

ユビキタスコンピューティングの技術パラダイム

Technological Paradigm of Ubiquitous Computing

稲垣 耕作 Kosaku INAGAKI

京都大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

嶋 正利 Masatoshi SHIMA

AOIテクノロジー株式会社
AOI Technology, Inc.

要旨

Mooreの法則が続けば、半導体製品の価格性能比は今後10年で約2桁の激変となる。コンピュータと異なる新市場を広く開拓しなければならない時代である。通常は現在を延長しつつ未来戦略を練るが、本論文ではまずさらに遠い未来に視点をおき、そこから逆に過去を見るという視点を加味しつつ2010年を目指すユビキタスコンピューティングの技術パラダイムを検討する。よりどころとするのは稲垣によるコンピュータの30年周期説である。わが国はソフトに弱いこともあり、特に2020年を中心とするソフトの時代を想定しながら、そこからの戦略を推奨する。我々はパターン情報処理、人工知能、ロボティクスなどを重視しており、進化コンピュータなど知能情報処理型技術に基づく「第3パラダイム」を想定する。

Abstract

If Moore's law holds for next ten years, the cost/performance ratio of semiconductor products will reduce to a hundredth. Conventional approach to invent new products against such price shrink is usually the extrapolation of past technologies. Contrarily, this paper tries to estimate the technological paradigm of ubiquitous computing in 2010 looking back from farther future. The 30-year cycle hypothesis of computer technology by Inagaki is assumed. We come back to 2010 from 2020 when new software technology will be prevailing, with the intention of coping with the weakness of Japan software industries. We emphasize the importance of pattern information processing, artificial intelligence, and robotics. We seek for the 'third paradigm' of information technology around evolvable computers.

01 ● まえがき

インテルのG. E. Mooreが半導体の集積度の向上を「18カ月で2倍」と想定したペースは現在も続いている。このペースは10年で101.6倍に相当する。もしも半導体製品が現状維持のまま拡大しなければ、10年後に半導体産業の規模が100分の1になってしまいかねない。

したがって2000年代の情報技術における大テーマの一つは、Mooreの法則によって進展し続ける半導体集積回路技術をいかに活かし、新製品群を世に送り出すかという問題であるとみなされよう。これはハードウェア側からの見方である。圧倒的に情報ネットワーク製品に注目することの多かった2000年以前と比べて、視点がハードウェア側にシフトしつつあるのではないかとこの考え方を本論文の出発点としている。

情報ネットワークというインフラストラクチャはすでに急速に普及している。今後の光ファイバ回線への乗り換えを想定しても、基幹回線は完成レベルに近い。したがって2000年以前の技術爆発時代と異なり、情報ネットワーク技術の進化は緩やかになりつつあるのではなからうか。

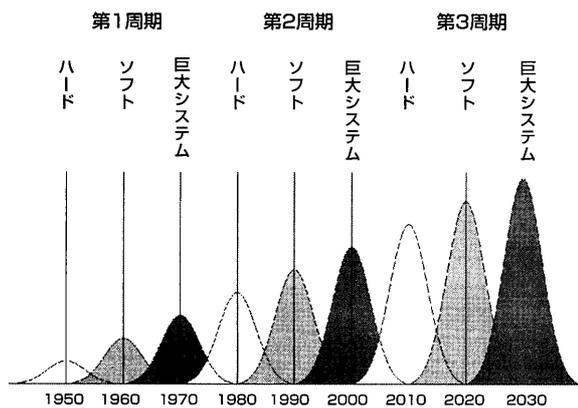
また従来のソフトウェア技術に関しても、すでに基本OSの完成度が高くなってしまったため、近年の技術革新のペースは鈍りつつあるとも見られる。かつてコマンドベースからウィンドウベースへ切り替わったり、ネットワークベースになったほどの革新の動機が少なくなったとも見られよう。現状はマルチメディア機能の“強化”という道を歩んでいる。

そのような中で、ハードウェアの技術革新の比重が相対的に大きくなってきつつあるのではないかと、というのが本論文の立場である。そしてそれを代表するキーワードを、本論文では「ユビキタス」としてとした。

02 ● コンピュータの30年周期説

本論文で述べるのは技術側のパラダイムであって、産業規模を対象とするものではない。技術進化は当然、産業規模に先行する。技術者や資本市場は技術成果を刈り取る普及期よりも技術の勃興期に大きく反応するため、本論文でも技術パラダイムという視点で論じる。

