

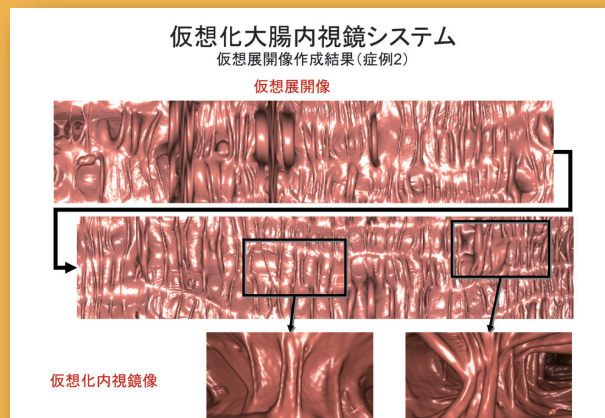
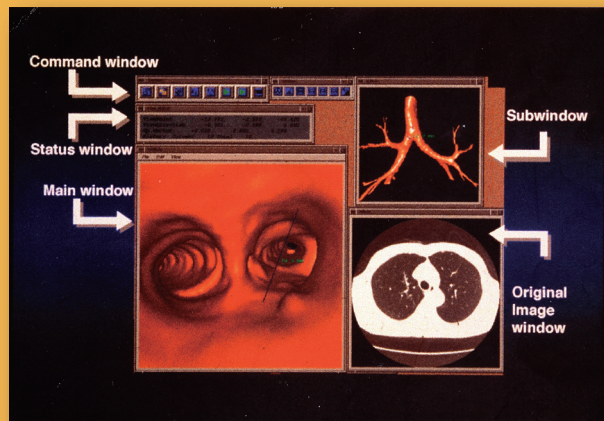
Institute for Advanced Studies in Artificial Intelligence

2010.1

# IASAI News

中京大学 人工知能高等研究所  
ニュース No.25

発行人： 中京大学人工知能高等研究所  
運営委員会 (発行年2回)  
〒470-0393 豊田市貝津町床立101  
Tel 0565-46-1211 Fax 0565-46-1296  
<http://www.cglab.sist.chukyo-u.ac.jp/IASAI/index.html>



## 〈表紙解説〉

筆者のグループで開発した仮想化内視鏡システム(virtual endoscopy system VES)の画面を2例示す。

第一は気管支への応用の場合である。上の図中の左下のメインウィンドウは現在のユーザーの視点位置から前方を見た情景を示す。この場合は気管から左右の気管支へ入る入り口の所にいる。左右二つの管が左右の肺に入っていく気管支を示す。右上のウィンドウは気管から気管支全体の外観である。実はこの図の中にはポインタが表示されていてメインウィンドウを見ている視点の位置を示している。ユーザーはこれによって自分の見ている位置を大局的に把握できる。右下のサブウィンドウは今の視点位置に一番近い位置のCT像(人体の水平断面)である。メインウィンドウは、このサブウィンドウの画面中央部の黒く見える丸い領域の中に立って、この図で言えば奥行き方向を見ていることになる。本文中にも書いたように、これは1994年頃にVESを最初に発表した当時のものであるが、その後VESの基本的画面構成は変えていない。

第二は大腸へ応用した場合(仮想化大腸内視鏡 virtual colonoscopy)である。大腸は細長く曲がりくねった形状で、内部には沢山の襞がある。第1の例と同様に大腸内部に視点を置いて前方を見た情景2例を最下段の二つの画面に示す。このようにどこから見ても見通しは余り良くない。そこで、大腸全体を切開して平面に貼り付けたものがこの図の上2段である。これだと大腸内部を一望できるから、見落としは防げるが、変形が大きく、凹凸の状態がよくわからない。また、今見ているのはどのあたりか、も必ずしもわかりやすくはない。本文にも述べたように、国立がんセンターで大腸がん検診に使用しているのはこの両方式の併用である。この例はここ2, 3年の新しい例である。

どちらの場合も視点の位置や視線の方向はカーソル操作で自由に動かせる。視点の移動に伴い、サブウィンドウの画像やポインタの位置などが連続的に移動し、ユーザーは人体内部を自由に飛び回る印象を持てる。VESがかつてのSF映画“ミクロの決死圏”の世界の実現と言われた所以である。注目すべきは、これが診断に訪れた患者の身体に対してその場で(今ならCT撮影も含めて2, 30分で)できることである。しかし、VESを始めて出した頃、時の国立がんセンター病院長市川平三郎博士に、“鳥脇さん、医者に使って貰おうと思うなら、ボタンを一つ押せば一分で絵が出るくらいにしなくては駄目ですよ”と言われた事を思い出す。今ならこれに大分近づいたと思うが、まだ少々足りない。

(鳥脇純一郎)

■ 巻頭言	中京大学情報理工学部を去るにあたって 山本 眞司	1
■ 特集1：特別寄稿		
	教師を辞めると人間も止める？－現代情報処理批判－ 田村浩一郎	3
	講義『仮想化人体論』－その発想と展開 鳥脇 純一郎	30
■ 特集2：プロジェクト型研究教育報告		42
■ 会議報告		72
■ 2009年度 委託・共同研究一覧		77
■ 2009年度 研究所員一覧		78
■ 編集後記		79

## 中京大学情報理工学部を去るにあたって

情報理工学部 情報システム工学科  
山本 眞司



### (1) 始めに

緑豊かな貝津の丘に、高低差を生かして配置された明るく統一感のある学舎、アンツーカー色のグラウンドなど、恵まれた環境の中で5年間の幸せな歳月が流れました。短期間ではありましたが親切な先生方に囲まれて心温まる日々を過ごさせていただいたことは望外の喜びであり、感謝の気持ちで一杯です。

さて、本学を去るにあたり何か言い残すようにとのことですが、上述の感謝の言葉だけでは短かすぎます。そこで本学情報理工学部（まもなく工学部）の発展を祈念しつつ、私が日頃気になっていたことを2、3記してみようと思います。もとよりどこまで御参考になるかは怪しいですが。。。

### (2) その1—— “辛めの提言？”

最初に私の略歴をお話しますと、大学卒業後日立中研に就職して27年間の研究生活を送り、その後工場へ出て苦難の3年間を過ごしました。50才で一転して某国立大学へ転出しましたが、大学へ着任してまず感じたことは、企業における死ぬほど辛い？日々と違って、大学とは天国のような恵まれた環境である、ということでした。とにかく、教育や研究にどれだけ貢献したかなどと言うことは一切問われることも無く、常に一定の給料と一定の研究費が自動的に支給されるではありませんか！これならば自分の自尊心を満足させる適度の教育と適度の研究をやれば事足りる。毎日が、湯治場の温泉に浸って居る気分で優雅な生活ができるではありませんか！

まあこれは少々誇張した言い方になりましたが、しかしこの状態は長続きしませんでした。少子高齢化の波の中で、企業間競争と比べればまだ相当に甘いとは言え国立大学にも生き残りをかけた競争原理が導入され、伸びる大学と縮む大学との差が歴然とし始めました。我が某国立大学は当時、私の認識では縮む方の大学に属していました。何故ならば、私流に言わせればほとんどの先生方が温泉気分には浸っていたからです。

このままでは他大学に置いていかれる、何とかしないとまずいという気分が学内で醸成され、またこの改革はかなり痛みを伴う改革であるだけにトップダウンで行うしかない、すなわち強力な学長を外部から導入して正面突破をはかるしかないという気分が醸成されました。実際にこれが実現されるまでには幾多の紆余曲折と長い時間がかかりましたが、最終的に縮む大学から伸びる大学への変曲点を通過できたのではないかと私個人としては思っています。もっとも私自身も学長補佐としてサポートした側ですから、少しひいき目にみているかもしれません。

さて長々と前座の話をしました。もうおわかりと思います。これは是非とも杞憂であって欲しいのですが、本学情報理工学部は温泉気分のまっただ中にあるのではないか、このまま流れてしまうと10年後の存立はかなり怪しくならないだろうかということです。私が着任した早々の某国立大学の気分と非常に似ているように思えるからです。

日本の伝統芸能は形から入るとどこかで聞いたように思いますが、そういう意味では建物とか組織とかカリキュラム内容とか、いわゆる形を整えることから入っていくことは大事なことでしょう。しかし幾ら形を整えても魂が温泉気分ではどうにもなりません。この事はしかし温泉に浸っている本人には中々気がつかないことでしょうか。かなりの方が現状に危機感を覚えるようになるにはある程度時間が必要でしょう。

そうした気分が醸成されてきた場合に、では何から手を付けるべきでしょうか。私は過去の経験から例えば下記のようなことを真っ先に取り組んでは如何かと思います。

- ① 競争無くして進歩なし。まずは教員仲間の間に競争原理を大幅に取り入れる。一例としては、教育・研究費の均等配分を廃止して、その大半を科研費同様の競争的経費に切り替える。本学はどちらかと言えば教育重視ですから、教育に対する配分を厚くし、実績評価については外部評価を含めて厳しくやる（科研費のように事前評価のみで事後評価が無いシステムでは駄目である）。この結果は本来ならば、教員の昇給、昇格、あるいは研究室の部屋割りにも反映させるべきですが。。。。
- ② 教員の採用、昇格人事の基準をきちんとした規程として銘文化し、人事に関しては誰が見ても納得のいくようなガラス張りの体勢を作り上げる。現状は、人事に関する規程があるにはあるが、はなはだ曖昧で一部の有力関係者によりどのようにも曲げ得る不完全な状態にあると言えます。

上記の内容は、先端的な大学ではとっくに採用済みの陳腐な内容ばかりかもしれません。本学にとっての妥当性は皆様方の議論に待ちたいと思いますが、本学工学部が30年後も隆々として中部の雄となっているためには、どこかの時点で現状の温泉気分からの脱却をはかり、適度の緊張感と競争原理の働く活気ある学園を実現することが必須の要件のように思われて仕方ありません。

### (3) その2——“発想の転換？”

本学に受け入れている学生の大半は“何とか”通学可能な近県から通っており、またアルバイトを必要とする学生が大半のようです。この長時間通学与長時間アルバイトが重なり合って、学びの教室は極論すれば疲労回復、睡眠を取る場と化してはいないでしょうか？理系学部は学ばねばならないことが山ほどありますから、通学与アルバイトで疲れ果てる環境は学生にとってははなはだ不利と言えましょう。

その一方で若者は都会に対するあこがれ志向が強いようですから、豊田学舎の緑多き広大な恵まれた環境が彼らには少しもメリットに映らず、例えば八事学舎と比較しても相当に魅力に乏しい不利な環境に見えてしまうのでしょうか。

ではどうすれば、不利を有利に転換できるのでしょうか？

私は豊田学舎の学生は全寮制に持っていくのが良いだろうと思っています。そうすれば学生の通学負担は軽減され、その上、集まってくる学生も近県からだけでなく、日本全国から集められます。少子高齢化をそれほど恐れなくても済むかもしれません。全寮制の大学など世の中に存在しない？いえいえ、あります。以前私がいた国立大学はそうでした。北海道や九州出身の学生が沢山いました。

私はさらに踏み込んで、教員宿舎も併設して学生と生活を共にする環境を作り、部活動や補講などを通して、今の若者のしつけ教育不足、基礎教育不足を鍛え直す場とすることが理想型だと思っています。11号館には、教員室とコンピュータガーデンを一体化させるという画期的な環境が既にあります。この優れたシステムを学生生活全体に押し広げようとする、自ずと上記のような形になるのだらうと思います。

もう1つ、学生がコンビニとかガソリンスタンドとかいった体力勝負のアルバイトで疲労困憊している現状を軽減し、もう少し頭を鍛えるアルバイトを創出しないといけません。身近な例としてはTAを徹底的に増やすことではないでしょうか？教室で、あるいは研究室の中で下級生に教える時間を大幅に増やし、教えるという経験をする中で実は自分がより深く理解する環境を用意することが肝要でしょう。人に教えることの大切さは、教員の皆さんが経験的に実感されてこられた事柄ですから異論は無いと思います。古人曰く、“教うるは学ぶの半ばなり”です。

学生にTAアルバイト費を与える財源がない？まずは教育研究費を半減させてアルバイト費に差し向けたら如何でしょうか？減らされた教育研究費は外部資金を取ることに穴埋めすべきでしょう。

### (4) 終わりに

以上、あまり新鮮味のない提言ではありますが、私の過去の体験にもとづいて2,3申し上げました。皆様方におかれましては、現状に甘んずることなく本学を良くするために何を為すべきか十分に御議論いただき、改革に取り組んでいただくことを切望致します。今後のご健闘をお祈りして筆を置きます。

完

教師を辞めると人間も止める？  
－現代情報処理批判－  
Against Current Information Technology



田村 浩一郎

“When describing a complex system, many people resort to diagrams with circles and arrows. ... . The system we need is like a diagram of circles and arrows, where circles and arrows can stand for anything. We can call the circles nodes, and the arrows links.”  
[Berners-Lee1989]

## 1. はじめに

「すべての人間は動物である。したがって、人間でなくなれば、動物でなくなる」。

(... そりゃそうだろう)。

「すべての教師は人間である。したがって、教師を辞めれば、人間でなくなる」。

(えっ、ちょっと待って)。

情報処理というまでもなく論理を土台にして成立している。一見「論理的」な上の2行は、前提部分は同じ表現をしているのに、結論部分については、片方は当然のように思われ、片方は首をかしげる。さらに、結論部分の言い回しを少し変えて、「人間でなければ、動物ではない」、「教師でなければ、人間ではない」とすれば、どちらもおかしく見える。このような奇妙さはなぜ発生するのか。現代情報処理技術はこの種の奇妙さにほとんど無頓着なまま、急速に発展、拡大している。「... は... である」という表現はもっとも基礎的な命題表現であり、当然、情報処理の基底をなしている。にもかかわらず、このような奇妙さがあり、しかもそれは一例に過ぎない。怖い話である。

半世紀以上も前のこと、教養学部の授業の大半はおもしろくなかったが、そのなかで妙に心に残っているのはある数学の授業で、その先生は、なにか話し始めると、すぐそれについて自分で疑問を述べる。それまでの学校の授業はどれも、これが正しいのだからしっかり理解して覚えなさい、というのが当たり前だったから、この先生がいかにも頼りなさそうに思えた。しかし、自分が教師になり、そしてまもなく辞めようと言うとき(もちろん、人間をやめるつもりはない^\_^)、この先生こそが正しいのだとつくづく感じている。

私も、情報処理技術について自分なりに勉強してきたことを学生諸君に教えてきたが、しかし、教えるほどに、疑問に思うことが数を増してきた。この疑問を解くべく、書物やウェブでこれまた私なりに勉強をしたが、すると、ますます疑問が増加した。単に疑問に思うだけに留まらない。実社会の情報処理システムに目を転じれば、不具合、というにはひどすぎる欠陥や失敗が繰り返されている。見かけ上はきちんと動いているようなのに、じっさいは、その場しのぎの応急処置だらけというシステムも多いようだ。また、大規模プロジェクトが途中で頓挫するケースも相次いでいると聞く。社保庁の年金システムなどは、極端にひどい例だが、むしろ氷山の一角と見るべきだろう。なにが問題なのか。私のみるところ、現代情報処理全般にわたって問題だらけであるけれど、その根幹のあまき、ゆるさに最大の課題があると考えられる。インターネット、とくにウエ

ブの急速かつ圧倒的な普及により、全人類がその全活動を情報処理システムに委ねつつある現在、この問題は深刻である。

以下に、これらの疑問、課題、そして私なりの処方箋を思いつくままにまとめてみた。

## 2. いい加減な用語

まず真っ先に言いたいことは、情報処理関係分野における用語のいい加減さである。

Wittgenstein が第 1 次世界大戦のさなか、塹壕の中で書いたと言われる有名な「論考」を(たぶん自信を持って) Frege に送ったところ、Frege は、「用語の定義がちっとも無いじゃないか」といって、一顧だにしなかったという。この場合は、あきらかに Frege が正しい。

Heidegger はギリシャ古典哲学の用語を徹底的に考察し、そこから独自の哲学を切り開いたとされるが、専門家によれば、彼の誤読が多いそうだが、それは偉大な誤読と言うべきか。

いずれにせよ、哲学をはじめとする人文科学では、用語に対しての厳しい吟味と意味の一貫性が問われ、それによって「学問」としての正統性を得ることになる。

ところが、精密科学であるべき理系では、対象が即物的、具体的であるからか、用語に対してのそれほどこだわりのないように思われる。特に工学では、用語に対応する「物」が現実中存在し機能するので、かなりぞんざいな用語法(たとえば、ROM と RAM)でもそう破綻無く通用するが、しかし、同じ工学に属している情報処理、とくにソフトウェアでは、事情は全く異なり、対象が抽象的であるから、これがいい加減では、人文科学系の学問と同様、すべてが砂上の楼閣、バベルの塔となる。

たとえば、某 OS では、「インターネット」という語を WWW とほぼ同じ意味で使用しているが、それを非難する声は聞いたことがない。このように表面的に目立つ誤用、乱用だけでなく、より深刻なのは、情報処理の基礎を成す部分における用語の混乱である。

オブジェクト指向パラダイム(OOP)では、オブジェクト、クラス、インスタンス、タイプ、データタイプ、属性、メソッドなどの語の明確な定義は不可欠なはずである。そもそも「オブジェクト」とはなになのか。あらゆるものが「オブジェクト」で、それは、もの、あるいは、こと、を表す、というのが大方の解説である。つまり、世界に登場するものすべてオブジェクトである。これで定義、ないし説明といえるのだろうか。さらに悪いことには、同じ言葉を違う意味に使ったり、逆に同じ意味のことを別な言葉でいったりする。ほとんどカオスの状況を呈しているといっちは言い過ぎか。

プログラミング言語、あるいはひろくソフトウェア分野で、「変数 variable」や「値 value」は基礎のなかの基礎をなす概念であるが、それさえも曖昧に使われている。ある書物では、オブジェクトは変数である、といったり、値であるといったり、完全に混乱していた。それを指摘したある論者(後述)は、オブジェクトは変数であるといっている(おやおや)。

用語の定義づけは、情報処理の世界そのものに止まらず、およそ対象世界を情報化し、情報システムを作ろうとすれば、どの対象世界に対しても必須の要件である。いわゆる意味論と呼ばれる事柄である。この「意味論」の意味もまた十分な吟味なしにいい加減に使用されている。それを基礎づけようという、いわゆるオントロジーがこれまた驚くほどいい加減なのだ(大昔の素朴な人工知能のいい加減さをそのまま引き継いでいる)。実は、頭書の例文ふたつはオントロジーのいい加減さを象徴している。

ここで揚げ足取りをしてもきりが無い。私が恐ろしいと思うのは、これらの混沌とした言説の上に標準規約が作られ、システム構築技法が語られ、それらがほとんど無批判にひろく受け入れられていることである。

あるソフトウェアの書物(これも、現状ソフトウェアの厳密性のなさを指摘し、ある方法論を展開しているの

であるが、残念ながらその方法論に厳密性が欠けている)に、ソフトウェアと同じかそれ以上に複雑な高層ビルの建設プロジェクトが失敗しないのに、ソフトウェアでは大規模プロジェクトが少なからず破綻するのはなぜだろうか、と問うていたが、要するに、建築界の技術用語や構造力学などの厳密な用語と体系、つまり基礎、基盤が、ソフトウェア界においてはいまだに確立していないからであろう。

### 3. 情報処理の役割とプログラミング言語

そもそも情報処理技術は何のための技術なのか。もちろん、情報システムを構築するための技術である。では、情報システムとは何のために必要なのか。情報サービスを提供するためである。では、情報サービスとは？情報の要求に対し、情報を返すことである。この情報の要求とはユーザ(人あるいは機械を含め一般にクライアント)が知りたいと欲する要求であるが、この要求は、おおもとは実世界から発生し、実世界に対応する要求であるから、その返答の導出も実世界に則ったものでなければならない。この実世界との対応が付かないものならば、単なる記号の変換に過ぎず、すべて無意味に帰す。つまり、情報システムは何らかの形で実世界の事実とそれからの導出を表現(記号で描写)するものでなければならない。その記号表現体系において、実世界と食い違わないような記号変換を繰り返すことが正しい情報処理である。人類のほとんどの活動が情報システムに依存しつつある現在、記号体系で成り立つ情報システムと実世界との間に生じる乖離をこのまま放置し、拡大するならば、人類の運命に致命的な打撃を与えかねない。

ちなみに、情報の要求とは、どんなものがあるか。次の二つに分類できる。

(1) 情報を得る。1 + 1は?というような質問に応えることである。情報の加工(実は圧縮)だけでなく、しばしば、蓄積された情報を利用する。普通、Getと呼ばれる。

(2) 情報を蓄積する。(1)の要求に答えるため、実世界を表現する情報を蓄積することである。実世界は変動するから、それにあわせて、情報の作成、更新、破棄、の要求がある。

(1)のGetをデータベース業界ではReadといい、こちらの三つをそれぞれ、Create, Update, Delete というので、4つをまとめてCRUDという。HTTP1.1のmethodでは、Post, Get, Put, Deleteに対応させることができるが、それを指示するべきHTMLではこの対応が不十分なため、しばしばセキュリティや効率上の問題を引き起こす。ここまではよく知られた話。私が問題にしたいのは、これらのうち、(2)に当たる部分が、実は実世界の変化を反映するための表現ではなく、「記録データ」に対する実装上の操作である、ということである。たとえば、変動に合わせるための「記録の更新」と「誤記録の訂正」は意味合いが異なっている。後述する時変動実体にかかわる微妙ではあるけれど重要な問題であるが、これまでに論じられたことがあるだろうか。この点に関しては、現在の情報システム技術よりも、古来から伝わる戸籍謄本の扱いの方がよっぽど良く考えられている!(結婚や死亡時に、記録を上書きしたり、抹消したりしますか)。

言語、あるいはそれをある意味で純粹化した論理は、ひとつの表現手法であるから、表現する対象の世界が必ず想定されている。世界すべてを丸ごと対象とすることは、神様でなければ(たぶん神様でさえ)不可能であるから、表現対象とする世界の輪郭を定めた対象世界を想定し、その上に立って、論理や記号体系(言語)を作ることになる。

この観点から、プログラミング言語の変遷を見るならば、次のようになる。

機械言語とそれに対応づけられるアセンブラ言語の記述対象は、ハードウェアメカニズムの挙動である。続いて1950年代末にあらわれたいわゆる高水準言語は、数値計算の世界を主対象とするFortran、記号計算を主対象とするLISP、事務計算を主対象とするCobolなどで、いずれも「計算」を対象世界としていると見ることが出来る。ではこれらの言語水準を乗り越える言語を考えたとき、それが想定すべき対象世界は？我々

の仕事や生活を取り巻く多様な実世界そのものである。論理型プログラミングやオブジェクト指向型 (OOP) プログラミングはこの方向へ一歩踏み出した言語と見ることが出来る。ここでポイントとなるのが、言語体系を構成する諸概念と実世界との対応をどう考えるのか、記号による表現世界と実世界とのインタフェースをどうとるのか、言い換えれば、どのような視座から世界を見るのか、という問題である。

#### 4. 私家版オブジェクト指向パラダイム

OOP(Object Oriented Paradigm) はオブジェクト概念を中心として世界を見るパラダイムであり、その実装としてさまざまなオブジェクト指向型プログラミング言語がある。現在、OOP は言語だけでなく、ユーザインタフェースその他の情報処理の各分野で主流となっている。では、オブジェクトとは何なのか。恥をさらさずならば、10年前まで、学生達に、「オブジェクトとはデータとプログラムを一体化したもの」といつていた。なんとも皮相的な、わかったようなわからないような説明である。SIMULA67 以来オブジェクト指向になじんできたつむりの私自身、その理解と考察はそんな程度だったのだ。このような見方をしたのはたぶん私だけではない。これは、計算を対象世界とする言語と同じ立ち位置から見たもの (いわゆる抽象データタイプの見方) であって、実世界との対応を全く視野に入れていない。じっさい、1990年代の OOP についての理論的研究 (たとえば、[Piercel1991], [Gunter1994]) を見ても、意味論モデルの立て方がまさにこのようなものであり、関心の対象は、たとえば、タイプの変換規則や、closure の不動点による解釈など、まさに計算世界を対象とする観点に立脚した考察が行われている。

人工知能の分野では、しかし、1960年代から実世界の表現という意識が強くなり、T. Winograd のフレームなどは、人工知能版の OOP と見なすことが出来る\*。しかし、認識機序への踏み込みが不十分のまま、「知識表現」とか「推論」とか擬人的な用語が災いしたのか、人間の知能の実現などというだけそれたことを謳ったせい、自身のフィールドとしての堅実な発展に繋がらなかったが、そこで開発されたプログラミング技術やシステム開発技術は時代を超える急進性があり、現在にいたるまで、目に見えにくいかたちではあるがそれらの分野に影響を与えている。確実に情報処理技術の牽引役を果たしてきたのだ。ほんの一例を挙げられるならば、最近注目されている並列処理向きプログラミング言語 Erlang は、関数型と論理型の結合としての Actor\*\* モデルに基づいている。いずれも 1970年代までに他にもない人工知能の研究から出された概念である。

ウェブアプリケーション開発のためのフレームワークである Ruby on Rails での Convention over Configuration\*\*\* や多数の時間表現 (「昨年の最初の時間」とか) などは、表面的ではあるが、実世界の記述をめざすという方向性の現れを感じる。Ruby on Rails は、全体的に見て、この方向へ Ruby を拡張、進化させる実装体系と見ることが出来る。まさに Ruby をルールに載せて走り出させている？

パラダイムとはいうまでもなく世界をどう見るか、というもっとも基礎的な世界観に関わることである。その意味で、OOP の「オブジェクト」とはなにか、という問いは、人間の認識の機序 (メカニズム、構造) をどう考えるのか、その問いに答えていかなければならない。計算の実装形式はその次に問うべきことなのだ。

UML やそれをもとにする MDA, OCL などいわゆるモデル指向言語 (表現) は当然、実世界の表現を指向するべきもののはずだが、実際には実装指向、つまり計算世界への指向をぬぐいきれないのか、実世界の認識機序の分析への踏み込みが見られず、現在の OOP 言語や SQL の問題点を抱え込んだままになっている。これでは堅固な表現形式にはなり得ず、システム構築の実践に有効に機能するものとは思えない。集合演算のみでモデル化する言語も散見するが、同様の理由で、その有効性は疑わしい。

いわゆる「認知科学」には二つの面があると考えられる。ひとつは、人間が世界をどのように感受し、どのよう

\* Winograd はその後、Heidegger 哲学などを援用してコンピュータによる知的処理の限界を唱え、その高速処理能力と大規模記憶力こそコンピュータの良さであるから、それをフルに活用することを考えるべきだとして、人工知能の研究から離脱した。この思想のもとで二人の弟子 Larry Page と Sergey Brin が Google を作り、大成功したのはよく知られたとおりである。

\*\*C. Hewitt のあの Actor。なつかしいですね。

\*\*\* XML などによる煩雑な設定によらず、慣例をデフォルトとして取り入れることにより、システムを簡素化し、作りやすくし、かつわかりやすくすること。Convention を「規約」と訳すのは誤解のもとである。



に理解しているのか、その過程を客体化して観察と分析を行うことである。たとえば、U. Neisser の研究など。それに対し、もひとつは、人間は、世界をどのような観点(視座)から理解するならば、より正しい理解とそれにもとづくより正しい思考が導き出せるのか、それについて考えることである。たとえば、H. Putnam の論説など。より正しい思考とは、実世界をより正確に、矛盾無く表現できること、そして、未知のなにかをより正しく推測できることである。哲学(の一部)の認識論がその淵源だろう。パラダイムを考えると言うことは、当然、後者に属する行為である。ちょうど、物理の世界で、コペルニクス、ガリレオ、ニュートン、アインシュタイン達が行ったように。

人間(たぶん、生物一般)のもっとも基礎的な認知機能は、世界の分節であろう。つまり、あるものを他のものから区別し、切り出すことである。この作用を行使しなければ世界は空、すなわち一様としか見えず、なにも認識したことにならない。しかし、なぜ切り出すのか、そのものになんらかの関心(たとえば「食べられる」とか)があるからである。関心がなければ、認識しようとはしないし、まして、表現、記述しようとは思わない。このように、もっとも基礎的な認知機能である分節は、関心という作用を背後に持つ。E. Husserl のいうノエシス的作用である。ノエシスとはわかりにくい、私の(勝手な)解釈では、カメラの撮影に例えるならば、ある関心にしたがって実世界にカメラを向け、それによって見える世界のどの側面のどの部分を見るかを定める志向である\*。そうして得られた世界の像(世界そのものではない)をノエマという。このノエマでの分節によって得られるあるもの、それを「オブジェクト」とする。これは本来主観的なものでありながら、客観性、社会性を持つ。つまり、他人も自分と同様にそれを認知する(分節している)はずである、という無意識の信念を誰もが持つ。他人は別個の物理的存在(ハードウェア)なのだから、全く同じに考え見るはずがないのに、そこそこ似た感じに見ている(感じている、意味づけている)に違いないと考える。すくなくとも、自分が見ている何か、それと同じものを他人(あるいは他の生物)が同じ関心を持って同じような像として見ている、という共有感覚がある(それがミラーニューロンに繋がるかどうかはともかくとして\*\*)。この、最低限の客観性を感じ取るとき、それを(ノエマに対応する)「実世界」の存在、と見なす。つまり、自分の外側に、他人も同じように見ているはずの何か、がある、と思う。それを「存在している」というとすれば、存在していること自体、相対的である。この意味で、自分が死んでも自分以外のだれかは引き続き認知するはずと考えるから、存在物は自分に関係なしに、つまり客観的に「存在」し続ける、と、ほとんどだれもが無意識に思い、疑わない。

この共有感覚はさらに進化し、「空」、「風」というように、本来、全く同一ではないものを同一視する感覚、機能が発達する。昨日の晩見えなくなった太陽が今朝になると再び「同一」のものとして現れた、と考える。「いないいないばあ」を繰り返すうちに、再び現れた母親は隠れる前の母親と「同一」であると「認識」する。さらにそれが広がると、少しくらい違っても「食べられるもの」、「自分にとって危険なもの」、そして、「花」は「花」、「犬」は「犬」と、より精密に類別する能力を身につけるように進化する。

この「類別」は、ふつう、何かしらの類似性、共通性を元にすると考えられ、私もずっとそう考えてきたが、はたしてそうだろうか。この点も、自分で考え、自分が教えながら、じつは臆気ながらずっと疑問に思っていたことの一例である。

いわゆる後期 Wittgenstein のいう「ゲーム」のように、なにかの属性から共通性を見出そうとすると、大抵は困難に陥る。「ゲーム」に限らず、たとえば、コンピュータによるパターン認識の最初のテーマとなった「文字」。「文字」に共通する特徴とは何だろうか。文字セットが与えられ、そのなかの文字のどれかを判別するのは通常の特徴空間の部分の指定でよいが、「文字」概念に相当するものを属性の共通性によって「定義」ないし「判別」することは可能だろうか。もし一般的な「図形」を関心の対象とし、そのなかで「文字」、「非文字」の判別を

\* 廣松渉はカメラによる例えが気に入らなかつたらしいが、私にはわかりやすい。むしろ、廣松はノエシスを過小評価していたのではないか。

\*\* 「ものを掴む」と意図するときには生じる脳細胞の活動がもたらす体内情報の処理伝搬ルートと、他人が「ものを掴む」様子を見るときに生じる感覚器官の活動がもたらす体内情報の処理伝搬ルートとがたまたま重なる部位があれば、そこはどちらからの刺激にも反応するから、それを「ミラーニューロン」と呼んでいるにすぎないのではないか。だとすれば、「意図」のような抽象的な概念のコード化が行われていると言うのは言い過ぎではないか。概念が脳内で局所的にコード化される、という発想自体、ある種の素朴な機械論的視座に基づいている。

するという志向を持つときには、その志向のもとで判別に必要な特徴量(属性)を見出し、その空間で判別する必要がある。つまり、一段高い位置に目線を挙げなければならないのである。しかし、その場合は、「図形」としての「文字」の特徴を見ることになり、「文字」概念そのものを表すものではなくってしまう。

ひとつがある概念としてまとめあげるのは、このように属性(特徴)の値の共通性ではなく、関心、つまり世界を見る志向(ノエシス)を同じくすることである。すなわち、関心事の抽象であり、認識の構えの共通性である。言葉を可視化、図形化し記録するという関心(意志)の対象になるものが「文字」であり、娯楽に興じるという関心の対象となるものが「ゲーム」である。この抽象関心事からみた世界の側面を「対象域」と呼ぶことにする。つまり、あるノエシスが映し出すノエマである。世界に対する関心は無数にあるから、唯一の実世界に対し、無数の「対象域」が作られる。「色」への関心から見た世界(の側面)が「色」対象域であり、そこには、「赤」「白」「黄色」いろいろと「オブジェクト」がある。

このノエマもコミュニティによる共有化がある。それによって、「記号化」「言語化」が進む。認識機序にはこの言語化の機能が含まれる。オブジェクトの切り出しも、そして関心の持ち方、そこから生じる概念化とその言語化も、複数人で共有される(コミュニティの形成と、概念、記号、言語の共有、そして、脳との共進化)。言語は抽象概念の構成に繋がるが、この抽象概念のおのおのもまた、世界の切り出しの結果の一つであるから、世界を構成するものの一つであり、したがって、オブジェクトである。

重要な基本認識作用として、対象域間の関連を見る作用がある。まず、オブジェクトを認める作用自体、それとそれでないものとの区別という、ある種の関係(対比)の上に成立する。オブジェクトそのものだけをみつめてもそれを認識することにはならず、他のオブジェクトとの比較や関係をそのオブジェクトについての情報とすることにより、はじめてオブジェクトを認知する。つまり、関係のネットワークのなかにオブジェクトを位置づける、ということである。それによって、ノエシスに伴う意味づけを行うことが出来る。他のオブジェクトとの関連の情報を全く持たない状態は、世界からそのオブジェクトを孤立させることになり、そのオブジェクトの認識も表現も不可能である。この、他のオブジェクト(そのもとになる実体)との関わり方(仏教で言う「縁」がそれにあたるのかもしれない)をオブジェクトの「属性」と呼ぶ。逆に言えば、あるオブジェクトを表現するには、他のオブジェクトとの関連を与えて表現するより他に方法はない。この意味で、「属性」表現は表現にとって必須なのである。不思議なことに、情報処理の多くの分野で使用されている語であるにもかかわらず、「属性」とはなにか、ということに対する考察はほとんど見られず、用語混乱の一因になっている。

