



# 究極のコンピュータ HALer

## 南谷研究室～集積システムコース

現在私たちは、家庭、仕事、社会生活、企業活動、国家機能などあらゆるレベルでコンピュータに頼っている。人間のコンピュータへの依存度はますます高くなり、来るべき高度情報化社会は、それなしで成り立たないだろう。万一そのような世の中でコンピュータに障害が起きれば、個人的な損害はもちろん、社会的混乱、多数の生命の危険、莫大な経済の損失などを招く恐れがある。場合によっては戦争の危険さえあるかもしれない。そのコンピュータは、人間によって設計され半導体などの物理的材料で作られている。人間は絶えず間違いを犯すものであるから設計ミスや操作ミスはありえるし、物理的材料は必ず経年劣化をしていくのでいつかは壊れる。したがって、どんなに製造技術が向上しても、どんなに品質管理に努めても、コンピュータの故障(フォールト)を0にすることはできない。そこで、コンピュータの一部に故障が発生しても、全体としては正常な稼働



南谷 崇 教授

状態が保持されるシステム、つまり故障に強いシステムを作ろうというのがフォールトトレラントコンピューティングの概念である。

フォールトトレランスについて研究されている南谷崇教授に先生の研究と将来の展望についてうかがった。



## フォールトトレラントコンピュータ

### Keyword 1 フォールトトレランス技術

フォールトトレランスの基本原理は冗長性と分散性である。冗長性とは必要以上に情報や時間、資源などの要素を揃えておくことをいう。たとえば、情報の冗長とは必要最小限の情報の他に、誤り検出用の情報等を付けることである。もしコンピュータを必要最小限の材料のみで作ったとしたら、どこか一部に異常があるだけで、コンピュータは止まってしまうことになる。故障した部分を見つければ、その仕事を肩代わりする部分もないからだ。これを野球やサッカーでいうならば、補欠の選手なしで試合に臨むようなものだ。つまり、冗長性がないとフォールトトレランスは実現できない。

しかも、その冗長性はコンピュータ全体に分散していなければならない。たとえば、チップのなかに冗長性があったとしてもチップ全体が壊れたら終わりである。こういう場合では、基板の中でも別々のチップの中に冗長性を分散させなければならない。また、東京にあるコンピュータが大地震で壊滅したとき、大阪やニューヨークなどで同様に仕事をしていなければ、地球的には東京の壊滅前と同じ仕事はできないことになる。これが分散性である。分散性というのは、このようにチップのレベルから地球規模まで想定できる。

この冗長性と分散性を総合したものが分散システムである。分散システムというのは、プロセッサがたくさん集まってネットワークを形成するものだ。通常それぞれのプロセッサは別々の仕事を

