2　水需要推定の仮定

- 人口増加は国連の中位推計を使用
- 工業用水（補給量）はＧＤＰに比例して増加し、回収技術の発展に従って減少する
- 家庭用水の水利用原単位は、経済的・社会的発展に従って増加する
- 灌漑用水の増加は人口増加に比例する
- 東京大学気候センターと国立環境研究所の気候モデルによる高解像度将来予測の結果から、河川流出量変化を取り出して利用する（＊現状の欠点）

使える面積当たりの水資源量は日本の倍以上です。山がちな地形なので何らかの投資は必要ですが、水に困って食糧が取れなくなる不安はないのだと思います。

灌漑率が七〇％ぐらいだと記憶していますが、まだ余裕がありますし、ストレス値も低くなっています。

今井　中国の東北部から中央アジアにかけて水のストレスが非常に高くなっていますが、それは雨が降らないということが最大の理由なのですか。

沖　これは考え方の一つで批判を浴びても仕方ないと思っているのですが、ストレス値は年利用量を現状で取水し使える量で割って算出しています。地下水を汲み上げたり、大規模なダムを使って、何らかのかたちで水を使えているから問題がないという見方もできます。

インダス川辺りが典型的ですが、下流の流量と上流の流量を比べると、下流の方がはるかにストレスが高くなっています。つまり上流からの水を分けて全部農地に入れて使ってしまっているのです。しかしある意味では、それだけ使う施設を二千年、三千年の歴史の中で作ってきたので、これはストレスではないかもしれません。

一方、変動ということを考えますと、使える量のうち使っている分が多いということは、少し変動があるとすぐに足りなくなるということですので、そういう意味ではストレスが高いと言えると思います。

今井　トルコからイラク、シリアにかけては割合ストレスが高くなっていますが、これはチグリス・ユーフラテスの流域ですね。ここはアタテュルクダムで大きな問題になったように、水量としてはかなり流れている地域です。

沖　世界の四大文明は大河のほとりに生まれると言いますが、なぜアマゾン川とかミシシッピー川に文明がなかったのかと思うわけです。

四大文明があったと言われるエジプトのナイル、チグリス・ユーフラテス、インダス、黄河を比べると、どこも川には水があるのですが、その土地には雨が降らない場所です。雨が降らないということは、日射があって、水さえ与えれば小麦が取れるわけで、そういう地帯に文明が生じています。灌漑施設を使って農耕を定量的に行うことが、まさに文明だったのかなと思います。

水節約のために何をすべきか

武部　とりあえず今、日本の市民としては何をすればよいのでしょうか。新聞の社説などで「水の日」にちなんで「水を節約しましょう」とか、「水を貯めるような施設を作りましょう」と書いているわけですが、これらはグローバルにみても有効なのでしょうか。

沖　「歯磨きをするときに蛇口を止めましょう」などというのは、もちろん実行した方がよいのですが、グローバルにみると量としては微々たるものです。

むしろ、今日お話ししたように、食べ物に多くの水が使われていますので、残飯を減らす努力はすべきではないでしょうか。お店やパーティでは必要な分だけを注文し、不足してしまったときには少し我慢するなどの心がけでだいぶ違うと思います。

世界的にみると、日本は世界の食糧を買っているため、買わなければダブつきが生じ、価格が下がり、貧しい国の人々も買えるようになります。その点では、日本人があまり贅沢しないことはいいことだと思います。

十市　水のストレスが高い地域が、アメリカ西部、中東、中国などであるというお話でしたが、問題はその内容ではないかと思います。生活に必要な水自体が不足するところと、無駄遣いをしていて不足するところでは、まったく意味が違います。

また、中東などではエネルギーを使い、海水を淡水化していますので、人口増加により水需要が増えれば、エネルギー問題にも関係します。

さらに、食糧生産に飲み水の千倍の水が使われているのならば、それは食糧問題に帰着するでしょう。たとえば牛肉の消費が増えると、それを賄うための水消費原単位は急増します。食文

化とも関係します。

沖　宗教上の理由で牛を食べない国もありますが、水資源という視点からみれば、賢明だと改めて思うわけです。私が幼い頃は牛肉は非常に贅沢品で、水不足により飼料用穀物が不足すると、国際価格が上がり牛肉の値段が上がりました。そのように価格が需要抑制するメカニズムが、再びはたらくのではないかと思います。（笑）

武部　同じタンパク資源でも魚を食べないところが多くあります。アフリカは、周りに海がありますが、衛生上の問題もあってか、食べません。その問題をクリアすれば、海の魚資源に乗り換えられるのではないかと思います。

沖　魚もそうですし、大豆をそのまま食べると効率が何倍にもなります。ですから将来牛肉が食べられなくなって寂しいことはあっても、人口が百億、二百億までは、飢えて栄養が不足することはないと、楽観的にとらえることもできます。

藤目　地域によっては、水が仮想、すなわち製品になった分が、実際の水の需給とかなり違っているわけですが、水そのものの移動は難しいのですか。

沖　よほど水に価値があるところでなければ、もともとの価格が安いために移動していきません。日本の水は一トン二百円ですが、アメリカでは数十セント、フィリピンでは八円か十円くらいです。

政治問題化する水資源

永野　日本では、人口増加と生活レベルの向上により水利用が増大し、海外の水資源にも依存する状況にあるというお話でした。

たとえば、現在十四億人の中国の生活レベルが上がっていくと、どんな問題が出てくるでしょうか。

また生活レベルの向上と人口増加では、どちらの方が水利用量に大きな影響を与えるのでしょうか。場合によっては温暖化問題よりも大きな問題になるような気がします。

沖　水問題だけを考えますと、日本では人口が増えませんので、温暖化研究に真剣に取り組む必要があると思います。しかし、中国やインドではご指摘のとおり、人口増加と生活レベルの向上の方が問題です。

人口増加と生活レベルの向上のどちらが大きな影響を与えるかについては、国によって異なります。中国では、私の知っている範囲ではかなり一人っ子政策がうまくいっていますので、生活レベルの向上の方がより大きな問題だという気がします。

もちろん、皆が贅沢をするようになっていけば、人口増加はやはり深刻な問題となるでしょう。

水をめぐって紛争が起こるという言い方がされていますが、これは九五年頃、当時の世銀副総裁のセラゲルディン氏が言った言葉で、彼は世銀の水担当者です。世銀は基本的に投資主体で、貧しい国に援助しつつ投資をします。投資分野には教育、保険、道路、水資源などいろいろあるわけですが、所掌範囲を増やすために水を問題にしたと言われています。結果としては、「世界水フォーラム」ができ、第三回は二〇〇三年に日本で開催されます。

ただ、オレゴン大学で、新聞データベースから過去に起きた水に関する紛争事例を収集・分析した報告では、二十世紀に入ってから水が原因で宣戦布告をして戦争になった例は一件もありません。

時系列にみると、確かに紛争の件数は増えていますが、それが最終的には緊張ではなく、協定の締結など、圧倒的に緩和策がとられる場合が多く、世界は紛争ではなく協調関係に向かっていると考えられます。

川又　エネルギーや食糧の問題は、これまでも政治問題、あるいは援助の問題として具体的に出てきていますが、たとえば水のために難民が出てくるなど、今後の水の政治問題化について危惧されていますか。

沖　いま実際に、水を政治問題化しようとする動きを感じています。地球温暖化問題が政治問題化したのは、冷戦構造の崩壊によるという見方がありますが、同様に地球温暖化については京都議定書もできて徐々にそれをどう実現するかというレベルになってきました。水に関する援助や、水に関する覇権主義のようなもので、たとえばどこの水に関する問題はどの国が関わるのかについて、国家間の争いが存在すると感じます。ヨハネスブルグ・サミットでも、水に関するアジェンダが入れられるでしょう。

本当に問題が起こっているのはやはり貧しい国で、食糧問題と非常に密接に結びついています。ですから、ある意味ではそれを別のかたちで言い換えているだけという気もします。

温暖化影響解明への模索

竹下　二十世紀に全体として〇・六度ぐらい温度が上昇しました。降雨量については、地域的には減るところと増えるところの両方があるとしても、全体として増えていると考えてよいのでしょうか。

沖　降雨量は地域によってまったく違い、グローバルにみた場合の結果もわかっていません。その理由は、海上についての過去のデータがないからです。IPCCレポートにも二十世紀におけるグローバルな降雨量の変化が掲載されていますが、全体としての増減は明確になっていません。

武部　降雨量の変化と温暖化の因果関係は、はっきりしないのですね。

沖　はい。しかし観測結果ではなく、モデル計算上では温度が上昇するとグローバルにみた雨も増えるとされています。

内山　森林伐採がずいぶん進みましたが、その結果、生態系が変わり、砂漠化が進み、気象条件が大きく変わって、降雨量の減少が激しくなることはありませんか。

沖　今のところ数値実験はかなり行われています。たとえばアマゾンで森林が減少したら雨が減るとか、サハラ砂漠で雨が減少したのは森林が減ったからだという結果はたくさんあります。

我々のグループでも、インドシナの森林伐採が進んだことで、八月のモンスーンでは変わらないのですが、九月の雨量が減っていることを発見しました。年間雨量でみるとほとんどわからないくらいの量です。これはローカルな条件が効いているのではないかと思われます。

しかし、木を切ったから雨が減ると一般論で言うのは、やはりまだ早い気がします。場所によってはそう思われる例があることは事実です。

伊東　温暖化に伴って、揚子江流域の降雨量が相当減少するかもしれないとの予測が出されたりしていますが、このあたりで深刻な干ばつ現象が起きたりすると、世界の食糧事情に重大な影響を及ぼす恐れがありますね。

沖　長江の九八年の洪水の直後に二回ほど現地に行きました。洪水で確か被害を受けたのですが、地域によっては、水が豊富にあったので穀物としては例年より収穫できたと言います。まさに中国の穀倉地帯です。ご指摘のとおり、そこで水が不足するとかなり深刻な問題になります。

竹下　温暖化で降水量が増えれば、たとえば植生がプラスになるなどの効果が出る可能性もあるのですね。

沖　いま温度障害があって育たない地域で植物が育つようになる可能性もあり得ます。しかしその変化が急速すぎて追いつけないのではないかということが、おそらく温暖化の一番の問題だと思います。

内山　水の供給については、間接水という考え方を導入して、従来とは異なる、非常に興味深い結果を出されましたが、従来と今回の結果に関する最終的な評価が気になります。

沖　気象研と電力中央研究所、環境研が一緒にプロジェクトを進めていて、そこではグローバルなモデルで、東南アジア付近、日本からインドシナ半島、モンゴル付近まで含めた領域について、もう少し高解像度で温暖化予測実験をしています。地上の水利用についても高解像度で推測し、将来の動向についてもアセスメントしようとしています。

我々の研究は、ＩＰＣＣの第四次レポートを目標に進めています。国際的な場での科学的レビューを経て、結果の異なるものについては、何が違うかを整理し、両論併記のようなかたちがとられると思います。

ＩＰＣＣの第三次レポートでも、東アジアのあたりはモデルによる差が大きく、あるモデルでは夏の降雨量が増え、あるモデルは減るという具合です。高解像度になればモデルによるばらつきも少なくなり、予測結果は似てくるでしょう。