属性は、言い換えれば、そのオブジェクト(のもとになる実体)をある関心事(注目点、側面)からみるものである。つまり、そのオブジェクトを見るノエシスを具体的に表現するものである。例えば、「色」。オブジェクト自身、あるノエシスのもとでとらえられたものであるが、その属性(一般に複数)は自他の対象域を指す、ということは、そのオブジェクトの意味づけの詳細化を他のノエシスによって行うことである。いわば、プリズムで分光するかのように。これは、たらい回しというか、相対化を行うことになるが、どんな実体も絶対的に認識、表現することは出来ないことは上に述べたとおりである。この相互依存性を無視した議論は破綻することを、仏教の中観や禅思想は繰り返し戒めている。

このように属性はそれが指定する対象域のあるオブジェクト(つまり、その属性のノエシスから見た実体のノエマ)を指定するから、それをその属性の「値」と呼ぶ。たとえば、「車」という対象域のオブジェクトに対し、その属性としての「色」の値として「赤」というオブジェクト、というように。この場合、「車」ノエシスのノエマであるオブジェクトのそもその元になる実世界上の実体としての車を、「色」ノエシスが与えるノエマでは「赤」という言葉で表現されるオブジェクトである、ということになる。同様に、「メーカー」、「所有者」などの属性が考えられる。これが私の考える「属性」である。しかし、このような説明は他に見たことがない。

実は、この「対象域」は論理の基本に繋がるが、詳しくは後述する。

ООP 言語で言うクラスは、この対象域を、具体的に属性を与えて定義するものと見ることが出来る。その意味でクラスはまさにソフトウェアで言うところの「関心事の抽象」である。その対象域を集合（あるいは一般にものあつまり）として見立てたとき、その要素はインスタンスと呼ばれる。この意味で、クラスとインスタンスは対比語であるから、「インスタンスはオブジェクトである」とはいえても（これは当然すぎて、言うこと自体が無意味）、「オブジェクトとインスタンスは同じと考えて差し支えない」などとはいえない。この点で UML での用語（や世に溢れているオブジェクト指向言語の解説書）は完全に混乱している。

しかし、対象域はオブジェクトのあつまり、あるいは「集合」とは限らない。ひとつのオブジェクトそのものが対象域になり得る。たとえば、「太陽」。これは、ただ一つのオブジェクトをもつ集合とは異なる。なぜならば、もし、太陽を一つの要素とする対象域を考えると、ここでは、太陽があるか、ないか、という命題が考えられ、その問いを許すことになるからである。ООP 言語では、言語設計として両者が考えられるが、多くは対象域を集合と見なす考え方で言語設計されている。それに対し、ひとつのオブジェクトが対象域となる、という立場に立つと、クラスを与えずにオブジェクトごとにその属性を与える言語になる。JavaScript がその例である\*。どちらがいいとか悪いとか、という話ではなく、どちらもあり得ると言うことであり、どちらも有用である。じっさい、Ruby では、どちらのかたちもとれる。ポイントは、対象域=集合、を無反省に前提してはいけないと言うことであるが、ほとんどすべての ООP の解説、および ООP をうたうシステムではそうなってしまう。もっともその差異の意識さえないものがほとんどであるが。

ある属性の値となるオブジェクトは皆同じ対象域のものである（べき）か？ 多くの ООP 言語と SQL テーブル（コラムを属性と見なした場合）では、暗黙のうちにそうであることが前提されている。しかし、これも必然ではない。なぜ、じっさいのシステムでこのような条件が前提となるのか。値が同じ対象域のものを一つの属性としてまとめ、簡潔に表せるからである。同様に、対象域をオブジェクトの集まりとして見立て、それに対するクラス（あるいは対応するテーブル）を定義するのも、対象域のオブジェクトはすべて同じ属性を持たなければならないわけではなく、ほぼ同じならよいのであるから、クラス（テーブル）定義で与えた属性の値を持たないオブジェクトが紛れ込んでもいっこうにかまわない。その場合は、値を nil であらわせばよい。このように、じっさいにシステムを構築する場合、クラスは、構造化プログラミング、あるいは、DRY (Don't Repeat Yourself) という実践的要請から、似た（共通した）表現をまとめ上げるものであるという側面がある。Ruby を生み、育てているまつもとゆきひろさんは、クラスとは結局のところ、そのようなものであろう、というようなことを述べている（[まつもと 2009]）が、我々の対象域の考えとこの点で共通している。ただし共通性はそこまでで、一つのオブジェクトが複数の対象域にはいることはなく、対象域が異なるオブジェクトは別物である、というきついや請が課される。つまり、世界を対象域で分割している。これは、非常に重要な要請である。

では、属性自体はオブジェクトか。「属性」はオブジェクト間の（本来の実体を介しての）関連を指示するものであるから、オブジェクトとは見なさない。この時点で、「すべてはオブジェクトである」という安易な命題は成立しない。「世界はオブジェクトとそれらの属性によって構成される」というのが、私家版 ООP である。この世界観、認識観が後述する論理の基礎と圏論の世界観にぴったり合うことになる。そして頭書に引用した Berners-Lee の言葉にも。

この世界観（パラダイム）の上に立って世界を描写（表現）するシステムが ООP による情報システムである。ここで描写することの困難さが生じる。どんなシステムでもそれが描写システムである限り、実世界の実体そのものを取り込むことは出来ない。そこで、それを指示するなにかを必然的に使うことになる。この指差し、つ

\* JavaScript では、組み込みのクラスは他の ООP と同じく、オブジェクトのあつまりであるが、そういうクラスをユーザが定義することは出来ず、オブジェクトごとに属性やメソッドを与える。

まり、「参照」が表現の基本中の基本である。オブジェクトの表現（表記）も、この指差し（ポインタ）表記により行われる。しかし、参照をいつまでもたらい回しにするわけにいかないため、最後は、何らかの記号（数や言葉）を使用し、そこでとどめる。これを「リテラル」という。たとえば、「赤」。この記号は、暗黙の互いの了解事項として実世界の「何か」を指さしている。指さすものがない、あるいはわからないとき、*null*とか *nil* とかの特別記号を使用する。データベース論者のなかにはこの *nil* を使うな、という人もいるが、情報収集力に限界がある限り、必需品である。

特殊なリテラルとして「識別子」がある。オブジェクトは（対象域内で）互いに区別する必要があるため、与えるものとして、通常はユニークな数で表記する。これを実世界のもを代理するものとして、代理識別子という。これらは一意性を示すためにたまたま数の形を取るだけであるから、もちろん数の演算等は効かない（にもかかわらず、ほとんどのデータベースでは、データタイプとして整数を指定する）。OOP 的に関係データベースを構成するならば、これが主キーになり、他のタイプのオブジェクトを属性値として示すとき、外部キーと呼ばれる。識別子は、実世界の实体としてのオブジェクトを差すポインタ(参照)と見ることが出来る(ただし、後述するように時変動する実体の場合にはその状態を示す識別子となる)。

どのオブジェクトと特定せずに、「あるオブジェクト」としてそれに仮の標識（名前）をつけ、それを使って何かを記述（表記）すると便利な場合が多いため、この名前付きのものを「変数」という。変数は、自然言語での代名詞の役割を果たす、と考えることが出来る。したがって、「変数」とは「標識（名前、参照）」と「値（参照の対象）」の対で与えられる概念であり、OOP では値がオブジェクト（を示すもの、つまり多くの実装でのポインタ）になる。値をいろいろと取り得るもの（あるいは未定のもの）を狭い意味で「変数」といい、固定しているものを「定数」という。名前から値を得ることを「評価（求値）」という。「値」となるオブジェクトは他のオブジェクトとの関連によって規定されるから、値が変数あるいはそれらの式として与えられることはもちろん許される。ちなみに、「変数とは名前付きの箱のようなもので、その箱の中身が変えられる (mutable)」というような説明が蔓延しているが、間違いであるとともに、危険でもある。これは単なる（危険な）実装法の一つに過ぎない。また、データベースについて鋭い論評を行うことで知られる C. J. Date は、「オブジェクトは変数である」と述べているが、これは間違い。たしかに、OOP でのオブジェクトの表記とその実装は参照（ポインタ）により行われるが、それはもちろんオブジェクトそのものではない。また、OOP での変数は、オブジェクト（の実装値であるポインタ）を値とする変数である。オブジェクトが変数であるというとき、オブジェクト、変数のどちらの概念も誤解しているようだ。Date さえも混乱していると言うべきか。ちなみに、SQL では、JOIN するテーブル名 *table*（対象域に相当）に対し “*table AS x*” という指定が出来るが、これが実は *table* のなかのレコード（行、オブジェクトに対応）を値とする変数と見なすことが出来る。しかし、関係データベース関連の書物でこういう説明を与えているものを私は知らない。たんに、実装上の便宜として与えられるという認識に留まっているのではないだろうか。

「データタイプ」は、実装上のデータのタイプであり、抽象的、一般的なタイプとは区別される。つまり、実世界でのつながりを持たない実装表記の事情を示すものである。「タイプ」はしばしば対象域を指すものと考えることが出来、本稿では、そのように扱う。すなわち、タイプはノエシスを指示する。このように考えると、「データタイプ」は味わいがある語である。实体としてのメモリ上の 0,1 の羅列を「整数」としてみたり、「文字列」としたり、さらには「動画」として見たりする、その見方、意識作用を示すからである。Husserl はそこまで見通していた？

オブジェクトはそれが所属する対象域があるから、そのオブジェクトを値とするような変数にはその対象域が指定される。この表記法は、変数名を *x*、対象域を *type* とすれば、しばしば、*x:type* と表記される。この

表記法は、「対象域 *type* のあるオブジェクトを仮に *x* と呼ぼう」という意図を表す。また、属性値は、*x* のある属性を *attr* とすれば、*x.attr* と表される。これらの表記法は、本来の意味合いを簡潔に、的確に捉えている。現代情報処理で優れていると思われる数少ない記法例である。

では、「継承」はどうか。ある対象域（親領域）で共通して持たれる関心事を引き継ぎ、あらたに関心事を追加して想定する対象域（子領域）を設定するとき、子領域から親領域への「継承 (inheritance)」の対応がある、という。つまり、複数の対象域で同じ属性がいくつも見られるとき、それらを抜き出して親領域にまとめ、DRY 化をはかる仕組みである。したがって、親領域と同じ属性を持つのであれば、なにも子領域を分離する必要は全くない。にもかかわらず、この階層構造に注目があつまり、しかも、子領域は親領域の部分集合であるようなイメージが持たれているため、UML では不必要に「継承」表記が多用される。

実は、この問題は、継承した子領域のインスタンスであることを止めたオブジェクトは親領域のインスタンスでなくなるのか、なくなるのか、という問題にかかわる。ほとんどの OOP 解説書ではこの問題を明示的には触れていない。UML でも、また、低次オントロジーでも触れていない。しかし、OOP の実装システムの多くは、継承関係を親クラスへのポインタを使って実装するから、その結果は、自動的に（暗黙のうちに）親領域のインスタンスではなくなることになる。そのため「人間」対象域を継承するものとして「教師」対象域を考えれば、「教師をやめると人間も止める」ことになってしまう。しかし、われわれのいう「対象域」は世界のある側面であり、対象域が異なるならば、そこにある（映された）オブジェクトは異なるオブジェクトである。したがって、子領域（つまり関心事が付加された対象域）のインスタンスでなくなっても、親領域のインスタンスでなくなることはない。

では、対象域を集合と考え、子領域は親領域の部分集合であると考えるとどうなるか。このような説明も多く見られるし、そう見なしている人も多いと思われる。しかし、部分集合の要素でないことから、親集合の要素ではない、という結論は出せない（そのような誤解を招きやすい部分集合の説明が多いが）から、子領域のインスタンスであることをやめたからといって、親領域のインスタンスでなくなるという結論は出せない。

情報システムの設計時には、ある対象（概念）を「対象域」とすべきか、なにかの対象域の「部分」とすべきか、正しい判断が求められる。この判断を誤ると、後にクラス設定とデータベースのテーブル設定の変更を引き起こし、システムの柔軟な進化、拡張を阻害し、実装を混乱させる元凶となる。すくなくとも、あるものの部分だからという理由だけでその子領域を設定することは避けるべきである。対象域と部分に関する議論はのちに詳述するように、両者には明確な違いが存在する。この両者の違いを十分理解していないで「継承」を使うと、大きな誤りが密かに潜入することになる。

## 5. 同一性と等価

世界の中からオブジェクトを切り出したとして、あるオブジェクトとあるオブジェクトが「同じ」かどうか、その判定基準が論理のもっとも基礎的な基準となる。にもかかわらず、この概念はしばしば曖昧にされたままである。「同一」であることと「等価」であることとはもちろんことなる。数学では（暗黙のうちに）同一であるものには同じ名前（標識）を用い、「等価」は、2 者の一種の関係と見なして、その条件を設定する。このように「等価」関係は絶対的なものではなく、相対的であるから、状況や文脈、視座によって変わるが、その土台となる基準が「同一性」である。同一なものどうし、つまり、自己は自己に純粋に「等価」である（しかし、時変動するオブジェクトは刻々と自身と異なるから。その場合、同一とは何かについては、後述する）。

では、OOP においてオブジェクトの等価はどのように設定されているか。おおくは、オブジェクトの表記（実装としてのポインタ）が等しいとする与え方と、値（つまりポインタが示す場所にあるオブジェクト表記。変数

の値ではない)を比較してそれが等しいとする与え方, など何通りかの与え方を用意してある。プログラマ達はこのことに最大の注意を払いつつプログラミングしないと痛い目に遭う(じっさい, かくいう私自身, Ruby on Rails が Ruby のもとの等価比較("==")を上書きしていることを忘れてバグを作ったことがある)。

等価については, 次のような intention にかかわる問題もある。これも, 同一と等価との区別の必要性を端的に表している。

「XさんのパスワードとYさんのパスワードは等しい」。

「私はXさんのパスワードを知っている」。

「したがって, 私はYさんのパスワードを知っている。だからなりすましが出来る」。

おかしいですね。等しいからといって, 命題の中で盲目的に置換はできないのである。1960年代にオクスフォード学派で取り上げられ, その後, AIで紹介された問題(実は, 古くは, Fregeの Sinnと Bedeutungの問題)だが, 現代情報処理システムではだいじょうぶだろうか。ハッシュ化の一意性が破られるケースが見つかったといって騒がれる状況を見ると, こんな思いにとらわれる。

## 6. 「集合論」は王道か

さて, では, この思考の還元的厳密化による20世紀の蓄積と洗練を端的に表すものは何か。私は, それを集合論に見ることが出来ると思う。厳密な集合論の構成とそれを基礎に置くことにより, 数学がはじめて厳密科学になった, といってもよいだろう。それまでは, ポアンカレをはじめ, 結構間違いだらけの議論が多かったらしい。

そこで, 関係データベースも, そして, もちろん論理型プログラミング言語も, さらに, ソフトウェアの形式的検証や仕様設定, モデリング, 意味論など, 厳密性を尊ぶ, あるいは尊ばなければ意味がない分野では, その基礎を集合論におくことになった。21世紀に入ってからも, あらためてこのことを提唱する書物が何冊も出されている。「集合論」を使わない議論よりも「集合論」を使用する定義づけや議論の方がはるかに厳密性と正確さを増すことは言うまでもなく, この動向は一応, よろこばしいことではある。

しかし, ここに落とし穴がある。

「集合」の概念自体の厳密化, つまり単純化, がそれほどうまくいかないのである。まず, 20世紀初頭に Russellのパラドックスに見舞われた。これは, 「集合」とその「要素」の関係を問うものである。次に, 単純な公理系が作れないという難問が生じた。そして, これらの理論構築の基底の混乱から, 用語の乱用が生じた。その典型が「部分集合」である。多くの書物で「部分集合の要素はすべて(親)集合の要素である」と書かれている。では, 部分集合の要素でなくなると集合の要素でなくなるのか, 否か。この命題を述語論理で解釈すれば, 前提条件(「部分集合の要素である」)が否定されても, 結論部分(「親集合の要素である」)については関係ないから, 答えはどちらともいえない, ということになる。しかし, 素朴な気持ちで上の命題を解釈すれば, おおかたは, 部分集合の要素であることは親集合の要素でもあるというのだから, 部分集合の要素でなくなれば当然親集合の要素でもなくなるだろう, と推論するだろう。初等教育でよく使われる(近頃は大学でも使う) Vennの図で説明されたりすれば, なおさらであろう。

なお, 集合論と命題論理, 述語論理を一体化してみなす風潮が教育でも学界でも蔓延しているが, 大きな誤りである。本来別個のものであって, たまたま両者が似通っているに過ぎない。もちろん, その類似性から, 意識的に, 論理のモデルとして集合論を用いることは有効である。しかし, その有効性には限界があることを承知しなければならない。

## 7. 実体を自立、自存視することの誤り

集合論的認識のどこに本質的なあまきがあるのだろうか。集合論の数学的基礎付けの議論は山のようになされてきたが、集合論的世界観の問題についての議論を残念ながら私は知らないので、自己流で次のように考える。

対象は自立、自存するものではなく、相互の依存関係のネットワークの中でしか意味づけられない、という思想は、仏教をはじめ、様々な哲学で広く見られるものである。しかし、この相対論的見方の究極にあると思われる数学の基礎とされる集合論において、その視点が、ありそうで、欠けているのではないか。「集合」というオブジェクト、その「要素」とされるオブジェクト、とそれぞれ独立自存する概念としてとらえるならば、では、自分自身を「要素」とする「集合」という命題は成り立つのか、成り立たないのか、という問いかけの発生を許してしまう。しかし、あきらかに両者は相互依存していて、両者の関係の中に位置づけられて始めて成立する概念である。つまり、「集合」と「要素」がそれぞれ独立してあるのではなく、「集合とその要素」という相互関係のうえに始めて成立するのが、「集合」と「要素」である。ちょうど、「夫」と「妻」が「夫婦」という関係の上に始めて成立する概念であるのと同じであるし、コインに表があるのは裏があるからで、片方だけを切り出すことは出来ない。この手の話は禅問答の中にたくさん出てくる。禅問答だけではない。プラトンや Hegel の「同は異であり、異は同である」というような言い回しも同様で、対比概念をそれぞれ独立したものとしてあつかうと途端に一見奇妙なことになるのである。

オブジェクトは、それぞれを個別に孤立させて認識することは出来ない。かならず他の(見方による)オブジェクトとの相互関係の中に位置づけて、はじめてそのオブジェクトを認識できる、つまり意味づけることが出来る。

たとえば、自分自身。自分は自分であると言い張っても、他人がそう認めなければ自分が自分であることを証明できない。社会的な参照ネットワークの中に位置づけてはじめて自分が自分という存在になる。自分が自分であることさえ、相対的なのだ。Ortega の有名な言葉、「私は、私と私の環境である」はまさに的を射ている。このことは、なにも深遠な宗教や哲学に限られる話ではない。少なくとも情報処理にとってきわめて実践的な意義を持っている。たとえば、SSL\* の会社は(こういう思想を意識しているのか知らないが)、ある人ないし組織であることを認証する前提として、その人ないし組織の社会での多面的裏づけ調査を必ず行うし、自社の正統性を保証するための認証の跡付け(traceability) も行う(そのおおもとなる肝心の政府機関 — 経済産業省、それとも総務省? — 自体が自分のウェブサイト認証する SSL を使っていない。もし Phishing にでも使われたら?)。

セキュリティについてもいろいろと疑問が多いが、ここでは認証の問題に触れたので、それについて述べたい。

情報システムはなんらかの意味で実世界のモデル化であるから、システム内のデータとその実世界への対応付けは決定的に重要である。その最たるものがユーザ認証であろう。システムがいま相手にしているユーザが誰なのか、その確実な保証なしに、セキュリティについて技術的にいろいろやっても意味がない。ところが、どうすれば確実な認証(本人であることの証明)ができるのか。そこに重大な誤りがしばしば持ち込まれる。たとえば、バイオメトリックス。(指紋、掌紋、声紋、虹彩、面相、さらには DNA など)。それに、印籠、花押、署名、カード。これらはすべて本人の属性のひとつ(つまり別オブジェクト)であって、本人自体では決してない。したがってこういうものを使うシステムを騙すのは簡単であり、ハリウッド映画にさえしばしば現れる。逆にそういうものを紛失したり破損したりすれば、ただちに自分自身の証明が出来なくなってしまう(指紋を使うパソコンで何度もそんな目に合わされた)。本格的にユーザ認証を行うには、サーバと対称的な認証、いわば逆 SSL のような仕組みが必要である。しかし、それだけでは接続する「機器」の認証に過ぎず、それを使う

人の認証にはならない。最終的にはなんらかの生身の人自体の同定が必要であるが、そこで、認証カードや

\* SSL は、通信の暗号化以上に重要な役割として認証機能を併せ持つ。あるサイトが間違いなくその名乗り通りのサイトであることを「保証」する機能である。

バイオメトリックスを使ったのでは、上述のように意味がない。では、人そのものを示すものがあるのだろうか。その人のそれまでの人生の記憶とそれを証言する周囲の人々、つまりは、自分についての参照ネットワークの存在、ということになるが、それではあまりに不便である。そこで、実世界でのその確定をしたのちに、SSLと同様、秘密鍵を与え、それを本人の脳のなかにしまってもら（これをパソコンに入れたり、カード化しては意味がない）。しかし、秘密鍵となる巨大な数（たとえば150桁の素数）を覚えるのは、特殊な能力の持ち主は別として、とても出来るものではない。それにかわるのが本人が決めるパスワードである。パスワードを使う本人も、それを何かしらの形で同定のために使うシステム側も、可能な限り他人に知られないようにすることによって、真の本人同定に近づくよりほかない。あくまでも、相対的な認証でしかないが、これがわれわれの認識機序の限界なのである。もし本人がパスワードを忘れてしまったら？ また最初からやり直すしかない。

## 8. セキュリティ

インターネット、とくにウェブはセキュリティについてあまり気にせずに行われたため、本質的に脆弱であることは、いまよく知られている。では、「セキュリティ」とは何なのか。突き詰めるならば、自己保存の本能に根ざす自己の安心、安全である。もう少し広げれば、自己の所有物、あるいは家族や国のように自己が属すると考えるものの安心、安全である。では、情報のセキュリティとは何だろうか。自己が保有する情報の安心、安全を図ることであり、もう少し具体化すれば、それらの情報へのアクセスを制御することである。情報へのアクセスとは、ものへのアクセスと同じで、「感知」と「変更、破棄などの作用」の2種類であり、これらを許す、許さない、というのが制御である。では、情報の所有者とは誰なのだろう、そして、許す、許さないとする対象はだれなのだろうか。これらを定めなければ、「アクセス制御」の命題は成立しない。至極当然な考え方だと思うのだが、この種の議論はこれまで聞いたことがない。

情報の所有者とは、自分のパソコンの中の情報のような財産としての情報の所有者であることのほかに、情報の発信者（作成者）を含んでいる。「著作権」のうち、著作者人格権に相当する考え方で、情報を発信すると同時に自動的に備わるべき権利であるとする。個人情報とは、個人が意識するしないにかかわらず発信している本人についての情報であると考えれば、すべてこの意味でその個人の所有物である。したがって、これらの情報はその個人がアクセス制御の全権を持つ。「自分の家の洗濯物が写っているのがいやだからやめて欲しい」という人がいれば、Street Viewはその要求に従わなければならない。これが本来の「個人情報保護法」の趣旨であろう。私の理解では、そのように定められていると思う。多くのウェブサイトで、「個人情報保護法にのっとりシステムを運営しております」みたいなことがお題目のように書かれているが、具体的にどうアクセス制御しているのかが書かれてなく、本当に保護しようとしているのか、きわめて怪しい。誰に何をどう許すのか、明確にセキュリティポリシーとして宣言するべきであろう。

情報の所有者がその発信者であり、アクセス制御の対象者がその情報の受信者であるからこそ、発信者、受信者の本人同定（現実世界の本人とシステム内の記号との対応）が致命的に重要な課題となる。この点については、上述した。システムがいま相手にしているユーザは、実世界の誰であるのか、その対応が常に正しく付けられている、という前提を確保した上で、さまざまなセキュリティ対策が組み立てられなければならないのだが、世のセキュリティ論ではしばしばこの重要な点が無視されている。たとえば、ファイアウォール。アクセスする機器のIPだけでアクセス制御をしても意味がないのだ。これは学内（社内）からだけしか見えなから大丈夫だ、とかよく言われるが、IPアドレス自体、アクセスする人自身とは本来なんの関係もないから、じつは、セキュリティとして全くの無防備であるのと同様であるし、たんにシステムを使いにくくしているに過ぎない。じっさい、なぜか内部犯行が多いのか。技術的に見ても、外側からアクセスできない不便さを和ら



げるためにVPNを許すということ自体、その抜け道の存在を認めていることなのだ。1990年代からいわれているイントラネットは、ほとんど無頓着にこのIPアドレスの区別だけで内部、外部を決めているため、本来のセキュリティが全く機能しない\*。後述するイントラサイト (IntraSite) は私の造語であるが、このことを意識し、あえてイントラネットとは異なるという意味で使っている。

このように、本人性認証の重要性を明確に意識した上で、システムをどう作るか。その出発点がパスワード付きのログインである。ここにも多くの問題がある。HTTPではベーシック認証とダイジェスト認証とが用意されているが、いずれもそれだけでは無意味なのである。まずベーシック認証では事実上パスワードは通信ルート上で保護されていない (通常のメールと同じ)。したがって、かならずSSLを設置してその上で使用しなければならない。ダイジェスト認証は、パスワードは一応保護するが、それにつづくメッセージ本体にはなんの手当もしないから、この保護は全くの無意味である。ブラウザ側にも問題があり、数年前からOperaとそれを使用するSafari、それにIE8では、ベーシック認証で、サーバへの要求ごとにユーザ名とパスワードを送ることをやめてしまったため\*\*、ベーシック認証そのものをほとんど無意味にしてしまっている (これらのブラウザに対し、現イントラサイトが「不適格なアクセス云々」のメッセージを返すのはそのせいである)。こうして、自前でログイン認証システムを作るケースが多いのだが、それもいい加減に作られたシステムが多いようだ。たとえば、CSRFにやられたmixiでの「はまちちゃん騒動」とか。ちなみに、このSNS (だけでなく、ほかのもの) はセキュリティの穴だらけなようで、使うとすれば、危険を承知で使うべきだ。

本人性をしっかりと確保するシステムの上で、XSS (cross site scripting) のもとやウイルスなどを送り込むのは、白昼、素顔丸出しで強盗に入るようようなものであるから、多少とも知性のあるものに対しては、少なからぬ犯罪抑止力があるはずである。こういうことを考えず、新しい手口とその防止策だけを追い求めている限り、情報犯罪とその防止策のいたちごっこは終わらない。

アクセスする人の特定、つまり実世界の本人との結びつきを厳密にすることをいつてきたが、匿名を許すな、と言っているのではない。逆に、匿名は社会の健全性を保持するために不可欠である (じっさい、選挙の投票は匿名である) から、それを認めたくて、匿名者のアクセス権限を制限するべきである。そしてシステム管理者はそれをセキュリティポリシーとしておおやけに宣言するべきである。

さて、次に受信者の設定の仕方である。ここでいう受信者とは、その情報を見る、得ることが出来るという意味である。この範囲を設定する権利は、情報の発信者にあることはすでに述べたが、インターネットは、だまっていれば、世界中のだれもが受信者になってしまう。これがインターネットのすばらしさではあるが、同時に凶器になることが依然として多くの人々にほとんど意識されない。実世界と異なり、ネット世界は無音の闇のように、生身の相手が全く見えず、声が聞こえないから、危険性を感じないのが自然と言えば自然なのだが、実は危険だらけの闇である。

受信者の設定は、メールでは、個人 (の列挙) とグループ (メーリングリスト) を与えることで行われるが、多くのメールシステムは、通信回線の暗号化による保護がされないから、全くの筒抜けで、しかもサーバへのアクセスのパスワードも丸見えなため、メールの宛先は、上の意味での「受信者」 (閲覧可能者) を指定したことにならず、たんなる気休めである。ちゃんと作られたウェブメールならば、この点は十分考慮されているが、昔の (例の) 某社のウェブメールではパスワード保護が全くされなかったという信じがたい事実がある。いい加減さの極みである。

宛先は、明確に論理的に規定されなければならない。たとえば、宛先を「\*\*部x課」とすれば、その課の全員のみが、厳密な意味での受信者とならなければならない。そして、組織は変わるし、人事異動はど

ここで日常茶飯事であるから、いつのときのその課の全員なのか、これが問題となる。それを誤れば、「イン

\* ファイアウォールはいわばマジノ要塞とおなじで、頑丈であればあるほど、それに頼りようになるため、裏をかかれると被害は壊滅的になる。

\*\* RFCで、「そうしてもよい」と書いてあり、たぶん若干の通信効率向上のつもりだろうが、こうした「効率向上」はしばしば致命的な問題を引き起こす。IE8のGETのキャッシュなど、そのひとつの典型である。

サイダー」問題での紛糾のタネになったりしてしまう。メッセージとして送る場合と、予定表の予定記事として送る場合とでは、発信者の意図を最大限尊重するならば、この時間の扱い方が異なることになる。これらは後述する「同一性と時間」の項にかかわる問題で、実践的にきわめて重要な課題である。しかし、これらを論じた例を私は知らない（後述する IntraSite2 では、一貫した方法でこの課題を解決している）。

セキュリティに関しては他にもいろいろ述べたいことがあるが、世間一般はもとより、セキュリティの専門家の言説をきいても、失礼ながら「頭隠して尻隠さず」ではないか、と思うことが多い。ひとえにセキュリティの原点、そしてその根底をなす世界認識の視座を問う姿勢が欠けているからであろう。

## 9. オントロジーへの疑問

今世紀初め、Berners-Lee が、「ウェブページに書かれていることが人間だけでなくコンピュータが理解できるようにならないか」と問いかけ、それがきっかけになって、いわゆるウェブ意味論の研究と開発、応用が盛んになった。しかし、「意味」の「意味」が理解され共有されないままでは確かな技術が確立しようもなく、ここまで何度も述べたとおりである。この問いかけに答えたのがいわゆるオントロジーである。オントロジーは1980年代にAIで盛んに研究された分野だが、その底の浅さからしばらく下火になっていた（ように私には思える）がウェブ意味論で息を吹き返した（ように私には思える）。

では、オントロジーは、まともな意味で、ウェブのコンテンツに意味を与えることが出来るのだろうか。まず無理だろうと、私は思う。

第一に「意味」の「意味」をどう考えているのかが相変わらず明確ではない。Berners-Lee が望んだように、機械が「意味」を理解するとはどういうことなのか。それがまず判然としないのである。辞書のように、言葉の意味を言葉で説明することが「意味」ではないことは、それでは「機械」が理解できないから、明らかであるが、では、意味ネットワークや述語論理式に変換して行うことはどうなのか。やはり、言葉という記号体系の意味を別な記号体系に翻訳するだけであるから、辞書的な意味の与え方と本質的に同じであり、その翻訳された記号体系を機械が「理解」という問題が残されてしまう。このやり方はせいぜい、より厳密な（と思われる）別言語に翻訳するに過ぎない。ここで2つの新たな課題を作り出してしまふ。第一にもとの言語（自然言語や図）の持つかなりな情報が翻訳という過程で消えてしまうこと。たとえば、微妙なニュアンスなどは間違いなく消える（というより、曖昧さを取り除くために積極的に取り除こうとさえする）。次に、翻訳された言語体系が果たして十分に厳密で正確なものなのかどうか、これが怪しい。正確で厳密な体系とは、その体系により正しい「推論（情報処理）」を可能とすることである。さきのように、「教師を辞めると人間をやめることになる」などという「推論」が生じては困るのである。

より正確で厳密な記号体系を裏打ちする方法として、モデル空間を作る方法が考えられている。たとえば、プログラミング言語の意味の与え方の手法として、λ計算式に変換（翻訳）し、それを連続束の上に写像する表示意味論（denotational semantics）がよく知られている。すなわち、対象域の実体をすべてある構造の数学的空間に写し込み、そこでの実体への写像を「意味」とし、この空間でいえることをもって、記号体系上の推論（これは記号演算である）の基礎とすることである。この方法は、精密化、正確化の方向として、たしかに前進する方向であるといえよう。したがって、オントロジーもこのようなモデリングが必要であり、じつさい、表示意味論を与える研究も行われているようだ。また、圏論による厳密な定義づけも行われようとしていると聞いている。このようなしっかりした土台は絶対必要であり、その努力が続けられているに違いないが、ここでさらに問題が残されている。

プログラミング言語のように、その性質上、もともと厳密な、曖昧さを許さない（はずの）言語表現ならば、

このような厳密なモデリングが意味を持つが、一般のウェブページの内容のように、自然言語で書かれた内容や、まして画像や動画にこのような厳密性を求めることは出来ないし、むしろニュアンスのような曖昧さを許すことが自然言語の良さではないかとさえ、思われる。そのようなものの意味を、厳密さを持つ体系で表すことはそもそも矛盾した作業になるのではないか。

次に、商取引のようにもともと一定の厳密性を必要とするドキュメントに対してはどうか。じっさい、semantic web service と称してこの分野の研究開発が進んでいるようだ。すなわち、B2B のように、相互に XML 形式でデータを交換し合い、取引の自動化を行うとき、使用する XML のタグを前もって厳密にあわせることなく、何らかの形式で、それぞれの「意味」を定義しておき、タグの意味の互換性をそれで取るようにしようと言うことである。これがかなり問題ではないか、と私は思う。なぜならば、実体はいずれも相互関係で成立することであり、実体を示すタグの意味はその相互関係のネットワーク上に位置づけられて始めて定まるものである。じっさい、企業や組織の仕事のやりかたはいずれも似ているはずなのに、組織形態や帳簿体系、つまりはビジネス構造がそれぞれ微妙に異なり、単純な逐次翻訳のようなやり方ではうまくいかない。うまくいかないからこそ、「意味」がわかり合えればいいのに、と「意味」の「意味」の曖昧さに逃げ込んでしまっているのだ。しかし、このようなズレは、パターン（参照のネットワーク）のズレであり、個別実体のズレではないから、どんな厳密なモデリングをしたところで解消できない。無理に解消するには、このズレを修正するよりほかない。つまり、新たな「標準語」を規定して、それに皆が従うしか手が無くなる。もともとこのような「標準化」の一つの基準として「意味」が期待されたのに、何のことはない、その「意味」を否定して、人工的に別言語を作る羽目に陥る。