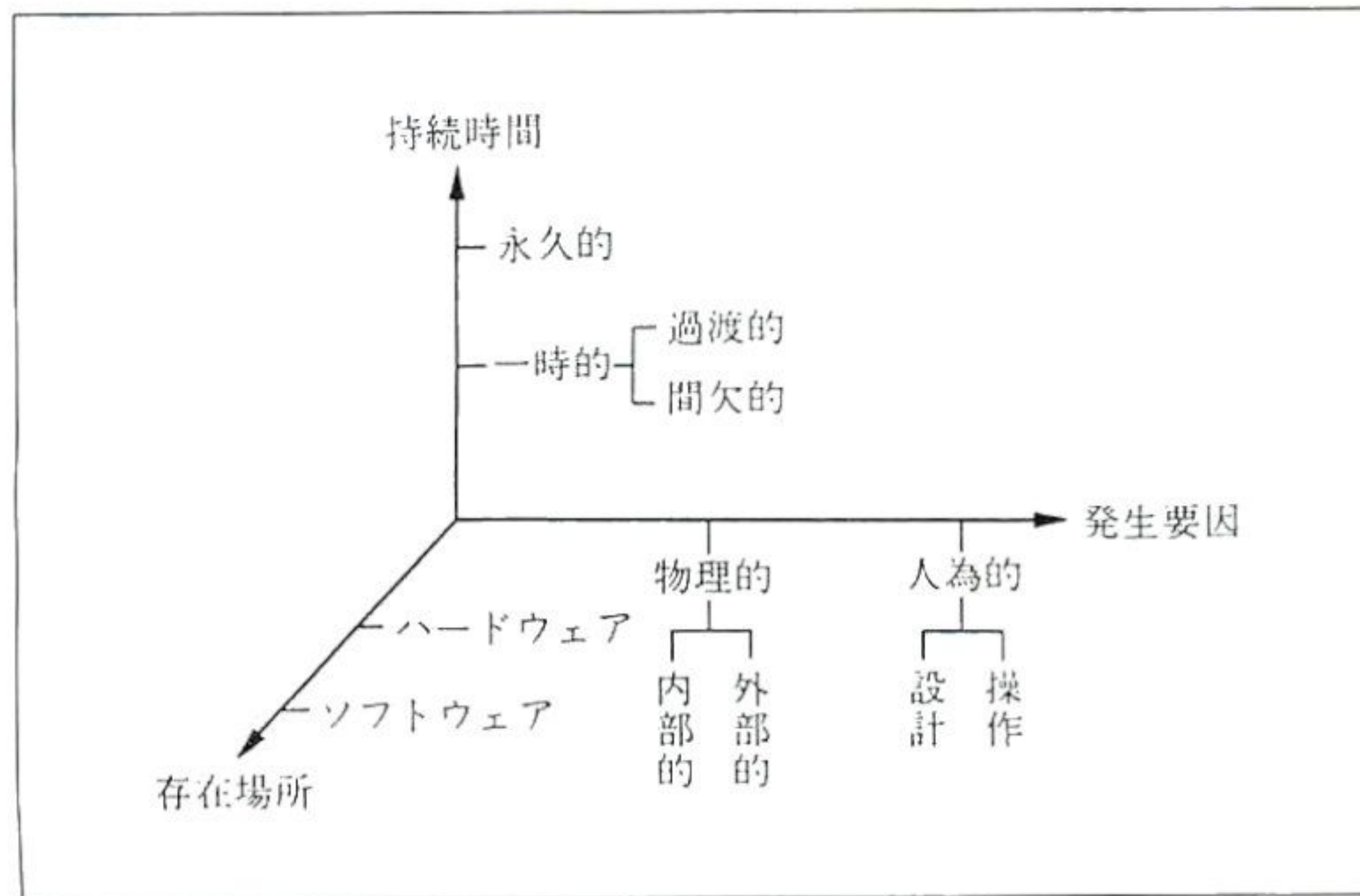


行っている。しかし、あるプロセッサが壊れるとそのプロセッサが受け持っていた仕事を他のプロセッサに再割り当てを行い、仕事を続けるというものである。

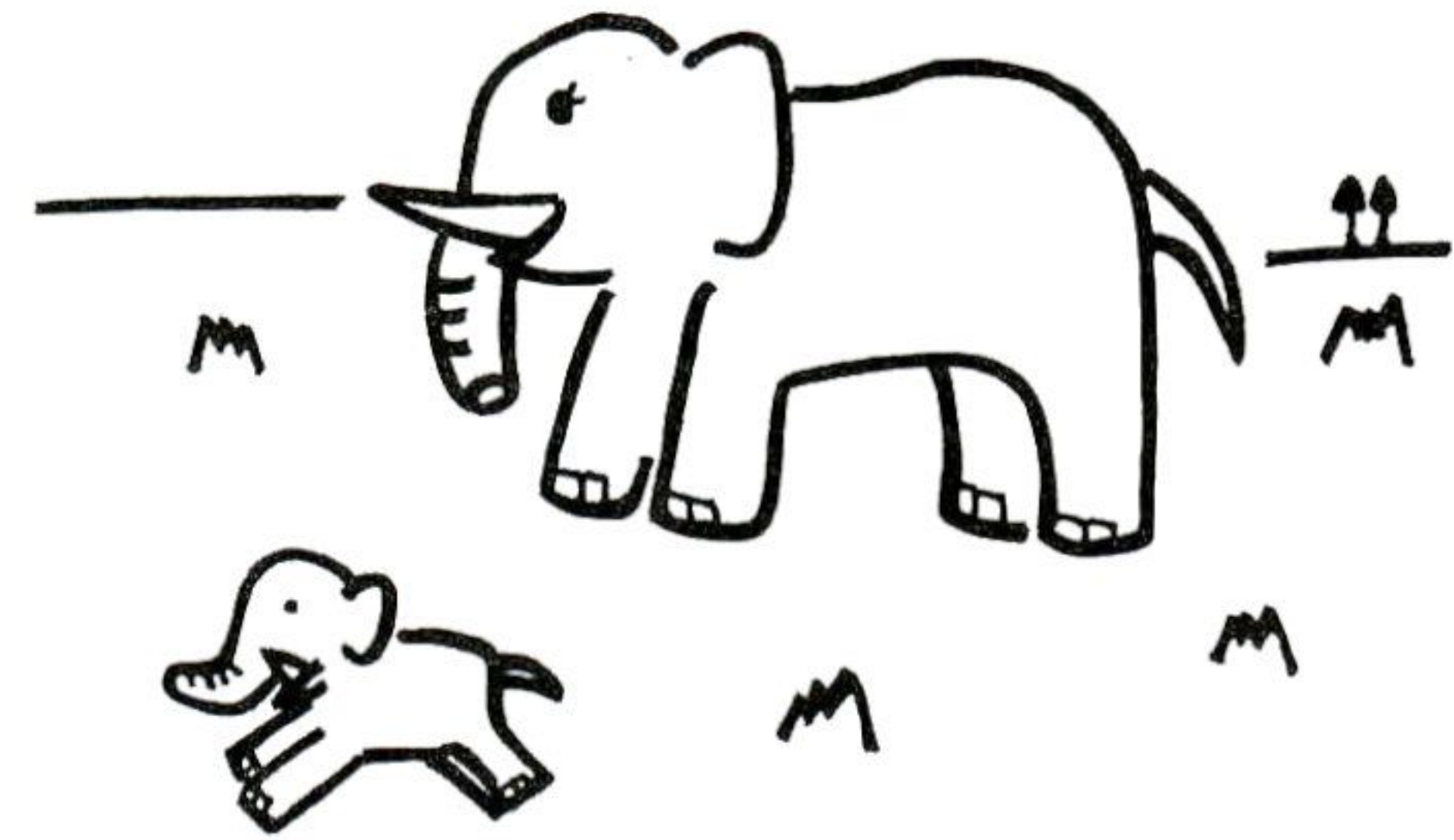
では、フォールトトレランス技術の実現に、具体的にはどのようにすればよいのだろうか。故障に強いシステムを実現するのだから、まず最初に誤りをすばやく見つけなければならない。機械の動作中に故障が発生したとき、それをすばやく発見し対応することができなければ、機械は完全に止まってしまうからだ。しかし、コンピュータの故障というのは、人間が内部を見てもすぐに見つかるものではない。それならば、コンピュータ自身が故障を見つけられるようにすれば、故障の発見はたいへん効率の良いものとなる。さらに、コンピュータ自身で故障した部分を切り離し、その分の仕事を他の正常な部分に割り振れば、全体のスピードは落ちるかもしれないが、完全に機械が停止してしまうことは防ぐことができる。このことを「再構成」と「回復」と言う。

先生がこれまで力を入れてこられたのは、先に述べたような誤り検出の研究である。通常的大型コンピュータには監視用のプロセッサがあり、オンラインの監視をしているが、この方法は監視プロセッサを誰が監視するのかという問題が残る。そこで先生は監視用プロセッサなしでフォールトを自分で見つける機能をもった、セルフチェックングプロセッサというものを研究されている。まだLSIとして実際に作ったことはないが、そのための設計の方法論、構成法に関する研究が続けられているようだ。

