

21世紀COEプログラムシンポジウム

本拠点では、21世紀COEプログラムシンポジウムを、平成15年度の拠点立ち上げ時の第1回に引き続き、平成16年度以降は毎年5月に開催し、本研究教育拠点の目指すところ、および具体的な研究内容についての紹介とともに、研究・実験設備の見学を実施している。これは各年度における研究成果の報告を目的としたシンポジウムであり、本拠点の同窓会組織、本拠点の教官が属する学会メーリングリスト等を通じた研究活動の公知を行ない、広く社会人に対して複雑系機械工学を紹介する場とした。さらに本シンポジウムでは、本拠点における研究遂行に対する外部評価を目的として、学外の応用数学、統計物理学、流体力学、材料力学、システム工学の分野で高い見識を持った著名な有識者5名から構成される外部諮問委員会を設置して評価を依頼し、その結果を次年度以降の拠点計画の策定に反映していく場ともしてきた。



第1回シンポジウム（シンポジウム風景）

平成18年度の第4回では京都大学桂キャンパス B クラスタ 桂ホールにおいて開催し、桂インテックセンターの実験設備の見学会を併せて実施した。また、平成19年度の第5回（京都大学芝蘭会館 稲盛ホール）では、本拠点活動の中で研究者として育った5名の若手研究者が研究成果の報告を行った。

ここでは、第2回、第4回のシンポジウムでの討論を基にして寄せられた拠点活動の企画と成果に関する評価・諮問委員の評価書を記載する。



第4回シンポジウム（桂インテックセンター見学）

（1）評価・諮問委員のコメント*

本COEプログラムへの期待と助言（第2回シンポジウム）

本COEプログラムでは5人の先生方に「評価・諮問委員」をお願いしており、先日開催した第2回シンポジウムにもご参加いただいた。われわれの意図は、先生方には外部からご覧になった客観的な評価とともに、半ば「身内」として本プログラムが成功裏に進行するために種々のご助言をいただきたい、ということであった。ここに、先生方の評価書を掲載するとともに、われわれの立場から見た「評価書」のレビューを試みる。

・本COEプログラムの意図について

「目に見える具体的目標を設定してその実現に向かった活動を行う」といういわゆるプロジェクト達成

* 評価・諮問委員の所属は、シンポジウム開催当時のものである。

主義はとらず、「形式的な成果達成よりも本来の学問のレベルを高める」のがこのプログラムの目標であろう、というご判断を述べられた先生方も多く、われわれの意図をよくご理解いただき、また高く評価していただいたように思われる。

・ご批判・ご提案

そのうえでいくつかの懸念が表明されている。ひとつには、本プログラムでは各研究グループは本来の研究を行うわけで、それではこの COE プログラムとしてのまとまりを欠くのではないかと、また本 COE としての包括的な成果があまりにも見えにくくなるのではないかと、というものである。それに関連してのご批判やご提案もある。ひとつには各研究グループ間で研究の方法論や成果をめぐる相互批判を闊達に行う場が醸成されていない、本プログラムの基本精神を共有する努力を行うべし、この COE プログラムのコアとなる研究の成果がほしい、またひとつのグループのなかでさえ分野間に共通項が希薄である、というものである。また、社会から学ぶ仕組みがない、とか報告書の形式に関するご批判もいただいた。これらはわれわれとしてもよく理解できることであり、今後これらご批判に応えるべく努力してゆくつもりである。

本プログラムは今後 4 年間継続する予定であるが、われわれは本プログラムにおいて外部からの目はきわめて重要であると考えている。われわれの活動をより広いパースペクティブから相対化してご覧いただき、ご批判ご助言をしていただく。それによって初めてこの COE プログラムが健全な成長をすることができるであろう。「京都大学の人材だからこそ可能なプログラムの内容なのである」という木村先生のコメントをわれわれに対するお励まし、ご鞭撻のことばとして謹んで受けとめたい。

