

「ムーアの法則」が満40歳に Moore for less

doi:10.1038/news050418-14/21 April 2005

Philip Ball

半導体チップの集積密度が上がるスピードについて予言した、有名な「ムーア (Moore) の法則」は今年で満40歳の誕生日を迎えたが、まだ破たんしていない。しかし、いつまでも有効なわけではないと、ネイチャー編集顧問の Philip Ball は述べている。

Gordon Moore はちょうど40年前、1965年4月19日号の専門誌に未来を予測する記事「集積回路により多数の素子を詰め込む (Cramming more components onto integrated circuits)」を書いた。このとき、ノートパソコンの出現はまだ遠い先のことだった。

この記事の中ほどにある漫画を見れば、当時の空気がよく伝わってくる。漫画には、ずるがしそうな笑いを浮かべたセールスマンが、見本市で陳列台から「使いやすい家庭用コンピューター」と書かれた本の大きさほどの箱を取って、愚かな消費者に売り込もうとしているようすが描かれている。明らかにこの雑誌は、「集積回路によって、家庭

用コンピューターといった不思議なものが実現される」という Moore の主張をほとんど冗談のようにみなしていた。

それは意外なことではないかもしれない。Moore 自身、当時彼が想像できた家庭用コンピューターのユーザーは「レシピを保存する主婦」だけだったと打ち明けている。

しかし、家庭用コンピューターという考えは結局、荒唐無稽なものではなかった。その記事の重要部分がでたらめなことではなかったように、Moore は「たった0.25平方インチの大きさのシリコンチップ上に6万5000個の電子素子を詰め込むことが、1975年までに可能になるかもしれない」と主張し

たのだ。

1965年には50個の素子でできた集積回路が最先端だったことを考えると、この主張は無謀と紙一重だった。しかし、Moore は正しかった。そして信じられないことだが、彼の主張は40年間にわたって正しかったのだ。

Moore が指摘したのは、「シリコン (ケイ素) でできた集積回路の複雑さは、それが発明されて以来、1年で2倍になってきた」ということだ。これは指数関数的な成長である。Moore の法則は現在では通常、「複雑さのものさしであるチップ上の素子密度は、18か月で2倍になる」と表現される。この法則どおりに進歩した結果、40年後のシリ

コンチップの複雑さは驚くばかりの規模に達した。現在のチップには、5億個のトランジスタを含むものもある。

トランジスタからノートパソコンへ

この法則をこれほど早く見出したことは非凡なことだった。1965年、Gordon Mooreは生まれて間もない半導体産業の中心にいた。彼は当時36歳で、フェアチャイルド・セミコンダクター社の研究開発部長だった。集積回路は、Robert Noyceによって1959年に同社で開発されていた。Mooreは「当時、だれもが集積回路の必要性をわかっていただけではなかった」と語る。「(集積回路ではなく)部品をくれればいいんだ。回路は自分で作らせてくれ」というエンジニアも少なくなかったという。

フェアチャイルド社に加わる前、Mooreはトランジスタの発明者のひとり、William Shockleyが設立した会社で働いていた。1968年、MooreとNoyceはフェアチャイルド社をやめ、インテル社を設立した(彼らは社名をMoore Noyceとしないことにした)。エレクトロニクスの世界では、「more noise (さらに多くのノイズ)」はよいことではないから)。1971年にインテル社は、最初のマイクロプロセッサ「インテル4004」を開発し、そこから、ブートゥースでリンクされた今手元にある薄型ノートパソコンにいたる進歩が始まったのだ。それは、Mooreの法則どおりに進んだ。

大きさの決まった電子回路の素子密度を増やすには、ひとつひとつの素子を小さくしなければならない。素子の縮小化はエッチング技術を改良し、シリコン上に作る構造をより小さくすることで実現されてきた。

Mooreは「小さくすると、あらゆる点で同時によくなる」という。コンピューターの処理速度は上昇し、素子ごとの消費電力は下がり、システムの信頼性は上がる。コンピューターで仕事をするコストは劇的に小さくなり、月ロケットのアポロ11号が搭載していたコン

ピューターよりも、今の「ゲームボーイ」(任天堂の小型携帯ゲーム機)の方が処理能力は高い。

Mooreの法則は、もとは経験則として提案されたが、「予測されたがために実現されるべき予測」と考える人たちもいる。つまり、半導体メーカーとしては、実現できなければ負けを認めることになる、というわけだ。しかし、この「法則」を実現させてきた原動力は半導体産業での激しい競争だった、というほうが妥当だろう。

「今では、半導体産業はこの法則に病的なほど過剰に取りつかれ、開発にどれだけコストがかかろうとおかまいなしに、さらに高いチップ密度を目指している」と主張する人もいる。グーグル社のEric Schmidt会長は3年前、グーグル社はインテルの最新マイクロプロセッサ「イタニウム」に高い金を払うつもりはなく、自社のサーバーをもっと安いプロセッサで作るつもりだと発表し、人々を驚かせた。より高い処理能力が、すべての問題の解決策というわけではない。

いつまで続くのか？

Mooreは、彼が見出した指数関数的成長がどれだけ長く続くかについては述べなかった。実のところ、彼は1970年代のはるか先まで考えていたわけではなかったのである。ここ10年ほどの間に数回、法則の終えんは間近だと予測されたが、半導体産業は法則に沿った成長を達成し続けてきた。

開発競争における現在の最新技術は「90ナノメートルテクノロジー」とよばれている。この技術では、(その名称とずれているが)さしわたし50ナノメートル(1ミリの10万分の5)のトランジスタが使われている。次世代チップは今年にも登場する予定で、「65ナノメートルテクノロジー」を使っている。インテル社は2010年までに15ナノメートルのテクノロジーを実現しているだろうと予測する。すでにこの大きさのシリコンデバイスが機能することが確

かめられている。

しかし、こうした縮小化にも限界があるはずだ。Mooreでさえ、「永遠には続かない」と認めていた。もし、Mooreの法則にのっとって進めば、21世紀半ばにはトランジスタ1個が原子1個と同じくらいに小さくならなければならない。そこまでいっても、チップが小さくなりすぎると、絶縁フィルムが薄すぎて短絡を防げなくなるだろう。また、密集した回路を流れる電流が生む熱でチップが融ける恐れもでてくる。

分子や量子の世界へ？

では、どうすればよいのか。ひとつひとつの分子から電気回路網を作り上げることで縮小化を続けることができるだろうと考える人もいる。しかし、ビジネスとして成り立つプロトタイプは、まだ実現していない。また、量子力学の理論を応用し、「量子コンピューター」で膨大な数の計算を並行して行うことができるようになるだろうという人もいるが、これは技術的にむずかしく、実際にはまだ先の選択肢だ。

短期的な方策としては、まったく新しい設計のトランジスタか、各計算タスクに応じて結合の仕方を変えることができるデバイスを使った回路が必要だ。これらの計算方法は従来のコンピューターとは完全に異なっており、それをMooreの法則に当てはめてみてもあまり意味がないといえよう。

今後、チップがどのように作り直されるかはまだわからない。しかし、今は廃刊になった「エレクトロニクス」誌の1965年4月19日号が、どこかに保管されているならば、あなたはインテル社に連絡してみてください。インテル社は4月、この号を譲ってくれた人に1万米ドル(約106万円)を支払うと表明した。■

*その後、「エレクトロニクス」誌1965年4月19日号の所有者がみつき、インテル社の雑誌探しは終了した。