この他にもフォールトトレランスを構成する技術については様々なものがあり、先生はこれらの技術について研究をかさねている。



フォールトの分類



Keyword 2 非同期式コンピュータ

現在のコンピュータは、すべてクロックによる同期式である。同期式は非同期式に比べて設計が簡単で、学生実験でおこなわれるほど設計論が確立している。ところが設計論さえできれば、非同期式の方がだんぜん速いものが作れると先生は考えておられる。

コンピュータというものは、単純に言ってしまうえば、素子のスイッチのかたまりであるから、素子のスイッチングが早くなれば、回路のスピードも速くなる。現在では、素子のスイッチング速度の高速化が進み、5ピコ秒の素子ができている。1ピコ秒では光は0.3ミリしか進まない。同期式のコンピュータは、クロック信号が回路の全体に同時刻で行きわたり、同時にスイッチングしていることが前提となっている。しかし実際には、配線による信号伝達の遅れから、回路全体に同時刻にクロック信号を送り出すことは不可能である。

たとえば、1ピコ秒の素子を使って同期式のコンピュータを作ろうとする。1ピコ秒で光は0.3ミリ進むので、チップの大きさが現在の標準的な大きさの15mm×15mmだとすれば、クロック信号は端から端まで行きわたるのに50ピコ秒かかる。この間、1ピコ秒の素子は50回もスイッチング動作を行うことになるので、コンピュータとしては成り立たない。仮に成り立たせようとするれば1mm以下のスケールで回路を作らなければならず、これでは加工技術が追いつかない。つまり、同期式では速い素子を十分に使いこなせない。そこが同期式のスピードの限界である。したがって、速い素子を使うのならば、クロックにとらわれない非



同期式の方が有利である。速い素子を使えば、回路のスピードはその分速くなるので、設計論さえ確立すれば、非同期式の方が速いコンピュータを作ることができるのである。

現在1ピコ秒の素子など存在しないのに、先生は速い素子を使った非同期式のプロセッサの研究をどのようにされているのだろうか。はじめに、既に実用化されているスイッチングの遅い素子を使って、非同期式のプロセッサをつくる。これは実際にチップを作るときに発生しそうな問題を予想し、クロックがなくてもコンピュータとして動くことを確認するためである。次に、計算機でのシミュレーションを行い、素子のスピードを1ナノ秒から1ピコ秒までだんだんと変化させ、そのときの性質がどうなるかを評価する。現存しない素子を使ったコンピュータを、現存する素子で試作することはできない。だから、手段としてはシミュレーションしかないのであり、実際、それで十分なのである。



## 研究室では——研究室の体制から方法まで

南谷研では、これらのキーワードに沿って3つのグループに分かれて研究をしている。一見、複数のテーマに思えるが、先生からみればこれらは全てフォールトトレランスというキーワードにまとめられるという。非同期はタイミングフォールトに強いシステムと考えられるし、またニューラルネットワークはフォールトトレランスのメカニズムを知りたいということで共通なのである。つまり、よりすぐれた計算機システムを作りたい、速くて故障に強いコンピュータを作りたいということである。むしろそのために3つの分野からアプローチしているのだ。

ところで、南谷先生は製品化の段階までの研究は行っていない。大学の研究というのは、企業と異なり、製品を作るのが目的ではなく、物事の

### Keyword 3 ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークの研究が、企業も含めてたいへん盛んになっている。一般には、ニューラルネットワークそのものを使うことに注目されているが、先生はニューラルネットワークが本質的に持つ冗長性に興味があるという。その冗長性は今まで述べてきたものとは少し異なる。我々の脳細胞は20歳くらいを頂点として徐々に死んでいくといわれているが、外からみるとそれほど機能をそこなわず働いている。その時の機能の低下は人によって異なる。よく学習する人は冗長性をどんどん作るから細胞が壊れていっても、前の機能を保てると考えられる。

この脳細胞をモデルとしてコンピュータに取り入れようというのがニューラルネットワークである。ニューラルネットワークでは、学習により自ら冗長性を作りだし、さらなるフォールトトレランスを身に付けていくのである。