ＩＰＣＣのように、研究グループがそれぞれの結果を持ち寄り、あるものに対して皆が同様の見解を持っていれば、それは確からしく、逆にばらばらであれば、まだわからないというふうになっていくのだと思います。

水に関するＩＰＣＣのようなものが近い将来できて、そこに日本からも何か情報発信していくことを目指しています。

（二〇〇二年六月十九日）

第8回　木田宏　部会

大学評価をめぐって

――評価を受ける側から考える

講師

牟田博光（東京工業大学教育工学開発センター長）

出席者

木田　宏（東亜大学学園顧問）

天野郁夫（国立学校財務センター研究部長）

木村治美（共立女子大学教授／エッセイスト）

田村哲夫（学校法人渋谷教育学園理事長）

山岸駿介（多摩大学客員教授）

清水　潔（文部科学省大臣官房高等教育局担当審議官）

永野芳宣（㈱政策科学研究所所長）

大学評価とは

牟田　大学評価をめぐって、さまざまな議論がありますが、今回は「評価を受ける側からどう考えるか」という視点でお話をしたいと思います。私自身、二〇〇二年四月から東京工業大学の評議員となり、学内の評価に関する委員会にもかかわっていますので、具体的なお話をしたいと思います。

「大学評価」とは何か――。文部科学省は、「大学の教育研究水準の維持向上を図り、その目的および社会的使命を達成するために、大学における教育研究会活動等の状況について評価を行うことである」と説明しています。その目的は、大学の自己改善支援や一定水準の確保、資源配分など多様ですが、評価の主体別にみると、各大学がその理念・目標に照らして自ら活動状況を点検・評価する「自己点検・評価」、大学によって選任された当該大学以外の評価実施者が評価する「外部評価」、当該大学から独立した第三者が専門的客観的立場から評価する「第三者評価」に分類されています。

「自己点検・評価」は、平成三年の大学設置基準の大綱化で「努力義務」として定められ、平成十一年の大学設置基準の改正では「実施義務」となり、結果の公表も義務づけられました。自己点検・評価の結果は、国立大学法人化に向けた、中期目標・中期計画策定の基礎資料としても用いられることとなっています。

さらにこの時の改正では、外部評価の努力義務も付されています。自己点検・評価だけではなく外部評価もしたほうが客観的でよいというのは確かであり、大学以外の方にお願いして評価してもらうわけですが、大学側の作業は膨大なものになります。まず最初に自己点検・自己評価報告書を作成し、それを外部評価者に見ていただいてコメントをつけていただく。このコメントを付したものを外部評価報告書にするというのが、一般的なやり方です。外部評価者を誰に委嘱するかも重要です。

第三者機関「大学評価・学位授与機構」の設立

外部評価委員の選定については、その信頼性、妥当性をめぐって課題があります。より客観的な評価の必要性から、大学と利害関係の全くない人が評価をすべきという考え方から、平成十二年に、「大学評価・学位授与機構」（以下機構）が創設されました。機構が実施する主な大学評価事業は、大学の教育研究活動の評価の実施と、その結果の提供・公表です。

▲牟田博光 氏

表1　大学評価・学位授与機構による大学評価

	平成12年	平成13年	平成14年
全学テーマ	教養教育・教育サービス面での社会貢献	教養教育継続分、研究と社会の連携・協力	国際的な連携・交流活動
分野別	理工系6校、医学系6校 2002.3に結果を公表	法学系・教育学系、工学系、各6校 報告書を作成中	人文学系、経済学系、農学系、総合科学・特定評価 評価に着手
教養	自己点検評価『実状調査報告書』を公表	目的・目標に沿った取組や工夫・改善システムの評価を実施	

出典：http://www.niad.ac.jp/hyouka/index.htm

評価は、①教養教育や産学連携など全学的な課題についての『全学テーマ別評価』、②学部等の教育活動についての『分野別教育評価』、③学部等の研究活動についての『分野別研究評価』の三つの区分で行われます。

機構はまず評価内容・方法、評価対象となる大学や専門分野を決めます。評価対象となった大学は機構から指示された内容について自己評価を行い、機構に報告書を提出します。

機構は提出された報告書に加え、ヒアリングや訪問調査などによって情報を収集し評価を行います。

結果は、評価項目ごとの評価と総合的評価について記述によって示され、大学側の意義申し立ての機会を設け、最終結果は大学に通知するとともに公表されます。

分野別評価では、各大学が設定した目標の達成状況や改善内容を、目標に対する「貢献」「達成」「改善」の各ポイントについて四段階（「十分に貢献している」（四点）、「おおむね貢献しているが、改善の余地もある」（三点）、「ある程度貢献しているが、改善の必要がある」（二点）、「貢献しておらず、大幅な改善の必要がある」（一点））で評価しています。

初年度（平成十二年度）は、『全学テーマ』として、すべての国立大学・大学共同利用機関の「教養教育」と「教育サービス面での社会貢献」、『分野別』としては理学系六校、医学系六校の二グループの評価を行い、二〇〇二年三月に結果を公表しています。また、教養教育については、自己点検・評価をした「実状調査報告書」を公表しています。

次年度（平成十三年度）は、『全学テーマ』として、「教養教育の継続分」と「研究と社会の連携・協力」、『分野別』は、法学系、教育学系、工学系、各六校の三グループの評価を開始し、評価報告書を作成しているところです。教養教育については、目的・目標に沿って、取り組みや工夫・改善のシステムについて評価を実施しています。

今年度（平成十四年度）は、『全学テーマ』として「国際的な連携・交流活動」、『分野別』では人文学系、経済学系、農学系、総合科学・特定領域で評価に着手しています。

初年度の「教育サービス面の社会貢献」については、すでに評価が公表されていますが、全機関が「十分」あるいは「おおむね」に該当し、社会貢献はしているという評価になっています。〈目的及び目標の達成状況〉も九六%が「十分」か「おおむね」という評価です。しかし〈改善のためのシステム〉については六二%という結果で、達成状況はよいけれど、何か悪い点があったときに改善できるような仕組みがあまりないというのが、評価結果でした。

しかし、この解釈をめぐっては、大学側から評価基準の曖昧さや判断の不明確さ等の問題があることが指摘され、反発も出ています。大学名を明記して評価報告書が公表されていますが、結果について疑問符がつくところも少なからずあります。大学ごとにすべての項目の評価結果が示され、それに対する大学側からの反論、反論に対する機構の対応も、原文のままネットワーク上で見ることができます。従来ならば、役所の中でやりとりされていた途中経過が、大学評価については、すべて公開されているという点が非常に画期的です。（http://www.niad.ac.jp/）

本当に客観的評価なのか

数年間の評価作業を経て出てきた問題点を踏まえて、平成十三年度着手分から、いくつかの変更点が示されています。

一つは「目的と目標の明確化」です。いろいろな大学の報告を見てみると、目的と目標がごちゃ混ぜになっていてわかりにくいところがあります。そこで、目的とは大学の全体的な意図を指し、目標とは目的で示した意図を実現するために設定された（客観的確認が可能な）具体的な課題であるということが示されました。

表2　国立大学の教養課程における教養教育の内容
（選択肢として用意した32要素ごとの状況）

（単位：校）

要素＼項目	特に組み込んでいない	組み込む方向で検討中である	組み込んでいる	組み込んでおり、特に重点を置いている
1.高い倫理性を持って判断し行動できる能力の育成	2	5	64	23
2.高い責任感を持って判断し行動できる能力の育成	2	10	56	26
3.自らの文化に対する理解の促進	1	1	69	23
4.世界の多様な文化に対する理解の促進		2	54	38
5.外国語によるコミュニケーション能力の育成			29	65
6.外国語の習得を通じた外国文化の理解			48	46
7.2つ以上の外国語の習得	1		66	27
8.倫理的な文章を書く能力の育成	2	10	54	28
9.プレゼンテーション能力の育成	1	13	44	36
10.討論能力の育成	3	11	57	23
11.課題発見能力の育成	1	10	49	34
12.情報リテラシーの向上			27	67
13.科学リテラシーの向上	2	6	70	16
14.数理リテラシーの向上	2	8	67	17
15.人文学各専門の基礎的な知識及び方法の習得		2	69	23
16.社会科学各専門の基礎的な知識及び方法の習得		2	68	24
17.自然科学各専門の基礎的な知識及び方法の習得	1	1	57	35
18.諸科学を超えた学際的な知識の習得	1	3	51	39
19.芸術鑑賞能力の育成	9	6	67	12
20.芸術的な表現能力の育成	20	17	52	5
21.身体運動能力の向上	2	1	52	39
22.健康な生活を営む能力の向上	1		56	37
23.環境問題に対する理解の促進	2		55	37
24.国際問題に対する理解の促進	3	2	68	21
25.ジェンダー問題に関する理解の促進	5	13	63	13
26.社会問題に関する理解の促進	1	1	65	27
27.職業観の育成	10	19	50	15
28.人間関係能力の向上	5	7	68	14
29.自己発見の援助	6	16	54	18
30.ボランティア意識の育成	12	37	37	8
31.大学における学習への適応能力の育成	3	8	52	31
32.高等学校程度の内容の補習教育の実施	22	18	50	5

※各要素について複数を回答している1大学については、上記集計に加えていない。また、要素32で一部と二部で異なる回答をしている1大学については、両回答を計上した。

出典：国立大学における教養教育の取組の現状－実情調査報告書，大学評価・学位授与機構，2001

つまり、目標については三年後五年後に実現したかどうか確認ができるようなかたちで記述する必要があります。どのくらい社会に役立つような授業をしているかを、例えば「司法試験の合格率を二五％にする」と書けば、わかりやすく客観的に確認可能となるというわけです。これは極端な例ですが、目標の達成が具体的に答えられるようなかたちで目標を設定しなければなりません。

それから、「評価項目に即して要素を示す」こととなり、「評価の観点および根拠となるデータ等の添付」が義務づけられました。さらに、評価水準が四段階から五段階になりました。

教養教育に関する平成十三年度の評価内容は、実施体制、教育課程の編成、教育方法、教育の効果です。実施体制については、実施組織、目的および目標の周知・公表、改善のための取り組みという三つの要素があげられています。とにかく非常に細かく指示が出されています。

ところが、この評価をめぐってはかなり混乱があります。表2は、教養課程における教養教育の内容について、三十二の要素が示され、その取り組み状況について各大学が評価した結果です。注の部分に、「各要素について複数回答をしている一大学については、上記集計に加えていない」という記述がありますが、実はこの一大学は東工大です。

ひとくちに教養教育といいますが、実際東工大の教養科目は三百科目ぐらいあります。その科目ごとに評価があるわけで、平均してどこか一つに○をつけることは非常に困難です。結局東工大では、教養科目を扱っている学内のいろいろな委員会にアンケートを取り、それを羅列して機構に戻しました。なかには三つも○がついていた要素もありました。

その後機構からは、集計ができないので何とかしてほしいと指摘されたのですが、できないと回答したところ、結局、注をつけての公表となりました。東工大ではこれを見て、複数回答が自分の大学だけだったと知り、非常に驚きました。しかし、考えてみれば、教養科目をトータルでみて、各要素に一つ○をつけるという判断は誰がするかという問題があります。回答した担当者が教養教育の全部を知っているわけではないのですから…。つまり、この結果は客観的に見えているようですが、元のデータの取り方が客観的ではないのです。そこで、客観的にデータをとることを考えました。