卑近な例で言えば、イントラサイトの基本データのうち履修データ、カリキュラムデータなどは教務課のデータベースから移植するが、同じ対象世界を扱っているにもかかわらず、相互のシステムの「意味合わせ」がむずかしい。何を実体とするか、考え方が異なっていることが最大の原因であるが、もともと教務課データベースにその「実体」概念が希薄なのである。このようなシステム間で、オントロジー的に意味あわせをすることは絶望的に困難である。結局のところ、人間が見て語句などを調整して移植を行っている。それでも食い違いや誤りがどうしても残る。

そもそもなぜ機械が「意味を理解する」ことを望むのだろうか。ひとつは、これまで述べたように、ことなるシステムどうしが、用語や形式が異なっても、互いに「意味」の上で情報交換できる、ということがある。要するに表現の「互換性」をどうとるか、という問題への対処と言うことになるが、結局のところ、すでに述べたとおり、別言語（標準語）をあらたに設定し、それへの変換システムを考えることになるから、これでは「意味」を与えることの意味が無くなる。

次に、「理解する」機械ならば、メモリにため込んだ言葉やデータ以上の情報を自分が作り出し、それにより人の情報要求に応えてくれるだろう、という願いがある。みかけでいうならば、昔からいわれている「質問応答システム」であり「推論システム」である。そして、この方向へのアプローチには、論理的推論からデータマイニングまでさまざまある。しかし、情報処理の水準を引き上げようという指向はすべてこの方向を目指しているのであり、見かけや用語、言い回しが異なるだけである。この方向への情報処理の高度化には、基礎固めが決定的に重要であり、基礎がしっかりしなければ高層の建築は不可能であり、例え出来ても無意味で空疎なものとなる。例えば、データマイニングがその材料とするデータそのもの、およびデータの表記体系がそもそもおかしいのであれば、いくら優れたマイニング方式を考え出しても、ガーベジ・イン・ガーベジ・アウトそのものである。そして、私が見るところ、本稿で述べているように、その基礎はいまもって疑問だらけなのである。

## 10. ウェブ 2.0, 3.0, そしてクラウドコンピューティングの有効性は？

世に言うウェブ 2.0 は、社会現象的にも技術的にもそれ以前のウェブ (1.0 ? ) に対し、格段に新しいものが認められるかと言えば、私にはそうは思えないため、つまらないはやり言葉だと思っている。セマンティックウェブを使うウェブ 3.0 となると、これはもっとひどく、実質の伴わない空虚なかけ声だおれで終わるのではないかと思う。せいぜい、見果てぬ夢というべきか。

では、最近よく言われるクラウドコンピューティングの利用はどうか。ネット越しの情報サービスすべてを言っているようであるが、そのうち ASP (Application Service Provider) の側面をみることにする。ソフトウェア構築がそれほど困難であるならば、自分たちで作らず、力のある会社が提供する優れたプログラム (サービス) をネット越しに直接利用すればよいのではないかと、という考えである。たしかに、Google など、当世もっとも有能な人材を集め、優秀なソフトとそれによる代行サービスを次々と打ち出している会社もある。しかし、そういうところにデータと処理をまるごと任せてよいのか、という危惧は当然持たれてしかるべきである。Google のいう "Don't be evil"\* を信頼するにしても、絶対という保証はない。たとえそれを信じるとしても、本稿で指摘する問題点は解決されない。ASP が用意したサービスで間に合うようなありふれた業務の場合は、それなりにうまくいくかもしれない。しかし、業務はそれぞれ孤立しているはずはなく、かならず他の業務と関係する。つまり、コミュニティの活動で生じるデータとその処理とは相互関連し、それぞれを切り離しては十分な機能は発揮できない\*\*。トータルなシステムを構成してこそ、本来の情報システムとしての機能が実現できるのである。では、このトータルなシステムをまるごと ASP に任せることはできるだろうか。まず、そのすべてを ASP に伝えなければならない。すなわち、実世界 (自分たちの仕事) をどう分析し、それを ASP 業者にどう表現して伝えるのか、それが問題となる。しかし、現在の情報処理技術においてはこの部分がとくに脆弱なのだ。仮にそれができたにしても、その固有性と総合性のゆえに、業者への依存度が一挙に高まり、抜き差しならないものになってしまう。この現象は通常のシステム開発委託でもつきまとう問題であるが、ASP の場合、ソフトだけでなくデータも預けるから、さらにたちが悪い。「一身独立」を考えるならば、やはり、自分たちの固有の情報システムは自らが開発、改良し、進化させなければならないのである。

## 11. 現代データベースの怪

実世界で「事実」とされる情報、あるいは、記録される情報を蓄積し、情報システムの中で、この意味で実世界を直接的に表現し、反映するものがデータベースである。データベースは必然的に不揮発性記憶でなければならず、また、所与のコミュニティ (小は個人から大は全人類まで) によって共有、共用されるべきものである。

現代情報システムの大半はデータベースを使用するが、なぜなのだろうか。情報システムの役割は、要求に応えることであるから、そのためのプロシージャ (プログラム) 自体が実世界を何かしらの意味で反映しているはずで、これらのプロシージャ自体を、データ (所与) としてみるならば、通常言われるデータの蓄積としてのいわゆるデータベースはいらないし、また、じっさい、小規模システム (たとえば、電卓) はそうになっている。しかし、個別情報、たとえば顧客データなど、が膨大になると、それらを切り離して構成する方がすっきりする、という実践的ニーズがあり、それらのニーズがデータベースを生み、発展させてきたのであろう。この場合、データは、リテラル (代理識別子を含む) である。

しかし、後述する圏論 (トポス) に立てば、その種のデータとプロシージャを統合してなお破綻のない理論構成が出来るのである。ところが、いまもって両者は峻別されているため、プロシージャをデータとして扱うなどとはとても考えが及ばない。しかし、じっさいに人工知能では、プロシージャを Post の production として表し、

\* 情報とその処理の、寡占化、独占化は evil なことと彼らが思うのかどうか、判然としないが、その志向をますます強めているように見受けられる。

\*\* たとえば、カリキュラム、学部学科などの組織、メッセージ交換 (授業参加者どうしでの)、スケジュール (関係授業の時間を載せる)、さらには教員の人事、給与システムなど、多くの別システムと密に関連している。

それを「知識」と称し、それらの集積を「知識ベース」といつている。1980年代に一世を風靡した知識工学である。この「知識」なるもののもっとも単純なものがリテラルデータである。

一方、リテラルデータの集まりとしてのデータベースは、1970年にE. F. Coddにより初めて体系的扱いの基礎が与えられ、その後、関係データベースとして進化、普及し、現在でもっとも広く使用されている形式になっている。この「関係」とは集合の直積の部分集合のことである。その要素を行、要素の因子を列にする表形式によって対象域（データベース業界でいうところのドメイン）の事実の集積を表す。

このような表形式による表現は、実は、世界認識の機序をどう考えるのか、その考察への踏み込みが足りない、という致命的な欠陥がある。そのため、表現の自由度がありすぎて、それによる不都合が噴出することとなる。たとえば、テレビの番組表。これも時間とチャンネルの「関係」を表にしたものであるが、あきらかに、関係データベースの対象にはなりにくい。その他、表形式の自由さに任せてしまうと、実用上、不都合な面が多数出てしまう。そのため、まさに実用上の要請から、「正規形(normal form)」というある種の制限条項が考えられた。なぜ、そういうものが必要となるのか、その本質はどこにあるのか、それが問われないままである。

本稿で考えている対象世界の「実体(オブジェクト)」とは、それ自体と他をきりはなす、ということから初めて生まれる何かである。つまり、「個 individual」性が基本となる。ところが、集合の直積の「関係」はそうではない。複数の「個」の組み合わせである。たとえば、「夫婦」という関係は、夫と妻というふたつの「対等で独立した」個の関係であり、その関係自体を一つの個として認めない。しかし、われわれの考える認識機序では、まさに「夫婦」という関係を一つの「個」として認め(他と切り離して)、それを「オブジェクト」とする、ということである。そこに認識の大きなギャップがある。ちなみに、ER図でいうentityとは、これまた意味がはっきり規定されないまま用いられているが、それがなんであれ、対象域(「ドメイン」)の住民(登場物)として考えられている点ではわれわれと共通している。ただし、それが関係の要素、つまり、直積集合の要素とされる点は、大違いである。

ここで、「ドメイン」をわれわれのいう対象域と見なし、その登場物を、われわれの言う「オブジェクト」と考え、オブジェクトを表の行とし、その属性を列とし、行列のセルにはその属性値を置く、と見なすとどうなるだろうか。たちまち、第1, 2, 3などの「正規形」条項は黙っていても成立してしまう。つまり、そのように世界を認識し、表現すれば、おのずと自然な表現が出来るのである。逆に言えば、各行はオブジェクトの状態の事実を示すという本質を抑えさえすれば、第1, 2, 3の正規形規則を破っても問題はないのである。それによって、しばしば検索効率を大幅に上げることが出来るし、じっさい多くの実装で行われているはずである。

いわゆる主キーは、その行があらわすオブジェクトの識別子、そして、他のドメインのオブジェクトを示す場合は、その識別子を値とする外部キーとする。つまり、OOPの立場から表を形成するのである。たとえば、「夫婦」というドメイン(対象域)の表は、各夫婦に識別子が与えられ、「夫」(「妻」)という属性の属性値には「夫」(「妻」)の識別子が与えられる、という具合である。もともとの「関係」データベースでは、主キーは必要に応じて与えるものであって必需品ではない。そこらへんが「関係」データベースの弱さ、ゆるさのもとになっている。

関係データベースをこのように見なして利用するならば、当然、OOP言語と関係データベースとのO/R Mappingのギャップは解消されてしまう。Ruby on RailsのActive Recordは最初からこの立場に立って作られている。「継承」の問題が残るが、それはテーブル間の関係、つまり、オブジェクト間、あるいは、対象域間の関係、というより、後述する圏論の射による対応、というかたちで注意深く作られなければならない。それは、上述したOOPが持つ「継承」問題と同じである。

1990年代にいわゆるOOPのデータベースが考えられ、作られ、販売されたが、現在はほとんど生き残っていない。こちらはこちらで、逆に「関係」データベースのテーブル表現の良さが無視され、OOP言語的な

自由さととらわれ、関係データベースで発達した効率の良さが発揮できず、使いにくいものになったせいではないか、と推測する。

さて、リテラルデータだけではなく、プロシージャもデータとして扱うデータベースはどうか。まず、それを組み入れて破綻の生じない理論的体系が必要で、それがないと、一貫性の欠如という恐ろしい欠陥をもつことになる。さいわいに、後述するトポス体系がそれを保証してくれるはずである。要するに属性値としてプロシージャを与えた場合はそれを評価、実行すればよい。もちろんこれらは現在のデータベースの埋め込み関数などとは全く違うことに注意して欲しい。この理論と手法、そして、後述する時変動要素をしっかりと組み込むならば、情報システムは、OS はもちろん、すみずみまで、すべてデータベースとして表せるようになるだろう。現在の情報システムでデータベース以外の部分は、プログラムのあつまりがファイルという不揮発性記憶媒体の上の共用情報となっているのであるから、それらをデータベースの体系で表記しなおせば、そうなることはある意味で当然である。これによって、データベース部分が別システムとして切り離されている現在の情報システムを統合化することが可能になる。

今世紀にはいり、XML を使用する XML データベースが現れたが、そのセールスポイントは、表形式のような制約をなんら課さず、タグを自由に定めて、自由形式でデータの集合を表せる、ということにある。しかし、これは無意味である。制約がない、というのは一見いいことのようにだが、逆に言えば、(関係データベースの「関係」のような) 視点の主張を持たず、実世界分析のためのガイドラインをなんら提示しない。形式がないから、それに基づく最適化のしようがなく、検索の効率が限られる。XML のデータ処理を行うのに XSLT のようなパターンマッチング言語を使用すれば、さらに組み合わせ数の爆発を引火しやすく、効率上、悲惨な結果を招きかねない\*。要するにデータベースの XML 化によっていいことはたぶん何もないだろう。

なお、効率について言えば、SQL の効率向上について書かれていることのほとんどが些末なことで、じつは、JOIN とくに LEFT JOIN による組み合わせの爆発による効率悪化がもっとも深刻である。にもかかわらず、多くの書物で、このことが全く触れられていない。JOIN は、対象域(ドメイン)の連結のために不可欠で、もし、実世界を忠実にモデル化しようとするならば、多くの場合、JOIN 列が長くなる。なぜなら、実世界の实体は実に多様な関心の対象となるからである。この連結に工夫がないと途端に組み合わせ数の急膨張を招き、検索時間が膨大になるが、ちょっとした工夫でそれを数桁短縮出来ることさえある(3桁に及ぶことも珍しくない)。SQL は基本的に宣言型であり、「関係」を扱うから、論理型とも共通する。これらの表現の処理にはこの組み合わせ数の爆発には最大の注意を払わなければならないことは、どんなに最適化のテクニックが発達しようが、あるいはハードウェアの驚異的な進歩が相変わらず続こうが、変わらないのである。

## 12. 論理と対象域

論理はいうまでもなく、情報処理の要である。ハードウェアは論理回路で成り立つし、アルゴリズムの正しさの証明も論理学を用いて行われる。「論理」を主軸としてハードウェアアーキテクチャ、プログラミング言語、OS、アプリケーションまですべてを統一して情報処理システムを再構築するとどうなることになるだろうか、これこそ、1980年代に行われたいわゆる第5世代コンピュータプロジェクトの狙いであった(称える人も貶す人もいずれもこのことを真に理解した人は少なかったが)。

さて、では「論理」とはなんだろうか。大半のひとは、記号論理学、わけても Frege を嚆矢とする古典述語論理学を、ほとんど自動的に想定するのではないだろうか。しかし、論理がそれに限られる理由はない。古代ギリシャ、インド、中国、その他でもおよそ文明と文化があるところには論理が考えられている。論理とは、詰まるところ、われわれの思考を明晰にするための道具としての表現方法であろう。このように考えれば、\* イントラサイトのバージョンアップとして XML と XSLT を使用したシステムを試作したことがあるが、メッセージ一覧表示になんと 10 分以上かかった。MySQL を使用する IntraSite2 では、Ruby によるレンダリングを入れて 1 秒前後である。

代情報処理でもっともよく利用される古典述語論理が唯一の論理として限られる理由はないし、ましてそれが胚胎する問題につきあわなければならない理由はなおさらない。

以下は、新しい観点からの論理について、参考文献 [Lawvere2003] に書かれた解説の私なりの解釈による受け売りである。

論理は一種の表現形式であり、その意味で言語の純粹化と見ることが出来る。先述したように言語は、かならずその記述、あるいは関心、の対象とする領域 (universe of discourse) を持つ。論理はしかし、厳密さを要求されるから、その対象域も明確な輪郭、範囲を想定しなければならない。その対象域に、話題のたねにされる何か、言ってみれば「登場物 (住民)」がある。この特定の対象域の「登場物」について、形容、ないし述語 (たとえば、「三角形である」など) がついたとき、その形容を満たす対象物が対象域の「部分」をなす、と考え、この部分を指定する表現を「命題 statement」と呼ぶ。形容 (きれいとか、若いとか) ないし述語は一般にたくさんあり、しかも、「かつ」、「または」、さらに否定や含意 (implication) により、命題が連結されて複合命題が作られる。命題間の関係として「A から B が導かれる」という関係を entailment と呼ぶ (命題を連結して複合命題を作る implication と混同しないように)。そして、この命題関係をもとにする推論規則が与えられる。これが「命題論理」である。命題論理は対象域が一個であり、そこでの登場物について何かを語ることで、対象域の部分特定する。しかし、対象域がひとつではたいしたことはいえないから、複数の対象域を考え、しかもそれらが孤立しては複数にして考える意味がないから、相互の対応関係を考える。すなわち、対象域から対象域へのなにかしらの対応 (写像) を考える。対象域  $X$  から対象域  $Y$  への写像  $f$  があるとき、 $Y$  での命題間の entailment 関係は、 $f$  を逆に見てできるそれぞれの命題の像を  $X$  における命題とみなせば、 $X$  でのそれらの entailment 関係が成り立つことになる。この写像関係による対象域間のリンクにより述語命題が作られる。限量子もこの仕組みから導入される。

対象域のもっとも単純なものは、ある登場物そのものを対象域とするものである。次に、対象域が登場物のなにかしらの集まりであるとみなされる場合である。まず、その集まりが空のもの、つまり語るべき対象がない場合がある。次に、その集まりが登場物一個のみを持つものがある。これは、最初の、登場物そのものの場合とは異なる。この場合、対象域の命題、つまり部分指定は、「それがあるか、ないか」のふたつになり、しばしば、前者を「真」、後者を「偽」と呼ぶ。他の対象域 (なにも無いものは別として) の命題はこの真偽の対象域に対応づけられ、その逆写像イメージを見ることによって、その対象域での命題の真偽が与えられる。

ここまでが受け売りで、以下は私の (勝手な) 解釈である。

対象域どうしが互いに重なることはない。したがって、世界の住民はいずれもそのすみかとしての対象域が必ず一つ、そして一つのみ定まる。対象域は互いに無関係で孤立しているのではなく、互いに何かしらの対応関係を持つ。しかし、対象域間で住民が移動することはなく、その意味で対象域は独立している。このような世界観は物理学で言われる多宇宙 (multiverse) 論や、Kripke の可能世界論に共通するところがある。XML の namespace も同じ発想である。これらはいずれも、対象域が異なればそれぞれの住民は全く別物である、つまり世界が対象域で分割されているというイメージに基づいているように思われる。わたくしも長い間そのように考えてきた。しかし、実はそうではなく、宇宙 (世界) は一つ、つまり universe で、それに対する様々な観点 (関心、側面、アスペクト、視座、切り口) があり、それぞれの観点から見たときの宇宙の見え方を「対象域」とする方が自然であるといまは考える。つまり、さきに OOP の項で延々と述べた「対象域」である。唯一宇宙 (universe) の「実体」 $x$  をある側面  $X$  から見た宇宙像のなかで見える「実体」、我々の用語で言う「オブジェクト」が、 $x:X$ 、つまり対象域  $X$  において見える住民  $x$  とする、という見方である。ひとつの建物を平面図や側面図で見るようなものである。このように考えれば、異対象域の「住民」(異なる側面

から見る実体)は当然異なるし、対象域間の移動もあり得ず(意味を持たない)、また、対象域間の対応がもともとの実体を介しておのずから生じるのである。いわば、Aspect Oriented Paradigm とでもいうべきかもしれないが、もちろん、OOP でいう AOP とは全く関係ないことは言うまでもない。

命題の述語に現れる事項は自あるいは他の対象域の登場物、つまり属性値であると見なされ、属性はそれが示す対象域への対応に相当する。そこでの属性値についての命題は、対応を逆に引き戻すことによって、もとの対象域の「部分」を定める。これが述語論理の基本構造である。

OOP のところで述べたように、対象域は関心事の抽象(ノエシス)が与えるノエマと見なすことが出来るから、かくして、Husserl の心理主義的、認知的な(ウェットな?)現象学と Frege の記号論的、代数的な(ドライな?)述語論理がここで相互乗り入れすることになる。もともとふたりは同じ基点から数学の基礎を厳密に見直そうとしていたのだから、こういう現象が起きるのは決して偶然ではない。しかし、こんな指摘をするのは、たぶん本稿が初めてではないだろうか(すくなくとも Wikipedia には載っていない ^\_^)。

ここで、冒頭の二つの命題の奇妙さについて考えてみよう。

ある対象域において、「 $P$  は  $Q$  である」という命題に対し、対象域のあるオブジェクト  $x$  が  $P$  (相当) 部分にあること ( $P(x)$ ) を否定しても  $Q$  (相当) 部分から外れるかどうか ( $Q(x)$  かどうか) はいえないから、 $P$  の否定は  $Q$  の否定につながらない。したがって、「人間でなければ動物ではない」「教師でなければ人間でない」という推論結果をおかしい、とするのが正常の(通常の)命題論理である。しかし、「人間は動物である、したがって人間をやめれば動物でなくなる」と多くのひとが推論し、逆に「教師」の場合にはおかしいと思うのはなぜだろうか。これらの命題には、単なる「... ではない」ではなく「... をやめる」という変動が含まれている。これが通常の命題論理では説明できないのである。この変動をきちんと説明するためには、「変動」に関心事とする対象域を設け、各対象域からそれへの対応を考えること、そして精密理論としては、「変動する集合」を扱うトポス (Topos) の体系が必要となる。トポスは圏の一種であり、たとえば、このような「動く集合」概念をあつかうことが出来る。次に述べる圏論の出番である。

オントロジーや、OOP 言語、UML などで継承が使用されるが、このような深層の議論を経ることなく実装されるならば、誤った「推論」(つまり情報処理)を引き起こす危険性を胚胎することになる。

ありふれた例を挙げれば、組織構造がある。人間の組織は、木構造を基本とし、それにプロジェクトチームなどのグループ的組織構造が付加される。この場合、木構造の組織を誤った継承構造として表すならば、人事異動のたびにその会社の社員ではなくなるなどと言う、とんでもないバグを作ってしまう。

「全体」と「部分」、「時変動」などについては古来、哲学などで深い議論的にされ、論理の根底を成す概念であるが、ここでの議論はいわば序の口であり、より精緻な分析が必要である。その点でも、次に述べる圏論が有効である。

### 13. 圏論の利用

さて、では根底のところではそういう視座に立って情報処理システムとその体系を再構築するにはどうすればよいか。集合論にかわるなにか、があるのだろうか。それが圏論である。

冒頭の引用文は、Tim Berners-Lee が CERN に "web" を提案した記念すべき文書 ([Berners-Lee1989]) からの引用であるが、情報が互いに相互参照によって成り立っていることを簡潔に指摘し、さすがである。このことは、Ted Nelson (この文書にも引用されている)、古くは Vannevar Bush が述べてきたことであることはよく知られている。しかし、彼らは自分たちが考えた以上に重要なことを指摘している。すなわち、情報システムだけでなく、われわれの認識機序が、還元すればこのような点と矢印によって世界の構成を見るものだ、



ということである\*。このような本質を突いていたからこそ、点と矢印で作られる“web”はあつという間に世界に広まったのであろう。

圏論は、まさにこの点と矢印だけで構成される理論体系である。

圏論とはどんなものなのか、多くの解説書が出版されているが、私は F. W. Lawvere 他の著した高校生向けの読み物 [Lawvere1997] と大学生向けの数学教科書 [Lawvere2003] をぜひごらんいただきたいと願う。後者は題名のように、数学における集合の位置づけと役割を論じたものであるが、なんと、圏論により集合論と論理その他を目の覚めるような新鮮な観点から精密に論じているのだ。21 世紀の数学は、圏論を基礎としなければならないのでは、とつくづく感じた。ということは、当然情報処理の基礎もそうすれば、ということである。本稿でも、多くの点でその受け売りをしている（たとえば上述の論理の考察や「部分集合」という語の誤用についてなど）。

圏論では、点を「対象 (object)」, 矢印を「射 (mapping)」といい、射はある対象 (定義域, domain) とある対象 (値域, codomain) の対を伴う。つまり、射は定義域から値域に向かうなにか、である。ただし、この「対象」とオブジェクト指向で言うオブジェクトとは関係ない。というか、本稿では、「対象域」と呼んできたものが圏論の object に対応すると考えるので、用語に混乱しないで欲しい。

集合論では、集合（つまり、圏論での点）の中身を開けて、その要素や要素間の関係（構造）を問題とするのに対し、圏論では、その真逆を行き、点の中身を問わず、それに対する射、そこから出る射、これらの射の関係（構造）を見る。つまり、対象の中身は見ずに対象間の相互関係だけを見ることによって、各対象の性質までもみるのである。陳腐な言い方ではあるけれど、ここには視座のコペルニクス的な転回がある。この視座こそ、本稿が中心に据えている視座である。ただし、集合論的な見方が誤っているというのではない。それが役立つ場合や、そのほうがわかりやすい場合には、その視座に立つことを拒否しない。コペルニクス的な転回は、天動説的な世界の見方が誤っていると言っているのではなく、地動説の視座を新しい視座の選択肢として追加するのと同じである。もちろん、そういう視座に立つ方が世界全体がすっきりとより単純に見え、理解しやすくなるからである。

圏にいくつかの条件を付随させたトポス (topos) は、集合を対象とし、集合間の写像を射とすることによって構成される圏を一般化したものであり、きわめて有用である。1960 年代に Grothendieck\*\* らによって見出されたが、その後、多くの分野で応用されている。先述の論理の命題に対応する「部分」についても、圏論の立場から理論構成を行い、それをもとに論理体系を作り出している。情報処理の場合も、私は、このトポスが有用だろうと考えている。Lawvere はトポスのことを「変動する集合」と呼んでいるが、うまくその性質をあらわしている。OOP のモデルとしても有用なはずであるが、残念ながら、そもそもきちんと OOP をモデル化したものを知らない（関数型や手続き型のプログラミングについては、denotational semantics を始め、すぐれたモデルが開発されている）。

このトポス上で、たとえば、対象の「要素」は、1（という特殊対象）からのその対象への射としてあらわされる。したがって、集合論における Russel のパラドックスのもとになるような、自分自身を要素とするとかしないとか、という問い自体を作りようがない。同様に、上で議論した「部分（部分対象）」も他の対象からの射（単射）をもとに定義する。直積、直和も射の組み合わせをもとにして定義される。このように、集合論では対象の中の構造を見るのに対し、圏論では、自他の対象からそれへの様々な関わりかたを見る。それによって集合論でははっきり分析できなかったものや見えなかったものが明晰に表現される。そこが圏論のすごいところだと思う。

属性は（基本的には）その対象から出る射であり、クラスは、それら属性の直積および作用（システムの状

\* 点と矢印で情報（知識）を表す方式は、人工知能分野では、古くから意味ネットワークとして知られている。M. Minsky は、意味ネットワークこそこれまで知られたものの中で最も優れた知識表現だ、とある講演で言っていた。問題はその精密な意味づけである。

\*\* Topos 発見の動機として、数学の基本概念である数、量、形の統合を図った、と彼は言っている。

態を変更するメソッド)の表現であり、関係データベースのテーブルをそのクラスに対応させた場合、テーブルはその射の離散的グラフ表現であると見なすことが出来る。こうして、現在の情報処理の基礎構造を一貫した形式でモデル化できるのではないかと考えている。詳しくは、拙稿[田村 2009]をごらんいただきたい。

データベースでは、属性値は、(識別子を含む)リテラルであるが、トポスの土台の上で構築すれば、属性値は関数(つまり、プログラム)として与えることが許される。この表現形式を徹底すれば、常時進化し続ける情報システム(多くのシステムはそうであるし、そうでなければならない)に一貫性のある骨格を与えるであろう。そもそもOSのプログラミングは大部分がテーブル操作であるから、そのテーブルをこのような考え方で「データベース化」するならば、もっとずっとすっきりした、簡素で見通しのよいシステム、しかも、一貫性を保ちつつ進化できるシステムにすることが出来るだろう。

最近のシステムバグで深刻なものとして、スレッドに起因するものがある。プログラミング言語の標準ライブラリなどにこのバグが潜んでいるからたちが悪い(最近私が経験した例では、8時間以上なにも操作しないとシステムが自らダウンしてしまう、という奇怪な現象があり、原因はRubyのスレッド処理にあった)。スレッドのような並行処理は、並行して変化する「実体」の集団を相手にするから、「逐次処理」しか意識できない人間が考えるのは本質的に難しい。複数の「実体」の変動とその同期(タイミング)の問題はまさに次に述べる同一性と時間の問題そのものであり、「動く集合」と呼ばれるトポスにうってつけの応用対象である。

述語論理体系のなかに「関数」を取り込むにはこのトポスが妥当である。「関数」を取り込むどころか、トポスは、離散的なシステムだけでなく、位相概念(遠い、近いの概念)を必須とするパターン認識のようなソフト情報処理にもその基礎を与えるものとなるだろう。ここに、ハード(厳密)情報処理とソフト(ゆるい)情報処理の共通基盤を構築できる可能性を見ることが出来る([田村 1997])。

このように、情報処理の基礎固めにとって圏論はきわめて有力であると私は考える。しかし、21世紀になっても情報処理の基礎固めと言えば古典的な集合論が一般的なのはどうか。ひとつは圏論じたいがあまり知られていないということがあるが、知っている人々にも偏見があるように思われる。早くから情報処理理論に圏論を適用してきたJ. Goguenによれば、1970年代まで、圏論を使った論文は、厳密ではない(?)という理由で学会誌の査読者から却下されたという\*。また、そこまで言わないまでも、圏論は関数解析などに比べて応用価値がない、という意見は今でも多い。たしかに、定量化に直接結びつくことは少ないかもしれないが、しかし、情報処理の基礎のように、定性的に対象世界の構造を論じる場合には、その応用性は極めて高いのである。あるデータベースの書物では、圏論によるデータベースの基礎付けを行った博士論文を見たが、集合論に比べてとくにその有意義性は認められない、と書いてある。たしかに、集合論で出来なくて、圏論ならば出来ることがあるか、と言われれば、たぶんそれはないだろう。しかし、このコペルニクスの視座転回によって、実世界の構造をよりすっきりととらえることが出来るし、また、それに基づくことでより明晰な情報システムが構築出来るのである。ちょうど、視座を天動説から地動説に変えて世界を見直すように。しかし、慣れ親しんだ自分中心の視座から宇宙全体をみる視座に移行することが、頭でわかっているにもかかわらず直感的には困難であるように、(私を含む)多くのひとにとって、圏論的視座へ移行することには相当な知的困難が伴うことは確かである。案外、これが圏論の普及を妨げている最大の要因かも知れない。

## 14. 同一性と時間

さきほど、同一性について述べたが、自分も太陽も「同一」であるにもかかわらず、時間とともに刻々と変化している、つまり、異なっている、ことをどう考えるのか。そもそも時間とは何か、時間自体は変化するのかしないのか。考え込むとだんだんわからなくなってしまうのが健全なのであって、古来、哲学者や物理学者

\*ちなみに、Goguenは仏教徒。どうも私に似た世界観を持っているらしい.. それらしい論文をもらったことがある。

を悩まし続けている問題である。こんなやっかいな問題は、できることなら考えずにすませたいが、情報システムの構築にとって、避けて通れない問題なのである。たとえば、どんな組織でも組織変更はつきものだし、人事異動はあるし、仕事の処理の仕方さえ変化する。情報システムが相手とする実世界は変化、変動に満ちているのである。そのことから目をそらさずに、一貫性のあるやり方で取り組まなければ、かならずバグを作るし、なによりも、システムの進化、拡張を大きく阻害する要因となる。にもかかわらず、多くの情報処理論ではこのことにあまり触れようとしない。それどころか、避けようとさえしている。たとえば、1990年代後半、SQLの新標準案 TSQL2 では、時変動をとりいれた SQL にするはずだったのに、議論の末、まともらず、立ち消えになってしまったという。そのへんの事情の解説記事では、問題がやっかいな上に、実用上それほど必要性がないからだ、と書かれていた。とんでもない話である。

では、時間とは何か、それに直接答えることは、(例によって) 出来ない。なぜならば、時間もまた独立自存するものではなく、ものともとの関連でしか認識できない対象だからである。最近の物理学においてさえ、従来のようにひとつのパラメータとして時間を考えることは出来ず、パターン(つまり、実体の相互関係)の変動によるものと規定するべきという考え方があるという。

「自分が変化する」というのは、「自分」という対象のなかに不変のなにかを(自他共に)認め、それに対し相対的に変わるなにかがある、ということである。この不変の基準がなければ、変化を認めることは出来ない。では、その不変のなにか、とはなにか。これもそれ自体が自立、自存するのではなく、自と他がそう認めるなにか、である。つまり、(自分を含め)まわりのみんながそう認めるという相互参照のネットワークに位置づけられる何か、である。それを表現するには、一意性を持つ識別子を与えるほかない。それを「実体固有の識別子」と呼ぶことにする。こうして、表現形式として、どの実体も固有の識別子を持つようにする必要がある。自他がそれを参照するときには、この識別子を用いることになる。では、変化とは何か、相互参照のネットワークでの位置が変わる、すなわち、他との相互関係、つまり属性値(それは他の実体の固有識別子)が変わるということである。たとえば、年齢が変わる、ということは、年齢という属性の値が変わるということであり、勤務先が変わる、ということは、勤務先という属性の属性値(勤務先の固有識別子)が変わる、ということである。

時変動する、と認められる実体は自分の持つ属性の属性値が変わる。その表現形式として、ここで時間を示す座標が必要となる。ある時点での実体の属性値の総体をその実体のその時点における「状態」と呼ぶ。状態も識別子が与えられ、一般にひとつの実体の固有識別子に複数の状態識別子が対応する。実体が消滅したとき、その実体の状態はその時間で終わり、以降の状態はない。実体が生まれる(作られる)以前も同様である。つまり、実体の存在以前と消滅以後にはその実体の状態についての記述のない記録をシステムが持つか、あるいは記録自体を持たない、ということになる。このように状態の連鎖によって実体の軌跡が表現される。時間の座標軸をすべての実体に共通のものとして設定すれば、実体の集まりで構成される複合実体のある時点での状態を知ることが出来る。このようにして、任意の時点での世界の様子を精確に記録し、検索することが出来る。

データベースの1レコード(関係データベースでは、テーブルの行)は、ある主張(assertion)をしていて、それが事実である、という記録となっている。すると、多くはエピソードであり、セマンティックではない。つまり、ある時間における一回限りの「事実」の記録である。したがって、各レコードにはその事実が成立する時間を記す必要がある。この時間を普通 valid time、つまり、その主張が妥当である時間(期間)、という。その記録がいつなされ、いつ削除(見かけ上)されたのかを記すことにより、記録の更新(状態の更新ではない)が記録されるから、この時間記録も利用され、こちらは、transaction time と呼ばれる(この呼び名はわか