原理を解明し、それを体系的な知識としてまとめる、すなわち学問を作ることが目的なのである。そういう意味で、南谷先生の誤り検出の研究は理論的、実験的な面を終え、国際学会で発表し評価も得ている。つまり、誤り検出の研究は終わっているのだ。現在はそういった技術が必要となる時を待っている。企業で製品化するかどうかは世間の要求がでてこないと始まらないのだ。また21世紀になれば、1ピコ秒といった高速の素子が現実にLSI化されて、非同期の研究も必要になるだろう。だから、あらかじめ研究しておいて、その要求を待つのである。大学の使命はその先の研究をし、学問を作ることにあるので、大学の研究者は道を誤ってはいけないのだと先生は語られた。



## 南谷先生の研究目標——HALer

最後に将来の目標について先生にうかがった。「2001年宇宙の旅」で、HALというコンピュータが登場する。HALは、どの部分にフォールトが起こってもきちんと動くというシステム、つまり

フォールトトレランスそのものである。先生の研究の集大成として、2001年までにHALを越えるコンピュータ、頑丈なという意味のhaleをもじって、HALerを作るとというのが目標である。



当面の目標は非同期式のプロセッサを完成させることである。今年中には、従来と同じノイマン型であるがクロックがなくても動くことを示すためのプロセッサが完成する。次のバージョンは、同期式を凌ぐ性能のものを考えている。

それができると、今度はグレイスフルディグラデーション(graceful degradation)がキーワードとなる。このグレイスフルディグラデーションとはコンピュータが故障するとしても、優雅に劣化

する、突然ダウンしないということで、漸次縮退機能と呼ばれる。HALは、要素が壊れても優雅に劣化し、突然ダウンしたり狂ったりしない。これこそまさに漸次縮退機能である。この漸次縮退機能を分散システム上で実現し、そのうえ人工知能を兼ね備えて、HALerという本当に頼れるコンピュータが完成するのである。「21世紀まであと8年、急がないとね」という先生の顔には笑みが浮かんでいた。



## 南谷研の学生のみなさんに聞きました

学生からみた南谷研とはどのようなところだろうか。南谷研に所属されている、修士2年の伊東博義さん、修士1年の野原克利さん、同じく修士1年の桑子雅史さんにお話をうかがうことができた。南谷研は当麻研と米田研と一緒に活動することが多く、昨年の夏ゼミは50人もの人数で4日ばかりにもなった。実験室も当麻研と共同で利用する。かつては研究も共同でしていたが、最近は同じ部屋にいながらお互い何をやっているかわからなくなってきたそうだ。したがって、夏ゼミでは他の研究室の人にもわかるように基礎的なことから発表しなければならなくなった。また、輪講はかなり熱心に行う。南谷研にとって輪講は重要で研究論文を読んだりすることもあるが、今年はおっぱら研究発表を行っている。人の発表を聞くこと、発表して問題点を指摘されることで、研究が行きづまったときには、輪講が助けになることもあるそうである。学生は自由に研究を行い、全員が決まった時間に集まらなくてはならないのは輪講のみであり、それ以外の活動で時間的な拘束はないそうである。自宅からも研究室のワークス

テーションが使えるので学校にしばらく顔を見せない人もいる。実験室にはPC-9801シリーズが十数台あるが、そのほとんどのものがUNIXの端末として使われている。コンピュータの環境は集積の中でもトップクラスであると皆さんは言われていた。南谷研は東工大で純粋に計算機のハードを研究している数少ない研究室である。



南谷研・当麻研共同実験室

今回の取材内容は、南谷先生の研究のほんの導入にすぎない。私達が不勉強であるにもかかわらず、熱心に説明しておられた南谷先生の姿に温厚な人柄が感じられた。また、突然の申し込みにもかかわらず、研究室の学生の皆さんには快く取材を引き受けて頂いた上に、時折冗談を交えながら和気あいあいとお話を聞かせていただいた。その雰囲気、南谷研の日常を垣間見たような気がした。たいへんお忙しいなかで、貴重な時間を割い

ていただいた南谷先生をはじめとする研究室の皆さんに感謝するとともに、今後の南谷研における益々の発展と2001年のHALerの完成を願う次第である。

(木村)