図1 コンピュータの30年周期説



さて、ここで稲垣^[1]の「コンピュータの30年周期説」を紹介したい。この説は1980年代前半に提案したもので、1991年以後に逢沢明の筆名の著書で何度か紹介してきた^{[2]-[4]}。

コンピュータの30年周期説とは、1980年以前のコンピュータ技術史を大胆に単純化して、その周期が80年代以降も続くだろうとした仮説である。図1に図式化して示す。30年を1周期として、現在は第3周期の準備段階である。なお世界の計算能力の総量は超指数法則^{[1], [5]}に従って増加すると考えるため、もしも縦軸方向の発展を定量化するならloglog目盛りだという立場である。

1950年を中心とする時代をハードの時代と考える。1946年にENIACが稼働するなど、コンピュータのハードウェア技術が立ち上がった時代である^[6]。1949年には最初のプログラム内蔵型であるEDSACが稼働した。

1960年を中心とする時代がソフトの時代である。FORTRAN, ALGOL, LISPなど現代的な高級言語が開発され、オペレーティングシステムの原型が誕生した。そして1970年を中心とする時代を巨大システムの時代と呼ぶ。IBMの大型コンピュータが時代の顔であり、スーパーコンピュータILLIAC IVやインターネットの前身であるARPANETなどが登場した。

ハード、ソフト、巨大システムという3段階を経て、1つの周期が完成すると考える。ハードウェアが生まれ、それを利用するソフトウェアが開発され、そして最後にそれらをシステムとして組み上げて、技術が完成期に達するのである。第1周期は個別に近い電子部品を用いたコンピュータが構築された時代であり、集中処理を中心とした大型コンピュータの時代だった。

03●コンピュータの第2周期を再考する

一方、コンピュータの第2周期は、半導体集積回路中に、コンピュータというシステムが組み込まれた時代であると考えられる。その萌芽は1971年のインテル4004であり、本論文の著者の1人である嶋が開発に参加した^[7]。

ただ第2周期のハードの時代は、1980年前後を中心とした時代であると考えられる。1980年前後は超LSIが登場して、当時のパーソナルコンピュータを構成するのに必要な性能に集積回路技術が達した時期である。

4004はそれに先駆けて、技術上の突破口を開いた。第1周期の技術上の突破口が1941年のJ. V. AtanasoffとC. E. BerryによるABCマシンにあると同様の位置づけである。嶋が開発したZ80の登場した1976年が、第2周期のハードの時代が勢いづいた時期であり、第1周期のENIAC登場とある意味で比較できるといえよう。

30年周期説は、このハードの時代のうちに仮説として設定されたものである。1997年に本誌に掲載した論文^[1]では、その背後に複雑系進化における超指数法則という仮説があることを述べた^[8]。ただ当時、この論文を未来の情報通信産業の展開を予想するための重要な参考となると考えた研究者は少なかったことだろう。しかし2000年のネットバブル崩壊を的中させた。

この30年周期説から読み取れることをいくつか述べよう。まず1980年代はハードの時代の影響力が漸減し、ソフトの時代に向かおうとしていた。1990年頃にハードウェア技術はIT分野の主導権を失う。しかし当時、わが国は「電子立国・日本」といって有頂天になっていた。実際、1989年末はわが国のバブル経済の頂点ともなった。

1990年に稲垣は筆名でこの状況に警鐘を発した^[9]。それはハイテクの退潮とバブル崩壊を主題とし、2000年代になって「失われた10年」と呼ばれるのを先取りした警告だった。

翌年、ソフトに弱いわが国がこの状況を切り抜けるには、メディアとネットワークによるべきだとして、ヨコ型ネットワーク論を展開した^[2]。その際に初めて30年周期説を著書に収載した。

情報ネットワークがソフトの時代を超えて勢いを増してくるのは、30年周期説によれば、1990年代半ばのはずだった。実際、わが国では1994年に郵政省がマルチメディア産業123兆円構想と携帯電話機の売り切り制導入によって、情報通信時代の到来に火をつけた。

コンピュータの30年周期説を振り返って、さらに本論文で自信をもっていえるのは、2000年を第2周期における巨大システムの時代の頂点としたのが正しかっただろうという見解である。先進国の株式市場ではその傾向は明瞭すぎるほどはっきりと現れた。すなわちネットバブルの崩壊という事件である。