木村 龍治（放送大学教授、東京大学名誉教授）

本プログラムは、京都大学の情報学研究科の複雑系科学研究分野、工学研究科の流体関連分野、材料研究分野、設計・制御系分野の研究者が共同で組織するもので、1) 複雑系の数理解析、2) 複雑流体現象、3) 複雑構造材料、4) 複雑系の制御設計論の 4 つの柱から構成されている。機械工学は歴史のある研究分野であるから、既に確立された独自の方法論をもっている。そのため、他の研究分野と融合しにくいことが想像されるが、本プログラムの特色は、関連分野との連携を積極的に指向している点である。他分野との関連を特徴つけるキーワードは「複雑系」である。

自然環境にしる、生物にしる、地球表層の自然界は本質的に複雑システムである。自然科学は、その中から法則性を発見し、自然界の構造を体系的に理解しようとする学問に他ならない。また工学は、自然界にある複雑きわまりない素材を利用して、人間生活をより豊かにするための装置を創造する学問である。その意味では、「複雑系」をキーワードにしてプログラムを構成することに新鮮味はない。理学も工学も、本質的にそういうことをやってきた学問なのである。そこで、COE としての意義は、このキーワードの旗印の下で、具体的にどのような共同研究を構成するか、ということである。多くの場合、プロジェクト研究は、研究期間内で達成できる目標を定め、その目標に向かうための作業が研究内容になる。成果を得るためには、どうしても成果が見える目標を立てざるを得ない。第 2 回シンポジウムに参加して感じたことは、本プログラムは、「正しい COE プログラムは、形式的な成果達成よりも、本来の学問のレベルを高めるための作業を行うべきである」という基本理念に従って構成されている、ということである。換言すれば、研究参加者は、COE プログラムの実行のために、本来の研究から脇道にそれた作業を行うのではなく、個々の研究者が指向してきた研究のレベルアップをはかることこそ、COE の意義にかなっているという考え方である。 研究分

野によっては、（たとえば、ヒトゲノム計画のように）期間を区切って目標を達成できるものもある。本プログラムが目標とする「複雑システム」は、問題の性質上、そのような研究ではうまくいかないであろう。いろいろな分野で基礎研究の底上げを行うことにより、その成果が結果的に分野を越えて「複雑システム」に関する学問全体を進化させる方法以外には、この難問を克服する方法はない。

その意味で本プログラムの基本姿勢は正しいと思う。ただ、このようなプログラムの構成は危険を伴うことを感じないわけにはいかない。それは、悪くすると、関係のない研究の寄せ集めによってプログラムが構成される危険性である。COE プログラムと銘打つためには、全体の研究を束ねる部分が必要であろう。私見では、全体を緊密に束ねようとする、基礎研究に対する本来の意味を失う。そこで、この COE プログラムの一部分を束ねたコア研究の成果がほしい。その他の研究はゆるく関連していれば十分である。このような形で、COE プログラムが成功するためには、参加する個々の研究者の研究レベルが高いことが要求される。その意味では、どこの大学でも本プログラムのような考え方で COE プログラムが成功するとは思えない。やはり、京都大学の人材だからこそ可能なプログラムの内容なのである。換言すれば、「京都大学の COE とは、かくあるべし」という姿勢がはっきり出ているプログラムの内容である。

かつて、なぜ、東京大学ではなく、京都大学からノーベル賞受賞者が輩出するのか議論したことがある。その議論の中で、「東大はパリのファッションを日本に紹介する大学であるが、京大は西陣織の美しさを世界に発信する大学である。欧米の研究者には、どちらが魅力的にみえるか」という意見が出て、妙に納得した記憶がある。この COE プログラムが西陣織のような魅力的な研究を世界に発信して、「日本の Center of Excellence は京大にある」という評価を得ることを期待している。

北川 浩（同志社大学客員教授、大阪大学名誉教授）

この COE プログラムはスタートしたばかりであるから、まだ成果の一々を取り上げて評価をする段階ではない。ここでは、掲げられた目標に向けての活動展開の可能性、視点の高さ、組織のモラルといった面からの評価を書かせていただく。