教養科目の客観的評価の試み

まず、約三百の教養科目を担当している先生方に、教育内容について用意された三十四の要素（機構の示した三十二要素に、その他の二要素を加えた）について「あなたの授業の現状はどうですか」とたずねました。回答が複数あってもよいが、その場合は割合を書いてもらうことにしました。その比率に科目の単位数を掛けて、要素ごとの数値を出しました。

授業では学生がちゃんと勉強しているかどうかが重要ですから、次に学生のテストの点数分布を取りました。例えば六十点の学生は六〇％の理解度、八十点の学生は八〇％の理解度という解釈です。それに先ほどの要素別単位

数を掛けると、大学として教養能力を何単位分出しているかという値が出ます。

さらに学生が取得した単位総数に、学生数、学生成績を掛けます。学生が百点を取れば、百パーセント単位を取ったことになります。同じ単位を取っても、百点を取った学生の単位と、六十点を取った学生の単位は、身につき方が違うだろうという考え方です。したがって図1は、東京工業大学の学生が何単位分の教養を身につけたかを示していることになります。言い換えれば、何単位分の教養を東京工業大学が供給しているかという見方ができるでしょう。

この結果は予想とは大きく異なりました。計算してみると、ほとんど自然科学系専門基礎であり、その次に多いのが外国語・コミュニケーション能力です。東工大の教養教育は専門課程に入る前の数学や物理を教えているだけではないか…。それが果たして教養教育と言えるのか…。この結果からいろいろ議論ができそうです。

もちろん、これは先生方の評価、意識として集めた結果ですから、さらに、学生に対して、「あの授業を聞いて何の能力が身についたと思うか」ということを聞いて、マッチングを取らなければいけないと思っています。しかし、それは大変な作業なので今のところはやっていません。機構から客観的な証拠を出すようにと言われたので、このような試みをしてみました。

この結果を科目群別に見ると、人文の基礎科目が重視している点、理工系で重視している点等、分布に特徴があり、どういう能力をつけるときにどういう授業科目で用意すべきかを考えるヒントが見えてきました。

さらに、先生方が五年後にどう変えようとしているかも聞きました。総単位数が変わらないという前提で、将来と現状の教養能力の差をとった結果が図2です。最も減るのは自然科学系の専門基礎で、その代わりに環境問題、問題解決、プレゼンテーション、倫理性についてもっと扱うように変えようという結果が出ました。このとおりにいけば、五年後の東工大での教養能力の姿が見えるということになります。

学生による授業の評価も行っていますが、教え方がうまいか下手かというだけではなく、総合的に見て授業に満足したかどうかを聞いています（図3）。東工大は六十点が〝可〟の最低ラインですから、それ以下は授業評価が不可ということになります。そのような授業が十八%あります。この不可のついた先生には招待状を出して、ファカルティ・ディベロップメントのクラスに入っていただくことをお願いすべきでしょう。

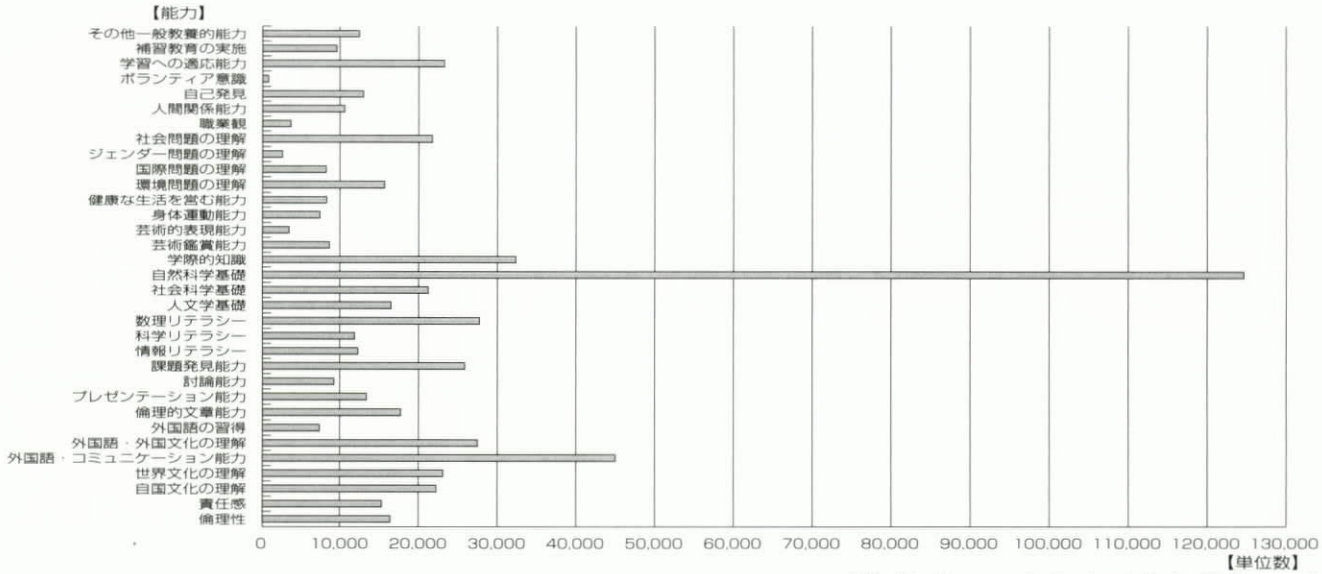
授業評価は役に立つか

現在では授業評価を行っている大学は珍しくありません。しかし、そのような授業評価を行うことによって、授業がどのように良くなったかという報告はほとんどないのが現実で、どこの大学でもやっているから、やるように指導があるから、というのが実状ではないでしょうか。授業評価はやりっ放しでは意味がありません。

東工大では各授業担当者には授業科目ごとの評価結果と授業科目群全体の評価結果を返却することによって、自分の授業と全体との相対比較を可能にしています。具体的な授業改善の指標は長期にわたるデータの蓄積がなければわかりませんから、今は何とも言えません。しかし、東工大では評価結果を個々の先生に返す際に、アンケートをとっています。その中に、『本評価結果をご覧になって、「今後の授業においてどのような工夫を検討されるか」お伺いいたします』というのがあります。図4はその結果を示しています。これを見れば、先生方は、評価結果を見て授業を改善しようと思っていることがわかります。

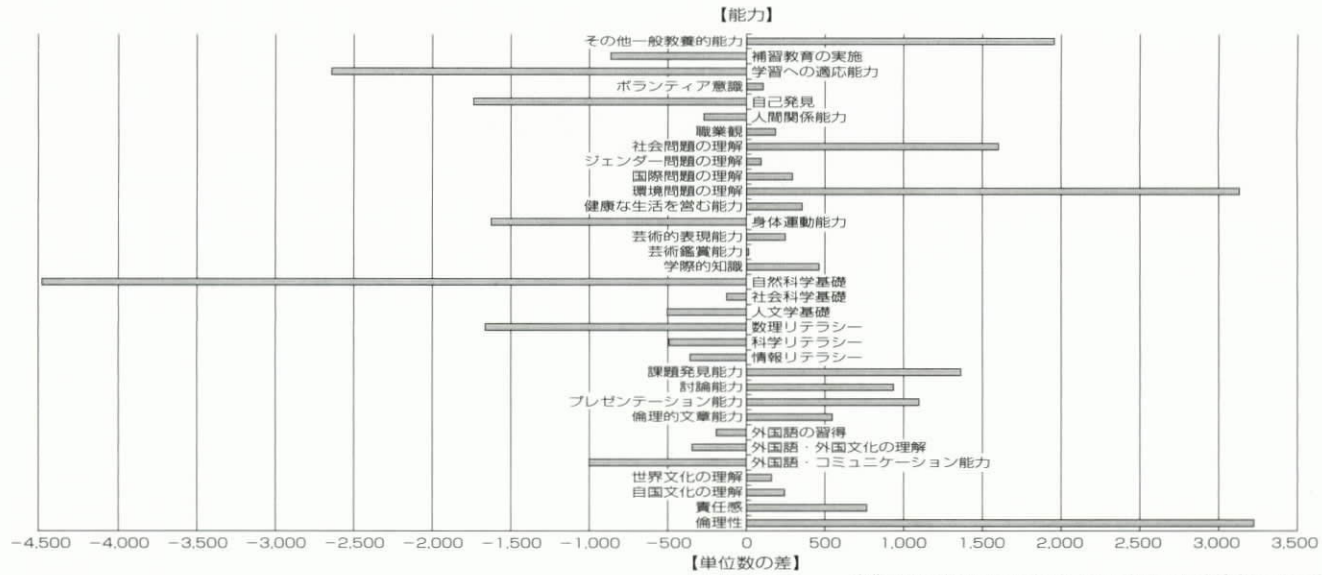
また、学生による授業評価結果と教官の今後の授業改善の工夫との相関係数を計算すると、評価項目にもよりま

図1　平成13年度に取得された各種教養能力の総量



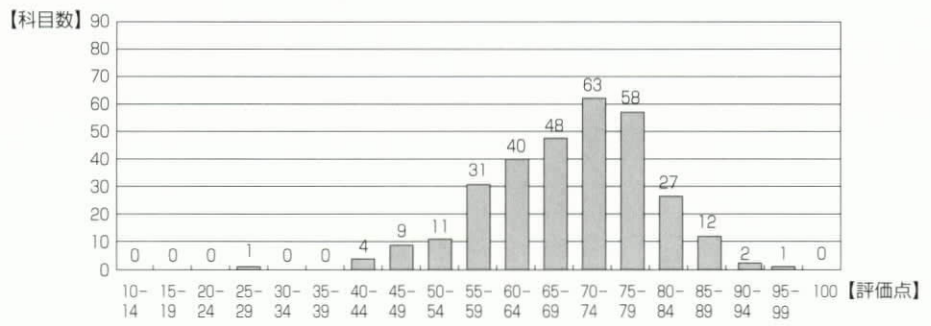
出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/H14kyoyo.pdf