なお、第2周期の主役となった企業は明らかにマイクロソフト社だった。同社は第1周期からの変わり目である1975年に設立された。そして1981年にハードの時代を代表する製品であるIBM製のパーソナルコンピュータにOSとしてMS-DOSを提供した。

また、ソフトの時代への転換点である1985年にWindowsの第1バージョンを発表した。1992年に実用的なWindows 3.1の出荷にこぎついている。ただ、やや遅れたことが当時のIT景気に悪影響を与えることとなった。

それを教訓にしたのか、1995年にWindows 95を是が非でも出荷にこぎつけ、情報通信ネットワーク時代への転換をなんとか乗り切った。その結果、同社は第2周期の覇者としての地位を確立しつつ、かつ創業者W. H. Gatesは世界一の長者を何年も続けることになった。

04●予測の重要性を考える

ではコンピュータ技術の第3周期はどうなるのだろうか。あるいは実際に第3周期という新周期はありうるのだろうか。元来この種の周期はあいまいなものである。したがってそんなものは存在しないと批判することはごくたやすいだろう。

ただ、文献^{[2]、[4]}にも明記してあるように、この周期は情報通信ネットワーク時代に先立って発表した。そして世の中の動きはそれを追う形で実現していった。的中度が高ければ、根拠が完全でない予測だとしても、有用性が存するわけである。そもそも世の事象を予測するのに、完璧な根拠をもつ予測などありえないわけである。

一方、ある時点まで予想的中度が高かったとしても、その先で予想がはずれるということが起こりうる。30年周期説にしても、今後10年に関しては、後に振り返ってみるまでは著者を含めてだれしも評価しがたい。

もし現時点でこの周期説を評価するとすれば、それは過去に関する部分に限定するしかない。少なくとも1990年代に関しては、この予測を先に公開したため、評価にたえる部分が多い。ただ科学において重要なのは、その予測性であると指摘されるのも事実である。Newton力学が日食や彗星の接近など宇宙現象を正確に予言できるのは、科学上の大きな成果である。

同様に、情報文化学が学問としての重要性を確立するためには、信頼性の高い予測性が伴うべきであろう。そのように考えて、著者らは積極的に予測の公表を行っている。

技術開発のよりどころとして信頼性の高い予測であるならば、関連する産業にとって大きな利益である。個別の技術開発よりもはるかに大きな効果を研究者側から産業界側に与えることが可能である。情報文化学の有用性を実証するという観点で、著者らは本誌上で予測を公表しつつ、かつその事後評価に努めている。

比較すると、確率的な自然現象の予測は困難である。たとえば地震の発生日を予測するのは非常に難しい。一方、人間界の予測は確率的な自然現象より予測がたやすいと考えている。

その理由は、予測を発表することによって、逆に人間界に影響を与えることによっている。妥当性が高いか、あるいは産業界で有用な戦略だとみなされる予測が発表されれば、それを指針とする人々が増える。結果的に、予測が先に出て、世の中がそれを追いつきながら動き始めるという現象が起こるのである。

情報産業においては、たとえば10年程度の周期で新戦略に基づく製品群を開発しないと、技術がたちまち飽和してしまう。その結果、産業規模が拡大しなくなる恐れが懸念される。したがってそのような産業戦略にマッチした予測であるならば、産業界に受け入れられ、予測どおりに製品開発が行われる可能性が高まるのである。

本誌上でも積極的にさまざまな予測が発表されることを奨励したいと考えている。予測が影響することによって、それが実現する。そして情報文化学の学問的重要性が徐々に高まっていくという効果を得られるわけである。

05●ユビキタス——第3周期のハードの時代へ

長らくソフトウェアやネットワークの重要性が説かれることが多かったが、30年周期説によれば2000年代はハードウェアの技術開発が重視される時代である。ユビキタスコンピューティングすなわち「どこでもコンピュータ」の時代はそのような時期だと考えてもよいのではなかろうか。

ユビキタスとは「遍在する」という意味であり、コンピュータという形をした機器以外にもデジタル技術が広く普及する時代である。命名者であるM. Weiserはゼロック社パロアルト研究所にいて1988年にこれを名づけたとする^[10]。最初にubiquitous computingという言葉を用いた彼の論文は1991年9月のものが引用される^[11]。ただ残念ながら彼は1999年に事故死した。