りにくいので、私は即物的に記録時間 record time と呼ぶ)。両者の時間を含む記録を、ある「実体」についての記録とするならば、その記録時間においてシステムが認知する実体の状態 (valid time における状態) を示すことになる。これが時変動データベースの基本形式である。しかし、これまでのおおくの時変動データベースは、集合の直積である「関係」の要素として1レコードを表しているため、この「実体」主体の状態記録という、もっとも重要な観点はずしてしている。そのため、せつかくの時間記録の利用がやっかいになってしまっている。TSQL2の失敗の本質はどうやらここににあるように思われる。また、時変動データベースなんか実用上必要ない、という見方は、データの大半がエピソードであることを見過ごしているのか、そういうことに全くの無頓着なのか、いずれにせよ、そのような考えで作られたデータベースは、いくらデータが多数あっても、無意味であるし、さらにそのようなデータに対し、いくら優れた技法でデータマイニングしても、その結果の信憑性、有効性が根底のところまで揺らいでしまっている。

現在の情報システムの構築ではいくつものフリーソフトを組み合わせることが多いが、そのときもつとも悩まされるのは、それぞれのプログラムの変更、改訂のタイミング上の不整合性によって生じる障害である。しかし、プログラム自体をデータとして扱う時変動データベースを構成すれば、多くの基本的問題は解決されるはずである。もちろん単独のシステムであっても、進化するシステム(おおくの実働システムがそうである)に時間変化への一貫性を与えることが出来、それだけでも相当なバグ防止になるはずである。プロシージャをもデータの一つと見なす時変動データベースによるシステム構築は重要な研究課題であり、実践課題であると考ええる。

## 15. 実践の場としてのイントラサイト

冒頭で引用した Berners-Lee のプロジェクト提案書にあるように、ウェブはもともと CERN という知的集団における情報交換システムとしてはじまった。私は、そのようなシステムをコミュニティのためのイントラサイトとよんでいる。素朴なウェブと異なり、情報(知識)のアクセス制御機構を重視し、より効果的な知的交換システムとして考えたからである。じっさい、われわれの学部のイントラサイト\*は、2001年から稼働を続け、おおくの情報、知識、データを蓄積してきたが、私個人にとって有意義だったのは、システムの実装を自ら行うことにより、実践の中からより普遍的課題を取り出すという、いわゆる Pasturization を身をもって行えたことである。つまり、実践により多くのことを学ぶことが出来た。たとえば、(これまた恥をさらすようだが)、カリキュラムさえ、それ自体の構造および他との関連がいかに複雑怪奇であるか、思い知らされたのである。しかもそれらがまた複合実体(実体のネットワーク)として時変動する!。本稿のほとんどすべての知見は、実はこの実践無しには得られなかったといってもよいだろう。

現在、この経験をいかし、本稿の考えを忠実に実現するべく、Ruby on Rails を大幅に拡張し、その上にたって IntraSite2 を構築している。来年度から実働予定である。これらは、現イントラサイトの構築と進化、拡張に際し、認識機序への認識不足がもたらす混乱にみずから苦しめられた経験をもとにしている。

IntraSite2 では、本稿で論じたことの大半を実践している。まずコミュニティを構成する対象域 (universe of discourse) として、「メッセージ」、「スケジュール」、「ユーザ」、「シラバス、カリキュラム」、「レポート課題」等々の切り出しと相互関連から、クラスとそれに対応するテーブルを実装する。時変動性を組み込むことにより、任意の時間でのコミュニティの状態を知ることが出来るだけでなく、時変動に対する一貫性をシステムティックに維持できる。この方法は、じっさい、現行 IntraSite を稼働してきた10年間に経験した数度の大幅な組織変更とカリキュラムの改訂などに対処することで鍛えられたものであり、その間蓄積されたデータはそのまま IntraSite2 に移行する。また、IntraSite2 では、プロシージャのデータ化とその時変動への対処も一部で

\* <https://intrasite.sist.chukyo-u.ac.jp>

はあるが、実験的にとりいれている。

情報システムに時間の概念を組み込むことは、システムとその利用コミュニティにとって貴重な歴史資料を残すことになる。コミュニティがコミュニティであることの必須の条件がこの歴史作りである。これによって初めてコミュニティのアイデンティティが確立されるからである。しかし、インターネット上でのコミュニティのメッセージ交換としてもっとも利用されているメールの世界を見れば、たとえば、メーリングリストの通常の作り方では、メンバー変動に合わせてたえず更新、上書きされ、変化の軌跡を全く残さない。そして、組織とのリンクも取られていない。このように、ともすると、この膨大なインターネット上の情報システムは、たえず変動する現在に追従するのみ、つまり、刹那主義にすっかり冒されていることになる。かけがえのない知的蓄積を毎日毎秒、消し去っているのである。1テラバイトが一万円を切ろうという現在、なんともったいないことをしているのか、というより、取り返しの付かない愚行を犯している。多くの人々はこの犯罪的愚行に気付いていない。

## 16. これからの情報処理

今後の情報処理の発展を考えるならば、とりあえず、圏論を土台として情報処理機構の基礎固めをするべきであろう。ウェブを中心に膨大な情報の蓄積が始まっているが、それらの「情報」が一貫性のある厳密な体系に基づいて表記され、更新され、拡大されるかどうか、当然ながらきわめて重要な課題である。でないと、バベルの塔の二の舞になるだけならまだしも、誤った情報処理によって実世界における人類の未来を狂わしかねない。

そういう危険性を胚胎させないためにも、情報処理の様々な分野の共通基盤を築き、そのうえでの概念の統一とそれにもとづく用語の統一、あるいは合意が必要である。それがもし可能であれば、たとえば、現在の情報システムの大半を占めるウェブアプリケーションシステムが、様々な言語、様々なシステムの混交でしか作れないという、ひどい現状を改革し、統一パラダイム、統一言語によって、ユーザインタフェースのデザインからデータベース制御まで、一貫した視野のもとに構築することを可能とする。Ruby on Railsなどいわゆるフレームワークがここ数年急速に進歩してきているが、この理想にはまだ距離がある。この方向に正しく進むならば、システム構築にかかる無駄なマンパワーを大幅に削減できると同時に、環境の変動に適應できる柔軟性とシステム相互の連結性を容易かつ正確に実現することが出来る。現在の情報システム構築では、醜悪な現実の混乱に振り回され、それに浪費されるエネルギーがシステム構築そのものに注がれるエネルギーの何十倍にもなっているのだ。

Ted Nelson は現在のウェブに批判的であると聞いているが、おそらく彼が思い描いた真の世界規模の Xanadu を実現するためには、点と線、ノードとリンクの意味合いをしっかりと見定め、これらを原点にして世界観と情報処理技術を再構築する必要があるだろう。そのためには、まずは、某 OS はもちろん、2038 年問題\* に象徴されるような C と Unix のレガシー的しがらみから脱却する方策を見出さなければならないし、その他、OOP の圏論的基礎付けとそれによる実装の全面的見直しなど、ほとんど無数の課題を解決しなければならないから、この理想郷の実現は、進化の方向を誤りなく歩み続けたとしても、大分先きの話になるだろう。

しかし、圏論、あるいは圏論を基礎にすることが絶対的に正しいのかどうか、集合論の場合と同様、絶対正しいと言うことは、たぶんないだろう。きりきりと理論が精密化され、応用が拡大されるにつれ、かならずほころび、というか、ある種の非整合性が発見されるであろう。しかし、それが「科学」というものであり、Hegel の言う「学問」である。その矛盾を超えるとき、さらなる進化が始まるからである。ただし、ひとたびは、Spinoza 流の堅固な厳密化を徹底して行う努力を忘れてはならず、そうしなければ、Hegel の真のダイナミズ

\* この問題に対処していないシステムではもはや 30 年ローンは組めない？

ムは生まれなし、たとえ見かけ上それがあっても、進化の方向をゆがめてしまうだろう。

仮設定→実践→矛盾→再仮設定の繰り返し（弁証法）が人類の進歩を支えてきたはずである。情報処理技術も決してこの道から外れるものではない。このように考えれば、かつて言われたような歴史の終焉や科学の終焉はあり得ない。とくに情報処理はまだ大きく進化するであろうし、そうでなければならない。本研究所 IASAI がその創立者達の志を引き継ぎ、あらためて人工知能（それが何であれ）の発展に大きく寄与することが強く期待されるゆえんである。

## 17. まとめ

長々と書いてきたが、結局、私の言いたいことは何だったのか。

1903年に、あの秋山真之は、海軍大学での講義の冒頭で「これから教える戦略は将来通用しない」と言ったそうだが\*。すでにこのとき、後の航空機と潜水艦を使う立体戦を予見していたからである。私の10年余の本学における授業も、はたして今後の情報処理技術の発展を十分踏まえていたのかどうか。秋山ほどの確たる先見性を持たなかった私は、さすがに「この講義で教えることは将来は通用しない」などとはいえなかった。しかし、実際はそういう点も多々あったため、このまま終えてしまっただけは気がひける。せめてもの償いに、あらためて現行情報処理技術への疑問や課題を考え直してみたのが本稿である。

まず、現代情報処理には多くの問題が内包されていること。世界中の人々がインターネットとくにウェブを基盤とするひとつの情報世界に繋がり、生活の相当時間を費やして、その利便性、有効性を享受している。ゲーテンベルグの活版印刷など比較にならないくらい画期的な、人類史上特筆されるべき出来事であろう。我々は、きわめて運良く、この大変革とその進化過程をオンタイムで経験している。しかし、この巨大な情報空間の至る所に深刻な欠陥が潜んでいる。

多くの課題のうち、本稿でとくに注目したのは、情報空間（記号世界）と実世界との接点における問題である。両者が乖離するならば、情報空間はただの0.1の羅列にしか過ぎず、いっせいに無意味になる。その乖離は、ネットワーク技術などの細部によるものも多いが、より深刻なところで、実世界のモデリングに起因するものがある。モデリングの基本は、実世界をどういう視座から見るのか、いわゆるパラダイム設定に関わる。

現代情報処理の主流のパラダイムと言ってよい OOP を根幹から見直し、そのクラス概念、属性概念を検討した結果、OOPとは実は、Husserl のノエシスとノエマのなかで実体の像が互いに互いを参照（反射）しあう万華鏡のような世界像を作り出すパラダイムであるとした。この多面性に基づく世界観はまた Frege 流の代数的論理の基礎に繋がることを指摘した。さらに、圏論によってその精密な基礎固めが出来ることを述べた。

この観点による実世界のモデリングとそれによる情報システム構築技術の再構築が21世紀のこれからの残された課題である。少なくとも、新しい視座からの現行情報処理システムの見直しは必須であろう。でないと、この巨大情報世界の危うさ、脆さに人類の未来を委ねることになってしまう。いずれにせよ、情報処理、そして、人工知能の研究に携わる人たちの責務は、このような現状にあって、きわめて大きいと言わざるを得ない。

最後に、言い訳。本稿ではいたるところで、厳密性、合理性が重要であると言いながら、本稿自体はそのような書き方をしていない。どうやら、業平ではないけれど、意あまって言葉たらずになっているが、できるだけ自由に思いを述べたいと考え、このようなスタイルを採ったので、その点をご容赦願いたい。しかし、もし誤りにお気づきでしたらぜひご教示願いたい。なにしろ、昔からバグ作りの名人なので、誤りや思い違いが少なからずあるはずである。

---

\* 朝日新聞朝刊 名古屋版, 2009年12月5日(土) b3 ページ

## 謝辞

人は孤島ではない、といったのは誰だったか。人というノードは、他の人々とのつながりというリンクの中で生かされている。本稿のアイデアは、福村晃夫先生をはじめ偉大な諸先輩の先生方、興水大和学部長をはじめ敬愛する同僚の先生方、また、ゼミや学部、大学院の講義に参加された学生諸君、これらのかたがたとの意見交流、そしてご支援というリンクによってはじめて可能になったものである。もちろん、本稿の誤りは、すべて私に帰するもので、この点に関しては皆さまにはなんのリンクもない。また、白水始先生には貴重な本稿執筆の機会を作っていただいた。あらためて皆さまに深く感謝します。

## 参考文献

[Berners-Lee1989] Tim Berners-Lee : Information Management: A Proposal, <http://www.w3.org/History/1989/proposal.html>, 1989

[Gunter1994] C. A. Gunter, J. C. Mitchell, ed. “Theoretical Aspects of Object-Oriented Programming - Types, Semantics, and Language Design” , The MIT Press, 1994.

[Lawvere1997] F. W. Lawvere and S. H. Schanuel : “Conceptual Mathematics. A first introduction to categories” , Cambridge University Press, 1997.

[Lawvere2003] F. W. Lawvere and R. Rosebrugh : “Sets For Mathematics” , Cambridge University Press, 2003.

[Pierce1991] B. C. Pierce : “Basic Category Theory for Computer Scientists” , The MIT Press, 1991.

[田村 1997] 田村浩一郎 :「情報処理パラダイム論序説一知の地平を見るー」, 森北出版, 1997.

[田村 2009] 田村浩一郎 :「情報システムにおけるリアリティのモデル化」, 情報科学論集「情報科学技術の Reality」, 栢森情報科学振興財団 K フォーラム実行委員会, 2009,

[まつもと 2009] まつもとゆきひろ :「コードの世界」日経 BP 社, 2009.

講義 『仮想化人体論』  
- その発想と展開



鳥脇 純一郎

1 まえがき

本年（2009年）8月末に国立がんセンターで開かれた厚労省がん研究助成金飯沼班会議における見学は筆者にとっては驚くべきもので、また嬉しいものでもあった。そこでは、筆者と院生森健策君（現名古屋大学）が1994年6月に始めて発表した仮想化内視鏡システムがバーチャル大腸内視鏡としてがんセンター病院のルーチン検査で実用化されつつあった。CTスキャナで撮影したデータが直接読影室に転送され、壁面のスクリーンに上映されて、医師はマウスでその映像を操作しつつ診断するものであり、これによって肛門から実物の内視鏡を挿入して行う内視鏡検査は、同病院の大腸がんの検診からはほとんど姿を消すと言うことであった〔日経09〕。

さて、本学ではこのような人体を扱う、あるいは、人体と言う存在を解明する情報の諸技術を扱う学部として生命システム工学部が2003年に発足した。その中で筆者は『仮想化人体論』と言う全く新しい講義を行ってきた。この講義は、以下に述べるように筆者の3次元医用画像処理の研究の中で考えてきた人体の仮想化とその医用応用に関する事柄を新しい学部の構想に添って整理し、体系化を試みたものである。この講義は2009年度まで4年間行ったが、大学全体の経営上の判断で発展的改組を迎え、学部名は消えると共に、それに伴うカリキュラムの更改もあって本講義も2009年度をもって終了することになった。ただ、この講義は他に例を見ない新しい講義であったと思われるので、そのあらましを記録に止めておきたいと考え、本稿を準備した。

本講義『仮想化人体論』は、仮想化された人体と言う概念の説明に続いて、仮想化人体の取得・生成、構造化、可視化、および、利用、と言う構成になっている（図1）。そこで、本文も始めにこの講義を準備するに至った背景を述べた後、それに続く各章でこの順に各部分を簡単に説明する。

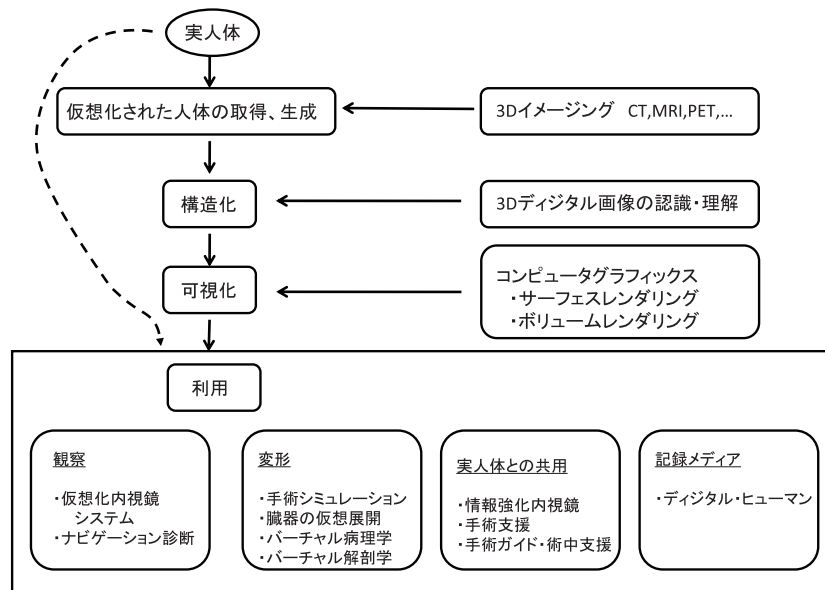


図1 仮想化人体論の構成



## 2 背景

筆者らの仮想化内視鏡システム (virtual endoscope system VES) の最初の提案は、上述の通り、1994年6月である [森 94, 鳥脇 02b]。臨床家に公開した最初は、1995年7月の厚生省 (現厚労省) がん研究助成金班会議 (多分鳥脇班) であったと思う。VESはここから急速に広がった。多分通常VESの提案者と言われるアメリカのViningらより半年遅れであったが、しかしリアルタイムの動画生成では我々が先行していたと思う。(\*注)

しかし、筆者の印象では、VESは容易に誰でも実現できるものではなかったのは当然であるが、技術的にはそれほど画期的なものではない。このように言えるのは、VESを実現するために必要な各種の技術が当時の名古屋大学鳥脇研究室には豊富に蓄積されており、しかもそれらが、それぞれの技術分野で見ても世界的に見て極めて高いレベルにあった事が大きく寄与しているからである。

その経過を今から見れば、次のように基盤となる研究の蓄積と、それに加えて幾つかの偶然が作用している。

- ① コンピュータグラフィックス (CG) において当時の最先端であったレイトレーシング (光線追跡、あるいは、視線追跡) を駆使して (実際、改良版アルゴリズムの論文を出していた) 高レベルの質感表現でCG分野を驚かせていた。
- ② バーチャルリアリティ (VR) もドライビングシミュレータや手術シミュレーションで明確に意識していた [安田 86, Yasuda09]。筆者の頭には仮想環境としての人体 (あるいは個別人体の仮想環境化) が常にあった [鳥脇 95]。
- ③ 3次元デジタル画像のデジタル幾何学に関しては基礎をほぼ確立していた [鳥脇 02a, 10, Toriwaki09]。
- ④ 筆者の当時の研究の主要なターゲットはがん (特に肺がん) の計算機支援診断 (computer aided diagnosis CAD) を3次元CT画像上で試みることにあった。しかし、当時の状況ではCADのベースになるCT画像の診断学を統計的に有意なレベルで示すに足る画像の蓄積はなかった。そのため当面は各種臓器のセグメンテーションに力点を置いて、気管支、血管、肋骨などの抽出を行っていた。
- ⑤ 視点をリアルタイムで移動して人体内部を自由に飛行する (“フライスルー fry through” と言っていた) 感じの画像を作るという要望は、当時の片田和広教授 (藤田保健衛生大学) から寄せられたと記憶する。後で聞いたところでは、その動機は筆者らの3Dグラフィックスの技術レベルの高さが印象的であったためと言う事であった。
- ⑥ 当時の我々の技術では、幸い自動検出した臓器表面 (主に気管支や血管の内壁) のデータを持つことはある程度はできたから、このサーフェスデータを三角形パッチによるポリゴンモデルで表現して、当時のCGでは急速に発展しつつあったグラフィックスボードに持ち込むことで、辛うじて数コマ/sec程度の多少ギクシャクした動画をリアルタイムで出すことができた。これは国内では1994年6月の3次元画像コンファレンスで始めて発表したが工学系の学会であったから、反響はさほどではなかったように思う。
- ⑦ しかし上記の厚生省班会議での発表以後、コンピュータ外科学会、コンピュータ支援画像診断学会などに出した頃には一般の反響も大きく、テレビにも何回も取り上げられた。

もちろん、これにはRSNA (北米放射線医学会) などを中心的なテーマとなって世界的にも沢山の研究者が注目し始めた事もきいている。最初の発表では筆者らはこれを仮想化内視鏡システムと呼んだ (図2)。欧米では、バーチャルエンドスコーピー (virtual endoscopy) と呼んでいた。当時の欧米では実際に内視鏡を挿入する手技の巧拙の影響とか医師の労力を避けられる大腸がん検診への応用 (その意味では、バーチャルコロノスコーピー virtual colonoscopy 仮想化大腸鏡であった) が主たる関心の的であった。

\*注 Vining は93年12月のVESの発表に際して、大腸内部をフライスルーする動画をワグナーのオペラで有名な曲ワルキューレの騎行にのせて提示して喝采を博した、と言う記事があった。彼等の表示アルゴリズムはポリウムレンダリングであったから、当時の表示速度ではこの曲に合わせてリアルタイムでは動画は出せなかったはずで、事実、この動画はビデオのテープ編集であった。また彼等は大腸の内壁を自動抽出する技術は持っていなかったから、サーフェスレンダリングに持ち込もうとしても簡単にはできなかったはずである。筆者らが臓器表面の自動抽出技術を持っていたのは、たまたま、我々ががんの計算機診断を目指して研究していたからに過ぎない。

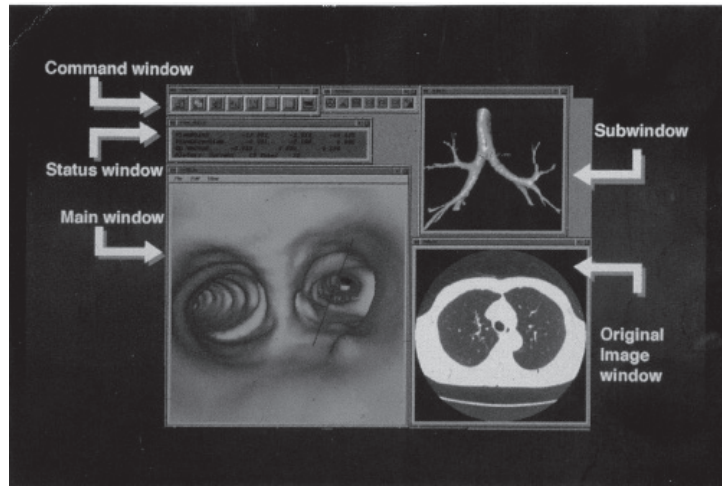


図2 最初の発表当時の仮想化気管支内視鏡システムの画面。サーフェスレンダリングでは、気管支壁のサーフェスを三角形パッチで構成している。VESの基本的画面構成は今でもほとんど変わっていない

ただし、このような診療への応用とは別に筆者が注目し、以後の個人的な研究テーマとして取り組んだのは次のような点であった。

- (i) 個別の具体的な人体を仮想化することにより、個々の具体的な患者の身体を仮想化してコンピュータ内におき、診療に活用する可能性が開ける。それは空想の産物としての人体のモデルやアニメのキャラクタではなくて、個別の具体的に実在する身体を仮想化である。しかも、表面形状だけでなく、X線CTで撮影できる範囲なら3次元物体としての身体の内蔵構造も正確に記録できる。この個別性を強調して筆者はこれを仮想化された人体 (virtualized human body VHB) と呼んだ。こういうものが診療に使える時代は過去にはなかったから、医療分野が新しい時代を迎えるかも知れない、と考えた。VHBの考えは、[鳥脇 97,02c, 04a, 06a,b] に発表した。
- (ii) 3次元物体の観察において、視点や視線方向を物体内部も含めて自由にとれる。これは対象が人体に拘らず、仮想化する手段が有ればどんな物体にも適用できる。これに関しては、平成16年度からの科研費萌芽研究として考察した。筆者が代表研究者となった最後の科研費である [鳥脇 06b]。
- (iii) 上の延長上にあるが、視点位置や視線方向を連続的に変えていけば、対象物体の内部を乗り物に乗って移動するような感じを与える画像が出来る。これをナビゲーション (navigation) と呼んだ。これは物体の観察の新しい方法になるかも知れないと考え、(ii) と関連づけてナビゲーション観察と呼んだ [鳥脇 04c]。診断においてはナビゲーション診断 (navigation diagnosis) を提唱した [末永 08, 鳥脇 00,04c,06b]。これは視線、視点をリアルタイムで変えられることになり、それが物事の認識にどう関連するかは形状の認識に関連してやはり面白い研究テーマと考えている。この点については残念ながら、時間切れである [鳥脇 04a, 06a,b, 宮崎 08]。
- (iv) ナビゲーションに関しては、ナビゲートする空間を論理空間を含めてさらに拡張し、一般ナビゲーション観察と呼んだ。これは上記 (ii) の中で考察した主な成果である。同時に、医用応用の中では科研費特定領域研究『多次元医用画像の知的診断支援 (代表小畑秀文 東京農工大)』の中の一つの班、知的ナビゲーション診断 (班長末永康仁) で具体化された [末永 08, 森 06, 鳥脇 06a]。

このような背景の中で、情報工学分野における『身体』を対象とする新しい切り口での研究分野が開ける事の可能性を察知された福村晃夫教授が中心となって本中京大学に新しい学部『生命システム工学部』が開設された。そこでは、仮想化された人体とともに、既に存在する実人体そのもの、イメージから機械的に現実化された身体としてのロボット、を合わせて『身体』を実人体の仮想化、機械的具体化、の各側面から多面的に取り組もうとした斬新な構想であった [福村 09]。筆者が本学に赴任した年の翌年 (2004年) この学部が創設され、筆者はそこで全く新しい講義『仮想化人体論』を担当してきた。実際は3年次の講義であったから、講義が始まるのは2006年からである。

この講義では、上記の通り筆者が1993, 4年頃から考察してきた『仮想化された人体』の色々な側面を、なるべく体系的に話してみたいと考えていた。結局この講義は学部の組織替えに伴うカリキュラム改訂のため本年 (2009年) で終えるが、仮想化人体論は講義そのものが筆者のオリジナルな内容であり、

他所には見られない独自の講義である。そこで、可能なら講義の内容をどこかに記録しておきたいと考えていたところ、幸いにも筆者の退任にあたり、AI研のニュースに執筆のお誘いを頂いたので、この機会を利用して本講義『仮想化人体論』のあらましを紹介させて頂くことにする。

## 2 仮想化された人体とは何か

本講義の主題である『仮想化された人体 (Virtualized Human Body VHB) 以下仮想化人体とも書く』は、人体 (またはその一部) を計測し、計算機内部に再構成したものである (図3)。

それは、外観 (外部の形状) のみでなく内部構造も再現している。また、それは個別の実人体の再構成、すなわち、個々の具体的人体と厳密に対応するものであり、その意味では概念としての人体とは全く異なる。すなわち、個別の具体的人体の再構成であるから個別の人体の全情報を持つ。それ故、診断・治療への応用が可能である。すなわち、具体的人体としての現実性をもつ。

一方、それは計算機上のデジタルデータという仮想の存在でもある。従って、仮想化された人体は、物理的制約なしに操作可能である。ここから、自由な観察と変形、例えば、内部の飛行とか手術シミュレーションなどができる。さらに、記録メディアとしての利用、なども考えられる。すなわち、それは仮想性を持ち、あるいは、一種の仮想環境としてバーチャル・リアリティ技術の応用の対象となり得る。

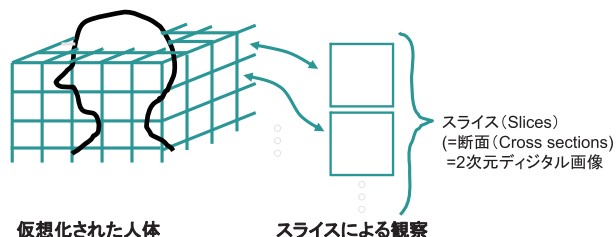


図3 仮想化された人体の概念図

## 3 仮想化された人体の取得、生成

先ず対象とする人体の仮想化、すなわち、仮想化された人体の生成が必要である。ここは、医用イメージングの技術に依る。参考に現在多少とも用いられている医用画像を図4に示す。

(観測手段)	(画像 - 種類, 解像度, 等)	(適用対象の例)	(情報の種類)
人体表面	視察	一般視診	一般検診, 外傷, 皮膚 - 形態
	可視投影光	モアレ像	脊椎, 体型, 形成外科 - 形態
	赤外線	サーモグラム	乳房, 血行, 神経系 - 機能
	電磁界	体表面電位図, 心・脳磁図	心臓, 脳 - 機能, 形態
人体内部	視察	内視鏡, 眼底写真	気管支, 胃, 大腸, 眼底 - 形態
	X線	直接/間接/DR (静止透過像)	ほぼ全器官, 部位 - 形態, 機能
		テレビシネアンジオグラフィ/DSA (動画透過像)	
		CT (断面像, 3次元像)	
	RI (γ線/陽電子線)	シンチグラム (静止画, 動画)	心, 肝, 脳, 等 - 形態, 機能
		PET/SPBCT (断面, 3次元像)	
	超音波	エコー像	乳房, 心, 腹部, 他 - 形態, 機能, 組成
		(A, B, Mモード, 断層, ドップラー; 2, 3次元静止画, 動画)	
	NMR	MRI (断面, 3, 4次元動画)	心, 脳, 骨, その他 - 形態, 組成
		アンジオグラフィ (3次元, 動画)	
組織標本	可視光	光学顕微鏡像 (2, 3次元静止画)	細胞診, 染色体, 血球, - 形態
	電子線	電子顕微鏡像 (2, 3次元静止画)	病理組織標本, 等 - 形態
微細構造	可視光	分子画像 (顕微鏡像)	細胞 (種類, 動き, 遺伝子) - 組成, 形態
	X線	マイクロCT	組織の標本 - 形態

図4 現在用いられている主な医用画像の例

この中で仮想化人体の生成に要求される性能として、次の事柄があげられる。

- ① 3次元物体としての人体の表面形状のみでなく、内部構造も含めて人体全体を妥当な解像度で記録できる
- ② 人体に有意な損傷を与えない
- ③ 取得に要するコスト、労力、被検者と医師双方の負荷がリーズナブルな範囲にある
- ④ 計測できる情報が診療に有効である

実際に現在用いられているのは、X線CT (コンピュータ断層撮影 computed tomography) が大半であり、続いてMRI (磁気共鳴映像法 magnetic resonance imaging)、PET (ポジトロンエミッシヨ

ンCT positron emission CT), 超音波、などが用いられる可能性がある。もちろん、これは現時点での仮想化人体作成のみを考えた場合であり、診療とは異なる。

注意すべきことは、上記①～④をすべて満たす単一のイメージング技法は存在しないこと、従って、時には同一被検者に対して複数のイメージング技法が用いられる場合もあり、いわば、同一被検者に対してその仮想化版は複数種類生成されることもあり得ること、また、仮想化人体にはその生成に用いられたイメージング技法で計測できる情報のみが含まれること、などである。

従って、仮想化人体の生成を理解するには、前述のような多様なイメージングの技術とその基となる物理をある程度理解することが望まれる。それは、X線物理学、核物理学、核磁気共鳴現象、蛍光発生などの基礎物理から100kV、1テスラ、と言ったクラスの高電圧、高磁場を扱う技術、X線や磁気共鳴信号のセンシングという微弱信号を扱う技術、被検者のベッドの移動や撮影装置の回転をミリ単位の高精度で行える機械システムの実現、 $512^3$ 画素の3次元画像データを作る基になるスキャンデータを1分程度で転送し、断面定理に基づく3次元画像再構成をやはり数分で行うデジタル信号処理、など驚くべき多様な技術が含まれてくる。もちろん、これらをすべて学部レベルで講義する必要はないであろうが(事実上それは到底無理である)、『仮想化人体論』では、取りあえず上記の諸要請と医用画像の種類と特徴、断面再構成の考え方、などを含めている。

イメージング装置の出力は、数値データの集まり(人体各部の特性値、例えば、X線CTなら各点の近傍でのX線減弱係数)である。大まかに言えば、これがコンピュータメモリ上の3次元配列に入る(図3)。しかし、人は数値の集まりを直接に見ることはできない。たとえ数値でなくて形状を持った物体であっても3次元物体の内部まで一目で見ることができない。そこで、適切な補助手段を用いる必要が出てくる。すなわち、構造化と可視化である。次の2つの節でこれらに触れる。

#### 4 仮想化された人体の構造化

ここで構造化とは、仮想化人体を含む3次元デジタル画像(3D画像)のどの部分が何を表すか、を定めることである。当然、対象は人体であるから、どこがどの臓器にあたるか、あるいは、病変部があればどこか、を定めることである(図5)。それは、一般的には、3D濃淡画像のセグメンテーションであり、3D画像中に存在する線、面、塊状図形を検出し、名前を定めることである。

従って、ここでは3D画像処理の基礎を学ぶ。その前提として2次元デジタル画像処理の基本は理解していることが要求される。

構造化は極力自動的にできることが望ましい。そうでないと膨大なデータ量に対する処理は大きな労力を要するため、結局は仮想化人体のユーザである医師からは敬遠されることになりがちである。しかし、一方では完全な自動化は本質的に難しい面もある。というのは、例えば病変部の決定は医師でなければできないからである。一方対話的に実行するためには3次元物体の内部も含めて人が視覚的に認識することが難しいことが問題になる。

3D画像処理のアルゴリズムの基本的な部分は筆者が前任地の名古屋大学時代に研究室全体で取り組んだ問題であり、最近ようやく入門から専門レベルまで3冊の書物[鳥脇02a, 10, Toriwaki 09]にまとめる事ができた。とりわけ、デジタル幾何学は3次元の独自性が色濃く現れて難しい点が多い。

2D画像処理の知識がある程度ある読者のために、2D画像処理のアルゴリズムを3次元に拡張する際の難易度を、以下のようにまとめておく。

難易度1: 本質的に画像の次元数に関係しない処理、

難易度2: 手数は複雑になるかも知れないが拡張法は殆ど自明なもの。例えばn次元画像に対する一般形の表現が与えられるようなもの。

難易度3: 概念的には拡張は可能に見えるが、具体化は非常に複雑になるもの

難易度4: 2次元までにはなかった現象が生じるため、新しい理論、方法、考え方が必要になるもの。  
この意味では2次元の拡張という考え方では扱えない。

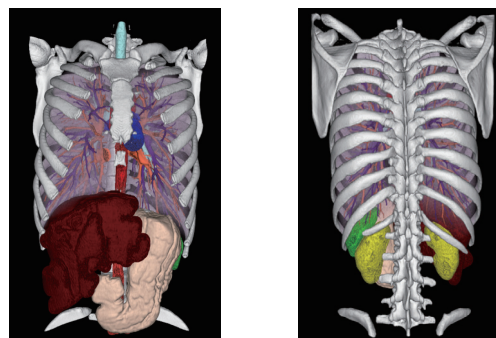


図5 構造化の例  
画像提供 中京大 目加田慶人教授

それぞれの具体例を表1に与えておく。

表1 画像処理アルゴリズムにおける2次元から3次元への拡張の難易度

種別	概要	処理の例
難易度1	画像の次元に関係せず、2次元画像処理と同様な操作で行える処理	点演算（階調変換など）、画像定数間演算、画像間二項演算、濃度値統計量の計算など。
難易度2	2次元画像処理からの拡張が容易な処理	直交変換（フーリエ変換など）、幾何学的変換、領域生成、ラベリングなど。
難易度3	2次元画像処理から拡張が可能であるが、実現法が明確でない処理	フィルタ処理（エッジ検出など）、距離変換、ポロノイ図形生成など
難易度4	2次元画像処理から直接的な拡張が不可能な処理	トポロジー保存を伴う処理（細線化、収縮など）、“結び”と“絡み”など