（1）プロジェクトの目標設定と立ち上げに向けてのスタンスに関する評価

工学分野の問題解決に臨むに際して留意すべき重要な点は、科学的方法論によって最終的な解答を引き出すことができるという幻想を克服することである。ものづくりを使命とする工学の立場では、事象を説明することに意義ありとする（旧来の）科学的方法論を至上とする考え方は、あまりにひ弱であり、無用であるばかりか有害なことすらある。科学的方法論の相対化こそがプログラムを成功に導く鍵である。そうした観点から見ると、この COE プログラムは次の 2 点できわめて優れている。まず、機械工学における問題解決を、複雑な動的システムが持つ普遍性を追求することを通じて、新しい工学のフロンティアを形成することを通じて具体的に実行しようと意図していることである。予定調和的な目標を安易に掲げないこのプログラムは、いまこの分野を覆っている閉塞感を破る起爆剤となる可能性を秘めており、展開が期待される。もう一点、複雑系への接近を、解ける問題の近傍問題、あるいは内挿問題として取り組む姿勢を排除していることである。このプログラムでは、そうした問題解決ないしはプロジェクト達成主義は取らず、様々な価値観がぶつかり合うことで触発される共通認識の形成と、それによって誘発される研究者（とその集団）の創発的な意識変化を作り出すことといった、複雑系を追求する優れた知的活動の形成を誘導するプロセスに主眼をおいたプログラムになっている。これまでにない研究（そして教育）拠点の形成が期待できる。

ただし、このプロジェクトを推進している組織は、人数と対象としている追求分野が拡大しすぎている感
は否めない。また、現在進行中の個々の取り組みは、決して旧来の要素還元主義を超えたものとは言えず、
また、複雑さを別の言葉で言い換えたことにすぎないものも含まれている。そして何よりも重要と思われる、
研究グループ間や各個研究間での、研究の方法論や成果をめぐる相互批判を闊達に行う場が醸成されて
いない。今後、研究リーダーの強いリーダーシップの下、創発的、あるいはダイナミカルに各個の研究に対す
るスタンスをより高次のレベルで融合する活動につなげる努力を期待したい。

(2) 現在進行中のプログラムに対する評価

スタートしたばかりのプログラムであるので、今後に向けての希望と期待として書かせていただく。

- ・ 短期間に（しかも少ない予算で）、驚くほど多彩な事業が実施されており、それ自体は評価される。しか
しながらこの COE プロジェクトの本来の目標に照らして、発表論文の数や研究発表会の開催数、外国人研
究者の招待数といった、形の上での業績の集積にこだわることなく、息の長い研究活動の持続と研修途上
にある若い研究者、特に学生諸君を強く刺激し、そこから斬新な研究活動が起こることを期待したい。
- ・ 社会に開かれたプログラムが組み込まれていることは好ましいが、再教育という大学から社会への一方通
行的なものにとどまっている。元来、工学・技術に絡む問題解決には、（歴史・伝承を含めて）経験が大き
な意味を持ってきた。社会連携の場が社会から学ぶ場として機能する仕組みが組み込まれていてもよいよう
に思われる。
- ・ 学生を安い労働力として利用する慣習（悪習）を脱して、研究活動を通して意欲的な人材を育成するプロ
グラムが組み込まれていることは大変に好ましい。ただ、現行の大学院制度（それを認可している文科省、
受け入れている社会の考え方）は、特別に有為な人材を育成することをよしとしない。学生へのばらまきに
近い経済的支援は却って研究に対する純粋な情熱を殺ぐことにもつながる。大学の運営諸制度が大きく変わ
ろうとしている時期でもあり、現行の枠組みにとらわれない、あるいは現行制度の改革を求めるような挑戦
があってよいように思われる。

西田 孝明（京都大学大学院理学研究科）

研究計画として、複雑な機械システムを研究対象とし、複雑系科学を基礎として新しい機械工学を構築す
る計画は、適切である。具体的な研究計画は、各研究室固有の研究を推進することを基礎として、研究室を
結んだプロジェクト研究の推進を図ることは理にかなっている。そのプロジェクトの一つとして、長期的気
象変動予測を可能とする大気海洋システムモデルの構築は極めて期待されることであり、計算可能となるこ
とは、画期的で重要である。シンポジウムの報告の前半（1）（2）の部分について