稲垣は彼の論文に先立つ1991年7月に30年周期説を公開し、メディアとネットワークの時代の到来を予測した^[2]。また翌年、ネットワーク以後の時代を描く書を公開し、第3周期を説明するために「コンピュータがコンピュータでなくなる」という章を設けた^[3]。すなわちユビキタスの概念をWeiserと並行して公表していた。

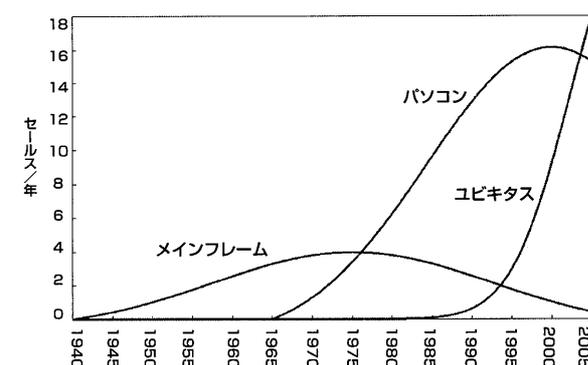
また稲垣の場合、その予測は1984年の論文にさかのぼる^[8]。超指数法則を提唱したこの論文は文書パターン認識技術に関するものであり、Pattern Recognition誌に掲載された。すなわち第3周期の重要技術としてパターン認識、人工知能、ロボティクスなどに注目した。

一方、Weiserは30年周期説に類似した年次予測を1996年に行っている^[12]。それを図2に引用する。縦軸の数字の単位は明らかでないが、メインフレームコンピュータ、パーソナルコンピュータともに推移が正しくないの、概念的な図と思われる(たとえばパソコンは1995年世界約6千万台出荷に対して2000年1億3千万台以上出荷と急伸した)。図でメインフレームは1975年頃、パソコンは2000年頃がピークと読み取れる。

彼はメインフレームの時代を「1台のコンピュータに多数の人々」、パソコンの時代を「1人に1台のコンピュータ」、ユビキタスの時代を「1人に多数のコンピュータ」とした。この指摘は正しいと思われる。彼の仲間のA. C. Kayなど賛同者は多い。

ただWeiserはハードウェアに着目した図しか描いていない。また特徴的なのは2005年までの推移しか予測していないこと

図2 Weiserによる2005年までの予測



である。さらに、彼の論旨^[11]はユビキタスネットワークを包含するものだったが、仮想現実感、マルチメディアコンピュータ、人工知能を拒否し、ソフトウェアもウィンドウズシステムの延長でしかなかった。タブとパッドとボードと呼ぶ装置によるオフィスオートメーションというイメージが主だった。

しかしながら、パソコン以後の時代を予見しようとして、転換点が存在するとした見方は我々とも一致している。図示法はそれぞれの見解の一致しないところがあるが、近い時期にパソコンよりユビキタスコンピューティングの方が技術的重要性を増すと見ている。

Weiserは稲垣の第3周期と同じく、メインフレーム、パソコンに対する第3の波とみなしつつ、彼は無線ネットワークに大きな注目を向けた。一方、稲垣は『ギガソサエティ』^[4]でむしろ毎秒ギガビット級の光ファイバ回線が家庭に届く日に注目している。この光技術はすでにNTTで実験に成功しており、2005年頃に実用化される予定が組まれている^[13]。無線LANはWeiserの予測より高度化する可能性が高く、光ファイバは稲垣の予測に一致する進展をしている。

06●第3周期をソフトの時代から考える

さて本論文で提案しておきたいのは、訪れつつあるユビキタス時代を、過去のパソコンとインターネット技術の延長としてではなく、むしろ「未来から振り返る」という見方である。特に2020年を中心として、新たな第3周期のソフトの時代がやってくると仮定して、ソフトウェア技術の側から考えるのが大事であろうと提案したい。

未来についての予測は簡単に当たるものではないため、新たなソフトの時代が到来するとは保証しない。むしろわが国において今後、新しいソフトウェア産業を創出すべしという意図であると理解願いたい。従来からソフトに弱いといわれることの多かったわが国において、ソフト重視は特に重要な戦略だと考えるためである。

