

# 何故，人はコンピュータを 2進法を使って創り，自然は遺伝子を 4進法を用いて記憶したのか？

真 田 英 彦

## 1. はじめに

学生時代に阪大工学部手塚研究室で，当時助手をしておられた長谷川利治先生（南山大学教授，京大名誉教授）と議論したことを懐かしく思い出します。どうしてコンピュータは2進法なんだろう？ 日常使い慣れているのは圧倒的に10進法なのに，わざわざ使いにくい2進法を使うことはないじゃないの？ ブール代数の存在を知り，その勉強をしていくにつれ疑問は解消されました。それじゃ最適進法は考えられるのかな？ ブール代数の持つ論理演算の強力な能力はおいといて，とりあえず次のように考えました。費用一定の制約条件の下に，記憶し表現できる情報を最大にする進法は何進法なんだろうと。

同じ研究室で多値論理を研究していた当時の学生諸氏北橋忠弘氏（関西学院大学教授，阪大名誉教授）や長岡良富氏（けいはんな新産業創出・交流センター長，元松下電器産業株式会社取締役 AVC 副社長）らと討論して得られた結論は，e進法でした。

## 2. 最適 n 進法は？

次のような、至極当たり前と思われる 2 つの仮定をおいて考えました。

仮定：① n 値素子を m 個使用して表現できる数を N とし、N を最大化する。

② n 値素子を 1 個作るコストは n に比例するとする。

すると、

$$N = n^m \quad (\text{n 進 m 桁}) \quad (1)$$

コストは、

$$C = nm \quad (\text{比例定数を 1 とする}) \quad (2)$$

C を一定として n を変化させて N を最大化することは

$$\frac{\log n}{n} \quad (3)$$

すなわち (3) 式を最大化することであるから、微分して 0 とおけば、最適の n の値として e が得られる。

以上の議論を微分を使わずに解いてみると

(2) 式から  $m = C/n$  として (1) 式に代入し

$$N = n^{C/n} \quad (4)$$

となるので (4) 式を  $C = 1$  として計算してプロットしてみると図 1 のようになる。

e 値素子は実際には存在し得ないので、整数値として可能な値を選ぶと、3 が最有力候補である。2 と 4 は、次の候補である。ところが 3 値素子を作るのは結構厄介である。もちろん 3 値素子が簡単に手に入れば面白いの

何故、人はコンピュータを2進法を使って創り、  
自然は遺伝子を4進法を用いて記憶したのか？

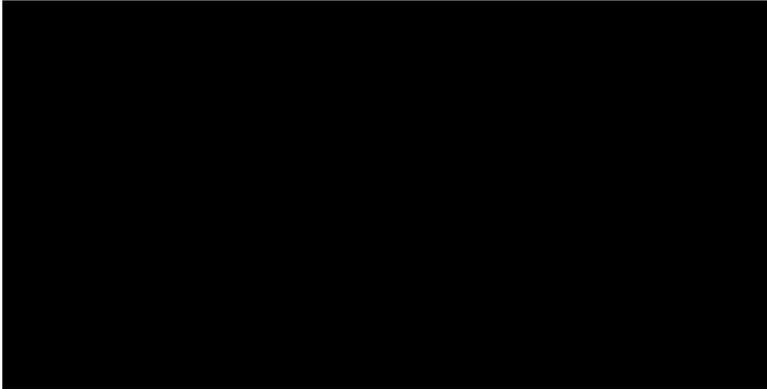


図1 記憶容量

で、当時発明されたばかりの江崎ダイオードを2個使えば3値素子ができるので考えてみたが、4値素子を作るのと変わらないコストがかかるため得にはならない。

作りやすさを考慮すると2値と4値が最適候補とすることになる。

2値素子と4値素子とは上記の考え方では全く差がない。

### 3. 自然は遺伝子情報の記憶・表現方法として、 何故4進法を用いたのか？

遺伝子の果たすべき役割を考慮するとコピーを作ることが基本となるから

仮定：① コピーを作る方法が速い。

② 副産物を作らないほうが望ましい。

を条件として考えてみる。

4は偶数であるから4値素子を使えばコピーを作るのに便利な2つのペアが作れる。4値をA(アデニン)、T(チミン)、C(シトシン)、G(グアニン)という4種類の塩基とすると(A, T)と(C, G)をペアとして、DNAでは使っている。たとえばATG-TCTという情報は、ATGがメチオニンを次のTCTがセリンというアミノ酸を示しているが、図2のように書ける。このような構造のコピーを作る作業を考察してみると2重螺旋のペアを高温にすることにより分解して対応する塩基を補充してやれば簡単にコピーを作れる。この方法では1回の細胞分裂により2倍に増え、しかも副産物はない。べき乗で増えるからはるかに早い。