図2　現状と将来の取得される教養能力の差（将来－現在）



出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/H14kyoyo.pdf

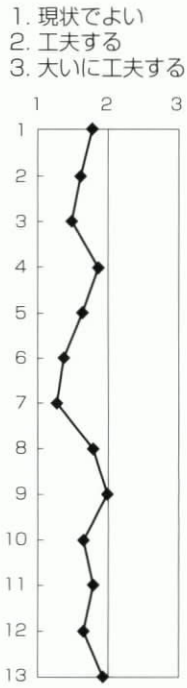
図3　授業への満足度



出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/zyugyohyoka2001b.pdf

図4　今後の工夫

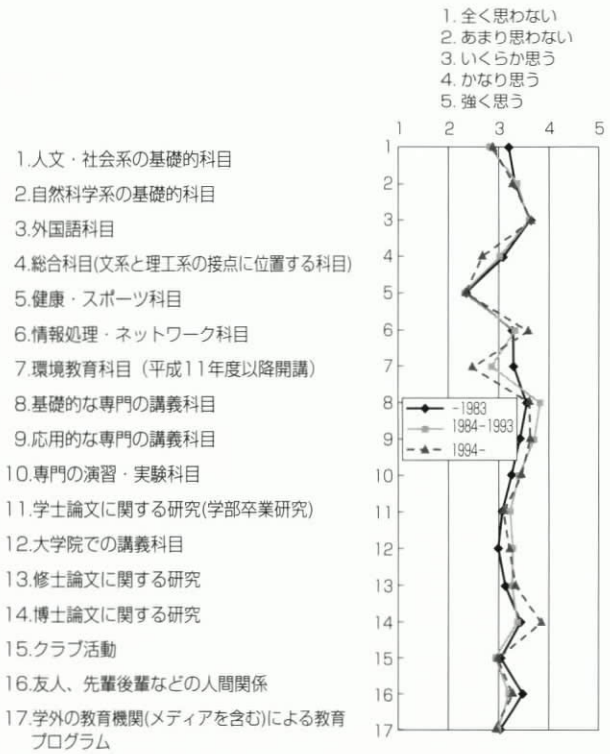
1.授業科目の目的、有用性、または学問的価値などについて説明する。
2.毎回の講義で、適切な要約、ポイントの指摘、前回講義との連続性や違いを講述する。
3.授業細目(シラバス)に沿った授業を行う。
4.教具(板書、OHP、情報機器など)の使い方を適切にする。
5.授業内容の学習理解を助ける教材(教科書、プリントなど)を適切なものにする。
6.声を聞き取りやすくする。
7.「授業への遅刻」・「補講授業のない休講」をなくするようにする。
8.学習意欲向上のため、教室の雰囲気作りに工夫をする。
9.授業内容に対する興味や学習意欲を高めるために様々な工夫をする。
10.学生参加型の授業を行う努力をする。
11.学生の学習理解状況を確認しながら授業を進める。
12.授業が掲げる修得目標のレベルを適切にする。
13.授業で取り扱う課題や題材へ関心を高める。



平均値	標準偏差
1.78	0.78
1.62	0.65
1.49	0.65
1.86	0.73
1.64	0.66
1.37	0.64
1.27	0.54
1.78	0.65
1.99	0.64
1.65	0.67
1.79	0.68
1.65	0.67
1.91	0.68

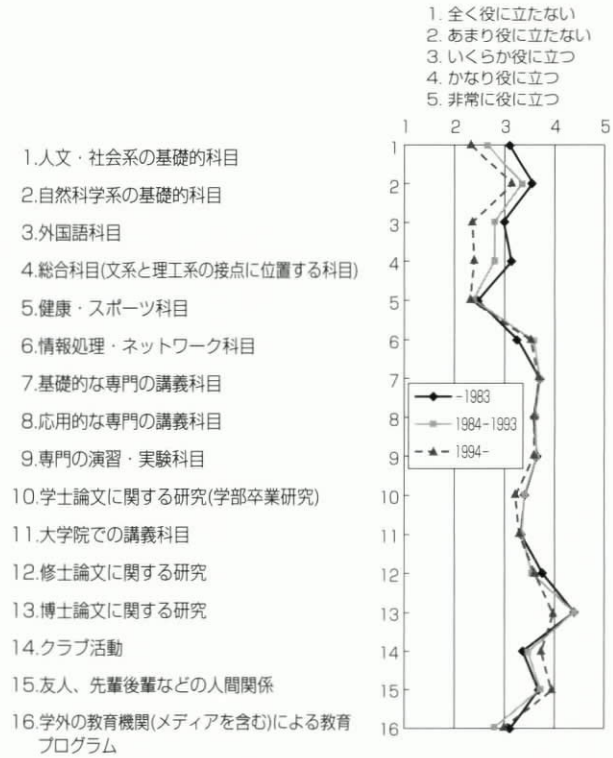
出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/feedback2001b.pdf

図5－b　在学中にしておけば良かった勉強・経験



出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/sotugyousei2001b.pdf

図5－a　在学中に学んだ授業・経験が役に立ったか



出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/sotugyousei2001b.pdf

すが、概ね負の相関が見られます。調査項目に即して解釈すると、学生の評価が低いほど、工夫しようという意識が強いといえます。

このように、学生の評価結果に基づいて、先生が授業を工夫しようと考えている様子がうかがえる、言い換えれば、このような授業評価の仕組みによって、授業が改善される可能性が強く示されています。授業評価はその結果が改善に繋がってはじめて有効になるのです。

卒業生による大学教育の満足度評価

ほかにも客観的な証拠を出すために、いろいろやっていますが、その一つが卒業生を対象にした調査です。東工大の授業科目が社会に出て役に立ったかどうかを聞いています（図5―a）。卒業年度別のデータでは、学部、修士、博士が合計されていますが、おおよその傾向が見られます。

何がいちばん役に立ったかというと、博士論文で、次が専門の科目です。教養科目の半分である自然科学系の基礎科目の評価はよいのですが、残念ながら、いわゆる人文・社会系、外国語、健康・スポーツは、あまり役に立っていないという評価を受けています。

年代別の違いもあり、とくに最近卒業した人ほど、在学中の経験は役に立たないと評価しています。一方、昔卒業した人は役に立ったと言っています。この解釈には二通りあり、教養科目はジワジワと効果が出てくるもので、若いときには教養なんていらないと思ったが年を取ると教養が必要となってくるというのが一つ。昔は東工大は教養でよい先生がいたが、今はいないという解釈も成り立ちます（笑）。

外国語と健康・スポーツの評価はかなり低くなっています。学外の教育機関による教育プログラム、つまり、自分でテレビ・ラジオなどで勉強したなどというものと比べて、学内教育が低いということは非常にショックな話です。しかし、これも包み隠さず機構には見せ、公表することにしました。

図5―bは、それぞれの項目の勉強や経験を在学中にもっと一生懸命しておけばよかったとどのくらい思うかをたずねています。図5―aとだいたい同じ傾向が出ていて、例えば健康・スポーツ、人文・社会は別にしなくてもいいという評価ですが、外国語科目をしておけばよかったという人が非常に多いという特徴があります。

大学の教育に対する満足度は、教養の満足度は低く、専門の満足度は高いという結果となりました（表3）。

国際的に通用する人材育成には―品質マネジメントの発想

外部機関による評価には、機構のほかに、JABEE（日本技術者教育認定機構）の認定制度があります。大学などの高等教育機関で実施されている技術者教育プログラムを統一的な基準に基づいて評価認定し、わが国の技術者教育の国際的な同等性の確保と国際的に通用する技術者育成の基盤をつくることを目的としている評価です。これは国際的な資格認証ともかかわる問題で、東工大で出した工学士の学位もJABEEに認定されたものでなければ、海外でのプロジェクトに参加する際に認めてもらえないということも起こってくるわけです。

しかしJABEEの認定を受けるには、その評価に適合するようにカリキュラムを整備する必要があります。東工大の場合、授業科目に倫理がないなどの指摘を受けています。

JABEEでは「教育プログラムの評価」、機構では「機関評価」に力点がおかれていますが、大学がそれぞれに対応するには大変な苦労があるというのが実情です。

私は、有効な評価のあり方を検討していくなかで、教育・研究が、大学が社会に供給するサービスであると考えると、ISO9001という企業の品

表4　品質マネジメントの8原則

1. 顧客重視／顧客志向
2. リーダーシップ
3. 人々の参画
4. プロセス（インプットをアウトプットに変換する相互に関連、作用する一連の活動）アプローチ
5. マネジメントへのシステムアプローチ　Plan, Do, Check, Action
6. 継続的改善
7. 意思決定への事実に基づくアプローチ
8. 組織と供給者との互恵関係

出典：品質マネジメントシステム―基本及び用語，JISQ9000，日本規格協会，2000

表3　東京工業大学の教育に対する満足度

	全平均	~1983年	1984年~1993年	1994年~	検定結果
教養の教育	65.6 (17.50)	68.4 (15.93)	65.4 (17.15)	62.6 (19.20)	*
専門の教育	77.1 (13.61)	76.9 (12.54)	77.9 (13.05)	76.4 (15.44)	
東京工業大学の現状	72.3 (13.95)	71.0 (14.73)	75.0 (11.98)	70.2 (14.84)	*
N	356	120	131	105	

＊＝5%水準で有意　上段：平均値　（ ）：標準偏差

出典：http://www.cradle.titech.ac.jp/hyoka/sotugyousei2001b.pdf

質マネジメントシステムの考え方が参照できるのではないかと思っています。これは、検査重視による品質管理から、プロセス重視による品質管理への転換で、できあがった製品だけを評価するのではなく、売り手による開発から買い手に商品を引き渡すまでのプロセスまでを適切に管理することを要求するものです。言い換えると、そこまでしないと、品質のよい製品ができないとも言えるでしょう。

一九七〇年代後半に欧米各国で品質管理の国家規格が制定されたのですが、それによって貿易障害の問題が発生したために、それらを統合して国際規格をつくる必要が生じ、一九八〇年にISOのなかに「品質保証の分野における標準化」を専門に検討する技術委員会ができ、9000シリーズが制定されました。

製品に対する要求事項を規定した規格を「製品規格」と言いますが、品質管理を実施するために必要な組織構造、手順、プロセス、経営資源に対する要求事項を規定したものを「品質システム規格」と呼びます。製品をつくる側では、品質管理（クオリティ・コントロール）から品質保証（クオリティ・アシュアランス）、さらに品質マネジメント（クオリティ・マネジメント・システム、QMS）という考え方で、品質に関する組織をつくり、管理するための方針や目標を定め、目標を達成するためのシステムを構築します。そして一連のプロセスを評価して規格に適合したところが、ISO9001の認定書を与えられるのです。**表4**に、品質マネジメントの八原則を示します。

品質目標として、詳細であること（Specific）、達成度が判定できること（Measurable）、達成できること（Achievable）、関連性があること（Relevant）、時宜を得たものであること（Timely）が掲げられています。

なぜこのようなお話をしたのかと言いますと、東工大の教育学開発センターでは大学としては教育分野で全国に先駆けて、ISO9001の認定を受けようと作業中だからです（二〇〇二年十二月に認定）。

では大学でのQMSは何か―。それは品質マネジメントを大学の運営や経営に埋め込むということです。組織とは、管理者から教授、職員全員です。商品は研究開発および教育の品質の保証です。大学の活動のなかに企業の品質保証の考え方を導入して、顧客である学会や産業界、学生の満足度を高めるのです。そして品質が保証できるような仕組みをつくると同時にモニタリングし、その結果は次年に反映する仕組みをつくるということです。

従来のISOは、マニュアルを作成してそのとおりに実施するというものでした。しかし新しい考え方では、決めたことを守るだけではなく、失敗をしないような仕組みをつくるというふうに変わってきました。もちろん失敗もあるかもしれません。しかし仮に失敗をしたら、二度と同じことを繰り返さないようにするのです。

改善のツールとして評価の活用を

では、何のために評価をするのでしょうか。一般的に評価の役割は二つあると言われています。一つは説明責任、二つ目は評価結果をフィードバックすることで成果を向上させることです。

国立大学の原資は税金ですから、その使途を納税者に説明することは、国立大学評価の基本的な目的です。また、評価によって教育活動の透明性を確保することもできます。評価結果をフィードバックすることで、大学がそれを学習し、教育運営や活動に活かすための改善策を考えることができれば、評価は大学教育の効果的、効率的遂行のための有効なツールになります。