実際、1990年代の「失われた10年」に対する反省を行うなら、30年周期説からの主張はわが国のソフト技術力不足という問題点である。当時、わが国にマイクロソフト社に比肩すべきソフトウェア産業が育っていたならば、90年代の展開はまったく異なっていたのではなかろうか。

1980年代の後半、わが国の大手情報産業はいずれもソフト産業を重視する姿勢を見せていた。しかしながらそのような産業を育てることができなかったのである。

一方、すでに触れたようにマイクロソフト社の設立経緯を振り返るなら、同社は第2周期のハードの時代が明確化した1975年に設立された。ハードの時代のうちに先行してソフト企業としての基礎を築きつつ、第2周期のソフトの時代の萌芽期に最大手であるIBM社と対等の立場でパソコン産業を立ち上げた。

これと同じビジネスモデルは、第3周期でも可能であるのかもしれない。ソフトの時代が鮮明化してからでは遅い。ハード

の時代であるユビキタス化の波が鮮明になる2000年代半ば頃、新たなソフト産業を立ち上げるのが、第2のマイクロソフトになるための最善の道ではなかろうか。

第2周期を手本とするなら、同周期の最大の成功者がマイクロソフトとインテルであったことを忘れるべきでない。稲垣が1992年に第3周期を論じた書『転換期の情報社会』^[9]では、複雑さの壁としてのパターン認識や人工知能アルゴリズムとともに、メカトロニクスを重視している。ハードウェア分野でロボット、マイクロマシン、ナノテクノロジーなどにかかわるメカトロニクスにも注目しておくべきだとの見方である。

このうちハードウェア系に関しては、わが国の実力は現状でかなり信頼に足るとする人々が少なくないだろう。したがってソフトウェア系産業の創出を積極的に後押しすることによって、初めてユビキタス時代以降の両輪がそろう、1990年代の轍を踏まずにすむ可能性があるだろう。

07●セキュリティ技術から見たユビキタス化

そのとき、我々の論旨を部分的に立証するために、情報セキュリティ技術に注目するのは意味のないことではなかろう。第2周期の最後が顕著なネットワーク時代であったため、情報セキュリティ技術が大きな重要性をもち、他よりも先行して技術開発される傾向があったからである。

よく知られているように、情報セキュリティ技術の大きなブレークスルーは1976年にW. DiffieとM. E. Hellmanが提案した公開鍵暗号方式によっている。この暗号方式は第2周期のハードの時代に基礎技術が確立され、ソフトの時代にソフトウェアでの実現が行われつつ、地球規模の巨大システムであるネットワーク時代に急速に実用化されるようになった。

ただし近年、さまざまな製品化を競い、新たな技術開発が行われる中心的領域は、むしろハードウェア側に移行しつつあるものとも見られる。それはバイオメトリクス（生体認証）と総称される新たな技術体系である^[14]。

指紋、署名、声紋、人相、網膜、虹彩、静脈パターンなど、さまざまな方式のバイオメトリクス研究が進められ、近年は急速に製品化が進められている。これらはすべて新しいデジタルハードウェア製品であって、ユビキタスコンピューティングに含められるものである。

注目すべきは、そこで用いられている主要な技術体系はパターン認識技術に分類されるものだという点である。これが30年周期説において第3周期を位置づける我々の論旨を強化する事実となっている。

現状のバイオメトリクスは、パターン認識技術としては低レベルのものを用いている。たとえば指紋認証といえども、1000人程度を見分ける技術である。あるいは100人程度を識別するのがせいぜいの場合もある。簡易で安価なハードとソフトを用いることにより、携帯電話機などのモバイル機器やパソコンなどを守ることを想定している。4桁の暗証番号よりもセキュリティレベルが低いが、他人に真似られることは少ない。

署名、声紋、人相などを対象とする機器の場合には、上記の指紋よりも認証精度が低い。一方、網膜、虹彩、静脈パターンの方が認証精度が一般に高い。それは認識技術が高度だからではなく、認証対象データの性質に基づいている。

我々はこのようなバイオメトリクスを、ユビキタス技術の将来を考える際の指標となる分野の一つだろうと考えている。情報セキュリティで実用される技術が他をいくばくか先導しつつ、ユビキタスコンピューティングの実用化が進展すると考えるのである。