2値素子を用いてコピーを作る普通の手順は、コピー機が普通やるように、陰画を作りそれからトナーを振り掛けることにより陽画を作る。千枚のコピーを作るには千回の手数がかかる。陰画は一枚でよいが、これは副産物であり、廃棄処理が必要となる。細胞分裂のように、1つから2つ、2つから4つ、4つから8つ、8つから16へとべき乗で増えると千の複製を作るのに僅かに十回の細胞分裂ですむ。この差はきわめて大きい。人間の細胞を60兆としても46回の細胞分裂で済む。しかも廃棄処理は不要であるから圧倒的に有利である。

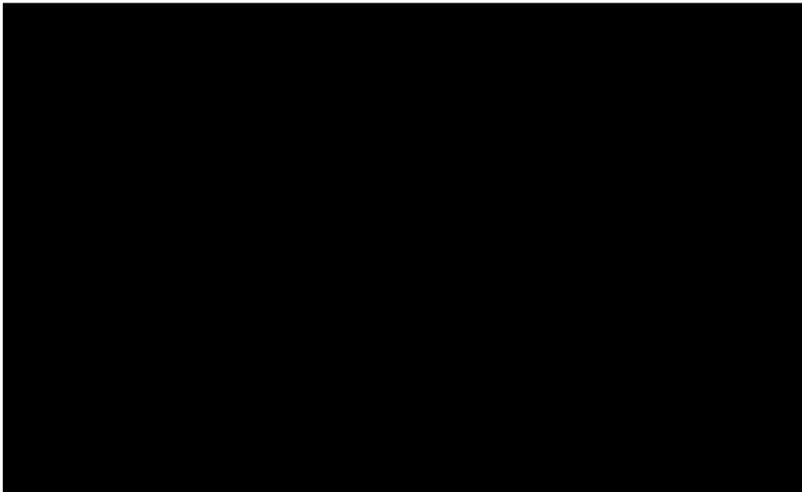
2値素子を用いれば、発生する陰画を廃棄しなければならない。3値素子ではペアがうまく作れないので実現できない。2値と4値の差は遺伝子の長さにも関係する。4値の方は長さが半分になる。

DNAの二重螺旋構造が明らかにされたのは1953年、J. ワトソンとF. クリックによってであった。また細胞のDNAをコピーする方法はポリメラーゼ・チェーン・リアクション(PCR, DNAポリメラーゼ連鎖反応)と呼ばれる人工的な方法が開発されている。開発者のキャリー・B・マリスは、1993年のノーベル化学賞を受賞している。DNAの複製時にはDNA合成酵素(DNAポリメラーゼ)を必要とする。

何故、人はコンピュータを2進法を使って創り、  
自然は遺伝子を4進法を用いて記憶したのか？



(a) 遺伝子情報の螺旋構造<sup>1)</sup>



(b) 細胞分裂による遺伝子の増殖

図2 遺伝子 DNA とその増殖

#### 4. む す び

遺伝子のように安易に変化されると困る情報がデジタル化されているのは当然として、螺旋に畳み込んでコンパクトな記憶を実現しているのだから驚嘆すべき工夫である。しかも2倍・2倍・2倍とべき乗で増える計算であるから非常に増殖が早い。陰画のような後で廃棄しなければならない余分なものを作らない。すなわち、無駄なくすばやくコピーを作る最適の方法を、自然は進化を利用して実現したのである。

#### 引用文献

- 1) <http://ja.wikipedia.org/wiki/DNA> より一部分を引用

謝辞：e進法については、40年程の昔に議論したことだったので、ほとんど忘れてしまっていたことだったので、奈良産業大学助教授の水谷直樹先生との会話中に、私が定式化をして見せると、彼は少し頭の中で暗算するかのように考えていましたが、すぐ「そうですね、e進法が最適ですね」とさらさらと書き出してくれました。それをきっかけに昔の議論を思い出したものです。ここに記して感謝します。