(1) 複雑系の数理解析グループ

フラクタル解析と確率論の内のシンポジウム講演にあった「複雑な空間における熱方程式の解析（日野正
訓）」は、良い研究発表であった。波動方程式は、どうなるのだろうか？「数値解析の新展開（磯祐介）」に
おける、区間演算の機能を含んだ多倍長数値計算ソフトの構築による計算環境の整備は、今後の逆問題解析、
非適切問題、地球環境シミュレーションの精度保証など応用での活躍が楽しみである。

(2) 複雑流体現象の解明とそのモデリング

各研究室の研究課題が面白い。その共同研究プロジェクトとしての

- ・ 大気海洋システムのモデル化

・乱流制御システムの開発

共に、非常に適切であるが、困難な計画でもある。個々の複雑流体要素の解明と信頼できるモデル化を成功させ、その総合としての上記の大プロジェクトの成功を期待したい。シンポジウム講演に在った「壁近傍乱流の秩序構造の解明と制御にむけて（河原源太）」は、非常に興味深く良い結果である。

北村 新三（神戸大学理事）

平成 16 年 5 月 9 日に開催された標記 COE の第 2 回シンポジウムに参加しての印象を述べる。この COE は機械工学を「複雑性」の立場より再解釈しようとするもので、従来の形にはまった機械工学の概念から新規な領域を開拓しようとする意欲的な構成となっている。このような斬新な取り組みを開始された関係者の各位に敬意を表する。ただし、当日の発表内容は多岐に渡るものであったし、当方の経験範囲外のものも多く、次に述べることに少々不安を持っているのではあるが、まず、「複雑性」である。この用語は、我国においても 1980 年代には使われ始めたと記憶するが、実はこれの定義は現時点でも定まったものではない。この拠点では「(非線形な) 相互作用をする構成要素からなる機械的システム」という捉え方である。システムが多様な構造をとり、そこから新奇な機能(秩序)を創発するという概念である。従来、複雑系は生命体のように要素還元主義が有力でない系、組織化された複雑系、複雑系 (complex system) と込み入った系 (complicated system, これが当てはまるのは人工物であろう)、カオス的な複雑系 (記述は単純であっても、パラメータ敏感性から複雑な現象を呈する)、適応動作が複雑性を生む (複雑適応系) などいろいろと例示され、ひいては複雑性はそれを定義しないという態度もある。実際に、本拠点で取り上げられている課題はこれらのどれかの枠組みには入るようである。当方の主張は「複雑系を定義すべき」ではなく、すでに先人がいろいろと複雑系と名乗って研究をしてきたということを指摘しただけである。

それでも、この拠点は工学の分野であり、具体性を要求され、しかも 5 年の期間において、研究 (世界的な業績) と教育 (博士レベルの人材養成) での成果を期待されている。このためには、「非線形な相互作用をする機械的システム」のキーワードを、各研究課題が認識して研究を進めないと、拠点リーダーとグループリーダーが自問自答することになるかも知れない。各グループはその研究内容ですでに十分な業績を挙げているわけであるから、問題はむしろ、その成果を包括的に語れるかである。

人材養成あるいは社会連携については、プログラムとして良く配慮されている。これも実際にどこまで展開できるかである。さらに欲張って言えば、国際的視点の強化であろうか。計画では IIASA (International Institute for Applied System Analysis) との連携が明記されている。この研究所は当該分野において 30 年も成果を上げてきたところである。京都大学の COE に対しては世界的な貢献を他大学よりはずっと期待がされているところであり、IIASA との協同は実り深いものであろう。