このような視点から、現在の大学評価のあり方を考えると、いくつかの問題点を指摘できるのではないでしょうか。

まず、「評価結果は神の声か」という点です。いまの評価は、いいか悪いかの判断にはなるのですが、必ずしも改

善のツールになっているとは言えない面があると思います。評価が裁判結果のように、「あなたは悪者だ、謝れ」というものでは、改善につながってはいかないでしょう。

また、外部評価の結果をどのように解釈するのか、さらに、評価結果をどう取り扱うかということも大きな問題です。設置認可や場合によっては廃校になるなどの何らかの処罰と関係したり、予算配分と関連づけていくことが可能になるかどうかが、評価が大学の質的向上に寄与するかどうかの分かれ道になるでしょう。

その意味でも、アクティビティの良い悪いの判断だけでなく、ISO9001のように、改善の仕組みがきちんとしているかどうかも評価すべきだと思います。完全な大学はないが、悪いところは改められる仕組みを用意していることを評価するという視点が欲しいですね。東工大で授業を評価するだけでなく、教官にどのようにフィードバックするかを工夫しているのはそのためです。

評価の実効性を高めるためには

山岸　大学の評価と予算配分とを関連づけることの可否については、どのようにお考えですか。私は、資源配分の問題が評価の最大のテーマであると思うのですが。

牟田　評価と予算を直接に関連づけることは、現段階ではなかなか難しいように感じます。授業評価を実施している大学はたくさんありますが、その結果を使っているところはあまりないのではないでしょうか。

しかし、工夫の余地はあるでしょう。評価結果のよい教官には、例えば年度ごとに教育賞を出し、学長主催の晩餐会に出席するというのはどうかと、昔から提案しています。なかなか実現しないのですが（笑）。

一定の評価点に達した人にはすべて賞を出し、受賞歴を人事記録に残して、助教授が教授になるというような際の審査項目の一つとして扱えばいいと思います。

さらに、賞を取れば履歴の賞罰に記載することができるとか、一般研究費の一部でファンドをつくっておいて、賞をとった人に配分するということも考えられます。何かインセンティブになるものが作り出せればと思います。

山岸　褒めたりすれば、よくなるものなのですか。制度ができても、結局は変わらないということはないですか。

牟田　少なくとも、褒めてもらおうとはすると思います。

また、授業評価の悪かった人にファカルティ・ディベロップメントコースを受講してもらうことも考えてよいと思います。来なかった人は、それも人事記録に残すようにすればいい。

授業評価は、毎学期実施するので、年に二回結果が出ます。その利用については、きちんと考えるべきだと思います。評価のやりっぱなしは何にもなりません。

東工大でISO9001の取得をめざしているのは、この評価の仕組みを評価してもらおうという取り組みです。

天野　評価機構を立ち上げる際の準備委員会での議論は、まさに牟田先生がお話になったようなことでした。あくまでも各大学の改善のための自主努力をサポートすることが目的だったのです。

しかしスタートしてみると、各大学の受け止め方はさまざまで、自分たちのための評価というよりも、評価が外からやってきたという捉え方が支配的になった。受け身の姿勢になった。同時に、評価の側についても、何のために評価しているのか趣旨が徹底していない。

ここに問題があるから、もう少しこういうふうに考えたらどうかというのではない。十分か、適切かという話になってしまっています。

何のために評価の結果を使うのかはっきりしておかないと、とくに評価が資源配分と結びつくことになった場合に、大学の改善には活かされないこと

になりかねません。非常に危惧しています。

牟田先生のような考え方を、評価を受ける方から機構に向かって積極的に言っていかないといけません。

牟田　私は、ある意味では評価機構を利用したいと思っています。機構がある種の外圧となっている面があります。

天野　でも、大学改善のために評価を役立てたい、そのために評価機構の権威を活用しようということでなければ、やはりおかしい。機構の権威に従属するようなかたちでの評価になったら、意味がありません。

山岸　資源配分と評価が結びつくと、評価の最初の目的とは離れてしまう点は問題ですね。しかし一方で資源配分のための評価も必要になってくると思います。

牟田　資源配分はもろ刃の剣で、確かにそれがなければインセンティブがないという面もあります。かと言って、金のための努力というのもちがうように思います。

清水　資源配分のための評価は、役所の作業のなかでは常に行っているし、やらざるを得ないでしょう。

新しい組織、例えば研究センターをつくることを考える場合に、そこでの担い手となる人材の学問分野、学術上からみたポテンシャルや実績、人の集まり具合や大学のサポート態勢までを検討し、資金を配分していくことになります。

大切なことは評価の透明性と客観性を確保することです。

木田　もう一つ資源の大きさをどう考えるかという問題もあるのではないですか。

清水　厳しい国家財政のなかから大学への資源拡大を図ろうとするには、やはり、一定の成果を約束するというかたちで勝ち取っていくしかないと思います。

田村　何年か前にイギリスに行ったとき、オックスフォード大学の友人を訪ねたところ、いま非常に忙しいので迷惑だと言うのです。評価機関が来る時期にたまたま当たってしまったのです。この評価結果は翌年の研究費にものすごく影響があるのだそうです。

大学全体にものすごく緊張感がありましたね。これがサッチャーの有名なやり方かと思ったのですが、イギリスの大学人には非常に評判が悪かったです。こんなことをやっていていいのかという意見もありました。

日本がイギリス型になると、評価によってはお金が出なくなるということになって、大学としてはとても大変なことですね。評価の妥当性、正当性の問題もあります。

牟田　とにかく評価を行うということは、非常に手間ひまがかかるのです。私は評価が専門ですから、ある種興味をもって取り組めますが、そうでない人は、成果が有効に使われない限り、これは時間の浪費以外のなんでもないのです。

木田　これだけのデータをまとめられたのは非常にご苦労があったと思います。私もあらためてまた勉強させていただきました。どうもありがとうございました。

（二〇〇二年四月二十六日）

第7回「グローバル・システムと文明」研究会

ナノテクノロジーの未来を探る

二十一世紀に期待される先端産業の基盤技術

講師
榊　裕之（東京大学生産技術研究所教授）

出席者
茅　陽一（(財)政策科学研究所理事長）
大橋忠彦（東京ガス㈱　顧問アドバイザー）
小宮山宏（東京大学大学院教授）
佐和隆光（京都大学経済研究所所長）
築舘勝利（東京電力㈱常務取締役）
京極哲朗（三菱住友シリコン㈱　代表取締役専務）
横堀恵一（産業創造研究所　専務理事）
和気洋子（慶應義塾大学教授）
渡邉浩之（トヨタ自動車㈱　専務取締役）
永野芳宣（(財)政策科学研究所所長）

▲榊　裕之 氏

注目をあびるナノテク

茅　今回は、エレクトロニクス、ナノテクノロジーの分野では第一人者でいらっしゃいます、東京大学生産技術研究所の榊先生にお話をうかがいます。

榊　大学時代にトランジスタの研究をはじめたことがきっかけで、約三十数年、半導体の研究に携わり、一九七〇年頃からナノテクノロジー（以下ナノテク）に関わってきました。学術的に非常におもしろい領域で、近年社会的にも注目されるようになりました。これを追い風と捉える人、流行になって過剰な期待を社会に植え付けるのはよくないと危惧する人などさまざまですが、私は中間的な立場で、いい意味での社会の期待に、何が応えられ、何が応えられないかをはっきりさせることがミッションだと思っています。

歴史上ナノ（一ナノメートル＝千分の一ミクロン）という微細な空間に最初に目を向けたのは、古代ギリシャの哲学者デモクリトスまで遡るのではないかと思います。彼は、「すべての現象は小さな世界の組み合わせでできていて、この小さな世界さえいじれば大きな世界はいろいろ変わる」と考え、自然をそれ自体の運動によって説明する原子論を完成させました。二千五百年前の人間的直感がナノテクの背景にはあるのです。

量子力学が出現するまで、ナノ単位の微細な世界は人間の手を加えることが難しい世界でしたが、プランクの量子論の講演から百年経ち、ようやくこ三十年ほどでエンジニアリングの対象になってきて、研究が活発に行われているのだと思います。

また、二〇〇一年にクリントンが次世代の技術革新の基盤技術としてナノテクに期待したいと「ナノテクノロジー・イニシアティブ」を表明したこともあって、ナノテクが世界的に大変脚光をあびています。

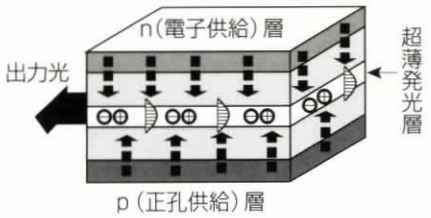
半導体トランジスタとナノテク

情報通信の分野では、もはやナノテクは未来の技術ではなく、すでに駆使されている技術と言えます。

例えば、現在ＬＳＩに組み込まれているＭＯＳトランジスタの絶縁膜は、厚さが二、三ナノメートル（以下ナノ）です。一九七〇年前後は二百ナノもありましたが、一九八五年頃に二十ナノ、今は二ナノと、十五年で一桁ずつ落ち、どんどん薄くなっています。

トランジスタは、半導体（シリコン）

図2　超薄発光層を用いた（量子井戸）レーザ

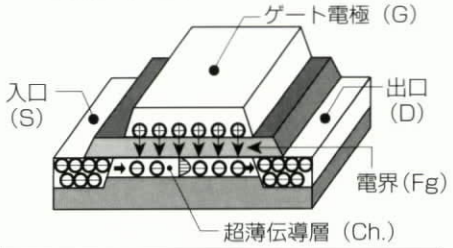


電子と正孔の同時供給で光の増幅・発生

光通信（1.5μm），光ディスク（0.8～0.5μm），レーザ分光などで活躍

（榊資料による）

図1　超薄膜を用いたトランジスタ（FET）



伝導層内の電子数をゲートの電界Fgで制御

Si MOS-FET-LSI中核素子-量子ホール効果
GaAs HEMT-マイクロ波通信-分数量子ホール効果

（榊資料による）

の上に絶縁膜があり、さらに金属のゲート電極が乗っています（図1）。電極にプラスの電荷を入れると、絶縁膜の反対側の半導体表面に負の電荷、つまり電子が出ます。この時、半導体表面では電流が流れスイッチがオンの状態になります。この素子では二つのナノ領域があります。一つは絶縁膜の厚さで二ナノ、もう一つは電子が流れる伝導チャネルの部分で、厚さは約五ナノです。

LSIのトランジスタは、膜厚よりも上から見た時の長さや幅の方が注目されています。現時点での長さは百ナノメートルほどですが、歴史的な進展から考えると、二〇一五年には十ナノほどになると想像されます。いよいよトランジスタもその長さがナノ単位の世界に突入するという勢いです。

現在、日本の半導体産業は苦境にあって、「あすか」「みらい」「はるか」などのナショナルプロジェクトが発足し、官民あげて諸外国と競争しています。そこでの目標は五十～七十ナノメートル寸法の素子ですが、どのような技術項目で優位に立てるかについては意見が分かれており、知恵と工夫の必要な部分だと言えます。