構造化は一般的な医学の基礎知識としての解剖図を、個別の事例としての仮想化人体（具体的な個別の人体に対応する）の上に写像することとみなすことができる。実際、例えば実人体の写真（あるいはCT画像）のみを提示されたとしてもどの臓器がどこにあるかを正確に定めることは、医師にとってさえ簡単ではないであろう [アッカーマン 07]。気管支枝名や血管の種別を自動的に生成することを試みた諸研究の意義の一つはここにある [目加田 05]。また、それ故に現在でも手書き解剖図の存在意義も決して少なくないのである。解剖図については7章でも触れる。

## 5 仮想化人体の可視化

仮想化人体は3D濃淡画像であるから、濃淡画像の可視化の手法の応用が期待される。その基盤はやはり描画の意味での画像生成を目的とするコンピュータグラフィックス（CG）にある。CGは実世界の情景と区別できないようなリアリティの高い画像を生成するフォトリアリスティックレンダリング、あるいは、人の想像力という意味でのイメージネーションに基づいて自由に描画するノンフォトリアリスティックレンダリングに分かれるが、ここで用いるのはそのどちらとも若干異なる。すなわち、仮想化人体として存在するデータの持つ情報をできるだけ損なわずにユーザに伝えられる、あるいは、ユーザができるだけ正確な情報を引き出せる手法を用いたい。その意味では普通に言われる可視化（ビジュアリゼーション visualization）がこれにより近い [藤代 06]。

また、仮想化人体を見る時点において3節で述べた構造化がなされているかどうかによって状況は大きく分かれる。『仮想化人体論』では、対象の構造化がなされていればその結果をポリゴンモデル等で近似して、それに対してサーフェスレンダリング（surface rendering）の諸方法を用いる [鳥脇 08]。そうでなければ3D濃淡画像を直接に表示することを意図して開発されたボリュウムレンダリング（volume rendering）を用いる [鳥脇 08]。この2方法はそれぞれ長短があり、性格も異なるため、仮想化人体論では両者の基礎を学ぶようにする（図6）。もちろん、それらの基礎となる3次元物体の2次元平面（表示画面）への投影や3次元座標変換、各種の反射、屈折のモデル、照明モデルなどは学習すべき必須事項である。

さらに、ユーザーからみると人体の3次元画像を扱う（すなわち、対象の3次元構造を直接に知覚できる）のは何らかの3次元画像表示技法が殆ど唯一の可能な方法であることを注意しなくてはならない。そしてもう一つの重要な点は、対象が一般的人体ではなくて、そこで始めて見る個々の被検者の人体であると言う点である。これらを考え合わせると仮想化人体論の中で可視化は非常に大きいウェイトを持つ問題で

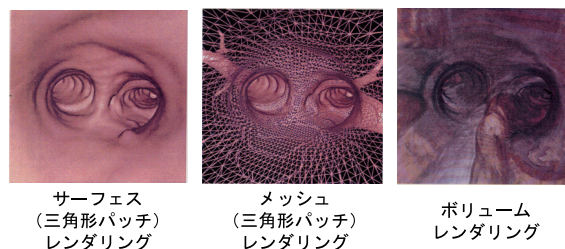


図6 仮想化人体の可視化の基本的な手法—サーフェスレンダリングとボリュウムレンダリング

この図は1983年のVESの最初の発表当時のものであるが、基本的に今でも変わっていない

あることが分かる。

因みに現在の世の中で一般に使われている仮想化内視鏡システムではボリュームレンダリングの利用が主流である。これは、構造化という作業を避けられるためである。ただし、結果の表示画像の印象は不透明度と呼ばれるパラメータの設定によってかなり変わることを注意して使いたい。

なお、厳密に言えば表示対象の表面を具体的に抽出していない段階で使用するため、表面の反射があるような効果はグラディエントシェーディング (gradient shading) などによって人工的に与える事が多い。表示結果における臓器内壁の色彩や臓器表面の色彩も、リアリティには捕らわれず、画像が見やすくなる (あるいは情報を得やすい) ように与えていると言う面が強い。

## 6 仮想化人体の利用

これまでに述べてきた仮想化人体を実際の診療の中でどう使うか、あるいはどう使えるか、はむしろこれからの課題とも言えるが、講義では現在までに筆者が考えていた、あるいは、試みてみた使い方を紹介する。まず、使うのは仮想化人体か実人体か、あるいは、両者の組み合わせか、に分ける。他方で、操作の内容を探索 (観察、検査) と変形に分けて考えてみる (表2)。

表2 仮想化人体の利用形態

種別	仮想化人体	実人体+仮想化人体	実人体
探索 (観察検査)	ナビゲーション診断 仮想化内視鏡システム 教育・訓練システム	情報強化内視鏡システム (融合内視鏡システム)	診断
難易度2	術前手術計画 外科手術シミュレーション 仮想切開	術中支援 手術ナビゲーション	治療 手術

### (1) 仮想化内視鏡システムおよびナビゲーション診断—仮想化人体のみの利用による探索 (観察)

仮想化人体の利用は恐らくその観察から始まる。それは被験者の人体という仮想環境の探索であり、医学的には診断という事になる。仮想化人体を利用する際の最大の特徴は、

- (1) 視点と視線方向を人体の内部、外部を問わず自由に、リアルタイムで選べる
- (2) 必要なら、視線方向も視点も移動しつつ観察ができる

という点があげられる。これらにより、観察者は対象人体の中を自由に飛び回るような感じを持つ映像が作れる。(※注)

この領域を代表する応用は前記のVES (仮想化内視鏡システム、バーチャルエンドスコーピー) である。これは、管腔様臓器 (気管支、血管、腸など) の内部を移動しつつ内壁の状態を観察するもので、実際の内視鏡やカメラを挿入するよりも被験者の負担が軽くなるのみでなく、物理的に内視鏡が挿入できない部位も観察できること、一度仮想化人体を作ってしまうれば検査自体には被験者への負担はないこと、などのメリットも大きいことから、始めに述べたように仮想化人体応用の意義を一気に高めたものである。

続いて視線位置と方向が任意可変である点を生かしたナビゲーション診断がある [鳥脇 04b, 森 06, 末永 08]。その後の前記科研費特定領域研究の中で、ナビゲーションを行う空間を実距離空間のみでなく論理空間へも拡張し、また、スケールも可変、対象の“透明度”も可変にする可能性も検討しているが、この方向 (考え方) の検討はまだ未完に終わっている [末永 08, 鳥脇 06a,b] (図7)。

その他直接の診療への応用ではないが、医学教育に関して医師のみでなく、看護師、撮影技師、などに対する教育プログラムの中での利用も関心と呼んでいる。実際、筆者らのVESは札幌医科大学で教育に用され、そのために独自の機能もいくつか開発している。例えば気管支枝名自動判別、

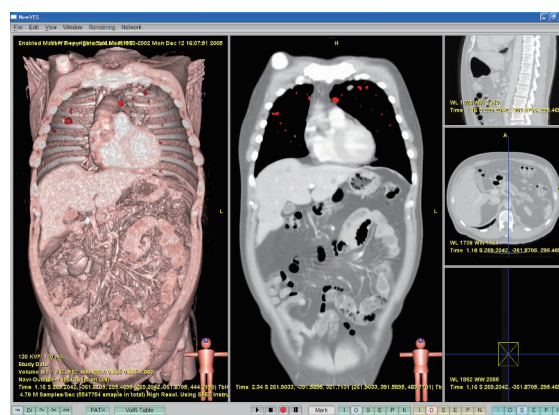


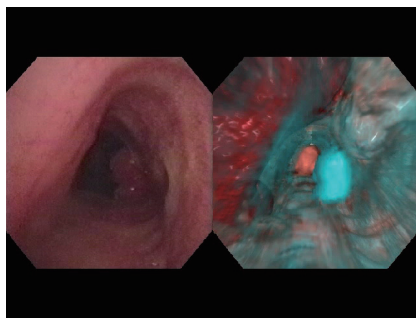
図7 最近のナビゲーション診断の画面の例  
図提供 森健策教授 (名古屋大学)

※注 この飛び回ると言う感覚の表示は前述のように fly through (フライスルー) という言葉で表されることが多いが、筆者は自分で乗り物を操縦するという意味で navigation (ナビゲーション) と呼んでいる。ここからこの診断法をナビゲーション診断と呼んだ。

人工的に挿入した肺がんの陰影に対して仮想化内視鏡のイメージ上で医師が指定した経路で到達する操作を学ぶトレーニング用プログラムとその自動評価、などがある [林 02]。

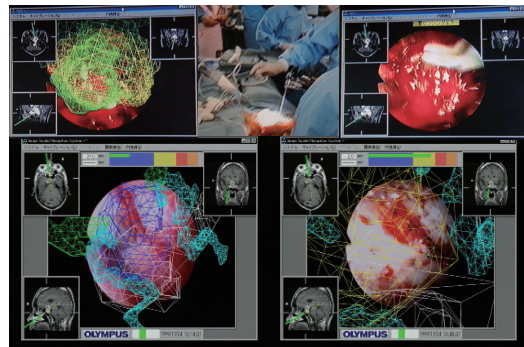
## (2) 情報強化内視鏡—実人体と仮想化人体の同時利用による観察（探索）と小変形

仮想化人体の生成（すなわちCT像撮影）の時点での人体と実際に他の検査をするときの実人体の位置合わせが正確にできれば、実人体に対する検査や治療の際に医師が診ている実人体やその他の情報を画面（例えば内視鏡検査や内視鏡下手術の際の内視鏡の視野）に同一被験者の仮想化人体の映像を重畳して表示することができる。これにより、通常なら見えない臓器壁の背後や切開する部位の近傍の状況などの貴重な情報を術者に提供することができる。これは情報強化内視鏡（information augmented endoscope）とか融合内視鏡と呼ばれる（図8）。あるいは、画像による手術ナビゲーションとか映像誘導手術（image guided surgery）と呼ばれ、脳外科などで一部実用化されている（\*注）[林 09, 村垣 04]。このときは実際に医師が操作している術具や検査器具、あるいは、患者の実人体と仮想化人体との位置合わせ（レジストレーション registration）が必須の技術となる。しかもそれは、人体という3次元柔軟物体に対して行う必要がある。もちろん、適当なセンサや位置計測器具も利用できるが、それでも現在でも決して易しくはない。



実気管支鏡 気管に腫瘍が見える 仮想化気管支鏡 気管壁の背後の臓器も表示

A：仮想化気管支内視鏡 気管内壁の背後が見える  
(画像提供名古屋大森健策教授)



脳外科手術支援の実例 術者の視野には様々な情報が重畳表示される  
図提供 伊関 洋教授(東京女子医科大学脳神経センター)

B：脳外科手術に於ける手術支援用情報の重畳  
(画像提供 東京女子医大伊関洋教授)

図8 情報強化内視鏡画像の例

## (3) 手術シミュレーションおよび仮想切開（展開） —仮想化人体のみを利用する大規模変形

手術シミュレーションは、仮想化人体が物理的制約も患者の苦痛も無しに任意に変形できることを利用して、手術の計画立案、評価を事前試行を伴って行おうとするものである。筆者らは頭部形成手術において既に1980年代にこれを行っている [安田 86, Yasuda90]。当時は仮想化人体の意識はなかったが、内外の注目を集め、その後コンピュータ外科（Computer Aided Surgery C A S）と言う分野と学会がスタートする主要な動機の一つとなった。

現在ではもちろん、仮想化人体の応用の大きな分野である。しかし、手術は、各症例ごとに個別の要因が大きく、またシミュレーションを各医師が簡単に行えるにはソフト、ハード両面を含めてコンピュータそのものの問題も多く、現状では手術シミュレーションが行われるケースはまだそれほど多くはない。

臓器の仮想展開（仮想切開）は、管腔様臓器の壁面を内部をナビゲートしながら観察する代わりに、壁面全体を平面上に展開した形の像を作ってそれを調べようというものである [森 00] (図9)。

ナビゲーションでは移動しながら観察するからどうしても見落としが生ずる。動画では自然に視野が狭くな

仮想展開の例 (上段:外形, 下段:展開像)

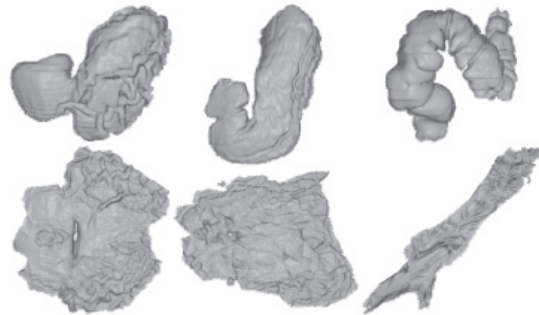


図9 臓器の仮想展開の例

画像提供 名古屋大森健策教授、林雄一郎博士

\*注 このときのナビゲーションは、カーナビのナビと同じで案内するとか指導するとかの意味である。

るから対象表面の凹凸の関係で陰になる部分の兆候を見落としやすい。その点、展開図では全体を一覧できるから、これらの問題は改善できる。ただ、元もと3次元空間の曲面であったものを平面に延ばすから、形状の見かけの変形は相当大きい。ここで極力自然な展開図を得るためには複雑な形状処理の実現が要求される。本講義の範囲では取りあえず基本的に三角形パッチにバネモデルを入れて、反復的に変形する方法を採用している[林 05a, b] が、ここには多くの今後の研究課題がある。仮想化大腸内視鏡では、両者の長短に関してアメリカあたりで沢山の議論があり、筆者らも両者を色々比較検討している(図10)[岡 04, 林 02]。始めに述べた国立がんセンターのシステムでもナビゲーションと展開の両方式を併用していた。

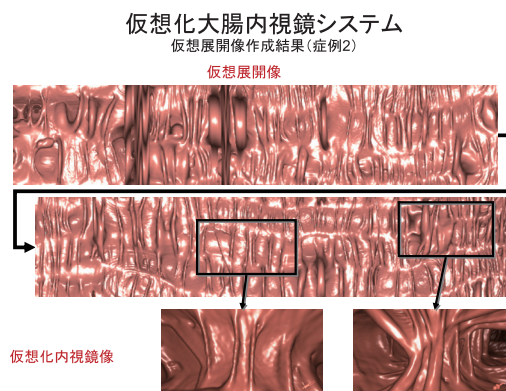


図10 仮想化大腸内視鏡像と仮想展開像の例  
画像提供 名古屋大森健策教授、林雄一郎博士

#### (4) 術中支援—実人体と仮想化人体の同時利用による変形

手術中に、様々の重要な情報を医師が見ている画像上に重畳して表示する事は様々の形で試みられている。例えば、医師が見ている対象の背後に隠れている別の組織、器官を表示して注意を促したり、これから切開する前方の状態を視野内に表示したり、執刀医のメスが危険領域に近づいたとき視野内に警告を出す、などの例がある[伊関 04]。これらは実際の手術の進行と同時に仮想化人体を用いて、時には小規模のシミュレーションを随時行いながら提示すべき情報を得ている。脳外科などでいくつかの実例がある[林 09, 伊関 04, 村垣 04]。これらは画像誘導手術 (image guided surgery) などと呼ばれることもある。また、この場合には、必要に応じて術中にCTやMRIを撮影する事、従って術中に仮想化人体を作成しなおすことが要請される。この応用の今後の普及のためには仮想化人体の変形を医師でも随時行える様なシステム、仮想化人体と実人体のレジストレーションを、手術時の実人体の変形も考慮して素早く行える手法の開発が望まれる[村垣 04]。

## 7 その他の話題

以上が仮想化人体論の中核を構成する事項である。しかし、仮想化人体論にはさらに考察し、検討するに値する色々の課題が有り得ると考えている。本章ではその中から4つの問題を挙げておく。講義の中ではそれらはいわば自由研究課題として扱っても良いと考えていた。

### (1) メディアとしての仮想化人体

仮想化人体は、計算機上では3次元配列に記憶された数値の集まりである。同時にそれは自由に変更でき、また、他の情報も自由に書き込める。そう言う意味では仮想化人体はメディアとしての側面ももつ。実際、各画素には色々の値を書き込める。このとき、各画素がそれぞれの実人体での位置と正確に対応する位置に存在する点は大きな特徴である。例えば、弾性率など組織の物性定数を入れた“デジタル人体”がいくつか試みられている。

また、人体の解剖学的情報を入れることは元もと実人体の仮想化であることを考えれば自然な発想であろう。実際にこれは既に1995年にHoehneらによって提案されている例がある[Hoehne95]。このとき、仮想化人体は一般的な“人体”と言うものの仮想化ではなくて、個別の具体的な人体の仮想化である点の特徴であり、この点を生かした情報の記録に独自性が期待される。また、個人健康データ (personal health data PHD) を入れるメディアとしても期待される。実際、一部の病院では診断のために撮影した3次元CT画像などをCDに入れて患者に渡しているところもある。

### (2) モデルとしての仮想化人体

仮想化人体は一種の人体のモデルとも考えられる。この観点からの考察は[鳥脇 02c]において最初に述べた。それは個々の具体的個別人体のモデル化であり、イメージング、すなわち、生成の手段が違えば同一人体からでも複数のモデルが得られる。すなわち、人体Aの仮想化の結果として、複数のモデル  $A_1, A_2, \dots$



$A_n$  があり、それらを統合したものとして人体のモデル  $A^*$  が有り得る (患者指向モデル)。さらに、個々の人体  $A, B, C, \dots$  のモデル  $A^*, B^*, C^*, \dots$  を統合したものとして一般の人体と言う概念のモデルがあると考えられる (汎用モデル) (図 11)。もともと、CT や MRI から生成されたモデルは、形態面では個々の人体の非常に正確なモデルになっている。これと上記を考え合わせると、精度がほとんど連続可変のモデルを考えることができそうである。そもそも、診断という行為は医師の頭の中に被験者 (患者) のモデルを作っていくプロセスと見なせる。この仮想化人体とモデル形成の関係も面白い問題がありそうであるが、これもまた残念ながら未完に終わっている。

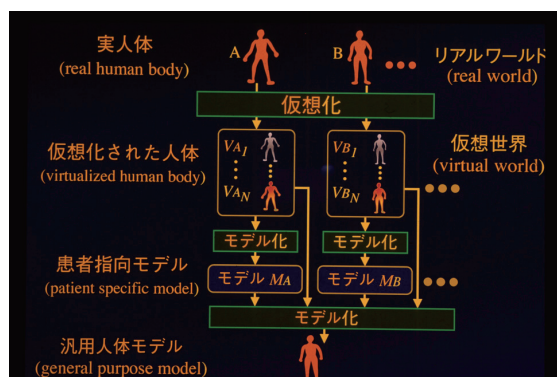


図 11 モデルとしての仮想化人体

### (3) 解剖図の系譜における仮想化人体

人体の解剖図は医学においてはなくてはならないものであり、ルネッサンス期以来数々の解剖図が現れた。その初期には人手によるスケッチがあり、どちらかと言えば、美的なセンス、芸術的センスが感じられるものが色々現れている [養老 89, 94]。しかし、19 世紀の近代医学の発達と共に“正確さ”を最重要な要素とする、現在も普通に見かける解剖図に置き換わる。ただし、そこでも人手によるスケッチは重要な役割を果たす。しかし、同時にスケッチの基盤として人体標本の写真があり、近年では各種のデジタル医用画像が使われるに至る。

[アッカーマン 07] の考察は、わずか 2, 3 ページの記述であるが、示唆に富む。とりわけ、3 次元化とデジタル化は重要なキーワードである。しかし、本仮想化人体論で指摘した自由な視点の選択と個々の具体的人体の仮想化は触れられていない。もちろん、国内にも数々の解剖図の歴史がある [養老 89, 94]。それらがどの様な技術の使用により、どう発展してきたかは組織的検討に値する興味深い問題である。

### (4) 人体可視化技術の歴史

医用画像を生成する技術の発展の経緯も重要で、しかも、面白い話題である。言うまでもなく、人体の内部を見たいと言う願望は古くから有り、その一つの結果として前項の解剖図があった。よく言われるように、この領域の第一の飛躍はレントゲンの X 線の発見 (1895 年) とそれに基づく、いわゆる、X 線写真の登場である。ここで我々はメス無しに人体内部を見る手段を得た。その前段として、ダゲールによる“写真”の発明 (1839) があった。

次の飛躍は CT の発明 (1973 ハウンズフィールド) である。これこそ現在の仮想化人体の生成を可能にした大発明であった。ここで我々は、人体を丸ごと情報として記録する手段を得た。そして、その前段にデジタル計算機の発明 (エッカート、モークリー 1945) がある。

これらの技術の発展の流れを学ぶことも重要な項目と考え、(3) と合わせて一回分に相当する程度の時間は講義していた。

## 8 むすび

本稿では、生命システム工学部の講義『仮想化人体論』のあらましを紹介した。本講義は生命システム工学部の発足と同時に学部 3 年次の講義として開設されたものであるが、筆者が新学部の構想を考慮して新たに準備したもので、その内容は他大学には無いオリジナルなものである。

その内容は、仮想化人体の考え方に始まり、仮想化人体の取得・生成、構造化、可視化、および、利用の全部で 5 項目から構成されている。元もと人体の仮想化とその利用という考え方が 1980 年代後半の筆者の研究から出たものである。その点では講義担当者のオリジナルな研究に基づく、余り例が多いとは言えない講義であった。しかし、少なくとも仮想化内視鏡システム (バーチャルエンドスコープ) や手術のシミュレーションに関しては一部先進的医療機関では実用化されるに至り、いまなお活発な研究と実用化への展開が続いている。その意味では大まかな方向性としては間違っていないと考えている。

また、仮想化人体の取得、構造化、可視化、利用は、それぞれ、医用イメージング、3 次元画像処理、

コンピュータグラフィックス、仮想現実（バーチャルリアリティ）と言う先進技術の基盤の上に成り立っている。仮想化人体論の学習はこれらの基盤技術を実例を通して学ぶことでもあり、学部講義としても十分意義を持ち得たと考えている。

しかし、本稿をまとめながらの感じでは、依然としてその大半は未完成である。その意味では講義も仮想化人体論の荒削りの試論に止まったと言うべきかも知れない。その一部、例えば一般化ナビゲーション、論理空間のナビゲーション、などはもはや筆者の手に余ると言う実感もある。この点は後進の研究で発展できれば幸いである。

なお、時間的、スペース的制約と筆者の非力故十分に論じ得なかった身体と情報技術の関わり合い、および、生命システム工学部の全体構想と具体化については、提唱者福村晃夫教授の論文 [福村 06, 09] に論じられているので、参照頂きたい。ちなみに、講義は3年生秋学期全14週ですべてプロジェクトを使用し、パワーポイントのスライド総計1000枚弱（一部動画を含む）を用いた。

**謝辞：**このような新しい講義の企画と実行の機会を与えていただいた中京大学、および、福村晃夫教授に心より深謝する。また、生命システム工学部の発足以来の学部長であった長谷川純一教授と、研究、教育の実施に共に尽力頂いた諸先生に深謝する。長谷川先生には本稿にも目を通して頂き、多数の重要なアドバイスを頂いた。さらに、本講義の内容の基となる諸研究を共に進めた名古屋大学大学院工学研究科鳥脇研究室、末永研究室のメンバーの皆さんにも深く感謝します。さらに医学関連の諸先生からも数え切れないご協力、ご支援、そして貴重なアドバイスを頂いた。あわせて厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [アッカーマン 07] M. J. アッカーマン：デジタル時代の解剖図、in [リフキン 07]、pp.315-320 (2007)
- [伊関 04] 伊関洋、村垣善浩、中村亮一、南部恭二郎：Intuitive visualization of medical information, 日本臨床, 62, 4 (通巻 843 号), pp.607- 611(2004.4)
- [岡 04] 岡宏樹、北坂孝幸、森健策、末永康仁、鳥脇純一郎：臓器外壁情報を利用した仮想展開像作成手法と未提示領域の割合に基づく仮想化内視鏡との比較、電子情報通信学会論文誌、J87-D II, 1, pp.290-301 (2004.1)
- [末永 08] 末永康仁、森健策、北坂孝幸、目加田慶人、平野靖、長谷川純一、鳥脇純一郎、名取博：知的CADとしてのナビゲーション診断システムの開発、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究『多次元医用画像の知的診断支援』領域代表者小畑秀文 平成15～18年度研究成果報告書、pp.II-166～II-188 (2008.3)
- [鳥脇 95] 鳥脇純一郎：医用画像処理とバーチャルリアリティ、BME、9, 11, pp.12-20 (1995.11)
- [鳥脇 97] 鳥脇純一郎：新しい医用画像環境 仮想化された人体と映像メディア処理の時代へ、新医療、24, 4, pp.40-45 (1997年4月号) (1997.4)
- [鳥脇 00] 鳥脇純一郎：仮想化された人体のナビゲーションに基づく診断・治療支援、「手術」、54, 4, pp.483-491, 金原出版、(2000.4)
- [鳥脇 02a] 鳥脇純一郎：3次元デジタル画像処理 昭晃堂, 2002.7.5
- [鳥脇 02b] 鳥脇純一郎：仮想化内視鏡システムの発想と実現、CADM News Letter, No.34, pp.4-12、コンピュータ支援画像診断学会 (2002.1)
- [鳥脇 02c] 鳥脇純一郎：モデルとしての人体バーチャル空間とその探索、BME, 16, 8, pp.52-59 (2002)
- [鳥脇 04a] 鳥脇純一郎：内部視点のリアルタイム操作に基づく物体観察－ナビゲーション観察について、中京大学テクニカルレポート (SCCS Technincal Report) No. 2003-2-01 (2004.2.10)
- [鳥脇 04b] 鳥脇純一郎：仮想化身体とナビゲーション診断－総論、IASAI News(中京大学人工知能高等研究所 ニュース No.13), pp.3-15 (2004.2)
- [鳥脇 04c] 鳥脇純一郎：ナビゲーション観察－内部自由視点による物体観察と医用応用、RADIOISOTOPE S (アイソトープ協会誌) ,53, 5, pp.331-342 (2004.5)
- [鳥脇 06a] 鳥脇純一郎：CADが拓く画像診断の新しい世界－個別人体の仮想化とナビゲーションから見た新しいCAD、インナービジョン、21, 12, pp.76-82 (2006.12)
- [鳥脇 06b] 鳥脇純一郎：3次元連続物体の可視化のためのマルチスケール・ナビゲーションの研究、平成

16～18年度科学研究費補助金(萌芽研究)成果報告書(2006.3)

[鳥脇 08] 鳥脇純一郎編著、森健策、平野靖共著:画像情報処理(Ⅱ)グラフィクス、表示編、コロナ社、2008.11.10

[鳥脇 10] 鳥脇純一郎監修、村上伸一著:3次元画像処理入門、東京電機大学出版局、2010(印刷中)

[日経 09] “大腸がん検査に3D画像”、最前線、現場、日本経済新聞、2009年11月22日号(2009.11)

[林 02] 林雄一郎、森健策、長谷川純一、末永康仁、鳥脇純一郎:仮想化内視鏡システムにおける自動探索経路と未提示領域数の定量的評価、電子情報通信学会医用画像研究会資料、MI2001-86、(技術研究報告、vol.101, no.581, pp.41-46) (2002.1)

[林 05a] 仮想化内視鏡システムを用いたナビゲーション診断と治療支援に関する研究、名古屋大学大学院工学研究科博士論文(2005.3)

[林 05b] 林雄一郎、森健策、末永康仁、鳥脇純一郎、橋爪誠: `腹腔鏡下手術支援のための仮想腹腔鏡像作成に関する検討、`日本コンピュータ外科学会誌、7, 2, pp.95-104 (2005.9)

[林 09] 林雄一郎、藤井正純、梶田泰一、伊藤英治、竹林成典、水野正明、若林俊彦、吉田純、森健策、末永康仁:実前、術中画像を用いたバーチャルエンドスコープによる画像誘導手術支援、河本圭司編:脳腫瘍の外科-Multimodality時代の脳腫瘍の外科、MCメディカ出版、pp.210-215 (2009)

[福村 06] 福村晃夫:情報と身体性、論叢“身体性にせまる情報技術”、栢森情報科学振興財団10周年記念誌別冊 (2006.2)

[福村 09] 福村晃夫:情報科学技術のReality、栢森情報科学振興財団 Kフォーラム実行委員会、(2009.11)

[藤代 06] 藤代一成:CGの基礎と応用v「ビジュアライゼーション」、画像電子学会:Visual Computingの基礎と先端技術、画像電子学会第30回秋期セミナー予稿、2006.9.14-15, pp.07-01-07-16, (2006.9) (<http://tab.computer.org/vgvc/vrc/index.html>)

[宮崎 08] 宮崎清孝、上野直樹:視点、東京大学出版会、2008

[村垣 04] 村垣善浩、丸山隆志、伊関洋、堀智勝、高倉公朋:術中MRI・ナビゲーション、特集:3D画像医学の進歩、日本臨床、62, 4(通巻843号), pp.697-706(2004.4)

[目加田 05] 目加田慶人、田中友彰、村瀬洋、長谷川純一、鳥脇純一郎、尾辻秀章:血管と気管支の空間的配置特徴に基づく胸部X線CT像からの肺動脈・肺静脈自動分類、電子情報通信学会論文誌、J88-D-II,8, pp.1412-1420, 2005.8

[森 94] 森健策、長谷川純一、鳥脇純一郎、横井茂樹、安野泰史、片田和廣:医用3次元画像における管状図形抽出と気管支内視鏡画像のシミュレーション、3次元画像コンファレンス'94講演論文集、pp.269-274 (1994.7)

[森 00] 森健策、櫛田晃弘、長谷川純一、末永康仁、鳥脇純一郎、片田和廣:3次元医用画像の変形に基づく管腔臓器の仮想展開像の作成と胃X線CT像への応用、電子情報通信学会論文誌 D-II、J83-D-II, 1, pp.351-361 (2000.1)

[森 06d] 森健策:仮想化人体と医用画像診断支援-ナビゲーション型診断支援システム、電子情報通信学会誌、89, 10, pp.884-888 (2006/10)

[安田 86] 安田孝美、萬淳一、横井茂樹、鳥脇純一郎、片田和廣:3次元グラフィックスを用いた頭部CT像3次元表示の手術計画への応用、医用電子と生体工学、24, 1, 22-27 (1986-02)

[養老 89] 養老猛司:唯脳論、青土社、1989

[養老 94] 養老猛司、布施英利:解剖の時間 瞬間と永遠の描画史、哲学書房、1994

[リフキン 07] B.A.リフキン、M. J. アッカーマン、K. フォルケンバーグ著、松井貴子訳:人体解剖図、二見書房、2007

[Hoehne95] K.H.Hoehne, B.P.Flessner, A.Pommert, M.Riemer, Th. Schiemann, R.Schubert, and U.Tiede: A new representation of knowledge concerning human anatomy and function, Nature Medicine, 1, 6, pp.506-511 (1995)

[Toriwaki09] Junichito Toriwaki and Hiroyuki Yoshida: Fundamentals of Three-dimensional Image Processing, Springer-Verlag, 2009.5

[Yasuda09] T.Yasuda, Y.Hashimoto, S.Yokoi, and J-I.Toriwaki :Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images, IEEE Trans. on Medical Imaging, 9, 3, pp.270-280 (1990-9)

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 特集2「プロジェクト型研究教育実践を振り返る」

中京大学情報科学部・生命システム工学部・情報理工学部では、2001年度より「プロジェクト型研究教育助成」なる助成を学部独自に行ってきました。これは、学部教員が研究・教育双方の質の向上に貢献すると考えたプロジェクト案を、グループもしくは単独で申請し、学部全体での審査後、採択されたものを一年間にわたって実施するものです。制度が10年目を迎えるにあたり、成果をまとめて報告し、実践内容の紹介を行うことにしました。萌芽的な研究も多く、必ずしも学部の研究教育を代表するものではありませんが、今後の理工系教育のあり方や研究・教育の互恵的な深化方法を議論する材料になれば幸いです。

#### ○報告概要

2001年度：

磯 直行

「レイアウトアルゴリズムのシステム LSI チップ設計への適用」

2002年度：

棚橋 純一, 秦野 甯世

「数学ソフト利用による数学分野の教材開発・適用推進」

2003年度：

鈴木 常彦, 伊藤 誠

「ネットワーク技術に関する効果的教育と実証的研究のためのインターネットシミュレータの開発」

大泉 和文

「メディア・アート作品の制作 —アートのための制御システム開発と教育環境の整備」

2004年度：

清水 優

「ロボット部品製造手法の確立と実践的CAD教育」

2005年度：

青木 公也

「福祉・ホームロボットを対象にした汎用ロボットビジョンシステムの構築」

2006年度：

白水 始, 高橋 和弘, 遠藤 守

「レクチャを見直せる学習環境がもたらす効果」

伊藤 誠, 磯 直行, 清水 優, 青木 公也, 曾我部 哲也

「組み込み技術習得支援のための環境整備」

2007年度：

濱川 礼, 嶋田 晋, 小笠原 秀美, 遠藤 守, 藤原 孝幸

「プロジェクト型システム開発による新しい創造性の発掘」

2008年度：

橋本 学

「教育・研究用知能化ロボットの構成および機械情報工学教育への適用」

森島 昭男

「ロボットを題材とした「ものづくり」教育」

田村 浩一郎, 三宅 なほみ, 白水 始

「インタラクティブ性の高い学部共通講義ビデオ利用システムの開発と評価」

2009年度：

遠藤 守

「ネットワークシステムの実践的学習環境の構築と管理者育成」

それぞれの実践内容は、各報告をご覧頂くとして、ここでは、ごく簡単に報告全体の概要を示したいと思えます。全体として、

【体験的学習】 1、2年次に実験装置や可視化ソフト、作品制作支援システムを用いて理論の体験的理解を進めるもの（磯報告、棚橋・秦野報告、鈴木・伊藤報告、大泉報告、伊藤他報告、橋本報告）