歳本 由紀（京都大学名誉教授）

・全体的な意見（本プログラムの意義について）

機械工学のみならず、現代科学技術の多くの分野において二つの異質な方向で急速の展開が進行しています。一つはミクロ化、高速・高精度・高能率化、大規模化等のキーワードに代表されるような方向であり、もう一つはシステムの非線形性、複雑性にもとづく自己組織・自己制御能力に着目してこれを探究し開発しようとする方法です。しかし、私の見るところ、前者の方向が一般には理解されやすく短期的に目に見える

成果につながりやすいために優勢であるのに比して、環境と人間の長期的な共存共栄のために不可欠である後者の方向が理解されにくく遅れがちであるように思われます。ここに、工学の分野からこのような潮流にインパクトをあたえる COE プログラムが提案され採択されたことをまず高く評価したいと思います。したがって、ぜひともこのプログラムを成功させ、よりバランスのとれた科学技術への志向を定着させる契機をつくっていただきたいと願っています。

・活動計画・運営方針について

長い歴史的経緯を通じてそれなりのしかるべき根拠の下に確立されている研究推進の基本姿勢をこの計画によって大きく変質させることはできません。着実な成果をあげてきたこれまでの体制をベースにし、それぞれの研究者の独自性を尊重していこうとする共同研究遂行の基本方針はそうあってしかるべきものと考えます。その上で本プログラムに謳われている基本精神を共有すべくあらゆる機会を通じて努力されるよう望みます。4つのグループから成る研究組織、若手研究者の育成プログラム、運営組織等については特に意見はありません。

・15年度の成果について

発足後短期間でもあり、現時点で成果について云々できるとは思えません。本質的なことではないかもしれませんが、年次報告書の要約編はきわめて読みにくいものになっています。大見出し小見出しの区別もなくすべての報告が並列されているので内容の構造がきわめて見にくくなっています。今後この種の報告書を出されるときはご注意ください。また、個々の研究者の個性を尊重しつつも、報告書においては各研究リーダーの責任の下であるていどスタイルの統一を保つようにお願いします。また、報告の内容もよく練られたものから雑なものまで混在しているのが目に付きました。

・「複雑系の数理」組織の研究について

私は専門分野との関係から特に「複雑系の数理」組織の活動に関心をもっています。やや残念に思うのは、この組織が数学寄りのグループと物理寄りのグループの間でかなり統一性を欠いているように見受けられることです。それぞれの研究内容に立ち入って評価できる立場にはありませんが、少なくともこのグループとしての共通項が目に見える何らかの形で表明されるよう希望します。また、数学グループの研究内容については専門外の人々にもある程度は理解されるよう格別の努力をお願いしたいと思います。

本 COE プログラムの到達点と今後の展望（第4回シンポジウム）

平成17年度は、「21世紀 COE プログラム委員会」による中間評価を受けた。その結果、総括評価として、「当初計画は順調に実施に移され、現行の努力を継続することによって目的達成が可能と判断される。」という高い評価を受けた。この評価結果を受けて、第4回シンポジウムでは、本拠点活動の今後の活動計画についての議論が行われた。シンポジウムにご参加いただいた評価・諮問委員の先生方の評価書を以下に掲載する。

木村 龍治（放送大学教授、東京大学名誉教授）

本プロジェクトの特色は、「複雑系機械工学」のキーワードの下に、本来、ディシプリンの異なる研究分野がひとつのプロジェクトを構成していることであろう。その結果、まず眼につくのは、指導原理や方法論が研究課題によってそれぞれ異なっているということである。機械工学においては、使用目的がはっきり定まっている具体的な装置の開発や建造が研究の目的になるが、非線形問題を扱う数理科学では、さまざまな

複雑系の裏にある統一原理（骨格構造）を抽出することが目標になる。そこでは、具体化よりは、抽象化が興味の対象になる。環境システムは複雑システムのひとつの例であるが、機械のように、はっきりした目的があってシステムが運営されているわけではない。特徴的なスケールというものが存在せず、顕微鏡的なスケールから地球規模まで、さまざまなスケールの構造が組み合わされて地球環境が形成されており、どこが頭でどこが尻尾なのか判別しがたいところがある。そのシステムの運営には、別の複雑システムである生物の存在が深く関係しているので、その複雑性は想像を超えるものがある。また、このプロジェクトでは、機械工学とバイオメカニズムの接点が見られるが、機械と生体はかなり異なっている。航空工学の研究者にとって、飛行機と鳥は別物である。飛行機の研究に鳥の飛行が役立つと考える人は少ないであろう。