こうした超微細化は技術的には可能でも、コストの利点がなければ採用されません。百二十八メガのメモリーが二ドルまで値崩れしたことがあります。一億個で二百円、百万個の工業製品を一円で提供していることになります。十ナノ寸法の微細な素子を一円で百万個作ることは、今の技術ではできません。市場に受け入れられる技術にどう育てるか、創意工夫がいるわけです。

情報通信分野でもう一つ重要なのは、超高速トランジスタ（HEMT）です。非常に速い応答をさせるためには、電子が走りやすい性質が必要で、シリコンの代わりにガリウム砒素を使います。このHEMTの基本構造は、前述のMOSと似ており、電子が流れる部分の厚さは五～十ナノ、絶縁膜が二十ナノぐらいです。

このトランジスタでは入力信号の周波数が高い場合でも増幅する必要があり、制御用ゲートの電極を短くする研究が進んでいます。NTTでは、すでに五年前に五十ナノのゲートを作り、三百ギガヘルツでの動作を達成しました。高速化の世界記録は、二〇〇二年二月頃に富士通と総務省が共同で、十五ナノのゲートを使って達成した五百六十ギガヘルツです。

このような技術を何に利用するかが問題です。一つは六十ギガヘルツ付近の電波が遠距離に届かないことを利用し、無線LANへの利用が考えられます。メーカーが開発に力を入れているところです。さらに九十ギガヘルツ、百八十ギガヘルツ付近の波も注目されていて、霧や砂塵が出ている状況での映像をマイクロ波で撮ったり、ガス分析に使ったりする研究がなされています。

LSI用のトランジスタと異なり、通信用の超高速トランジスタであれば、少し高価でも売れるようです。携帯電話用のものだと一個五十円ぐらいです。

半導体レーザとナノテク

半導体レーザは、電子が流し込めるn型材料と、プラスの電荷が流し込めるp型材料との間に、発光層をサンドイッチ構造で埋め込んで光を出す素子です（図2）。この素子では、電子とプラスの電荷が約十ナノ間隔程度の高密度にならないとレーザ発光しないという性質があります。このため、かなり密度の高い電流を流さなければならないのですが、ナノテクの発達によって発光層を薄くすることが可能になって、わずかな電流でレーザ発光が可能になりました。現在では、コンパクトディスク用レーザ、光通信用のレーザなど、あらゆるレーザは発光層が十ナノ以下の厚さになっています。

青色発光ダイオードは、名古屋大学の赤崎勇先生と豊田合成グループの先駆的な研究を基盤に、日亜化学（当時）の中村修二氏の量産化可能な形成技術の進展によって大きく発展しています。この素子では、他の発光素子と同様にナノ級のサンドイッチ構造を使っており、ナノテクの膜技術を窒化ガリウム

材料に適用して達成されたことになります。

トランジスタやレーザの高性能化の過程で、薄膜技術が発展したわけですが、今後どんな広がりを示すかが重要な検討課題だと思います。

電子は、十ナノメートル級の膜内を自由に粒として走り回っています。電子はその運動量pが大きくなるほど波長の短い波として振る舞う量子的な性質があります。特に小さい空間に電子の波を閉じ込めれば往復する波がバイオリンの弦のように振動します。このため膜の垂直方向に山が一つ、あるいは二つの形を持った定在波として電子が振動することが量子力学に従って予測され、実験的にも確認されています。

半導体レーザやトランジスタでは、この種の波を積極的には利用していないのですが、この波を利用して新素子を作る研究が二十年間非常に活発に行われています。そのきっかけは、一九七〇年に江崎玲於奈先生がIBMで始められた超薄膜・超格子の研究が基盤になっています。

バイオリンの弦のように膜の上下で振動している電子に、外から光で振動を与えると、その振動の周波数を吸い込んで高い振動数の状態になります。音叉がある振動数の音波と共振する場合、その音波を吸収し、高い振動数の高調波の状態になる状況を思い浮かべていただくとよいと思います。実はこの原理を使っておもしろい素子機能が実現できます。

赤外光を吸って電子がより高い振動状態に移ると、膜を横切って流れる電流が増えます。この性質を使えば、波長十ミクロンほどの赤外光を検出でき、映像検出にも利用できます。この原理は、江崎グループに私が滞在した時に思いついたものですが、その後にベル研で大きく発展し、人間の体から出る輻射の強さを計ると、鼻は体温が低いために黒く映り、目の部分は皮膚が薄いので赤外光が多く出て白く映り、サーモグラフィとして利用できます。NASAでは地球観測のツールとしても熱心に開発されています。

この素子では、低いエネルギー状態の電子が光を吸い込んで高い状態に上がることを使うのですが、その逆のプロセスも利用できます。うまく素子構造を作り、上のエネルギー状態に電子を流し込んで下の準位に落とし、赤外光を発生できます。この提案はロシア人が七〇年代の半ばに行ったものの、長期間机上のプランにとどまり、九四年にベル研究所で実現したものです。量子カスケードレーザと呼ばれ、膜の厚さで振動数が決まるので、膜厚を調整すれば、好きな波長の赤外光を出すことができます。

用途は多様で、環境計測、医療計測、気体の分光などに使われています。

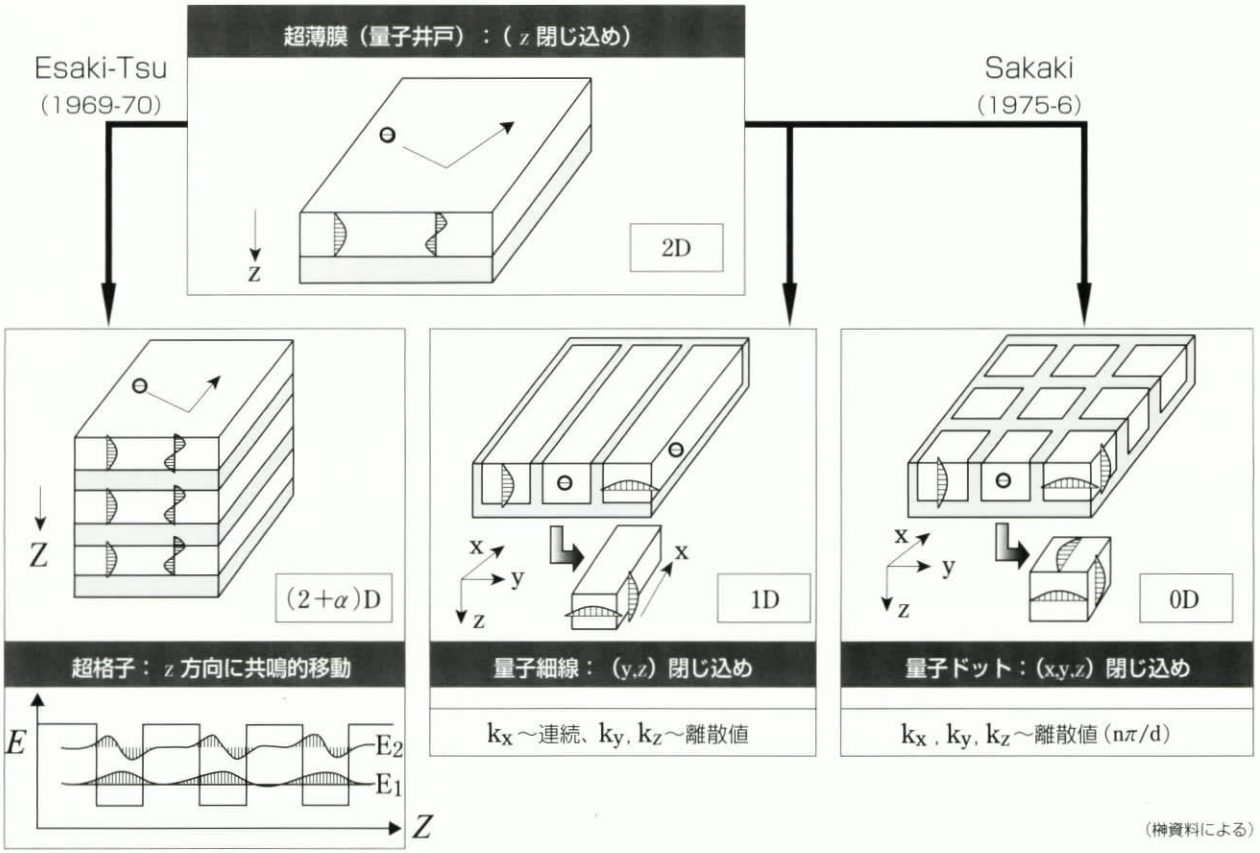
結果的に、江崎先生が蒔かれた種、つまり多層膜を使った技術が、トランジスタやレーザーに結実するだけでなく、赤外線の検出器やレーザなど、様々な新素子に大きく展開をしています。

電子を制御するナノテク

次に、電子の量子的波動性を利用する研究の進展についてお話をします。私が生産技術研究所に勤めて二年目の一九七四年に、電子を制御する新しい方法として、超薄膜の中に十ナノメートルほどの間隔で人工的な壁を入れて、一方向に電子を流したり、碁盤目状に切って電子を閉じ込める着想を思いつき、翌年に論文を発表しました。これは「量子細線」、「量子ドット（箱）」の世界初の提案です（図3）。

当時は、トランジスタの寸法が十ミクロンからちょっと落ちはじめた頃で、十ナノで微細構造を作ることは、技術的に非常に困難でした。しかし、いずれ技術も進むだろうと考えて、トランジスタやレーザへの利用など、いろいろな応用可能性を論じたわけです。その後、八〇年代の後半から徐々に技術開発がなされるようになりました。九一年にはカーボンナノチューブの発見に至り、それで作ったナノチューブ・トランジスタの研究も活発になっています。我々の提案が、その後の新しい技術の登場で大きく展開してきたと言えます。

図3　電子の量子力学的制御：超格子及び量子ドットへの展開



（榊資料による）

●量子ドット（箱）

十ナノメートル級の半導体の箱の中に電子を入れると、電子は波として閉じ込められ、自由に動くことはできなくなります。この性質を利用して、情報を狭い空間に閉じ込めることができます。このため、ある現象が起きた時に、その結果発生した電子は必ず箱の中にとどまるので、現象が起きたか起きなかったかがわかります。さらに狭い空間に電子を二個入れようとすると反発力が働くので、電子を一つずつ制御できることになります。さらに電子が波として閉じ込められるために振動数が限定され、特定のエネルギー状態の電子のみが光学的性質を定めるなどの新たな性質も生じます。

例えば、電子の反発力を使った素子に、電子を一つずつ制御する単電子素子がありますが、ここ十年ほど研究が盛んです。箱の中に入ると次の電子が入りにくいので、出るまで待って次の電子が入ります。すなわち、電子を一つずつ制御することが可能となります。このためには電子が流れる半導体の細線を作り、水門のような作用を示すゲート電極を二個作り、その中間に電子が入る量子箱を用意します。水門の開け閉めを高周波信号で制御すると、一秒間にその振動数と同じだけの個数の電子が流れます。