【プロジェクト学習】 3、4年次のプロジェクトベースの学習をいっそう強力に支援するもの（清水報告、濱川他報告、森島報告、遠藤報告）

【デザインによる学習】 学生・院生が実験環境、ネットワーク環境、学習支援環境を「作る側」に回り、低学年次授業にも使ってみることからの学びを支援するもの（磯報告、鈴木・伊藤報告、青木報告、田村他報告、遠藤報告）

【クロスカリキュラムによる学習】 学科を横断した授業実践や学生同士のプロジェクトによる自発的な学習を支援するもの（濱川他報告、白水他報告、遠藤報告）

といった特長をねらった実践に大別することができそうです。

もし、これらが日々の学部教育で感じられている問題を反映しているとすれば、それは、学生が、講義やプロジェクトなど「いま目の前で学んでいることや行っていることの意味をつかむこと」および「ある授業で学んだことを他の授業や後の授業と結びつけること」が重要な支援課題として受け止められていることを示しているでしょう。そして、これらの課題に対して、その時その場の教育状況に照らして、さまざまな方策を試行することで、「学生は具体的な経験から何をどの程度まで学べるものなのか」や「その経験が聴講などの間接経験からの学びをどう支えるのか」「プロジェクト学習の質を左右するうまい問いを学生がいかに生成することができるようになるか」「問いの生成に基礎的な教科の学習がどう役立つか」「カリキュラムのつながりを学生自身がどの程度自覚し、自己管理型の学習能力をつけることができるか」といった根本的な問いへの答えが集まりそうです。

Jerome Bruner は「教育は、人々の持つ『フォークペダゴジー（子どもたちの心がどのようなもので、その学びを援助するにはどうしたらいいのかに関する各自の直観的な理論）』によって大きく左右される」と述べていますが、このペダゴジーをいま一度振り返って意識化し、学習者の学びの現実に照らして、よりよいものに作り直す努力が求められる時代になってきたと感じます。そのためには、「カリキュラムがさまざまな試行を許容する柔軟性を持つ」「多くの授業が開放され見学できる」「授業の計画・実施・振り返りを複数の教員で行え、ペダゴジーが比較検討できる」「カリキュラムのつながりを話し合うことができ、当初の計画を柔軟に修正できる」「学習者の形成的評価を常時行う」などの条件を揃えていく必要もあるでしょう。「プロジェクト型研究教育実践」が、こうした研究教育の協調的再吟味の一つの契機となることを期待します。

（白水 始）

# ●プロジェクト型研究教育報告

## 2001年度プロジェクト型研究教育プロジェクト レイアウトアルゴリズムのシステム LSI チップ設計への適用

磯 直行

### 1. 目的

#### 1.1. 研究の背景

インターネットにより、携帯電話、PHSをはじめとする携帯情報端末は一気に普及した。今後も「IT革命」の名のもと携帯情報端末が発展し続けるのは確実である。これらの携帯情報端末は、CPU、メモリそして入出力用素子等を、1つのチップに集積することにより小型軽量化、低消費電力化、高速化を実現したシステム LSI 技術により支えられている。

次々と開発されるネットワーク技術に追従するため、半導体メーカーは短い設計期間でシステム LSI を開発することが求められている。半導体製品は設計後に不具合を発見した時の損害が非常に大きいため、設計の各段階で何度も検証が行われる。「配置処理」や「配線処理」といった素子間を接続する配線パタンの位置を決定する設計段階をレイアウト設計とよぶが、この段階における設計検証は以前より自動化が進んだものの設計者が CAD (Computer-Aided-Design : 計算機支援設計) システムと対話を行いながら最適な配置および配線パターンを決定しているのが現状である。

本研究者は、これまで VLSI やプリント配線板のレイアウト設計における配置配線処理の自動化に関する研究を行ってきた。特に、レイアウト設計および設計検証に着目し、その処理に必要な時間および記憶量に関して効率の良いレイアウトアルゴリズムを開発してきた。現在、開発したアルゴリズムの有効性を確かめるため、実際のレイアウト設計を行なうための設計システムとチップ試作の準備を行っているところである。

#### 1.2. 研究目的

本研究は、システム LSI の配置処理および配線処理アルゴリズムについて、実際に LSI 設計を行なうことにより、その性能を実験的に調べ改良することを目的とする。また、この研究を学部生および大学院生とともに実施することにより、システム LSI 設計教育の基盤を作ることを目的とする。

### 2. プロジェクト構成員

教 員：磯 直行

大学院生：柘植 芳之 (大学院 1 年生)

学部学生：中塚 昌樹, 小林 正芳 (学部 4 年生)

### 3. 研究結果

#### 3.1. システム LSI 設計システムの構築

本学部にはシステム LSI 設計システムが存在しないため、まず、そのシステム構築から行なった。ソフトウェアは、VDEC (東京大学大規模集積システム設計教育研究センター) から提供された CAD を用いた。CAD の使用ライセンスについては VDEC 中部サブセンター (名古屋大学) からネットワークを介して取得した。

一方、この CAD を実用的なレベルで動作させるハードウェアとして、大容量ディスク、高速な CPU、メモリを搭載したワークステーションが必要である。ディスクについてはメディアアートラボ内設置されている専用ワークステーションを用いることで解決可能であるが、CPU とメモリの問題は解決できず、専用ワークステーションを機器備品費として新規購入した。

また、教員の指導のもと学生がこのワークステーションの設定を行うことで、実際のネットワークシステムの動作とその設定方法、およびCADの取扱方法を習得することができた。

### 3.2. チップ設計

提案したアルゴリズムの実用性や構築システムの動作を確認するためには、実際にシステムLSIを設計し、その上で動作させると良い。これまで説明したLSI設計システムを購入したワークステーション上に構築しチップ設計を行った。

購入したワークステーションの納品が9月であったが、10月1日設計メ切のLSIチップ試作ランに間に合わせないと年度内の完成が難しいと判断し、2週間程度の短期間でLSIチップ試作を行なった。そのため、設計したチップ（回路）は構築したシステムがLSIチップの設計に十分であるかどうかを判断できる最小限の回路とし、非同期式12時間時計回路を選択した。入力はクロック信号のみ、出力は時、分、秒に相当するそれぞれ2桁のBCD信号とした。この回路を構築したシステム上で2.3mm角チップ内に納めるように配置・配線設計を行なった。設計プロセスはオンセミコンダクタ社（旧モトローラ社）の1.2ミクロンプロセスである。最終的にチップ上にCMOS回路で147ゲートを集積した。使用したツールは回路動作シミュレーションにCadence社のVerilog-XL、高位合成にSynopsys社Design Analyzer、配置配線設計にAvant!社のMilkywayとApollo、設計検証にCadence社のVirtuosoを用いた。

配置・配線設計作業のほとんどは学生が行なったが、メ切に間に合うように教員が積極的に介入し作業を行なった。次回の試作は学生が独力で設計することが望まれる。

### 3.3. チップ周辺回路設計

設計したチップがLSIとして完成するまでの間、チップ周辺回路の設計を行なった。これはチップ単体では信号の入出力信号を確認できないため、周辺回路から信号を与えチップを動作させ、その振舞いを確認するためである。

設計した周辺回路は高精度なクロック信号を発生する回路、およびBCD出力を人間が視覚的にわかるように7セグメントLED表示を行なう回路である。ともに単純な回路であるが、学生にとっては初めての製作であることを考慮し、プリント基板ではなく、ユニバーサル基板による配置配線設計を行なった。

2002年1月、設計したチップがLSIとして完成し、パッケージに入った10個のLSIが納品された。早速LSIパッケージを周辺回路のLSIソケットに装着し動作確認作業に入った。はじめは周辺回路に設計ミスや半田不良があり動作しなかったが、不具合を全て取り除き、期待通りの動作を確認した。最終的にLSIチップが設計通りの動作をすることが確認でき、本研究で構築したシステムの信頼性が確認できた。

### 3.4. アナログ的動作の解析

この他、本研究では設計した回路のアナログ的動作を解析するCADツールについても調査を行なった。デジタル回路であっても、高周波動作時のアナログ的動作を無視することはできない。本研究で試作した回路では低周波のデジタル回路として設計したため、設計するうえでの考慮はしなかったが、高周波動作を保証する場合には、CADを用いて回路から浮遊素子量を抽出しアナログ動作シミュレーションで回路の動作を確認しなければならない。本研究で構築した設計システムではAvant!社のStar-HSPICEがそのシミュレーションを実行可能である。そこで、学部学生1人に簡単な回路のシミュレーションを実行させ、その動作解析を行なった。今後より大きな回路についてアナログシミュレーションを行なう予定である。

### 3.5. 全国向けCAD講習会の開催

専用CADを利用した設計では技術的ノウハウが必要であり、初心者がいきなり設計できるものではない。そこで、VDECと協力してCADベンダーから講師を招き、CAD講習会を企画した。

3月4日から5日はCadence社Virtuoso Layout Editorについて、3月6日はCadence社Diva Design Rule Checkerについて、3月7日から8日はAvant!社のStar-HSPICE/Cosmos SEについての講習会を開催した。

講習会場として学部内に適切な環境がなかったため、VDEC中部サブセンター（名古屋大学）の端末室を利用し、本研究でも講師の一人として参加した。VDEC中部サブセンターの端末については、本

研究で購入した機器と同型機を20台導入し、インストール作業をあらかじめ本研究で購入した機器で行ない、そのデータを各端末に配信する形とした。各回20名程度の全国の大学および高等専門学校の教員および大学院生が参加し、講師の熱心な指導に耳を傾けた。

#### 4. 今後の研究

本研究助成により、本学部にVLSI設計システムの設計基盤を構築できた。今後はこのシステムを用いて、これまで提案してきたアルゴリズムの実現を行なう予定である。

まず、画像処理に用いられる距離変換に関する効率の良いアルゴリズムのハードウェアエンジン化を行なう予定である。この研究は名古屋大学平田富夫教授を中心とするグループとの共同研究として、今後実用化とハードウェア化によるさらなる高速化について研究を行なう予定である。この研究を実施するために、平成14年度以降に行なわれる以下の研究助成の申請を行なった。

- ・平成14年度科学研究費補助金「特定領域研究」平成14年度発足特定領域  
研究課題：「次世代IT社会のための戦略的コンピュータジオメトリ」  
研究代表者：杉原厚吉（東京大学大学院情報理工学系研究科）（研究分担者の一人として磯直行）
- ・平成14年度科学研究費補助金「若手研究」  
研究課題：「高速アルゴリズムを実現するメディアチップの開発」  
研究代表者：磯直行（中京大学情報科学部）

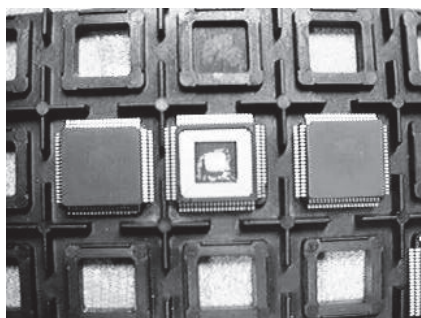
また、中京大学内にVDEC中部サブセンター（名古屋大学）のような設備を整えた規模の大きな施設を実現することは難しいが、少なくとも中部・東海地区のVLSI設計教育研究の知識の集約拠点としたいと考えている。

さらに、これらのシステムLSI設計システムを教育に積極的に利用することを考えている。メディア科学科3年次専門科目「デジタル回路実験」では、簡単な回路設計と動作シミュレーションを行なう予定である。この実験ではVDECのCADを一部利用する予定である。

このように、本研究は個人研究だけでなく、学部内のみならず全国の学部・大学院学生および教員の教育研究にも貢献できたものと考えている。

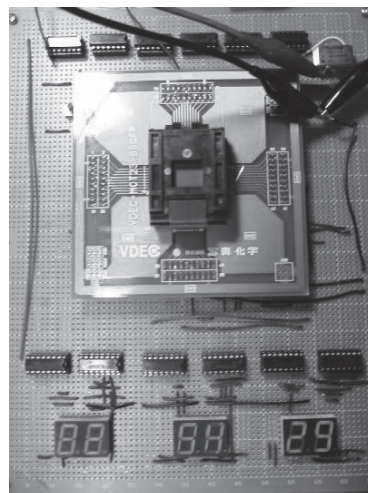
#### 付録

- ・試作したLSI（中央の1パッケージのみ開封し、チップが見えるようにした）
- ・製作チップ周辺回路（中央の黒い部分がLSIを挿入したソケット）



<http://isotope.sist.chukyo-u.ac.jp/project/CHIP.JPG>

<http://isotope.sist.chukyo-u.ac.jp/project/BOARD1.JPG>





## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2002年度プロジェクト型研究教育プロジェクト 数学ソフト利用による数学分野の教材開発・適用推進

棚橋 純一, 秦野 甯世

#### 1. 研究教育（プロジェクト）の目的

数学系の教育において、学生の理解度向上は当時急務の課題であった。その具体的対策案として、数学分野の授業において数学ソフトを活用した教材開発と適用推進を提案した。数学ソフトの活用により、問題や解決案のモデルが速やかに表現できるとともに、数学ソフトのグラフ化やアニメーション機能により結果がビジュアルに示され、学生の理解が進むと考えたからである。

#### 2. 内容と成果

実施内容としては、当時情報科学部に導入されていた数学ソフト Mathematica の利用を前提に、申請者が担当している数学分野の授業向けの教材を開発し、それを実際の授業に適用し学生の理解度向上をはかることとした。

具体的な内容と成果は次の通りである。

##### (1) 数学基本系授業での取り組み（秦野担当）

解析学では、微積分に関する基本的な理解を支援するビジュアル化機能を活用した教材開発を行った。数値計算法では、数値計算アルゴリズムを用いて計算すると次第に精度が上がってゆく過程がビジュアルに見られて理解が進むなど、興味喚起型の教材開発を行った。開発教材は、該当授業で活用するとともに、学部内の Web ページに掲載し、学生が自由な時間に復習できるようにした。

##### (2) 数学応用系授業での取り組み（棚橋担当）

数値シミュレーションでは、数学ソフトの数式表現でモデルを簡単に表すことができるようにするとともに、アニメーションを含めたビジュアル化機能を多用し、数値的シミュレーション手法を楽しく学習できる教材開発を行った。開発教材は授業で駆使した結果、多くの学生が興味を持ち理解支援にも効果があると判断された。

#### 3. 今後の理工系教育への活かし方

数学基本系授業の分野では、秦野が解析学や数値計算法の授業で継続的にプロジェクトの成果を活用している。2004年度生命システム工学部の発足を機に行列計算向き数値計算統合化ソフト MATLAB を導入し、両学部の数値計算・シミュレーション系および数学系の代数学の授業での実習で活用され、プロジェクトの精神を引き継いだ教育が展開されるようになった。しかし活用はまだ限定的であり、さらに他の数学系授業でも活用されるよう努力を行うことが必要である。

数学応用系授業の分野では、棚橋が数値シミュレーション授業でプロジェクトの成果を数年間活用した。しかし所属変更により主担当分野が3次元CADに移行したため、物理的条件を加味した数値シミュレーションに重点を移した。このため数学ソフトよりもCAEソフトの活用に精力を注ぐようになったが、CAEソフトの活用でもプロジェクトの精神を引き継いだ教育を行っている。

数学ソフトやCAEソフトの最近の発展・普及状況を考えると、それらを活用したバーチャルな数理環境を提示することは教育上有用と考えている。特に理工系では実験学習が必須であるが、数学ソフトやCAEソフトを活用したバーチャル実験環境とリアルな実験環境とをうまく組み合わせてハイブリッドな実験環境を構築し活用することが望ましいと思う。

# ●プロジェクト型研究教育報告

## 2003 年度プロジェクト型研究教育プロジェクト ネットワーク技術に関する効果的教育と 実証的研究のためのインターネットシミュレータの開発

鈴木 常彦, 伊藤 誠

### 1. 目的

#### 1.1. 効果的なインターネットの教育環境の整備と教育法の確立

ネットワーク (特にインターネットワーク) 技術の教育においては、実際にネットワーク機器を触り、解析ツールでパケットの流れを実際に目で見るのが、最も効果的な学習方法となる。本研究では、ネットワークの局所的な仕組みを知るだけでなく、世界的インターネットワークがどう機能しているかを理解することができるシミュレータを構築し、実習教育に役立てることを目指した。

#### 1.2. 地域情報化の基盤技術研究のための模擬試験環境整備

地域情報化の基盤技術の研究 (地域内ルーティング、地域内コンテンツ配信、地域共有リポジトリ等々) を行う上で、地域インターネットワークのシミュレーション環境を用意し研究効率を高めるだけでなく、地域との産学共同プロジェクトの推進に供することを目的とした。

### 2. 内容と成果

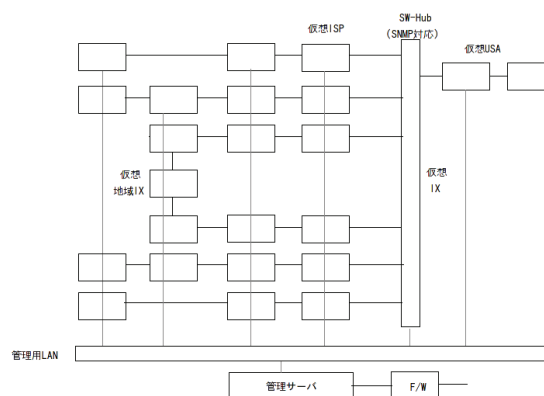
#### 2.1. シミュレータ概要

約 20 台のサーバをホストとして、50 ~ 60 台規模の仮想マシン上にオープンソースソフトウェアを主体とした小規模なインターネットシミュレータを構築した。ルートサーバを含む DNS と BGP4 ルーティングを稼働させたインターネットワークの実践的な実験・教育環境を学内に構築した。

状では仮想マシンに商用の仮想環境ソフトである VMWare を用いているが、ホスト OS には Debian GNU/Linux、仮想マシンの OS には FreeBSD、ルーティングには Zebra を用いており、誰もが構築、利用、拡張できるオープンな設計をとっている。

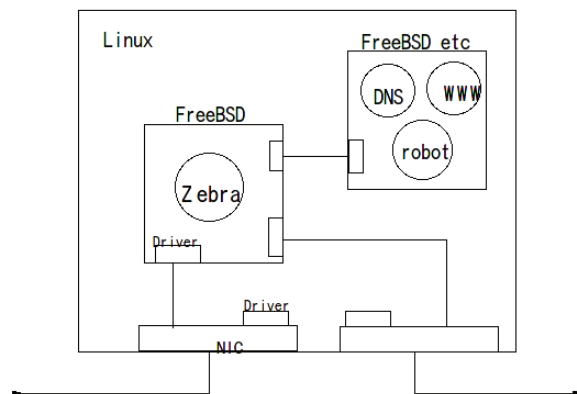
本システムは NS や CISCO 社の PacketTracer のようにアプリケーション上でパケットをシミュレートするものではなく、実際に TCP/IP プロトコルを流す小規模な実ネットワークである。インターネットシミュレータと称する所以は、The Internet を小規模に模したトポロジーでノードを結び、The Internet で用いられている BGP4 でルーティングを行い、DNS によるオルタナティブなドメイン空間を構築、運用しているところにある。(図 1)

インターネットシミュレータ物理構成図



BGP4 を動作させるルーティングデーモンには、オープンソースのルーティングソフトウェアである Zebra を用いた。Zebra はルーティングデーモンとしての機能において実ルータと遜色なく動作する上に、ISP においてシェアの高い CISCO 社の ISO に似た設定書式と CUI を持つため、実務を学びたい学生にも良く適している。

図 2 に仮想ノード 1 ブロック分の構成を示す。これを繋ぎ合わせて自由にネットワークを組むことができるようになっている。



### 3. 考察

今日、インターネットと呼ばれているネットワークはもはや自律と協調に基づいた実験ネットワークとしてではなく、責任の所在の不明なインフラ(?)として扱われるようになってしまった。研究者や学生は安全安心の名の元にファイアウォールの内側に入ってしまう、障壁なくインターネットの研究を行うことができなくなってしまっている。

この状況において、インターネットワークの基盤を支える技術を学び研究していくためには、本システムのような実験環境が必要不可欠となっている。

巨大な複雑系として振る舞うインターネットを模擬するには、あまりに小さなシステムではあるが、場を失ったネットワーク教育・研究の箱庭がプロジェクトのおかげで確保できたことの価値は大きい。

### 4. 今後の理工系教育への活かし方

設定、運用がかなり複雑であることや、実験室 (CG ラボ) に閉じた環境なためにリモートからの利用には制限が多く、研究には供しているものの、現状では利用者を増やしづらく授業で利用するようなところまで至っていない状況にある。

このため今後は仮想ネットワーク (VPN) によって、学内の任意のコンピュータをシミュレータに繋ぎ込み、手軽に利用できるような展開を計画している。これにより、現在のインフラ(?)としてのキャンパスネットの安定運用には影響を及ぼさない形で、うまく棲み分けつつ自律的な利用者を増やす展開が可能と考えている。

インターネットがインターネットとして機能していくためには、自律と協調の下に新しい技術を生み出す力を持った自由なネットワークを広げて行かなくてはならない。

### 参考文献

[1] インターネットシミュレータの構築報告, 鈴木常彦, 日本ソフトウェア科学会, 第 9 回インターネットテクノロジーワークショップ (小樽), 2008/6

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2003年度プロジェクト型研究教育プロジェクト

#### メディア・アート作品の制作

##### — アートのための制御システム開発と教育環境の整備

大泉 和文

### 1. 研究教育（プロジェクト）の目的

まず、設立4年目であったメディア科学科（現・情報メディア工学科）における、アート系のアクティビティ向上が目的であった。理工学系と比較して、成果が分かりにくいとされていたアート系ゼミ教育・研究の外部発表を増やすことが発端である。

次に「メディア・アート≒映像作品」と理解する学生たちへメディア・アート再考を促し、作品構想や表現拡大のきっかけとすることも目的であった。具体的には、インタラクティブ・アートのための汎用システムを確立し、作品制作の技術支援を目指した。これにより学生たちの作品制作をより上位のアートの諸問題、すなわち作品テーマや意義にシフトさせる（方法から概念へ、「いかにして作るか」から「何を何故作るのか」へ）ことが最終目標であった。

構成員：大泉 和文，海江田 大輔，平松 英之，安積 亜希子（以上3名大学院生）

### 2. 内容と成果

2.1 汎用インタラクティブ・システムの開発 作品のインタラクティブなシステムを実現するため、センサ、サーボ・モータ（ステッピング・モータ）等をマイクロ・コンピュータで制御するシステム（マイコン制御）を開発した。基本部分は様々な作品に応用可能で、現在に至るまでゼミおよび筆者の作品制作に活用している。

2.2 作品制作 上記システムを用いて、作品の制作を行った。この段階からはプロジェクト構成員個別の作品テーマに基づく制作となった。なお、作品の性格（スタンドアローン型など）およびここ数年間の組込型コンピュータの普及により、最終的な作品としては上記汎用システムを用いない例も増えつつある。

#### 2.3 主な外部発表（受賞および展覧会の開催）

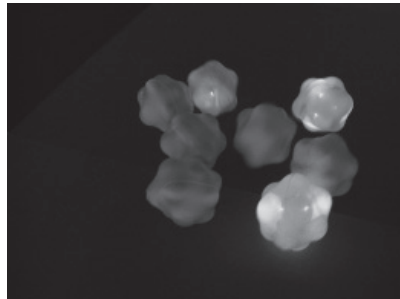
作 者：安積 亜希子（MC 2年）+奥田 伸二（伊藤誠ゼミ MC 2年）

作品名：音玉 — ontama —

展覧会名：2008 [汗かくメディア] 受賞展

会 期：2008年9月13日～23日

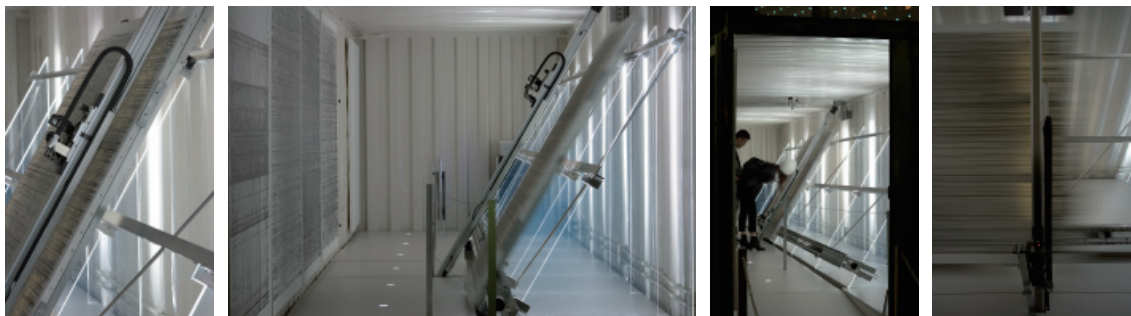
主催・会場：愛知県児童総合センター



安積 亜希子+奥田 伸二《音玉 — ontama —》2008年

作 者：平松 英之 (MC 2年) + 安積 亜希子 (MC 1年)  
作品名：+Cavorite  
展覧会名：第6回芸術科学学会「優秀作品賞」受賞  
会 期：2008年3月28日  
主催・会場：芸術科学会・東京ビッグサイト

作 者：大泉 和文  
作品名：シュレーディングの猫 II  
展覧会名：アートインコンテナ展受賞展「神戸ビエンナーレ 2007」  
会 期：2007年10月6日～11月25日  
主催・会場：神戸ビエンナーレ組織委員会，神戸市



大泉和文《シュレーディングの猫 II》2007年

作 者：大泉 和文  
作品名：シュレーディングの猫  
展覧会名：第64回企画・大泉和文展《シュレーディングの猫 / 皇帝列車》  
会 期：2004年9月13日～10月9日  
主催・会場：中京大学アートギャラリー C・スクエア  
システム開発協力：情報理工学部 准教授 清水 優

## 2.4 考察

入出力デバイスを問わない汎用システムの雛型を作成することができ、大学院生および筆者の作品制作に活かすことができた。それらのいくつかは外部に発表し、いくつかの受賞へも繋がった。一方で最終的な目標であった作品制作をより上位のアートの諸問題、すなわち作品テーマや意義にシフトさせる点は、結局のところ学生の意識レベル如何によるところが大きく、別の方法を含めて検討すべき課題となっている。

## 3. 今後の理工系教育への活かし方

本プロジェクト型教育研究で完成したシステムは、「インタラクティブな作品を作りたいが方法が分からない」という学生向けのファーストステップ教材として今後も活用が期待できる。一方、昨今の組込型コンピュータの普及、汎用I/O (Gainer など) の登場により、今一度学生にとって最初のハードルの低い、分かりやすい教材を再考する時期にも来ている。プロジェクト型教育研究では、伊藤 誠教授らが実施した「組み込み技術習得支援のための環境整備」(2006年度)等もあり、工学系とアート系の研究室が同居する本学科の強みを活かした展開を図っていきたい。

## 最後に

本プロジェクト型教育研究実施にあたり、複数の研究室のお世話になったが、中でも情報理工学部 准教授 清水 優先生には多大なご指導ご協力をいただきました。この場を借りて改めてお礼申し上げます。また、理工系とは評価方法および基準が異なるアート系プロジェクトの意義をお認めいただき、ご支援いただいた先生方に感謝申し上げます。

# ●プロジェクト型研究教育報告

## 2004年度プロジェクト型研究教育プロジェクト ロボット部品製造手法の確立と実践的CAD教育

清水 優

### 1. プロジェクト提案内容

#### 1.1 テーマと目的

本件では、以下の2つのサブテーマによって提案したテーマ「ロボット部品製造手法の確立と実践的CAD教育」を実施した。

サブテーマ1：ロボット部品製造手法を確立する

サブテーマ2：ロボット部品製作を目的にして実践的CAD教育を行う

本件では、これらを実現するために、小型NC切削加工機を導入する。

サブテーマ1では、小型NC加工機を利用することで、工作経験の少ない学生でも短い練習期間でロボット部品製作を行えるようにすることを目的とした。また、小型ロボット用部品を手作業で製作することは困難であるが、これにも小型NC切削加工機を用いることで、安定・継続して小型ロボットの研究開発を行えるようにすることを目的とした。

サブテーマ2では、機械設計CAD（3次元CAD）のメリットを理解・利用してロボット部品の設計を行えるようにすることを目的とした。これまで、当研究室の学生達は、卒業論文で設計図を書くときはワープロソフトの図形描画機能を用いていた。そこで、CADで設計した部品が小型NC切削加工機によって簡単に製作できることを体験させ、CADのメリットを理解しCADを自発的に利用したくなるようにすることを目的とした。そうなることで、部品の製作工程を意識した設計を行えるようになること、設計資源のリサイクル（過去のCADデータの再利用）および設計時間の短縮、設計から製作までにかかる時間の短縮というメリットも期待できる。

#### 1.2 プロジェクト構成員

本プロジェクトの構成員（申請時）を以下に示す。

教 員：清水 優（プロジェクト代表者）、大泉 和文（金属加工・組立アドバイザー）

大学院生：信原 卓弥

学部学生：清水ゼミ所属の4, 3, 2年生

#### 1.3 予算

本プロジェクトは、小型NC切削加工機の購入に充当した。

### 2. 購入機器

購入した小型NC切削加工機は、RolandDG社製 MODELA Pro MDX-650A（防塵・防音箱含む）である。購入した機器は、11号館3階清水居室に設置した。

### 3. 実施スケジュール

本プロジェクトは、以下のスケジュールで実施した。

- ・2004年10月中旬～10月下旬  
ロボット用部品を製作する4年生にCAD講習会を開催（CADはAutodesk Inventor R4）
- ・2004年10月25日  
機器（MODELA Pro）搬入、4年生ロボット部品製作開始

- ・ 2005年1月中旬～2月初旬  
大学院生実験用部品製作
- ・ 2005年4月  
新4年生にCAD講座を開催

#### 4. 提案の経過報告

ここでは、2004年度卒業生のうちロボット製作を行った2名の実施例を報告する。

##### 4.1 部品製作事例1

この事例では、4足歩行ロボットの移動速度を向上させるため、4足ロボットの足先端に動輪を取り付ける実験を行った。動輪は、モータとギアと車輪を組み合わせるギアケースを設計・製作して構成した。ギヤと車輪は、市販の全方向移動ロボットから流用したが、そのギアケースからシャフト位置の寸法を調べ、CADに入力した。いくつかの失敗を経た後、導入した小型NC切削加工機でギアケースのパーツを製作した。また、動作試験の後、ギアケースの形状に不具合があり、それを修正するための追加加工も行った。

事例1は、設計から製作、Try and Error までが体験できており、良い結果となった。

##### 4.2 部品製作事例2

この事例では、負荷トルクを取得できるサーボモータを用いて、把持対象のやわらかさに応じて把持方法を変更するハンドの製作、把持実験を行った。サーボモータの形状をCADに入力し、サーボモータを固定する台座部分の設計を行った。また、指部分も試行錯誤を繰り返して設計した。

本事例も導入した小型NC切削加工機でパーツを製作した。

事例2においても、設計から製作、Try and Error までが体験できており、良い結果となった。

#### 5. まとめ

##### 5.1 ロボット部品製造手法の確立については、おおむね成功

ものづくりの楽しさは、学生のモチベーションを引き出しやすく、それを維持させる効果があり、製作しない学生にも良い影響を与えた。

##### 5.2 実践的CAD教育については、部品製作を行った学生については成功した

部品製作は、Try and Error の繰り返しであり、その中で本当に製作することが出来る図面の考え方・書き方を身につけた。

#### 6. 展望

- ・ 荒削り加工と仕上げ加工を活用した切削時間の短縮（現在は荒削り加工のみで時間短縮）
- ・ 再加工時、治具との位置関係を高精度で再現する固定方法
- ・ 卒業研究だけでなく、3年生の段階で部品製作を体験させ、全ゼミ生がCADを利用したくなるようにゼミ内容を調整する

#### 7. 外部への成果発表

- ・ RoboCUP2005 OOSAKA 世界大会 レスキューロボトリグ出場（書類審査通過済み）  
“RoboCUP2005 BOOK”に Team Description Paper を掲載（T.D.P.: 使用したロボットやシステムの解説で全出場者に提出が義務付けられている）

#### 謝辞

変則的な申請にも関わらず、本件を検討・採択していただいた情報科学部の先生方に深く感謝いたします。特に、興水学部長には寛大さをもって接していただいたことを感謝いたします。また、大泉先生には数々のアドバイス他、多方面にわたってご協力いただき、感謝しております。

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2005年度プロジェクト型研究教育プロジェクト 福祉・ホームロボットを対象にした 汎用ロボットビジョンシステムの構築

青木 公也

#### 1. 研究教育の目的

本学部で展開されているプロジェクト型教育はいわゆる OJT(On the Job Training)である。キャリアエンジニアリング系科目とも連動して、学ぶ目的・必要なスキル等、他の基礎・専門科目について目的意識を持った履修を促す役割をもつ。また、大学理系学部のいわゆる「研究室」の活動は、サークルや部活とはまた違う共同体であり、人間関係を円滑に進め、大目的に対して団結・協力する経験を提供する場であり、理系の醍醐味を味わう場であると考えられる。以上の2点から、研究室での教育には最低限の実験設備が必要である。2005年度は中京大学着任から2年目であり、本助成により、約20名の学生が彼・彼女らなりに研究・実験を行える設備を整えることができた。研究プロジェクトの内容は後述するが、画像処理に関してできるだけ多くのサブテーマが展開できる計画とし、一つの装置を使って複数の学生が研究できるように配慮した。当時狙った第一の教育的効果は「自ら学ぶ姿勢を育成し、卒業のための卒業研究ではなく、一時でも研究者として世の中に貢献する、そのために研究を行っているという意識を抱かせること」であった。以下は研究内容の概略である。

近年ロボットの実用範囲はペット、警備、介護等益々拡大してきており、ロボティクス分野の発展は目覚ましい。一方、ロボットがその四肢を最大限に活かして移動や作業を行うには、なんらかの方法で環境や作業対象を認識する必要がある。しかし現在まで、この種のロボットの視覚系は十分であるとは言えない(ただし、環境が整備された工場内において溶接、ワーク組付け等を行う産業用ロボットについてはその限りではない)。3次元物体・環境認識はコンピュータビジョン研究の重要な課題であり、古くから理論展開がなされてきた。しかしながら、実画像を入力とした際、誤差への対応や、照明変動・物体形状・姿勢、遮蔽問題等によって必ずしも理想的な入力画像が得られないことから、その実用化にはブレークスルーが必要であると考えられる。以上の問題を踏まえて、本研究では多眼視をベースとした3次元環境・物体認識システムの構築を試みた。