理工学は、合理精神という根は同じながら、専門分野によって方法論が異なっており、従来、専門性の追求が発展の原動力になってきた。その結果、共通言語が失われ、異なる専門分野間のコミュニケーションがきわめて難しい状態になってしまった。それぞれの専門分野でプロジェクトが形成されるのであれば、このようなことは問題にならないのであるが、本プロジェクトでは、専門分野間のコミュニケーションがまぎれずに気にかかることである。

あえて本プロジェクトのような、外面的には統一感の希薄なプロジェクトを立案・実施する意味はどこにあるのであろうか。それは、従来の機械工学に対する「閉塞感」ではないだろうか。産業革命以来、機械文明は留まるところを知らずに発展してきたが、それは同時に方法論の確立をもたらした。日本の大学の機械工学科の研究状況を見ると（全部見ているわけではないが）、研究室ごとにかなり固定した研究テーマがあり、大学院生が手分けをして、研究室のメインテーマを研究しているという印象をもった。このようなスタイルで研究が伝承されていくと、伝統的機械工学の進化は行われても、機械工学の従来のパラダイムをうち破ることは非常に難しいであろう。

本プロジェクトが中間評価報告で高い評価を得たことはたいへん喜ばしいことであるが、高い評価の裏には、従来の機械工学の「閉塞感」をうち破る期待がこめられているような気がする。異なるディシプリンの研究分野を束ねるだけでは、ディシプリンの違いが明確になるだけで、面白くない。そこから、従来にない機械工学のコンセプトが生まれるかどうか、このプロジェクトの成否にかかっていると思う。それは、5年間という短い期間で完成できる小さな問題ではない。場合によって、従来の機械のイメージを覆すような「機械」が産業の中心になる時代の幕開けに繋がるかも知れないのである（例えば、原形質流動のようなものが推進力になって前進し、アーマーのように変形自在な自動車が一般的になるとか）。そのようなかなり長期的な展望をもつと、このプロジェクトは、単に5年間で完結するプロジェクトである必要はない。このプロジェクトの中で、いくつかの新しいコンセプトの芽が生まれれば、それを将来育てていくような体制をぜひ作ってほしい。小さく成果をまとめるよりは、将来の機械工学の発展に指針を与えるような複雑系機械工学のイメージを提案してほしい。

蔵本 由紀（京都大学名誉教授）

本 COE プログラムに掲げられた野心的とも言える目標は、当初は下手をすると謳い文句だけで終わるのではないかという懸念ももっていましたが、これまで3年間のプログラムの進展をふり返ると、意外にも（と言っては失礼ですが）目標に沿った成果が着々と得られつつあるように思います。一つには、「複雑系」というものを漠然と捉えるのではなく、秩序形成能力にもとづく機能創発システムとして明確に特徴づけられた

ことがよかったのではないかと思います。最終目標は「複雑系機械工学」という新分野の創出・確立にあるとされていますが、それが夢物語ではなくってきつつある感があります。機械工学を中心とする本 COE プログラムに限らず、21 世紀に要求される最も重要な科学として、私は工学、生命科学（生物、医学）、数理の三者を頂点とする三角形をしばしばイメージします。そのうちどこに重点が置かれようとも、この三者があらゆる場でますます緊密な協力関係を推し進めていくことがこれからは重要なのではないのでしょうか。本 COE プログラムはまさにそれを他に先駆けて実践している大規模なプログラムであると思います。終盤に向けて本プログラムが一層の輝きを放つことを念じています。