この研究は、電子制御の技術が究極的な段階に達したことを示しており、学術的な満足感を与えるだけでなく、様々な用途も考えられています。例えば、量子箱の中に電子一個とプラスの電荷一個を規則的に流入させて、光の粒（光子）を一つずつ発生させるような光源ができます。「単一光子光源」と言い、盗聴を防ぐ通信システムに不可欠な素子です。さらに、一個ずつ光が来た時に検出するための素子にも、「量子ドット」を用いる試みが進んでいます。このように高度の通信や計測への利用が進んでいます。

量子ドットを簡便に作る方法があります。自己形成法（セルフ・オーガニゼーション）と呼ばれているもので、半導体の基板の上に原料を吹き付けて結晶を成長させる時に、整合性のよくない基板を選ぶと、平坦に育たずに微結晶になって成長することを利用します。微結晶の寸法は十ナノぐらいなので、電子を閉じ込めるのに好都合です。この構造に電子を入れると、穴の中の電子と同様に外に出てこなくなり物質は絶縁物となります。

この穴の中の電子を光で脱出させれば、光検出器ができます。また、電子が入った状態か否かを制御してメモリ素子として利用可能なこともわかってきました。さらに、ドットを用いたレーザを我々は提案しましたが、自己形成ドットで実現する試みが、世界的には熱心に進められています。この量子ドットレーザは新しいレーザとして期

待がかかっています。

このように、超薄膜に続いて微結晶への関心が高まり、ナノ構造の研究が進んでいます。他方、一個の分子でトランジスタを作るような提案がなされ、有機分子の研究者が分子エレクトロニクスという看板の下で、その実現のための研究開発を進めています。もともと分子は電子を封じ込めるには非常に魅力的な環境ですから、その活用可能性を探ろうとするものです。半導体の世界と分子の世界は、非常に離れていましたが、急接近をしはじめています。

●量子細線

十ナノメートルほどの細線を使った電子素子を七〇年代の半ばに提案し、さらに電子をこの細線に沿って走らせ、ゲートをつけて制御するトランジスタの概念を八〇年に初めて提案しました。電子が線内を走ると、ちょうどボブスレーのように、左右に横ぶれしないで直進する性質が強まります。その時に半導体の抵抗はゼロになるように思われますが、量子力学的解析を正確に行うと有限の抵抗になります。かけた電圧に比例して左右から流れる電子量が不均等になり、散乱が消えても電気抵抗がゼロとならず、一定値をとるのです。

実験的研究は、八〇年代後半から可能となり、九〇年代から非常に活発になってきました。

ガリウム砒素を使った量子細線の例では、急峻な屋根型の結晶を作り、その屋根の頂上部分に薄膜を堆積すると、二十ナノぐらいの断面の細線が屋根に沿ってできます。この中で電子を走らせます。最近はハーバードのグループが非常に熱心に研究しています。

ナノチューブは、九一年にNECの飯島澄男氏が電子顕微鏡で実験試料の煤を観察していた時に発見したものです。熱伝導効率が金属より高く、軽量ながら強度がダイヤモンド並みなど、これまでの物質にない特徴があります。最近では、ナノチューブの結晶の中に、さらに小さなサッカーボールを埋め込んだ複合構造ができるなど、多彩な研究がされており、トランジスタ素子の研究も進んでいます。

化学・環境分野での応用研究

ナノ構造は、電子を制御する舞台として多様な展開をしています。これまで扱いにくかった情報を、感度よく検出したり、制御できるようになっています。他方、応用化学の領域でもナノ構造の展開があります。

触媒がその最たるものです。ナノ構造の上にある種の物質が選択的に吸着されたり結合すると、化学的な性質が変わります。それを検出したり、活用するわけです。生体内でそのような現象を制御して行わせ、診療や治療・医薬へ応用する研究が進んでいます。

もう一つは、環境分野への利用です。環境浄化や計測に関する研究が行われています。例えば汚染物を吸着・分解させたり、水素吸蔵などのクリーンエネルギー源になるような化学物質の制御の試みなどがその代表です。

ナノテクは従来型技術か、革新的技術か

茅　ナノテクがこれだけ騒がれているのは、単に従来の技術が、より速くより小さくなったという意味ではなく、例えば単電子まで扱えるなど、従来とはまったく違う側面が出てきたことがポイントなのでしょうか。

榊　私はちょっと保守的な考え方なのですが、ナノテクはトランジスタやレーザの高性能化、微細化など、従来の技術を極限まで高性能化するのに役立つものだと思っています。

例えばレーザなどは、膜ができればそれだけでかなりの性能で、微結晶を入れ込むとさらに性能が上がります。そういう意味では、従来の素子の性質を極限までよくするために利用するというのが、六割ぐらいのミッションではないかと考えます。

残りの四割は、まったく新しい原理を提供するものであると思います。ただし、少なくとも情報通信技術においては、量子計算や量子暗号がいくら発達しても、従来型のコンピュータや従

来型の通信は生き延びるでしょう。

従来型のものをリプレイスしてしまうようなものは非常に少なく、むしろ高性能化のために使われ、かつ、従来できなかった守秘性が非常に高い通信システムや超高感度の検出器を使うなどという場合に利用されるのではないかと思います。

永野　それは、手計算で円周率を計算していたのを、コンピュータを使ってものすごく速くなったという部分が六割ぐらいで、その先のレボリューションにあたるようなものはまだ生まれていないということですか。

榊　情報通信の分野でいうと、量子コンピューティングが実現したら、それは従来の計算とは桁違いのことが可能になりますから、レボリューションと呼べる面があると思います。

非常に微妙な医療判断、名医でも難しいものが、的確に判断できるというようなアルゴリズムができて、それが量子コンピューティングで処理できれば、すばらしいですね。

また、地震予知や地球温暖化が本当に起こるのかという判断が、厳密なモデルを入れることによって予測がつくのかどうか。それが可能となって、人類がこのまま進んでいってもいいのかどうかを教えてくれるとすれば、本当に価値があると思います。

技術というのはなかなか難しくて、千倍性能が上がっても、一定程度以上は必要性がない場合もあると思います。むしろ、医療やエネルギー関連で環境負荷が桁違いに減らせるようなものにつながる技術が生まれるとすれば、そちらのほうが革新的であり、インパクトがあると思います。

ナノテクへの社会的ニーズの見方

佐和　仮にこの技術が、地震の予知、医療診断の画期的な診断法、あるいは温暖化の予測などに結びつき、役立てられるようになれば、当然社会的ニーズを満たすでしょう。ただしそれらの用途は、すべて公共的なものですね。つまりマーケットのニーズを満たすものではなく、むしろ世の中全体のためによいことになると思うのですが、そのような理解でよろしいのでしょうか。

榊　おおよそ、そういうことだと思います。

一つだけ例外をあげれば、画像を見て状況の重要性を判断することは、コンピュータにとっては相当負荷が重いことで、難しいと思います。

例えばロボットがサッカーをする場合を考えてみましょう。ロボット自体の性能も大事ですが、ボールが飛んできた時に、相手がどういうつもりで動くかまで含めて状況を見て、どこまで走るかを判断をしようとすると、コンピュータは大変です。人間はそれを頭で一瞬のうちに判断をしています。今後ロボットが盲導犬の代わりになるとか、アシスタントとして人間のような高次な判断を信頼性をもって提供できるようになれば、また違ってくるとは思います。

佐和　つまり健常者ならば持ちうるような認識能力が、高齢化あるいは病気によって失われたような人を補助するということですね。

榊　そうです。個人での需要はそういう部分ではないかと思います。よくアメリカなどでは、ナノテクで、角砂糖の中に国会図書館の情報が入るというようなことを言いますが、それにどれほどの価値があるのかと思います。

小宮山　榊先生は、非常に控えめにお話になっておられると感じます。あまり夢を持たせまいという思いがおありなのでしょうか。

榊　この分野でノーベル賞を受けたクレーマーが、「応用というものは、実現してみるとそれ自体が応用を生み出す。だから、あらかじめこんな利用ができるからこう開発しようとあまり言わない方がいい」と言っています。

そういう面では謙虚でいる方がよいと思っています。しかし、それなら多額の研究費をかけるのはどうなのか、という批判もあるかもしれません。

クリントンのイニシアティブ以降、できるものとできないものがゴチャゴチャになって出てきています。確実にできるもの、原理的にはできるが実験

上で難しいためにできないもの、よくわからないもの、というように、分類して対応した方がよいと考えています。

競合技術とコストの問題

渡邉　製造業の立場から見ると、ナノの世界と我々の大きな世界の間を結ぶところが、どうも弱いのではないかと思います。

自動車燃料などに使う水素吸蔵にカーボンナノチューブを使うという話がありますが、実際に車に搭載して水素を貯めるという部分の話が今は欠落しています。高圧縮と組み合わせる、あるいはチューブではなくても、カーベチャーがついていればいいなど、もう少し大雑把なところでうまくつながるといいと思うのですが。

榊　特にケミカルな利用方法は、多様性がある反面、当初言われていたほど技術的には易しくない面があります。そこを埋めることが大きなチャレンジです。

ナノチューブは登場してすでに十一年経っていますが、それぞれの利用分野で競合相手が必ず待ち受けていて、どれ一つ取っても圧倒的に優位なものはありません。では、ナノチューブは利用価値がないかというと、そうではなくて非常にユニークな材料です。

佐和　この技術を使って実際に製品を作ると、非常に高価なものになるのですか。それとも、技術そのものの値段は別にして、ナノですからあまり材料も使わないので、安価なものができるのでしょうか。

榊　どういうプロセスで作るかということで、値段が高くもなり安くもなります。用途に合わせてプロセスを開発しなければならないでしょう。特に水素吸蔵など、大量に吸蔵しなければいけないものは、いかに性能がよくても、価格が高くなれば使いものになりません。

一方、光を一個ずつ出す量子暗号を送って、日銀と大蔵省の間を盗聴できなくするなどというものは、一億円でも買ってくれるというような世界もあります。

使える技術、使えない技術というのは、これからだんだん選択肢が増えてきて、ものによっては非常に高額なものから、相当安いものまであって、それを使い分けていくようになるのではないでしょうか。

横堀　私どもの産業創造研究所でも国のカーボンナノチューブ開発研究の一端を担っています。グラム数万円というコストをとにかく下げるにはどうするかということを研究しています。しかし、できたものの値段とニーズとの関係はまだよくわかりません。

最初はニッチのマーケットで売って、いくらか高い値段でも買ってくれるのではないかと考えています。しかし、どういうニーズにどれぐらいの値段でマッチできるのか。

しかし、医療、特に薬をピンポイントで運べるようなことが実現できれば大きな市場になるように思います。

榊　医療分野での可能性は、今の段階では想像できないところがありますね。三十兆円近い医療費の中で、現在は薬が六兆円と聞いていますが、どの程度、ニューテクノロジーが入り込んでくる可能性があるのでしょうか。

産業界としての売上は、どんなにがんばっても、日本の人が払う薬代が十兆円を超えることはないと思います。ただ、その薬効が二倍安全になり、二倍効率が上がれば、大変な貢献だろうと思います。

技術を測る座標軸

大橋　二十世紀が比較的エクステンシブに大きなものを作る時代だとすれば、これからは環境制約もあるから、インテンシブに少量で効果的なものを作る時代ではないでしょうか。その意味で、ナノテクノロジーは典型的な二十一世紀型技術ではないかと思います。