構成員：青木 公也、清水 優、輿水 大和、藤原 考幸 研究室学生

#### 2. 内容

本プロジェクトにおいては大きく6つのサブテーマを実施した。

- ・パン・チルト・ロールステレオビジョンシステム：ステレオビジョンと電動カメラ雲台を組み合わせ、視線制御可能なロボット頭部ユニットを製作した
- ・3次元シーンフロー検出：ステレオビジョンによって得られる時系列距離・カラー画像から、カメラ前の物体の3次元運動フローを検出するアルゴリズムを提案した。
- ・トラッキングモーションキャプチャ：小型でかつ広範囲にわたって人物の動作を計測できるモーションキャプチャシステムを構築した
- ・3次元計測手法の検討：カメラ一台を用いて、画像中の局所的なボケの程度を周波数解析によって評価し、距離画像に変換する手法を提案した
- ・ロボット・コンピュータとのインターフェイス：指先の動作を計測し、ジェスチャによってPCデスクトップや、ホビーロボットを操作するシステムを構築した
- ・バラ積み部品の認識：産業用ロボットにおける部品ピッキングを想定し、フランジ部品の積み重ね方を認識する手法を提案した



### 3. 成果

学術的意義については、各種関連学会にて発表をおこない、成果の一部は論文を投稿し採録された(公刊論文:1 国際会議:1 国内発表:2)。また、本申請の研究期間終了後も研究を継続し、2009年度現在までに論文2編と二十数件の国内発表ができた。教育的効果については、4つのサブテーマについて2005年度卒業研究として学生が主導的に実施し、内2名は大学院へ進学した。また、前述の国内学会発表は当研究室の学生が主体である。以上より、当初の目標は達成できたと考える。

### 4. 今後の理工系教育への活かし方

理工系教育において研究室、および研究室での卒研活動は重要であるし、理系学生の醍醐味を味わえる楽しい場所・期間であると考えられる。学科や専攻、大学によって多少のカラーの違いはあると考えられるが、研究室は研究の場であり生活の場である。場は部屋と設備と人であると考えられるが、本助成によってまず設備を整えることができ、人(院生)を得ることができた。研究室、研究室における理工系教育に必要な要素は、大学院生と対外的な研究成果の出力であり、その意味で、本プロジェクトはある程度の成果を得たと考える。助成プロジェクトが明けて2006年度に2名の大学院進学者があったことは前述の通りであり、2007年度には続いて3名が進学した。大学院生の在籍数だけ学会や産学連携といった研究室としての対外的なかかわりや、そのチャンスが増える。そのことは理工系学生が将来、理系就職する際に確実に力となる。学部生当人が直接発表するわけでもなくとも、先輩の活動を肌で感じるだけでも意味がある。学部学生の教育において対外的に活躍する大学院生の存在は大きい。理工系教育の充実には、学内だけで終わらない研究室の活性化が必要不可欠である。以上より、本プロジェクト型研究教育助成における研究プロジェクトによって、少しでも研究環境(物理的にも、場の雰囲気としても)を充実させ、それによって一人でも多くの大学院進学者があらわれればよろしいかと考える。

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2006年度プロジェクト型研究教育プロジェクト レクチャを見直せる学習環境がもたらす効果

白水 始・高橋 和弘・遠藤 守

#### 1. 目的

「講義(レクチャ)」は、初学者が自力では得にくいレベルの知識や理論を短時間で伝達できる効率的な手段として、現在でも多くの教育機関や職場で使われている。しかし、レクチャを一度聞いただけでその全貌を理解するのは難しい。そこで本プロジェクトでは、レクチャを貴重な学習のリソースと捉え、ビデオに録画していつでも自由に見直せる環境を用意することで、教材としての価値を高め、多様な学習活動を誘発する契機とする。

具体的には、ゼミ紹介授業を対象に、学科教員がレクチャを行う回について教員の許可を得て撮影し、ムービーファイル化してweb上に供することで、レクチャをいつでも閲覧できる環境を整える。ここで2年次のゼミ紹介授業を取り上げたのは、2年次後期からのゼミ配属を控え、そのための情報収集という動機付けが強くある一方で、実際の授業は同じ時間帯に開講されており他学科のゼミを希望していてもその授業は見られないなど、非同期で授業を閲覧するニーズが大きいと考えたためである。こうした動機付けを起因として、レクチャを見直せる学習環境が学習効果を生むかを検討した。

#### 2. 内容と成果

本報告では、ゼミ選択と連動した学部教員によるオムニバス授業を対象として、各教員の講義(レクチャ)をビデオに録画して学内サイト上で常時閲覧できる環境を準備することにより、一定の学習効果が促進されたことを報告する。ビデオファイルを公開するために、IntraSiteも用いて学内閲覧用ストリーミングコンテンツ配信システムを構築した。

##### 2.1. カリキュラム

研究対象には、2006年度2年次授業「情報システム工学Ⅲ」「情報メディア工学Ⅲ」を選んだ。いずれの授業も各学科所属の全教員(9～13名)が自身の研究やゼミ内容についてレクチャする回を含んでおり、これをビデオ撮影および動画配信の対象とした。各教員の講義時間は20～30分であり、1週3名程度が行う形で2006年4～5月の5週間に連続して実施された。

##### 2.2. ゼミ選択方法

情報システム工学科・情報メディア工学科の学生は、2年次秋期よりゼミに配属される。そのため、2006年度の場合、2年次春期の6月第二週から、所属を希望するゼミの教員にアプローチし、6月末までに所属するゼミを決定する手続きを開始することが求められた。先述の講義は、希望ゼミ決定のための情報提供をねらったものである。

##### 2.3. 参加者および分析対象データ

参加者は情報システム工学科139名、情報メディア工学科104名である。データとして、ビデオ閲覧システムのログ、研究紹介講義前の4月、講義後の6月に行った事前事後アンケートおよびゼミ登録申請時の申請理由書「エントリーシート」を利用した。

上記のデータを用いて、まずビデオシステムの利用状況を明らかにする。授業内ではビデオ視聴の時間を設けなかったため、利用者は時間外に自発的に視聴したことになる。この自発的な「システム利用者」の学習効果を学生全体の学習効果と対比させることで、ビデオ視聴の効果を明らかにするのが分析のねらいである。

学習効果の分析は、ゼミ活動の全般的理解と研究内容の具体的理解という二側面で行う。講義を聞くだけでは「ゼミとはどういうところなのか」という全般的な理解を得るに止まるところが、ビデオで講義内容を吟味できることで各教員・ゼミの具体的研究内容を理解するに至ることを確かめる。なお、2学科の結果のパターンが類似していたため、分析はデータを統合して行った。

## 2.4. 実践結果

システム利用状況：期間中システムへのアクセスは532件あった。アンケートによる自己報告では、155名の回答者中38名（24.5%）が利用したと報告した。アンケートに回答していない利用者がある可能性はあるが、単純にアクセス件数を人数で割ると一人14件となり、全体に占める利用者の割合は少ないものの、利用した者は頻繁に利用していた可能性がうかがえる。その中には他学科授業の閲覧も含まれた。

**ゼミ活動の全般的理解：**事前事後のアンケートから「ゼミとはどんな活動を行うところか」という項目への回答を、学生全体とシステム利用者に分けて分析し結果を比較した。回答は、記述に「専門、分野、勉強」あるいは「自分、興味、やりたいこと」という語句が含まれているかで分析した。結果は講義前後で含まれやすい語句が変化し、そのパターンは学生全体とシステム利用者で大きな違いはなかった。講義を聞くだけで、ゼミを「専門分野を勉強するところ」から「自分の興味ややりたいことを研究するところ」へと把握するようになることがうかがえた。

**研究内容の具体的理解：**次に「エントリーシート」の記述を対象に、どの程度教員の研究内容が具体的に含まれているかを検討した。各学生の記述内容を次の4カテゴリに分類した。

- ・研究内容：講義・研究内容への具体的な言及
- ・テーマ、分野：各教員の扱うテーマ、分野への言及
- ・資格、技術：資格取得や獲得したい技術、就職への言及
- ・その他：上記以外

まず学生全体の分布を図1に示す。図に見るとおり、研究内容への言及もあるが、全体の25%弱にとどまり、その他のカテゴリの占める割合が大きい。一方、図2がシステム利用者の結果である。図に見るとおり、研究内容に言及できる学生が40%強を占め、学生全体のパターンに比して大きな違いがあると言える。講義をビデオで振返ることが、そこに含められた研究の具体的内容をつかむことに及ぼす効果がうかがえる。

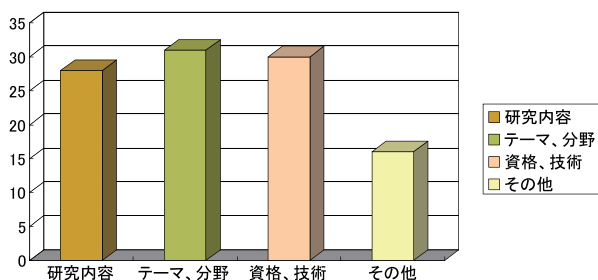


図1 学生全体の研究内容理解

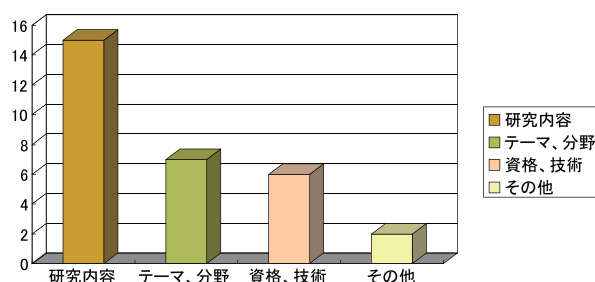


図2 システム利用者の研究内容理解

## 3. 考察

本研究では、ゼミ選択に連動させて講義ビデオを見直せる環境を用意することで、一部の学習者の自発的なビデオ視聴を促し、教員の研究内容の具体的理解を可能にした。オムニバス授業に参加して複数教員の講義を聞くだけでも、ゼミを「自分のやりたいことを研究する場」として捉えるような全般的理解は得られるが、何が「自分のやりたいこと」なのかを教員の研究内容と照らして具体的に決めてゆくには、内容を自分のペースで吟味できる講義ビデオが有効であると考えられよう。ただし、本研究はビデオを利用させる参加者とそうでない参加者を実験的に配分したわけではないため、上記の結果は、元々能力も動機づけも高い学生がビデオを見て研究内容を掴んだことによるとも解釈できる。しかし、そうした学生も含め、講義内容に興味を抱いた学生が講義を見直したいと考えたときに見直せる環境を準備することが本研究の目的だったため、その目的通りに肯定的な結果が得られた点が重要である。なお、

詳細は白水・遠藤・高橋（2007）に示した。

#### 4. 今後の理工系教育への活かし方

「目前の対象をなぜ学ぶのか」という学ぶことの意味や目的が学習者にとってわかりやすく、実際に学んだことを活用する場が準備されている学習環境のことを「機能的学習環境」と呼ぶ（三宅，1994）。2年次中盤など比較的初期段階から学部ゼミに配属する情報理工学部の「プロジェクト学習制」は、その効果を狙ったものとも言える。そう考えると、学習者が自らの学びたいことを把握し、各ゼミの研究教育とのマッチングをうまくはかって、本当にやりたいことができるような「機能的学習環境」に入ってゆく「接続」段階の支援は重要である。本研究は、ビデオでレクチャを振返るという簡単な支援ですら、こうしたマッチングの有効性を高める一助となることを示した。プロジェクト学習の実効性を高めるとすれば、今後もこうした一般的な教養課程と専門的な研究教育課程間の「接続」をいかに行うかの検討が必要だろう。

#### 参考文献

- 三宅 なほみ（1994）インターネットの子どもたち 岩波書店  
白水 始，遠藤 守，高橋 和弘「講義ビデオの振返りによる学習を促進する方法－ゼミ選択活動との連動から－」FIT2007 第6回情報科学技術フォーラム，第4分冊，pp.347-349. (2007)

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2006年度プロジェクト型研究教育プロジェクト 組み込み技術習得支援のための環境整備

伊藤 誠, 磯 直行, 清水 優, 青木 公也, 曾我部 哲也

#### 1. プロジェクトの目的

最近のパソコンは、一昔前に比べ大型化した反面、勝手にシステムにハードウェアを組み込んだり、基本ソフトを改変することが難しくなっています。

自分のアイデアをシステムとして実装し、確認することが技術力の向上に有効だと思います。このプロジェクトは研究用の高度なロボットだけではなく、入門用の「小型コンピュータの組み込み技術の習得」を支援する環境を整備するを目的としました。

#### 2. 内容と成果

##### 2.1. 概要

目標とした製作サンプルは予定の10件をこえ20件以上になり、今でもオープンカレッジやオリエンテーションなどで利用しています。講義では、メディアシステム工学 I,II に活用しています。研究面では、大学院の学生に「リハビリ援助」や「ハードを含めた組み込みシステム自動生成」などの研究をすすめてもらっています。卒業研究でも組み込みシステムの開発をテーマとした研究が毎年2,3件あります。

##### 2.2. 講義への展開

プロジェクトの経験を元に、メディアシステム工学 I,II の講義で、組み込みコンピュータの製作を実験してもらっています。受講者は20名弱で半分ほどは情報システム工学科の学生さん、ときどき、知能工学科の学生さんもおられます。講義としていますが、内容はほとんど実習で、最初に簡単な内容説明とデモを行い、その後ブレッドボードで回路を製作し、C言語のプログラムを作成し PCのCOM端子経由で組み込みコンピュータに送っています。

一人では無理なので個人的にTAをお願いしています。

##### 2.3. 卒業研究

対象物の周りを距離測定センサを回転させ渦巻き上の軌跡から3Dモデルを構築したり、グラフィックな表示が可能なI2Cネットワーク型の表示器の製作、LANを利用したニュース投稿方式のスクロール型表示板、などの開発を行っています。

##### 2.4. 修士・博士研究

リハビリ中の身体活動を計測し記録し、それをPCに吸い上げて解析するシステムや、ハードの詳細な知識がなくても組み込みシステムを自動生成するシステムなどを構築しています。各種の学会で発表をしています。

##### 2.3. 地域などへの貢献

大学のオープン授業での模擬講義、豊田高専主催の「若手技術者教育」での実習講義、豊田市の「産業博覧会」への出品、豊田市交流館での「理科教育におけるデモ」などを行っています。

#### 3. 考察

組み込み技術はハード・ソフト両面で大きな利点を持っています。ハード面では回路のみでは実現で

きないようなインタフェースや複雑な処理を、ソフトで解決できます。ソフト面では、通常のプログラムでは直接アクセスできない割り込み処理やハードの仕組みを理解できていないと処理困難な仕組みを体得できます。

組み込みコンピュータはシステムデザインを目指す技術者の必須の技術になっており、本プロジェクトは、資金的援助以上に「やらねばいけない環境」を構築する効果が高かったように思います。当時購入した部品や機器はすでに陳腐化し一世代進化した環境が必要になっています。

実習は、私が学生時代に経験した報告書の書式が面倒で面白みの少ない実験でなく「楽しい思い」が残る、創意が行かせる実習を目指しています。

#### 4. 今後の理工系教育への活かし方

数百円で購入できる組み込み用コンピュータは自分のアイデアを実現できる大きな重宝な道具になると思います。ただ、この技術の必要性は、2,3年の学部時代では理解されず、卒業研究が進んでから相談に見える学生さんが少なくありません。また、アート系の学生さんの取組も増えています。そこで、今年から試験的にはじめましたが、夏に集中的な「ワークショップ」を開催し必要性や楽しさを味わってもらおうかなと思います。

また、当初「製作したシステムを常設展示する」ことを考えていましたが、場所や維持の手間などを考えると困難な問題も多く実現していません。学部のホームページなどでプロジェクトの成果物一覧やビデオなどの場所を提供いただければ、協力させていただきます。また、このような「振り返り」企画を恒常化する、学生にも知らせる、なども効果的かと思います。

#### 5. おわりに

学部プロジェクトにより、久しく封印してきた「ものづくり」を再開でき楽しい経験をすることができました。御礼申し上げます。また、このような機会を与えていただきました、IASAI企画の関係者の皆様にも感謝いたします。

# ●プロジェクト型研究教育報告

## 2007年度プロジェクト型研究教育プロジェクト プロジェクト型システム開発による新しい創造性の発掘

濱川 礼, 嶋田 晋, 小笠原 秀美, 遠藤 守, 藤原 孝幸

### 1. 研究教育（プロジェクト）の目的

#### 1.1 概要

学生が研究室を横断してプロジェクトを組んで複数でシステム開発することで、本当のシステム開発の難しさ、面白さを体験すると共にITの基礎技術を実践的に習得し、その結果、近未来の社会に必要なITシステムのための創造性を高めていく。そのための支援を行う

#### 1.2 目的

まず、社会でのシステム開発のための経験を積むということが上げられる。社会に出て一人だけでプログラム開発を行うことは稀である。規模に大小はあれ開発のプロジェクトは複数人より形成され、個々はその中の一員として開発を行い、またある場合は全体の開発の管理、推進を行う。そのために、プログラミングの基礎知識（数百行のプログラム経験。プログラム構造の基本の理解。オブジェクト指向プログラミングの概要。GUIの基本構造など）を理解した上で、プロジェクトを作り共同で一つのシステムを開発していく。これは学生にとって非常に貴重な体験になり、社会に出てすぐ役にたつスキルの一つとなり得る。

次に各研究室（ゼミ）のソフトウェア開発体制の構築が上げられる。現在、情報理工学部内の研究室においては、卒論研究、修論研究などにおいて、優れた研究がされても、そのソフトウェア、システムの資産がうまく継承されているとは言えない。優秀な学生がいても職人芸的で終わりになりがちである。本プロジェクト参加の学生がソフトウェア開発技法を実践で学ぶことにより、各研究室にそのノウハウを還元し各研究室特有の資産継承に役立つ。ただし、本当に継承されていないかどうかは調査する必要があるので本プロジェクトの中でそれも合わせて行っていきたい

最後に創造性の育成、具体化も本プロジェクトの大きな目的である。大学教育の一つの大きな目的は創造性を育成し、人間としての飛躍させることにある。このようなプロジェクトで学生が自分で開発目標を定め実行することにより、その学生の潜在的なポテンシャル、特に創造性を育成することが出来る

### 2. 内容と成果

#### 2.1 進め方

参画する学生は3年生を対象とし、教員を通して本プロジェクトについての説明を行い、自薦・他薦でメンバーに学生を選抜した。当然のことであるが、本来の研究室での活動と 並行して実行することにした。実際のシステムについては、基本的に学生が考え実行していく。すなわち、学生が話し合いをして、全体の枠組み（何をいつまでに作るか）を決定。目標を定める。教員は学生達と十分議論し、必要な知識、情報を提供し、全体の舵取り、方向性の決定を行う。

・プロジェクトメンバー

以下がプロジェクトメンバーとして決定した。

岩倉 大輔 （遠藤研究室）  
岩田 和也 （嶋田研究室）  
河合 繁 （秦野研究室）  
榊間 祐太 （濱川研究室）  
和多田 康宏 （興水研究室）

## 2.2 実際の進行具合

実際に行ってみると最初は沢山の困難があった。その主なものは学生は自分達で色々なことを決定していくことが、経験も無く、また今までそういう境遇に無かったせいで、極めて不得意であることである。本来当たり前のことであるが、学生のモチベーションを保持しながら、議論して固めていくのに腐心した。まずはメンバーは毎週プロジェクト室にて定期的にミーティングを行い教員も適宜積極的に参加した。その議論結果をサーバにアップして共有化を図った。また、週報を毎週作成し、進捗の確認を行った。システムのアイデア、それこそ出ても消えていった。定期ミーティングに出たアイデアだけでも100近く、彼らの中では1000近くもあったに違い無い。その中で最終的に決定したのが『Mosaic-Rシステム:フォトモザイクによるWebコミュニケーションシステムの開発』である。

## 2.3 『Mosaic-R システム』

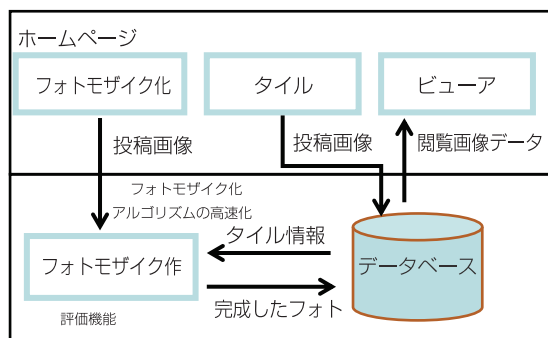
フォトモザイクをネットワーク上で共有したコミュニケーションツールである。フォトモザイクとは小さな写真(画像)を一枚絵のピースと考え、並べていくことで大きな一枚絵を完成させるアート技法である。単独のフォトモザイクシステムは今まで色々提案されているが、コミュニケーションツールとして利用しているシステムは無い。システムのポイントとしては、

- ・フォトモザイク化処理の高速化および簡略化(アルゴリズムの考案)
- ・ネットワークコミュニケーションをより円滑にするための機能装備(検索機能/フォトモザイク評価機能/類似度向上機能等)

である。

下記にシステム構成及びトップページのイメージを示す。

### クライアント



### サーバ

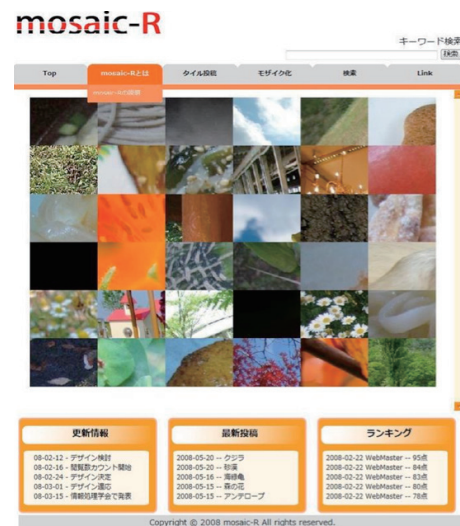


図1 Mosaic-R システム構成

図2 Mosaic-R トップページ

## 2.4 成果

本プロジェクトを降り取り、当初の目的に対応して以下の成果があった。

### ・社会でのシステム開発のための経験

学生達はシステム開発に必要なコミュニケーションについて実体験から自主的に色々実施した。メール、メッセ、サーバでの情報共有、定期的ミーティング等である。このような経験は社会に出て共同作業を行う上で彼らの貴重な財産になると考えられる。

### ・各研究室(ゼミ)のソフトウェア開発体制の構築

サーバ構築、ドメイン取得等システム面、また外部機能仕様書、内部機能仕様書等各種仕様書の作成、週報等、適宜レポートすることによる進捗確認等、ソフトウェア開発体制のための様々な知識を学生達は身に付けた。



### ・創造性の育成、具体化

学生達が頭を絞りながら自主的にシステムを考案した。新しいアイデアを産み出すと言うことがいかに苦しく難しいか、一方自分達でも努力すれば何か面白いことが出来ると言う自信が出来た。

また、研究としての成果があったため、情報処理学会第70回全国大会にて発表を行った。更に、システム自体は遠藤研究室で引き継がれて拡張され、卒業論文、研究会報告と広がりを見せている。

### 3. 今後の理工系教育への活かし方

3年生でも、ある程度(2~3ヶ月)時間を取り考えることでそれなりに面白いテーマを思いつく。ただし、教員も根気良く叱咤激励を繰り返しながら舵取りをしっかりとる必要がある。自分達で考案したシステムには学生達の思い入れも強く軌道に乗れば皆熱心に開発に取り組むことも分かった。システムの形が見え始めると、最後の方は自分達で積極的に内部の改造に取り組んでいた。また、運用については、それほど費用が掛からない。基本的にはパソコン数台とツール類だけである。

したがって、定型的にこのようなプロジェクトの仕組みを作れば、学生達のモチベーションも上がり、また自分達でシステムを一から完成させているのであるから、就職についても有利に働くであろう。また、そのような活動な入試の宣伝活動にも使えるだろう。

一方、3年生の時期にやるのは貴重な経験であるが、システムのテーマ決めを学生が試行錯誤で自主的に行うと、どうしても早くてテーマ決定が夏休み前になり、その後夏休みで中断されてしまい完成が遅くなる。プロジェクト内の学生からは2年秋から始めるのが良いのでは?という提案あり、その辺りも考えていく必要がある。また、学部学生全体のモチベーションを上げるのには更なる工夫(エサ?)が必要である。単位化も考慮に入れるべきかもしれない。また、ノウハウが本当に各研究室に還元されたかはこれからの追跡調査が必要であろう。

### 参考文献

- 榎間 祐太, 岩倉 大輔, 岩田 和也, 河合 繁, 和多田 康宏, 遠藤 守, 嶋田 晋, 秦野やす世, 藤原 孝幸, 濱川 礼  
『フォトモザイクアートを用いたネットワークコミュニケーション』  
情報処理学会第70回全国大会(2008.3)
- 岩倉大輔, 中貴俊, 遠藤守, 山田雅之, 宮崎慎也  
『フォトモザイクアートによるオンラインコミュニケーションシステム』  
芸術科学会, 第24回 NICOGRAPH 論文コンテスト, CD-ROM, (2008.10)
- 鶴飼聡至, 中 貴俊, 遠藤 守, 山田雅之, 宮崎慎也  
『フォトモザイクアートを用いたウェブコミュニケーションシステム』  
電子情報通信学会, 信学技法, Vol.108, No.128, MVE2008-31, pp.25-30 (2008.07)
- 柴田夏樹, 中 貴俊, 遠藤 守, 山田雅之, 宮崎慎也  
『mosaic-R システムにおけるコミュニティ誘発のためのコミュニケーション機能の設計と構築  
～ フォトモザイクアートとネットワークコミュニケーション～』  
電子情報通信学会, 信学技報, vol.108, no.226, MVE2008-54, pp.49-54 (2008.10)

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2008年度プロジェクト型研究教育プロジェクト 教育・研究用知能化ロボットの構成および 機械情報工学教育への適用

橋本 学

#### 1. プロジェクトの背景および目的

近年、産業界、特に製造業を中心とする企業では、生産技術の基本となるメカトロニクス系と情報系の両技術分野の知識やスキルを有し、それらの融合領域で活躍できる人材の育成が強く望まれている。機械情報工学科では、ロボット工学、センサ工学等の機械情報系科目を中心として、ゼミ教育前の学生にモチベーションを持たせるための重要な役割が与えられている科目がある。しかしながら、一方では最近企業からの要請が増えている基礎的、理論的な学習を重視しすぎてしまうと、学生の中に基礎学習とその応用技術習得とのイメージにギャップが生じ、学習効果に影響があることが懸念される。

そこで、本プロジェクトではカリキュラムの早期の段階(1～2年次)に、専門科目の座学授業において現実の装置を使った実践的授業を組み込むことにより、基礎学習・理論学習と、実践的技術習得・応用スキル習得とのつながりを強く明確にイメージさせ、学生の工学的興味を喚起するとともに、将来社会に出て機械情報工学に携わる者として必須となる学問や技術に対する向学心を醸成することを目的としている。

具体的には、現実の製造業系企業の研究開発や生産技術現場で多用されている産業用ロボットアームやセンサシステムを題材として教育、研究に投入するための技術基盤を構築し、それらを授業で使用し、またゼミ教育にも適用するとともに学生へのアンケート調査などを実施して教育的効果を検証した。

構成員：橋本 学、青木 公也、清水 優、奥水 大和、藤原 孝幸、および関係学生

#### 2. 内容と成果

##### 2-1. ロボットシステムおよびセンサシステムに関する技術基盤の構築

次項2-2および2-3を実施するために必要な、ロボットシステムの制御ライブラリ、センサシステムの制御・データ処理ライブラリを開発した。

##### 2-2. 授業に関する実施内容

以下の3つの学習効果を目的として、2009年1月に機械情報工学科1年次科目「センサ工学(担当:橋本)」において、実験室にてロボットやセンサの実物を用いた授業を実施した(当日出席学生数:102名)。

- (1) ロボットアームの基本原理に関する学習
- (2) 3次元センシングの基本技術に関する学習
- (3) ロボットとセンサによる協調動作に関する学習

##### 成果:

授業終了後のアンケート調査によれば、多くの学生から、実物のロボットやセンサを目の当たりにすること自体の感動や驚き、また目頃の座学(基礎的学習内容)の位置づけの明確化や実感化に関する感想が得られた。さらに、関連する他の授業や技術として、具体的に「プログラミング」や「生産システム工学概論」が挙げられ、他の授業との関連性に対する「気づき」が発生したり、プログラミング技術の重要さが述べられるなど、今回の実現授業が他の科目にも好影響を与えていることが確認できた。また、ロボット=2足歩行ロボットというイメージが先行しがちな同分野において、就職後の学生が実際に触れることが多いであろう産業用ロボットアームについても、違和感よりも、むしろ親近感を感じていることが読み取れ、研究開発の対象、活躍する分野の対象として考えてみたいという意見も見られ、

今回の授業が、将来の自分の道を選択するための情報源としての役割も果たしていることが伺えた。

このような新しいトライアルには、設備面の充実や体制面での研究室を越えた連携など、プロジェクトとしての活動が不可欠であり、本学部における本プロジェクト型研究教育の存在はまことに大きいといえる。

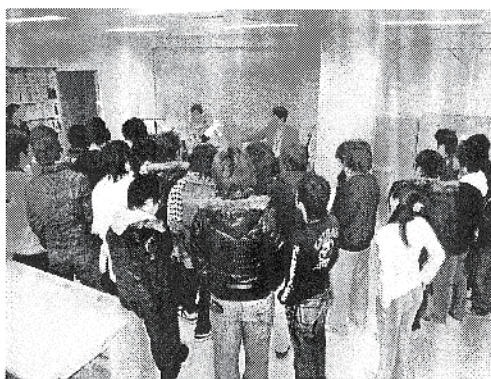
### 2-3. ゼミ教育に関する実施内容

前項(1)～(3)を総合的に学習する場として、ロボット・画像処理に関連するゼミ所属学生に対して、「プロジェクト型科目」を活用した、ゼミ配属後の学部生および修士学生に対してロボットシステム、センサシステムに関連するテーマを与え、研究活動を通じたリアルな技術習得を指導した。

### 3. 今後の理工系教育への活かし方

近年の理工系教育においては、目頃から完成度の高い技術に囲まれ、不足感の少ない生活をしている大学生に対して、学習目標を明確に意識させることがますます重要になってきている。特に機械情報工学分野のような複合的技術分野においては、要素技術の理論に関わる学習と、それらの高度応用としての実践的体験型学習の両方が重要であるだけでなく、それらが緊密に連携していることについて、学生一人一人がしっかりと自覚したうえで学習に取り組むことが大切である。本プロジェクトでおこなった活動はこれを目的にしたものであり、今後も継続的に取り組むべき内容であると考えられる。学生に対してはこのような自覚をできるだけ早期に促すことが効果的であるから、本プロジェクトで実施した各種の取り組みは、入学後のできるだけ早い段階で実施し、その後の多くの授業に対する強い動機付けにつながるべきである。むしろ、これらのことは他学科でもほぼ同様であろう。

さらにゼミ配属後のプロジェクト研究に関しては、このように1、2年次に実際のロボットやセンサを体験し、工学的興味、やる気、本物の装置を触ってみたいというモチベーションを高めた学生については、その後の卒論等のプロジェクト型教育においても、同様の装置を使う卒業研究を実施できるインフラや体制の準備が重要であり、これによって、社会に出る前に「本物の装置による多くの工学的な体験」をさせることができ、応用力に富んだ人材を育成することにつながる。



## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2008年度・2009年度プロジェクト型研究教育プロジェクト ロボットを題材とした「ものづくり」教育

森島 昭男

#### 1. 背景・目的

近年、秋葉原などで市販されるようになった人型ロボットキットには、古くからラジコンに使われていたサーボモジュール（どこまで動いて欲しいかを指令するとそこまで動いて止まってくれるもの）の改良版が全ての関節に採用されています。そのロボットを動かすためにロボットオーナーが行うことは、ロボットの時々刻々のポーズをコマ撮りのように作り上げてロボットに流し込み、それらを動作として再生することだけです。また、動作を滑らかにするためには、ポーズ間の補間を行なわねばなりません。それを実行するためのツールまでも販売・提供されています。その結果、ロボットオーナーがものづくり面で独自に行うこと（オリジナリティを反映できること）は、ロボットの外見のデザインや塗装くらいと言えるでしょう。

ロボットが常にまっすぐ立っているためには、地面に接する足と胴体の位置関係を得る内界センサ（ポテンシオメータ）だけでは不十分であり、外界センサ（例えば重力加速度センサ、視覚センサなど）が必要となりますが、それらもオプションのセンサキットとして販売されており、財力に余裕があるロボットオーナーは、それを購入して組み込むだけでロボットはまっすぐに立ち続けてくれるようになります。

これが、近年流行しているホビー系の人型ロボットキットの実情です。このようなロボット製作は、極論すれば（残念ながら）高級なプラモデルづくりと大差がないと言えるでしょう（だからこそ、中学・高校生でも参加できるという意義はあるのですが）。このロボットオーナーはロボットの技術者になったと言えるのでしょうか？

モータひとつを動かすだけのモータドライバでも、その背後に非常に多くの知識・経験が隠れています。設計においては電気・電子回路の知識が必要であり、製作においては、電子部品・ノイズ対策の知識、実装技術の経験などが欠かすことができません。また、ただ回すだけでなく望みの位置に動かすためには、センサ技術や制御工学の知識と経験が必須であり、それを実装するためにはアルゴリズム・プログラミング技術が必要とされます。

開発効率、作業効率を第一とするならば、既存のものをブラックボックスのまま使うことにも意味があります。しかし、新たな領域、既存のものがない分野においても、ものづくりを行うことができる技術者を育てるためには、一度はゼロからスタートしてシステムを作り上げる経験が欠かせないと筆者は強く考えています。

#### 2. 活動内容、成果

我々の学部の教育カリキュラムでは、知識面については整理され系統立てて教育が行われていると自負していますが、実習（経験、体験）面ではまだ工夫の余地があると思っています。そこで、本プロジェクト型研究教育助成により、実習面における様々な試行錯誤を行ってきています。特に学生の指導にあたっては、次の3つの方針を立てています。

- 1) 学生にゼロから考えさせる・調べさせる。

我々からの誘導は致命的な失敗に行きそうなきっかけ

- 2) 学生に自力で作らせる。ブラックボックスの購入はさせない。
- 3) 学生に失敗をさせる。

この方針の元で、学生達は大道芸を行い観客を楽しませるロボットをつくろうと頑張っているわけです。

学生「動きません」  
「そうか、残念だね。どうして動かないんだい？」  
学生「わかりません。」  
「そうか、じゃあ何が原因なのか考えてごらん。」  
学生「〇〇〇が悪いと思うんですけど。」  
「そうか、何でそう思ったのかな？」  
学生「たぶん、そんな感じですよ。」  
「そうか、じゃあそれが本当に原因であることは、どうすればわかるかな？」  
学生「この信号を見る限り、これが悪さをしてるのだと思います。」  
「なるほど、そうならば原因として納得できるね。」  
「じゃあ、次はそれを無くすにはどうすればいいか考えてみようか。」

上記のような進め方をするので、作業の進捗は非常に遅くなってしまいます。2008年度のプロジェクト研究では、事前にロボットの動作を完成させることはできず、3月末の東京での競技会場で本番直前まで作業を進めましたが、テスト動作の暴走でメカニズムが壊れたり、電子回路が焼けたりして、最終的に本番で動作させることができませんでした。

学生達は非常に悔しい思いをしたわけですよ。それと同時に、自分達の作ったロボットの何処が悪かったのか、何が不足していたのかという問題を強烈に意識してくれたわけですよ。

その後大学に戻ってから、学生達はそれらの問題について考え続け、原因についてかなりの部分を明らかにすることができるようになりました。

電子回路の設計ミス。FETのON/OFFタイミングのナノ秒精度での設計の甘さ。信号線の取り回しの不確かさ。グランド配線の脆弱さ。ノイズ対策の不徹底。ハンダ付けの不確かさ。制御アルゴリズムの未熟さ。非常事態への対策不足（プログラムレベル、センサレベル、制御レベル、メカニズムレベル）。メカニズム強度設計の不足。軸受けの精度不足。などなど...