北川 浩（同志社大学客員教授、大阪大学名誉教授）

任意の有理数の間には無限の数の実数が入りうる。大抵の数理モデルでは、それを“連続”という概念で一括りにして類別して取り扱うことが行われる。このようにして無限に存在するはずの多様性を塗りつぶすことによってなされた抽象化によって獲得された知見には、どれほど普遍性のある“複雑さ”が写し取られているだろうか。

‘複雑さの物理的実体によらない普遍的な性質の追求’を眼目として進められてきたこのプロジェクトは、個別的・発見的な追求の段階を終え、普遍的・一般的な知識を形成する段階を迎えている。それは可能なことであろうか、その前にそれは必要なことであろうか。

「複雑系機械工学」の体系化を目指してこの3年間に行われた活動の内容は、‘21 世紀 COE プログラム委員会’の中間評価に正当に反映されている通り（いや、それ以上に）高く評価できるもので、多様・多彩であるばかりか深くかつ広い。プロジェクトのスタート時に計画された内容を越えて展開されている活動も見られ、COE 拠点形成に向けての着実な進展が見て取れる。しかしながら、この活動の延長線上に、このプロジェクトが次世代に語り継がれるような足跡を残すことができるであろうか。このような疑問にかかる次の二つのことを申し上げておきたい。

掲げられたテーマにも謳われているように、何といたってもこのプロジェクトの最大の眼目は、工学の分野でも最も基幹的な、言い換えると工学全分野に実質的な意味で責任を負うことを義務づけられている“機械工学”の活性化を意図していることである。これは大変に意欲的であり、かつ気宇壮大な構想でもある。歴史をさかのぼれば明らかなように、機械工学は、遡ればギリシャ語でテクネーと呼ばれてきた人間の活動の流れの正統的な継承者である。そしてテクネーは、自然、モラルや学問・科学などをそれ自体の内に丸ごと包含し、人間の活動の豊かさに通じている。“複雑性”の数理科学的追求から得られる知識は単純化された一断面にすぎない。（機械）工学をただかた分析によって獲得された部分知に過ぎない科学と対峙させて貶めるべきではない。これが第一点である。

「複雑現象」の追求はアルゴリズム化できるような対象ではない。そのような対象に工学的にアプローチするには、様々な（独立した）考え方がぶつかり合うところに創発的に生じる直感を育むことが必要であろう。これは、最初のシンポジウムでのご挨拶の中で期待を込めて申し上げたことでもあった。しかしながら残念なことに、プロジェクトのスタートに作られた研究組織の形態は固定されたままであり、研究組織間の交流も活発であるようには見受けられない。3 年間という必ずしも長くない期間にこれほどの成果を達成した優秀な研究者より成る研究組織が形成されていることを思えば、より積極的な相互協力の下で研究が進めば、更なる新展開が期待できると思われる。

さらに蛇足ながら、残る研究期間はまとめとそれを踏まえて次に進めるべき新しい研究展開に向けた準備を行う時期でもある。豊かな多様性を生み出したこのプロジェクトの枠内で、成果を統合・融合させるテーマが設定され、それに沿った新たな研究活動が展開されることが期待される。

北村 新三（神戸大学理事，副学長）

プログラム開始後3年を経て、COE プログラム委員会から中間評価を得ている段階であり、総括的には当初設定の目標を達成しつつあると思います。しかし、現在までは、多くの研究者が多様な課題に取り組んでおり、今後のまとめの段階で、各グループあるいは各個の研究課題を、複雑系機械工学の概念のもとに取りまとめていくことが必要であると感じます。

シンポジウム当日に講演がありましたうち、筆者の専門性に近い2つの課題については、次の意見を提出します。

（1）次世代デジタル信号処理—シャノンのパラダイムを越えて、

複雑系数理グループ 山本 裕教授

シャノンによるサンプリング定理（我が国ではシャノン—染谷の定理とも呼ばれる）は第2次世界大戦中の業績であるが、昨今、技術がデジタル主流になるにつれ、それ再考しようという研究は多い。時間的に連続信号（これはあくまでも人間の認識の範囲のことであるが）をサンプリングすれば、サンプル時点間の情報は失われる。だからスペクトルが無限に広い信号では、情報を失わずにサンプリングすることは不可能だから、対象信号のスペクトルを有限帯域に限定すれば、その最大周波数の2倍以上の周波数でサンプリングすればよいという単純明快な結果である。