しかし、大きくなるのと小さくなるのは同じであって、方法論が違うだけなのか。あるいはまったく別の方に向かっている研究領域なのか。その点はいかがですか。

榊　二十一世紀型技術には課題があって、これから五十年生きる人間が何を必要としているのかを点検しなければなりません。作る人がいい気になっても、使う人はいらないと言うかもしれないからです。

例えば情報の高速化は、すでにこの五十年で大変な発展をしたので、その部分で大きなディマンドは、今後そう明瞭には見えていないと認識しています。

茅　ITは、いままで細かく制御しなかった部分まで扱っているという意味では、二十一世紀型なのだと思います。ところが他の応用、例えばエネルギーや生体などになると、マクロな部分を見たいし、見なければわからない。しかしそれは、いいものを作るためにミクロを見ているわけで、目的はあくまでもマクロ、つまり全体にあります。ITはミクロな機能のためにミクロを見ている。そこが違うと思います。

佐和　技術の進歩を測る何本かの座標軸があると思います。より速くとか、精度をより高くとか、という軸は今も昔も変わりません。

一方で、より大きくという座標軸は、オイルショックぐらいから取り除かれたのだろうと思われます。例えば飛行機の設計でも、より燃費効率がいいとか、別の方向に変わってきました。

榊　通信分野についてみると、ここ二十年間で国際電話の値段が急激に減少したのは、明らかにナノテク分野で

の超高速トランジスタとレーザの開発のおかげです。ただ、その先どこまで行くかと言われると、まだ自問自答せざるをえないところがあります。

築舘　エネルギーの場合は、エネルギーの発生装置と、もう一つはエネルギーの消費装置があります。通信分野で、あるいはコンピュータの分野で進んできた技術が、もう少し幅広く家電製品などに入っていくと、エネルギー消費面でかなりの影響が出てきます。

家電製品は、トランジスタ、IC、LSIなどで劇的に消費電力が下がってきましたし、オフィスコンピュータでもコンパクトになってきて、空調需要が劇的に減ってきています。ですから、通信で進んできた技術がほかの分野にも入っていくと、省エネという面でもかなり期待できるのではないかと思ってお話を伺っていました。

榊　それはかなり大事なポイントで、少なくともLSI関係の人たちは、速度よりは省エネ、省電力の技術の方が裾野が広いだろうと認識しています。

公共財と知的所有権

佐和　この技術はそもそも公共財としての価値があり、だからこそ政府が支援すべきなのではないでしょうか。

民間企業に任せておけば自然に開発されるような技術ではなさそうです。しかも、人類のため、あるいはすべての日本の納税者に役に立ちそうな技術です。だから、五百億円使っても決して使いすぎではないと思います。

和気　公共財の場合、途上国がどれぐらいその技術をキャッチアップできるか、いわば特許でどれぐらい持っていくかという、知的所有権と絡んでくると思います。技術インフラ的な発想で見れば、特許でギチギチ守ると、途上国と先進国でデバイドが起こってしまいます。ですから、プライベートな技術として産業の付加価値を求めていくものと、国際公共財として幅広い意味を持つものがあるのではないでしょうか。

省エネもきっと関連すると思います。単純な発想で、速度が千倍になれば、エネルギーは千分の一になります。

榊　これは非常にデリケートで難しい問題だと思います。アメリカでは、こういう分野は、ベル研究所とかIBMのような産業界の横綱が、ある面でフリーに研究成果を公開し続けることによって、学術レベルを上げてきたところがあります。

例えばハーバードとMITがナノのサイエンスセンターを作っていますが、我々もメンバーとして来てくれと言われていますし、オランダのチームも加わっています。それは、秘密が漏れるよりも新しい知恵が来る方が、全体としてのレベルが上がると認識している分野だからだと思います。

佐和　知的所有権ということを言い出して、それを開発者が独占するという風潮が非常に強くなったのは、そんなに昔のことではないと思います。

僕の想像するところ、八〇年代の半ば頃からではないでしょうか。まさにレーガン、サッチャーの時代です。結局すべて私利私欲に結びつけるということで、公共性を無視するようになってしまいました。

それ以前は、技術は公共財であり、大企業は義務、あるいは社会貢献として技術はディスクローズしていたのだと思います。

茅　六〇年代から七〇年代の半ばぐらいは、アメリカが自分たちは世界の王者であると思っていた時代なんですね。だから、榊さんをはじめ多くの研究者がベル研やIBMに行きました。しかし、八〇年代に日本が出てきて、その様相が一転してしまったのだと思います。

大橋　時代的な解釈をすると、当時はソ連を意識したアメリカの戦略がディスクロージャーで、彼らに使命感や義務感があったのではないでしょうか。それが、八〇年代の日本の進出で、その必要がなくなり、ある意味で世知辛くなってしまったのだと思います。

茅　そろそろ時間になりました。本日はありがとうございました。

（二〇〇二年七月十六日）

部会および本誌掲載の研究会メンバー一覧

加藤秀俊部会
テーマ＝日本の村の将来

加藤　秀俊　日本育英会会長
川喜田二郎　東京工業大学名誉教授
神崎　宣武　旅の文化研究所所長
韓　敏　国立民族学博物館助教授
佐々木高明　国立民族学博物館名誉教授
須藤　護　龍谷大学教授
高田　公理　武庫川女子大学教授
高橋潤二郎　アカデミーヒルズ理事長
谷沢　明　慶應義塾大学名誉教授
舛田　忠雄　愛知淑徳大学教授
宮本　千晴　山形大学教授
毛利　甚八　マングローブ植林行動計画スタッフ
米山　俊直　作家
若林　良和　大手前大学学長
小浜　政子　愛媛大学教授
　　(財)政策科学研究所主席研究員

加藤芳郎部会
テーマ＝日本のサバイバル

加藤　芳郎　漫画家
青空うれし　テレビタレント
青空はるお　テレビタレント
天地　総子　俳優　歌手
大山のぶ代　俳優
大和田　獏　俳優
岡江久美子　俳優
加治　章　NHKアナウンサー
川野　一宇　NHKアナウンサー
黒川　和哉　元NHKディレクター
小島　功　漫画家
砂川　啓介　俳優
鈴木　義司　漫画家
壇　ふみ　俳優
坪内ミキ子　俳優
富田　純孝　NHKディレクター
中田　喜子　俳優
蔓目　良　俳優
松平　定知　NHKアナウンサー
水沢　アキ　俳優
三橋　達也　俳優
ロミ　山田　歌手　俳優
渡辺　文雄　俳優

木田宏部会
テーマ＝日本の教育を考える

木田　宏　東亜大学学園顧問
天野　郁夫　国立学校財務センター研究部長
木村　治美　共立女子大学教授
齋藤　諦淳　武蔵野女子大学学長
下山　晴彦　東京大学大学院助教授
田村　哲夫　渋谷教育学園理事長
牟田　博光　東京工業大学教育工学開発センター長
山岸　駿介　多摩大学客員教授
永野　芳宣　(財)政策科学研究所所長

小松左京部会
テーマ＝大正文化研究

小松　左京　作家
河合　秀和　学習院大学教授
中村　隆英　東洋英和女学院大学教授

向坊隆部会
テーマ＝科学技術をめぐる新たな視点

向坊　隆　(故人)
石田　寛人　チェッコ大使
北沢　宏一　科学技術振興事業団専務理事
高橋　洋一　中央大学教授
鳥井　弘之　東京工業大学教授
橋本　久義　政策研究大学院大学教授
林　幸秀　文部科学省大臣官房審議官
伴　保隆　元富士通㈱ストレージプロダクト事業本部技師長
平澤　泠　政策研究大学院大学教授
増川　重彦　西武文理大学教授
森　英夫　三菱電機㈱社友
山田　圭一　筑波大学名誉教授
山内　繁　国立身障者リハビリセンター研究所長
米田　幸夫　東京大学名誉教授
読谷山　昭　(財)野口研究所理事長
大熊　和彦　(財)政策科学研究所主席研究員

「21世紀の日本を考える」研究会

南部　鶴彦　学習院大学教授
大石　泰彦　東京大学名誉教授
梶　秀樹　慶應義塾大学教授
金森　久雄　㈳日本経済研究センター顧問
金本　良嗣　東京大学大学院教授
加納　貞彦　早稲田大学大学院教授
川野　毅　エジンバラ大学客員教授
　　㈱ニューオータニ取締役経営管理室長
神田　秀樹　東京大学大学院教授
岸本　周平　財務省理財局国庫課長
木村　佑介　東京都医師会理事
古城　誠　木村病院院長
波頭　亮　上智大学教授
坂東眞理子　経済評論家
　　内閣府男女共同参画局局長
藤原淳一郎　慶應義塾大学教授
横川　浩　大阪ガス㈱顧問
永野　芳宣　(財)政策科学研究所所長
猪瀬　秀博　(財)政策科学研究所主席研究員

今井隆吉部会
テーマ＝21世紀のエネルギーを考える

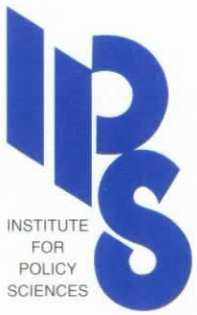
今井　隆吉　原子力委員会参与
　　杏林大学教授
内山　洋司　筑波大学教授
川又　民夫　日本COM㈱相談役
北村　行孝　読売新聞論説委員
坂田　東一　文部科学省大臣官房審議官
下山　俊次　日本原子力発電㈱顧問
竹下　寿英　麻布大学教授
武部　俊一　科学ジャーナリスト
十市　勉　(財)日本エネルギー経済研究所常務理事
藤目　和哉　(財)日本エネルギー経済研究所常務理事
伊東慶四郎　(財)政策科学研究所主席研究員

「グローバル・システムと文明」研究会

茅　陽一　(財)政策科学研究所理事長
　　(財)地球環境産業技術研究機構副理事長／研究所長
市原　新吾　中部電力㈱取締役副社長
大橋　忠彦　東京ガス㈱首席エグゼクティブスペシャリスト
小島　順彦　三菱商事㈱取締役副社長
小宮山　宏　東京大学大学院教授
近藤　駿介　東京大学大学院教授
佐々木　元　日本電気㈱代表取締役会長
佐和　隆光　京都大学経済研究所長
築舘　勝利　東京電力㈱常務取締役
京極　哲朗　三菱住友シリコン㈱代表取締役専務
横堀　恵一　産業創造研究所専務理事
和久本芳彦　国際交流基金日米センター参与
和気　洋子　慶應義塾大学教授
渡邉　浩之　トヨタ自動車㈱専務取締役
永野　芳宣　(財)政策科学研究所所長

●21世紀フォーラム　第86号
発　行：2003年1月31日
発行所：(財)政策科学研究所
東京都千代田区永田町2-4-8
東芝EMI永田町ビル5階　〒100-0014
tel 03-3581-2141　fax 03-3581-2143
E-mail　forum@ips.or.jp
URL　http://www.ips.or.jp
編　集：小浜政子、藤澤姿能子、高取明香
印　刷：(株)ニッポンパブリシティー
Printed in Japan
©(財)政策科学研究所

ゴザインタン(ヒシヤ・パニマ)：空撮／山田圭一



ISSN 0914-0840 ■21世紀フォーラム第86号 2003年1月