これらの中には、知識として普段の講義で説明されていたことも含まれていますが、それが重要な知識であることを、学生は全く実感していませんでした。実際に手酷く失敗して、それが何に基づく失敗だったのかを経験することで、初めてその知識の重要性を認識することができたのです。

現在進行中の2009年度のプロジェクトでは、学生はこれらの失敗に対する改善方法を考えながらロボットの製作を行っています。

- ・いきなり必要個数分を製作するのではなく、試験回路を作りその動作を測定器で確認してつづ必要分の回路を製作する。
- ・ユニバーサル基盤でのジャンプワイヤー配線ではなく、プリント基板を設計・製作する。
- ・プログラム・電子回路が常に正常に動作するとは考えずに、多重レベルの安全装置、リミット装置を組み込む。
- ・いきなりロボット本体で動作アルゴリズム・制御アルゴリズムを動かさず、試験用の単純なメカニズムでテストを行う。などなど...

オープンキャンパスや授業の中でデモができるようになったように、昨年からのロボットは信頼性も上がってきており、今年度こそ3月の競技会本番で楽しい演技をしてくれるものと期待しているところです（新作のロボットは1・2月が勝負です）。

### 3. 波及効果、今後の理工系教育への活かし方

製作している制御用の電子回路・コンピュータは、学生が自ら部品をハンダ付けし作成できる程度の複雑さで設計しています（担当の学生は製品レベルの表面実装の小さい部品を使いたいようですよ）。そして全体では自動車関連の通信技術を採用した並列計算機システムとなるように設計してありますので、将来にわたって役に立つ経験を積みせられるようにしてあります。

また、前述のように担当した学生以外にとってブラックボックスになってしまっただけでは意味がありませんので、可能な限り簡単に、理解しやすい回路構成に設計してあります。

制御用の電子回路・コンピュータは、一般のデスクトップPCやノートPCでのプログラムと接続できるようにしますので、今回のプロジェクト外の興味ある学生が容易にモータ制御やセンサ入力の実験ができるようにする予定です（この部分のプログラムは製作中）。

製作したロボットの一部を、「機械設計製作I、IIA、IIB」における機械制御の実習にて使う予定です（現在はデモとして使用中）。また、今後開講される「ロボット製作論」においてシステム全体を使う予定です。

# ●プロジェクト型研究教育報告

## 2008年度プロジェクト型研究教育プロジェクト

### インタラクティブ性の高い

### 学部共通講義ビデオ利用システムの開発と評価

白水 始・田村 浩一郎・三宅 なほみ

#### 1. 目的

本プロジェクトは、将来学部全体で講義ビデオを有効活用できるシステムを構築する準備を整えることを目的とした。そのために学部用イントラサイト「IntraSite2」を新しく開発し、並行して学生の講義の聞き方を実態調査しながら、講義ビデオをインタラクティブに活用するシステムを試験的に運用・評価し、システムが備えるべき要件を抽出した。

講義をビデオに撮って活用するシステムは最近増えてきているが、問題点として、90分という講義時間がビデオ視聴の観点で考えると長すぎる点や、単に閲覧するだけでインタラクティブに使い難い点がある。これに対し、本研究では、講義のうち「使える部分をクリップにして」「インタラクティブなユーザ・インターフェイスをつけ」「学部内の講義関連情報と連携可能にする」方法を提案する。

#### 2. 内容と成果

##### 2.1. 学生の講義の聞き方の実態調査

ビデオ・システムが備えるべき要件を洗い出すため、そもそも学生が講義をいかに聴講しているかという実態調査を実施した。調査した内容は以下の4点である。

- ・90分の講義を教室で聞くだけの場合、学生は講義内容をどうまとめるのか
- ・講義から1年経つと、講義内容をどの程度記憶しているのか
- ・学生は講義内容への質問をいつ、どのようなタイミングで出すのか
- ・教員は授業の何割程度を前時や前期の振り返りに充てているのか

詳細は白水・三宅(2007, 2009)に載せたが、調査の結果、

- ・学生が講義のまとめとして提出したミニッツシートの8割強が教員の授業最後のスライドの書き写しであること
- ・一年後に講義内容を記憶している割合は5%に満たないこと（分母は教員が覚えておいてほしいとしたメッセージと具体例の総数）
- ・学生の質問対象はその回の授業だけでなく、その週以前の授業内容に関わるものも多いこと、また講義直後だけでなく、内容がある程度わかるようになって質問すべきことがはっきりしてから講義内容を再訪すると質問が出やすくなること
- ・一授業（情報知能学科1年生科目「情報数学Ⅰ」）を例にとると、学期14週の講義全体で3割近くの時間を振り返りに充てており、週が進むほど増加していること、また休暇を挟んだ翌学期の冒頭1～2週を前期の復習に費やしており、こうした支援なしで学生が自主的に授業内容を関連づけることは期待し難いこと

が示された。教員は自らの授業のどこがポイントで、それらの間にいかなる繋がりがあ、複数の授業「間」ではどう繋がっているかを十分意識していたとしても、それがそのまま学生に把握可能ではないことがうかがえる。

##### 2.2. システムが備えるべき要件

以上より、システムに望まれる要件として以下の3つを挙げる。

1. 一授業内の複数の重要ポイントに関して、時間を遡って振り返ることができ、編集統合して理解を深

めることができる

## 2. 内容に関して他の学習者とじっくり議論できる掲示板機能がついている

- ・ポイントのみを振り返ることができるよう、予め教員やTAなどによって重要箇所のクリップのみに編集されている
- ・将来的には、学習者自身で授業中にポイントを同定でき、それがビデオ記録と連動する
- ・週を越えた授業「間」のポイントの繋がりが見える
- ・複数の授業クリップの関連性がアノテーション技術で明示され、講義のシラバス情報とも連動して学生につかみ易くなっている

## 3. 数回の授業をまとめて「授業の全体」像、あるいは違う授業をまとめて「分野の全体」像が把握できる

- ・講義シラバスとの連動で、ある週の授業が学期全体の授業内容や学部の授業体系全体と関連づいており、それによって一授業を多層的な視点から捉えられる

### 2.3. インタラクティブなシステムの活用可能性

上記の要件1の有効性を確認すべく、学部2年生授業を対象に複数の教員の講義をビデオに撮り、事前に教員が選んだ各5分程度のクリップを複数使って学生に講義を見直させ、その学習効果を調べた(白水・三宅, 2007)。その結果、講義のクリップを閲覧しては、その先にどのような話が展開されるかを予測して確かめる“Stop&Think法”、あるいは学生ごとに異なるクリップを分担し閲覧した上で内容を交換し全体を関連づける“Video-Jigsaw法”を行うことによって、単に講義を教室で聞くときに比べ、5倍以上授業のポイントと同定して長期保持できることが認められた。また、ビデオ・システムに掲示板機能を付加して学生間の議論を奨励したところ、講義の構造に関する気づきも促された

現在開発中のIntraSite2は、情報システムにおける時間の空間化をテーマにしており、例えば、シラバスは実施されている授業のものだけでなく、過去のものも蓄積され、各教員がその時点でどのように授業を展開しようとしていたのか、あるいは、授業の結果、次年度の授業をどう作り変えたのかまで把握できるようになっている。イントラ内の各時点の情報および情報間の関係を保存し、いつでもその時点に戻ってそれらを吟味することが可能になる。講義ビデオもこのシステムを利用して簡単にアップロードできるようにし、シラバスや追加資料他の各種アーカイブと連携させる。

### 3. 今後の理工系教育への活かし方

講義というのは基本的に抽象的な情報伝達的手段であり、聞き手の側に、細部をイメージする想像力や何に役立つかを問う活用力があって初めて機能する。それゆえ、講義に先行して具体的な実験を体験させる手法や、講義とプロジェクトを連動させて学んだことを使ってみる手法が試みられる。しかし、これらは時間がかかり、いつでも行えるものでもない。そこで、講義を後で振り返り、学生主導で内容を理解するための支援方法を模索する必要がある。

また、通常の大学教育におけるカリキュラムは、教育内容についての専門家でもある教員によって、精緻に体系化されていることが多い。しかし、そのような「体系化」自体が初学者である学生には見え難い。そこで、先行オーガナイザーとして学問全体を俯瞰するような講義を初期に受けさせる支援が考えられるが、それだけでは十分な効果を上げにくいことも知られている。教員が無意識に仮定している「授業間のつながり」を自覚して明示し、学生がいつでも必要になった時点でそれを参照できる支援が必要である。

以上の両支援が狙うのは、学生自身の「自己管理型学習能力」の育成である。その育成に情報技術が寄与するところは大きい。常時共有吟味・再編集可能な情報技術の特性によって、学習者自身で「つながり」を抽出し、それを仲間や教員と比較する試みも可能になる。このような情報環境の構築・発展は、すぐれて情報工学の研究テーマともなるものだと考えられる。

### 文献

白水 始・三宅 なほみ「認知科学的視点に基づく認知科学教育カリキュラム—『スキーマ』の学習を例に—」認知科学, 16(3), pp.348-376. (2009)

白水 始・三宅 なほみ・高橋 信之介「ビデオシステムによる講義内容の協調的な振り返り活動を支援する」日本認知科学会第24回大会論文集, pp.498-501. 東京 (2007)

## ●プロジェクト型研究教育報告

### 2009年度プロジェクト型研究教育プロジェクト ネットワークシステムの実践的学習環境の構築と管理者育成

遠藤 守

#### 1. 研究教育（プロジェクト）の目的

ネットワーク関連科目におけるサーバシステムの学習をより実践的に行うためのシステム開発、およびこれらのシステムの学生主体による管理者コミュニティを育成することを目的とする。具体的には、共通または類似する授業科目において各教員と学生等が協力し、サーバシステムの学習を促進させる学科横断的な演習用サーバシステムを構築する。また構築したシステムの運用管理を、各教員のゼミに所属する学生等の自主的な参加によって行い、学習を円滑化させるサービスの開発を行う。

本研究プロジェクトの成果により、学科横断的な演習授業用の分散型ネットワークサーバシステムが構築され、実践的なネットワーク学習を可能にするほか、プロジェクトに参加する有志による学生の自発的な運用管理によって優れたネットワークシステム管理者育成に寄与するものと考えられる。

構成員：遠藤 守、田村 浩一郎、鈴木 常彦、長谷川 明生、小笠原 秀美、伊藤 誠、石原 彰人、  
以上の教員のゼミに所属する学生（含大学院生）

#### 2. 内容と成果

##### 2.1. 内容

ネットワーク学習を行う授業科目にて利用可能な以下の学習コンテンツを実現するサーバシステムを構築する。

##### ○Web アプリケーション学習支援環境

- ・Web コンテンツ作成学習支援のための開発支援環境の整備
- ・コンテンツマネジメントシステム学習のためのオープンソース CMS ソフトウェアの整備

##### ○ネットワークプログラミング学習支援環境

- ・PHP や XML, Ruby や Java などのサーバサイドスクリプティング・プログラミングを実現する開発環境構築
- ・Subversion や CVS など遠隔での共同開発を可能とするバージョン管理ツールの学習支援環境の構築
- ・Web アプリケーション開発用データベース学習を行うためのデータベース学習環境の構築

##### ○ネットワークシステム学習支援環境

- ・Web 関連サービスの運用学習を行うための Web システム環境構築
- ・Unix システムの遠隔運用学習を可能とする仮想環境構築
- ・ネットワークシステム運用学習のための学習環境
- ・電子メールおよびメール関連システム学習のための仮想環境構築

##### ○管理者コミュニティ育成支援環境

- ・管理者間の情報共有を実現するプロジェクト運用システムの整備
- ・電子メールシステムおよびメーリングリスト整備

これらの各種環境を教員が適宜指導しつつ、学生主体によって構築する。実際の構築作業や定期的なミーティングを通じ、ネットワーク管理者としての知識と経験を培う。



## 2.2. 成果

プロジェクトは現在進行中であるが、前期期間中など、これまでに以下の点で一定の成果がみられた。

- ・ネットワーク関連科目での Web ページ作成支援コンテンツの試作と活用
- ・サーバシステム講習会の実施
- ・プロジェクトミーティングの定期的な開催と議論
- ・外部研究者によるオブザベーションと助言

## 3. 今後の理工系教育への活かし方

本研究教育プロジェクトは2007年度研究教育プロジェクト（代表：濱川教授）を基盤とし、学生主体による研究室横断型のプロジェクトである。過去のプロジェクトでも同様であったが、本プロジェクトでは共通の演習・自習室として人工知能高等研究所のインキュベーションルームの利用を申請させて頂いている。ただ、インキュベーションルーム利用申請から実際に利用可能になるまでに大変時間が掛かり、実質的に利用できるのは後期が始まってからとなるため、この間学生らが共通で利用できる演習室がない。このため今後の理工系教育においては、学生による自主的な活動を支援できるような演習・自習室の存在が必要であると考ええる。

また、プロジェクト型研究の成果を実施年度以降にも活用できるような仕組みを整備することも重要であると考ええる。

## ● 会議報告

### 公開講座 ソフトサイエンスシリーズ第30回

日 時：2009年5月29日（金）15:00～16:30  
場 所：名古屋市科学館サイエンスホール  
講演題目：時間は空間になったか？ - 映画、デジタルアート、予告編  
講演者：メアリー・アン・ドーン

中京大学 情報理工学部 情報メディア工学科  
幸村 真佐男

#### 会議報告

第30回ソフトサイエンス公開講座はブラウン大学のメアリー・アン・ドーン教授を迎えて「時間は空間になったか？「Has Time Become Space?」というタイトルで開催した。ドーン教授は哲学、フェミニズム理論、精神分析、現代数学、等を駆使して1980年以降の映画研究の中心的な役割を果たしている。講演ではまずCGを多用したスパイダーマンの予告編を流し、次に杉本博司の映画劇場シリーズの写真の紹介。この写真は8X9の大型カメラで映画劇場を上映中の全時間をシャッター開放しての長時間露光で撮影したものだ。上映されているスクリーンは真っ白に光り輝く。ただ古典的なスタイルの劇場が額縁のように浮かび上がる。それは映画として流れて行った時間が凝縮されて空間化され写真だ。

その杉本の写真と対極の表現とも言える、台湾の蔡明亮の「楽日(らくじつ)」の最後のシーンを上映する。少し足の悪い女性従業員が観客の全くいない劇場をゆっくり横切りその後の誰もいない何の変化もない長いショット。そしてその映画館は取り壊される。

最後にディカプリオ主演のギャング・オブ・ニューヨークの予告編を見る。予告編こそは映画の中の映画というべきものだ。男のボイスオーバー、カット、時間を大きく圧縮することで映画に対する欲望とあこがれを掻立てる。結論は言わないことによって観客の興味を持続させる。

ベルグソンによって提起された時間の空間化の批判をジェームソンのモダニティーとポストモダニティーの問題として読み解く。時間は分割不可能な主体的なものであり都市によって工業化され資本化される。映画、テレビ、コンピュータ、携帯電話等、総ての現代メディアは時間を空間化していると結論づける。難解な映像哲学を多くの映像資料を駆使した講演は噛砕いた好通訳と相まって多くの示唆に富む刺激的な内容であった。

## ● 会議報告

第 12 回情報理工学部 / 第 121 回情報科学部 / 第 10 回生命システム工学部

### 学術講演会 (コロキウム)

日 時 : 2009 年 7 月 15 日 (水) 17:00 ~ 20:00

場 所 : 中京大学 16 号館 1F 多目的スタジオ

講演題目 : ベルグソンを手がかりに映画誕生の 19 世紀時代精神について考察

上映作品 : 「マテリアル & メモリーズ」(原 将人監督作品の上映)

講演者 : 原 将人氏

東京都目黒区出身の映画監督。現在は京都府京都市在住。

麻布学園高等学校在学中に映画「おかしさに彩られた悲しみのバラード」により、第 1 回東京フィルムフェスティバルグランプリ、ATG 賞を同時受賞し注目された。

1997 年、初の商業映画、広末涼子主演の「20 世紀ノスタルジア」で、第 38 回日本映画監督新人賞を受賞。映画というしくみそのものを問い直す、独特の作風を表現で知られる。



第 13 回情報理工学部 / 第 122 回情報科学部 / 第 11 回生命システム工学部

### 学術講演会 (コロキウム)

日 時 : 2009 年 10 月 28 日 (水) 18:15 ~

場 所 : 中京大学 16 号館 1F 多目的スタジオ

講演題目 : Alternative Performance Paradigms in sound and Media Art

サウンドとメディアアートにおける前衛的パフォーマンスのパラダイム

講演者 : Yan Jun 氏、Ryu Hankil 氏

フィールドバックノイズ、ドローン、音声、フィールドレコーディングからサウンドインスタレーション、作詞、出版までなんでもこなす Yan Jun。

現在、大友良英の新しいプロジェクトである FEN (Far East Network) に参加している Ryu Hankil。両氏によるサウンドパフォーマンスと講演

## ● 会議報告

第 14 回情報理工学部 / 第 123 回情報科学部 / 第 12 回生命システム工学部

### 学術講演会 (コロキウム)

日 時 : 2009 年 11 月 21 日 (土) 15:00 ~ 17:00

場 所 : 中京大学名古屋キャンパス センタービル 0602 教室

講演題目 : Children Making Sense of the Numerical World

講演者 : 岡本 ゆかり (カリフォルニア大学サンタバーバラ校教授)

#### 要 旨

Children are active learners who are designed to participate in sense-making activities. My view of children's numerical development draws ideas from neo-Piagetian theories, but with stronger assumptions about the role of innate knowledge and cultural practices.

Based on these assumptions, I argue that through everyday activities, children are building important conceptual models to interpret numerical attributes of the world. These activities result in a powerful knowledge structure that links otherwise discrete conceptual models.

This unified structure facilitates learning of cultural systems of knowledge such as telling time and handling money. Furthermore, I argue that this structure is necessary for successful grasping of the initial content of formal mathematics. In this presentation, I will first describe my theory of mathematical development, as well as my cross-cultural work that examined the question of culture and the developing mind. I will then discuss how such a theory may be useful in encouraging children to explore and master mathematical concepts.

岡本 ゆかり氏は、大学卒業後に米国に移り、長く認知発達研究に携わってきた。特に故 Robbie Case 氏との共同研究は、現在急速に発展している学習科学研究の草分けとして今でもよく引用される。そこで Case 氏と目指したのは、ピアジェのような認知発達のグランドセオリー作りだった、という氏のことばは、領域固有な理論作りに終始する現代の認知研究において、鮮烈なものに感じられた。そのセオリーの核は、次のような考えである。「数」とはどのようなものか、「絵」とは (3次元の) 世界をどう表現したものかといった中心的な概念構造は、発達の一般的な制約 (作業記憶の容量や成熟など) と領域固有な概念の統合によって可能になる。その実証のため、4歳から10歳の世界各地の子どもに描画や天秤課題を行わせたところ、物体と位置に関する概念、あるいは数えることと量に関する概念の断片が4歳ごろ明確に現れ、6-8歳の並存状態を経て、10歳ごろに統合されることを示した。さらに、その初期の時点では文化差が大きく見られるが、加齢と共に差が小さくなることを国際比較で示した。つまり、どのような文化であれ、絵や数に関する多様な表象にふれることで、それを統合して中心的な概念を作り上げるプロセスが人一般に見られると言える。ただし、こうした統合は、学校教育や家庭での多様な学習経験が保障されにくい貧困階級の児童では遅れるデータも示し、双六を使って序数と基数の統合を促す取り組みなどが紹介された。

(白水 始)

## ● 会議報告

第 15 回情報理工学部 / 第 124 回情報科学部 / 第 13 回生命システム工学部

### 学術講演会 (コロキウム)

日 時 : 2009 年 11 月 25 日 (水) 18 : 00 (開場) 18 : 15 (開演)

場 所 : 中京大学 16 号館 1 F 多目的スタジオ

講演題目 : LAUBURU :

New Adaptive Techniques Musical Performance

LAUBURU: 音響パフォーマンスにおける新しい適応的テクニック

講演者 : ミン・シャオフェン

二千年を超える中国琵琶音響の伝統を継承し、現代に新たな可能を切り開く驚異的なパフォーマー。琵琶奏者であった父に師事、中国の琵琶演奏全国大会などで優勝し、中国随一の名手として政府が主催するワールド・ツアーに参加。96年にリリースされた彼女の作品『The Moon Rising』は、BBC Music Magazine 誌のよりその年のベスト CD に選ばれる。

田中 悠美子

東京芸術大学音楽学部理学科、同大学院で音楽学を専攻。在学中、義太夫三味線の音色に惹かれ、文学の人間国宝、故・野澤錦糸に義太夫三味線を、女流義太夫の人間国宝、竹本駒之助に義太夫節の語りを師事。鶴沢悠美の名前で 17 年間女流義太夫の三味線弾きとして活動し、1990 年度芸術選奨文部大臣新人賞 (音楽部門) 受賞。2004 年春、ソロ CD 『tayutauta』をリリース。2009 年に義太夫節保存会会委員として重要無形文化財総合認定者となる。

## ● 会議報告

第 16 回情報理工学部 / 第 125 回情報科学部 / 第 14 回生命システム工学部

### 学術講演会 (コロキウム)

日 時 : 2009 年 12 月 2 日 (水) 18 : 00 ~ 20 : 00

場 所 : 中京大学豊田キャンパスメディア棟 1F 多目的スタジオ

講演題目 : PWR OF LIVE!・インターネットの未来を先取る

講演者 : モーリー・ロバートソン (Morley Robertson)

1981 年 富山県高岡高校卒業。同年の秋から米ハーバード大学に入学。

1982 年 作曲家 Ivan Tcherepnin に師事し、現代音楽の技法を学ぶ。アナログ方式のシンセサイザーのプログラミングを中心に研究。

1988 年 米ハーバード大学視覚環境学科 (Visual and Environmental Studies) を Cum Laude (with Honors) で卒業。

1991 年 -2009 年 FM ラジオ局 J-WAVE にディスクジョッキーとして専属。「Across The View」「ザ・モーリー・ロバートソン計画」「Early Morley Bird」などのレギュラー番組を長期に渡って司会。

1993 年 -1994 年 フジテレビ「Revolution No. 8」NHK-BS「真夜中の王国」の司会

2000 年 -2001 年 中京大学で非常勤講師として「音文化」のクラスを担当。

2005 年 -2006 年 Newsweek 日本版でニュース記事の翻訳スタッフ。

1990 年代 FM ラジオとリスナーのインタラクションによる様々なイベントを開催。パソコン通信を日本でほぼ最初に導入した番組を放送。

2000 年以降 インターネットで配信する音声や動画の番組を作成。

2005 年 MP3 形式の音声ファイルを配信する「ポッドキャスト」の番組「i-morley」をスタート。

2009 年現在、リスナーの数は 65 万 5000 人を越える。

## ● 2009年度 委託・共同研究一覧

氏名	研究テーマ	研究期間	相手先
輿水 大和	高画質画像を用いた高精度画像処理検査の研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	大宏電機(株) 高木 和則
輿水 大和	$\mu$ オーダーの測定精度を持つインライン検査手法の開発	2009.4.1 ~ 2010.3.31	大宏電機(株) 草野 洸
輿水 大和	高精度3次元画像検査装置の開発、外観検査装置の開発	2009.4.1 ~ 2010.3.31	大宏電機(株) 渡辺 隆
輿水 大和	似顔絵メディアのネットワークへのインプリメント	2009.4.1 ~ 2010.3.31	S K E N 鈴木 健志
輿水 大和	視覚感性を取り入れたマシンビジョンシステムに関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	早稲田大学 WABOT-HOUSE 研究所 富永 将史
輿水 大和	似顔絵メディアのプレゼンテーション援用の実践と評価	2009.4.1 ~ 2010.3.31	愛知淑徳大学文化創造学部 川澄 未来子
輿水 大和	顔特徴抽出の応用について	2009.4.1 ~ 2010.3.31	香川大学工学部 林 純一郎
輿水 大和	タイヤ外面検査	2009.4.1 ~ 2010.3.31	シャープマニファクチャリングシステム第3機器部 今田 宗利
輿水 大和	顔画像の分析による顔画像制作	2009.4.1 ~ 2010.3.31	ミズノ(株)スポーツプロモーション部 等々力 信弘
輿水 大和	似顔絵制作の研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	オフィス大岡 大岡 立一
輿水 大和	Hough 変換の高速化、高精度化の研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	岐阜大学 工学部 加藤 邦人
輿水 大和	自動車用タイヤ外観自動検査の開発	2009.4.1 ~ 2010.3.31	東洋ゴム工業(株)・タイヤ生産技術開発部 水草 裕勝
輿水 大和	共起ヒストグラムを用いた特徴抽出の応用について	2009.4.1 ~ 2010.3.31	香川大学工学部 秦 清治
輿水 大和 舟橋 琢磨 藤原 孝幸	人の検査メカニズムに基づいた画像認識技術の開発	2009.4.1 ~ 2010.3.31	トヨタ自動車(株) 計測技術部 鷺山 達也
輿水 大和 舟橋 琢磨 藤原 孝幸	OKQT に基づく超階調画像法の研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	シャープ(株) 生産技術開発推進本部 上田 泰広
長谷川 純一 瀧 剛志	脳機能イメージング解析のための画像処理	2009.4.1 ~ 2010.3.31	国立長寿医療センター研究所 中井 敏晴
長谷川 純一 瀧 剛志	運動生理学への可視化技術の応用に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	中京大学体育学部 北川 薫
長谷川 純一 瀧 剛志	シミュレータによる認知的トレーニング効果の検証に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	中京大学体育学部 猪俣 公宏
長谷川 純一 瀧 剛志	身体動作の3次元解析に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	中京大学体育学部 桜井 伸二
種田 行男	低温および風雨による寒冷曝露時の熱放散反応に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	愛知みずほ大学人間科学部 山根 基
種田 行男	コーナー走における身体回転運動の力学的分析	2009.4.1 ~ 2010.3.31	早稲田大学大学院スポーツ科学研究科 東 洋功
種田 行男	コーナー走における身体回転運動の力学的分析	2009.4.1 ~ 2010.3.31	早稲田大学スポーツ科学学術院 矢内 利政
井口 弘和	高齢者向け自転車の開発とその感性評価	2009.4.1 ~ 2010.3.31	国立長寿医療センター研究所 西井 匠
石原 彰人	極微小多電極アレイを用いた網膜時空間応答特性に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	理化学研究所脳科学総合研究センター 臼井 支朗
石原 彰人	極微小多電極アレイを用いた網膜時空間応答特性に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	豊橋技術科学大学 針本 哲宏
棚橋 純一	風エネルギーの活用システム	2009.4.1 ~ 2010.3.31	(株)ソシオリカ 杉岡 良一
山田 雅之	地域情報化のためのデータ放送用コンテンツ制作	2009.4.1 ~ 2010.3.31	名古屋大学大学院情報科学研究科 浦 正広
秦野 甯世	大規模数値シミュレーションと可視化に関する研究	2009.4.1 ~ 2010.3.31	中京大学国際教養学部 山本 茂義
秦野 甯世	大規模数値シミュレーションと可視化に関する研究	2009.12.5 ~ 2010.3.31	名古屋市立大学大学院システム自然科学 館脇 洋
秦野 甯世	大規模数値シミュレーションと可視化に関する研究	2009.12.5 ~ 2010.3.31	名古屋市立大学大学院システム自然科学 柳田 浩子
白水 始	IT を利用した高度な協調学習過程の解明と支援	2009.4.1 ~ 2010.3.31	東京大学教育学研究科 三宅 なほみ
白水 始	ネットワークを利用した認知科学および数学教育の展開	2009.6.17 ~ 2010.3.31	(株)ジェンアークス 田中 真一
白井 英俊	知的 Jabber エージェントの開発	2009.4.1 ~ 2010.3.31	(株)リフレクション 鈴木 常彦
三宅 芳雄	包括的な活動履歴による過去の体験の利用手法	2009.7.1 ~ 2010.3.31	九州工業大学情報工学部 近藤 秀樹

## ● 研究所員一覧

■ 中京大学				
◆ 名誉所員	福村 晃夫			
◆ 情報理工学部 情報システム工学科	山本 真司 長谷川 明生 目加田 慶人 藤原 孝幸	田村 浩一郎 嶋田 晋 濱川 礼	飯田 三郎 伊藤 秀昭 鈴木 常彦	秦野 甯世 ラシキア城治 磯 直行
情報知能学科	笥 一彦 上林 真司	三宅 芳雄 小笠原 秀美	宮田 義郎 土屋 孝文	白井 英俊 白水 始
情報メディア工学科	棚橋 純一 中山 晶 宮崎 慎也 曾我部 哲也	幸村 真佐男 輿水 大和 上芝 智裕 中 貴俊	伊藤 誠 カール・ストーン 山田 雅之 舟橋 琢磨	興膳 生二郎 大泉 和文 遠藤 守
機械情報工学科	長谷川 純一 野浪 亨 清水 優 平名 計在 深津 鋼次 (客員教授)	井口 弘和 橋本 学 青木 公也 加納 政芳	種田 行男 王 建国 石原 彰人 長谷 博子	沼田 宗敏 森島 昭男 瀧 剛志
生命システム工学部	鳥脇 純一郎	舟橋 康行		
◆ 体育学部	北川 薫	猪俣 公宏	桜井 伸二	
◆ 国際教養学部	山本 茂義			
◆ 学事センターリエゾンオフィス	鈴木 勝也			
■ 愛知淑徳大学	川澄 未来子			
■ 香川大学	秦 清治	林 純一郎		
■ 岐阜大学	加藤 邦人			
■ 早稲田大学	矢内 利政	冨永 将史		
■ 愛知みずほ大学	山根 基			
■ 豊橋技術科学大学	針本 哲宏			
■ 東京大学	三宅 なほみ			
■ 九州工業大学	近藤 秀樹			
■ 名古屋市立大学	館脇 洋			
■ 国立長寿医療センター研究所	中井 敏晴	西井 匠		
■ 大宏電機(株)	渡辺 隆	高木 和則	草野 洸	
■ SKEN	鈴木 健志			
■ (株)ケミトロニクス	山本 協子			
■ オフィス大岡	大岡 立一			
■ シャープマニファクチャリングシステム(株)	今田 宗利			
■ ミズノ(株)	等々力 信弘			
■ トヨタ自動車(株)	鷲山 達也			
■ (株)ソシオリカ	杉岡 良一	比屋根 正雄		
■ 理化学研究所	臼井 支朗			
■ 東洋ゴム工業(株)	水草 裕勝			
■ シャープ(株)	上田 泰広			
■ (株)ジェンアークス	田中 真一			
■ 準研究者	荻野 雅敏 加藤 備識 山田 雅之 原口 朋比古 徳田 尚也	浦 正広 加納 徹哉 遠藤 宏 中村 嘉彦 藤吉 正樹	藤本 紘 水野 雅斗 上坂 学 東 洋功 柳田 浩子	松原 宏晃 星野 航 木村 翔太 星野 喬之

## ● 歴代所長

初代 戸田 正直 (1991.4.1 ~ 1998.3.31)  
2代 田村 浩一郎 (1998.4.1 ~ 現在)



〈編集後記〉

名古屋は雪の新年を迎えました。

既刊号を見直しますと、2007年以降、冬号は12月に発刊できてきましたが、今年は年を跨いでしまいました。その代わりに、特集の内容は、今年度退職予定の先生方の寄稿とプロジェクト研究教育報告を含んで充実しております。

田村先生には特集論文、鳥脇先生には表紙と特集論文、山本先生には巻頭言をお願いすることができました。この場を借りてお礼いたします。プロジェクト実践の報告をしてくださった先生方も有難うございました。

この多様な研究の紹介から、さまざまな共同研究が広がることを期待します。

編集担当 白水 始・曾我部哲也

編集実務担当 富岡旭容

★★★ 人工知能高等研究所の WWW ページのご案内 ★★★

アドレス <http://www.cglab.sist.chukyo-u.ac.jp/IASAI/>

☆☆☆ 中京大学の WWW ページのご案内 ☆☆☆

アドレス <http://www.chukyo-u.ac.jp/>

---

IASAI NEWS 第25号 2010年1月1日発行

---

- 発行・編集 中京大学 人工知能高等研究所  
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101 ☎(0565)46-1211(代表)
  - 印刷 ニッコアイエム株式会社  
〒460-0024 名古屋市中区正木1-13-19
- 

本誌記事の無断転載を禁じます。

© 2010 中京大学 人工知能高等研究所