身近に存在するデジタル信号としてオーディオではCDであり、ビデオでは画像である。言うまでもなく、人間が知覚できない限界までサンプル周期を小さく取るというのが原則である。CDでは44.1kHzのサンプリング周波数であり、可聴周波数の上限が20kHzであることを信じれば、定理上はこれでよいということになる。しかし、オーディオマニアから、どうもアナログディスクに比べ、CDは物足りない（高音部がしっかりしない）という不満が出されていた。この解決のために、より高いサンプリング周波数によるディスクもすでに販売されている。

サンプル値間の値を与えることは、理論的には理想フィルタを作ることになり、これは実現不可能である。しかし、実際の問題では、対象についての先験的知識はあるものであり、これを使えば技術的には内挿の方法は考えられる。もともと、この種の問題はサンプル値制御系でも、信号処理でも古典的課題であった。

発表者は従来この分野の研究を進めてきた。今回提案の手法はサンプリング周波数を上げ（アップサンプル）、次にデジタルフィルタ処理を行い、続いてサンプリング周波数を下げる（ダウンサンプル）というスキームで、デジタルフィルタをうまく設計しようとするものである。これにより、サンプルレート変換器、CDのDAコンヴァータ、メッシュの粗い原画像を内挿復元する問題に良好な結果が得られるとしている。

当該のCOEの研究という立場から付言したいのは、「複雑系」としての捉え方は、この種の問題では、上にも述べたが、人間の知覚あるいは感性をどう考えるのかに関係してくる。これはすでに心理学の分野で多く論じられていることと思うが、そこに踏み込むのか、あるいは別途の複雑機械系としての観点があるのかを明確にしてほしい。

（2）ヒトを内包するソフト・ダイナミカル・システムの研究に向けて

この研究は、従来のシステム設計論、とくに物質世界における明確な因果律に基礎をおく機械論的設計原理から、自律性と適応性を鍵概念とする設計原理への転換を図ろうとする、斬新なアイデアである。本 COE プログラムが目指す複雑系機械工学として一つの主題を提供するものである。

近年、情報処理技術の発展とともに、人間（ヒト）と機器の界面は深くなり、脳の反応を考えれば、むしろ境界は不明となりつつある。発表者は「環境に開かれた動的平衡系が呈する非決定性とカオス性、さらに環境の変化に適応して自らを変容させていくことのできる多様な柔軟性こそが、細胞やヒト、組織・社会に亘るまでの様々なレベルに普遍的なシステムの特性である・・・」「しなやかさとダイナミズムという性質に着目することで、生物界だけでなく、非生物界、とりわけ機械システムのような人工物の設計や、ヒトと機械が織りなす系の新しい設計原理の究明への道が開ける」としている。

人間活動システムを対象とすると必然的に、「意味」を扱わねばならない。そこで発表者が導入しようとしているのは、記号過程（セミオーシス）である。従来の「実体」（存在するもの）と「記号」（モデル）という二項関係に加えて、「解釈」（意味）という項を付加し、三項関係とする。この解釈項は実体と記号の関係を上位より規定する合目的存在であり、たとえば「構造と機能の関係は、系を構成する他の要素から単離されて確定するものでなく、それが包摂される合目的系の中での役割として定まる。」「すなわち、物理的な法則が支配するモノの世界と意味や認識が支配するヒトの世界を繋ぐことが可能となる。」具体的対象として、生体組織、ロボット、生産組織、リスクシステム、都市空間などが挙げられている。

この研究は上でも述べたが、工学として非常に斬新な立場にたっており、その展開が望まれるところであるが、工学において応用可能な理論は、操作性を持たねばならない。すでに各論では目標達成は見込まれていると思われるが、今後、この概念を工学の枠組みでどこまで一般化できかが問題となろう。