08●パターン認識と人工知能の周期へ

そのような見方が正しいかどうかは、我々としては2000年代半ば以降にユビキタス化の波がさらに本格化すると想定して、その時点以降に立証されるだろうと期待している。情報文化の立場から立証に先行して公表し、この仮説の検証を待ちたい。

また我々の立場は明確に技術者のものである。A. C. Kayが1971年に述べたとして有名な「The best way to predict the future is to invent it」^[16]の立場と同じく、我々も「未来を予測する最高の方法は自分でそれを発明することである」と考えている。

したがって我々は進化コンピュータの理論を構築して、印刷漢字認識などを事例にしつつ、従来の100倍に達する認識精度を実現するパターン認識方式の開発を行っている^[16]。

Weiserは2005年以降に目を向けなかった。一方、我々の30年周期説では、むしろ2000年代半ば以降に第3周期が本格化すると考える。それはハードの時代、ソフトの時代、そして巨大システムの時代を経過するほぼ30年の大規模な技術革新の時代であると想定している。

コンピュータの第3周期は、パターン認識、人工知能、ロボティクスなどの周期になるのではなかろうか。その初期段階を我々はユビキタスという形容で呼ぶが、ユビキタスは第2周期の技術の延長上にあるにすぎない。真のブレークスルーはパターン認識などの技術にあると考えるべきだというのが我々の立場である。

現在、コンピュータ分野で明確なブレークスルーを起さず、残されている最大の未踏領域は、この分野以外にないはずである。その技術上の突破口を見出すことにより、真の新周期の到来とすることができよう。稲垣はごく初期の文献^{[3],[18]}から明確にその方向を示唆している。

第1周期はコンピュータの誕生という大きなブレークスルーによって開かれた。第2周期も嶋らのマイクロプロセッサの誕生によって開かれた。パソコンの父をKayとすることがあるが、実際の開拓者はインテルのメンバーだったのは明らかであり、京都賞もその見解をとった。

そして第3周期を単にユビキタスとするのは弱いと我々は考える。大きな技術的ブレークスルーが必要であり、それをパターン認識などの知能情報処理技術とする方が技術的にははるかに

健全な発展過程をたどるであろう。

その点で我々は現時点以後、コンピュータの「第3周期」と呼ぶよりも、コンピュータの「第3パラダイム」と呼んで、技術的ブレークスルーへの期待を強調したいと考えている。パラダイムとは「技術大系」といった意味で用いている。

09●産業規模・雇用創出・情報文化の視点

ただ残念ながら、現状の国内でのユビキタス化の論議はこのような見方からほど遠いものではなかろうか。最大の問題点は「ユビキタス=ICタグ」と誤解させるような動きではなかろうか。1個1円以下になろうICタグ(RFID)を1億個作っても、売上高は1億円にすぎない。ICタグの産業規模はそれほど大きくない。

しかもそれ以上に大きな問題なのが、「ICタグは雇用創出効果が小さい」という点であろう。POS機器やセンサ機器の需要を見込めるとしても、ICタグは大きな雇用を創出するかと問う場合、そのような意識で構想された製品ではない。

ユビキタス時代はハードウェア技術が主導しつつ到来する。いわば製造業復権の時代であろうと考える。デジタル家電や各種モバイル機器など、非常に大きな規模をもつハードウェア型産業が将来の根幹となって、広範な雇用創出効果を生み出す効果が大きいだろう。ICタグは省力化と合理化効果が伴うとしても、雇用創出力が桁違いに乏しいかと思われ、そこに注力してもユビキタスの中核とはなりえないだろう。

一方、デジタル家電や各種モバイル機器の製品化が進展するならば、それらの製品の普及とともに新たな情報文化が広く育ってくる可能性を伴っている。生活の隅々に浸透する新しいデジタル機器が生活スタイルを変え、新たなコンテンツを生みつつ、そして21世紀的な生活文化を創造するのである。

ICタグがユビキタスの中心かと誤解する風潮は、第2パラダイムの発想を引きずる人々が、パソコンやネットワークの延長上でユビキタス技術を考えるからではなかろうか。今や技術パラダイムが大きく変わり、情報分野で中核技術のブレークスルーを起すことが最も重要であるという意識が乏しいのかもしれない。

従来のパソコンは、結局のところ使い勝手の悪さが障害となって、テレビ並みの普及には至っていない。ユビキタス時代には、ヒューマンインタフェースの改善のみならず、パソコンという形態自体がさらに大きく変貌し、ふたたび目覚ましい進化を始めるのかもしれない。そのとき知能情報処理技術を今後の鍵を握る技術パラダイムに加えるべきであろうというのが我々の見解であり、その標語を進化コンピュータにしている。

10●あとがき

本論文ではユビキタスコンピューティング以後という第3パラダイムを、コンピュータ技術史全体を展望したコンピュータ

の30年周期説から検討した。ユビキタス時代はハードウェアに重点がおかれるが、ソフトウェア技術からの反映で考えるのがわが国の産業戦略として重要であり、知能情報処理技術に注目すべきこと、情報セキュリティ技術の動向を注視せよなどの意見が我々の結論である。

ユビキタスの提唱者であるWeiserは、2005年以降の見方がほとんど確立できていなかった。あるいは現時点以前に関してさえ古色蒼然とした面が多い。一方、我々の見方が何らかの妥当性をもつか否かも、当面は2005年や2010年前後の時点で検証する必要がある。ただ海外でのユビキタスの提唱に先立つ形でわが国でも未来の情報技術パラダイムと文化に対する考察が、情報文化学の立場を主にして行われていたことを知っていただければ幸いである。

謝辞

稲垣がご指導ご助言いただく上田 院 公立はこだて未来大学教授に深謝する。また調査研究と情報整理に協力いただいた(有)エイチ・アイ・エンタープライズの諸氏にも感謝する。



稲垣 耕作 ●いながき こうさく
1977年京大・工・博士了。工博。京都大学助手を経て、現在京都大学助教授(大学院情報学研究所)。専門は基礎情報学、情報文明学、情報物理学。ペンネーム達沢明でも活動。著書に「コンピュータ科学の基礎」、「複雑系を超えて」(共著)、「ネットワーク思考のすすめ」、「ゲーム理論トレーニング」など。



嶋 正利 ●しま まさとし
1967年東北大・理・化工卒、ビジコン入社。世界初のマイクロプロセッサ4004開発。1972年インテル入社。8080マイクロプロセッサ開発。1975年サイログ入社。Z80とZ8000開発。1997年(株)トプス設立。2000年会津大教授。2003年10月よりAOIテクノロジー(株)。工博。1997年京都賞。1998年米国半導体生誕50周年記念「Inventor of MPU」賞。

著者略歴

参考文献

- [1] 稲垣耕作, 創発仮説とコンピュータの30年周期説, 情報文化学会誌, vol. 4, no. 1, pp. 53-61 (1997).
- [2] 達沢明, 情報新人類の挑戦, 光文社カッパ・サイエンス (1991年7月).
- [3] 達沢明, 転換期の情報社会, 講談社現代新書 (1992年8月).
- [4] 達沢明, ギガソサエティ, ジャストシステム (1996年6月).
- [5] 稲垣耕作, 嶋正利, 技術革新はMooreの法則を超える, 情報文化学会誌, vol. 8, no. 1, pp. 37-44 (2001).
- [6] 稲垣耕作, コンピュータ科学の基礎, コロナ社 (1996).
- [7] 嶋正利, マイクロコンピュータの誕生——わが青春の4004, 岩波書店 (1987).
- [8] K. Inagaki, et al., MACSYM: A Hierarchical Parallel Image Processing System for Event-Driven Pattern Understanding of Documents, Pattern Recognition, vol. 17, no. 1, pp. 85-108 (1984).
- [9] 達沢明, コンピュータ社会が崩壊する日, 光文社カッパ・サイエンス (1990年3月).
- [10] M. Weiser, <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html> (Oct 1996).
- [11] M. Weiser, The computer for the 21st century, Scientific American, No. 265, pp. 94-104 (Sep. 1991).
- [12] M. Weiser, Nomadic issues in ubiquitous computing, <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/NomadicInteractive/> (Mar. 1996).
- [13] 日本経済新聞 (2003年6月8日).
- [14] 瀬戸洋一, サイバーセキュリティにおける生体認証技術, 共立出版 (2002).
- [15] A. C. Kay, <http://www.smalltalk.org/alankay.html>.
- [16] 稲垣耕作, 嶋正利, 上田 院, 99.999%の漢字認識と言語情報処理 (1) — 複雑系進化に基づく考察と基礎実験, 情報文化学会誌, vol. 9, no. 1, pp. 6-13 (2002).