

今回の内容

1.1 シラバス抜粋と欠席について . . . . .	1-1
1.2 計算機と情報 . . . . .	1-2
1.3 アナログ情報とデジタル情報 . . . . .	1-5

1.1 シラバス抜粋と欠席について

講義概要	<p>いろいろな用途にコンピュータが使われています。Web ブラウザを使ってネットサーフィンができるのも、家庭用ゲーム機で仮想世界を体験できるのも、洗濯機や炊飯器が簡単に使えるのも、コンピュータの働きのおかげです。ボタンを押した、マウスを動かしたといった現実の世界での出来事を、コンピュータはどのようにして知り、それをどのように処理し、どのように現実世界に反映させているのか、その仕組みを解説します。</p>																
到達目標	<p>日頃お世話になっているコンピュータがどのような仕組みで動いているのかを理解し、コンピュータを使うと何ができそうかといった事に関する感覚が養われることを期待しています。</p>																
講義方法	<p>配布した資料に沿って講義を行います。</p>																
成績評価の方法	<p>期末試験(100点満点)と適宜行う小テストで評価します。期末試験が <math>x</math> 点、小テストの得点率が <math>y\%</math> のとき、総合的な成績は <math>x + (100 - x)y/200</math> 点(端数切り捨て)となります。</p>																
欠席について	<p>以下のような場合には、欠席した小テストの得点を他の小テストの平均得点率(端数切り捨て)で置き換えます。ただし、3回目以降の欠席については、通常の欠席扱い(0点)とします。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 介護実習、教育実習等での欠席届がある場合</li> <li>● 病気、怪我、事故、不幸等で、事後1週間以内に状況を説明する資料(診断書等)とともに欠席届が出された場合</li> <li>● その他のやむを得ない事情で、事前に(状況を説明する資料とともに)欠席届が出された場合</li> </ul>																
講義計画	<table border="0"> <tr> <td>(1) 計算機と情報</td> <td>(9) 論理素子</td> </tr> <tr> <td>(2) アナログ情報とデジタル情報</td> <td>(10) 演算装置の仕組み</td> </tr> <tr> <td>(3) 自然数の符号化</td> <td>(11) 負の整数の符号化</td> </tr> <tr> <td>(4) 文字列の符号化</td> <td>(12) CPU の仕組み</td> </tr> <tr> <td>(5) 計算機の構成</td> <td>(13) 機械語プログラム</td> </tr> <tr> <td>(6) 入出力装置の仕組み</td> <td>(14) プログラムとプロセス</td> </tr> <tr> <td>(7) 主記憶装置の仕組み</td> <td>(15) メモリ管理</td> </tr> <tr> <td>(8) 補助記憶装置の仕組み</td> <td></td> </tr> </table>	(1) 計算機と情報	(9) 論理素子	(2) アナログ情報とデジタル情報	(10) 演算装置の仕組み	(3) 自然数の符号化	(11) 負の整数の符号化	(4) 文字列の符号化	(12) CPU の仕組み	(5) 計算機の構成	(13) 機械語プログラム	(6) 入出力装置の仕組み	(14) プログラムとプロセス	(7) 主記憶装置の仕組み	(15) メモリ管理	(8) 補助記憶装置の仕組み	
(1) 計算機と情報	(9) 論理素子																
(2) アナログ情報とデジタル情報	(10) 演算装置の仕組み																
(3) 自然数の符号化	(11) 負の整数の符号化																
(4) 文字列の符号化	(12) CPU の仕組み																
(5) 計算機の構成	(13) 機械語プログラム																
(6) 入出力装置の仕組み	(14) プログラムとプロセス																
(7) 主記憶装置の仕組み	(15) メモリ管理																
(8) 補助記憶装置の仕組み																	

系統的履修科目	計算機基礎実習 I、II
テキスト	なし。配布資料は次の Web ページから入手できます。 <a href="http://www602.math.ryukoku.ac.jp/%7Enakano/IPS1/index.html">http://www602.math.ryukoku.ac.jp/%7Enakano/IPS1/index.html</a>
参考文献	久野靖『改訂2版 UNIX による計算機科学入門』(丸善) 3570 円 矢沢久雄『コンピュータはなぜ動くのか』(日経 BP) 2520 円

## 1.2 計算機と情報

### 計算機とは

「計算機」という言葉を国語辞典<sup>1</sup>で引くと、

**けいさん - き【計算機 / 計算器】**

計算を行うのに用いる機械。加減乗除から方程式の根の計算などまで行う。計算尺・アナログコンピューターなどのアナログ計算機と、そろばん・手動および電動計算機・コンピューターなどのデジタル計算機とがある。

というような説明がされています。もちろん、計算尺やそろばんも計算機(器)ですが、この科目では、「計算機」という言葉を、いわゆる「コンピューター」を意味するものとして用います<sup>2</sup>。

では「コンピューター」とは何でしょうか。同じ国語辞典で「コンピューター」を引いてみると

**コンピューター【computer】**

計算機。特に、電子計算機。トランジスター・IC・LSI などの電子回路を用いて、高速度で計算やデータ処理、また、情報の記憶保存・検索などができる装置。1946 年に米国で開発された ENIAC(エニアック)が最初。

とありますが、もう少し正確に、この科目で「計算機」と言えば次の 3 つの条件を満たすものとします。

- 電子式 — 電圧や電流の大小で情報を表現し、トランジスタなどの素子を使った電子回路でその処理を実現しているもの。たとえば、そろばんや計算尺は違います。
- デジタル<sup>3</sup>方式 — 離散的な量(飛び飛びの値<sup>4</sup>)の組み合わせで情報を表現しているもの。たとえば、そろばんはデジタル方式ですが、計算尺やアナログ計算機<sup>5</sup>は違います。
- プログラム内蔵方式<sup>6</sup> — 計算機の行なうべき仕事の記述(プログラム)をデータとして記憶することができ、そのプログラムに基づいて動作することができること。たとえば、そろば

<sup>1</sup>大辞泉(小学館) <http://dic.yahoo.co.jp/>

<sup>2</sup>この科目に限らず、情報技術分野では、多くの場合「計算機」を「デジタルコンピューター」の意味で用います。

<sup>3</sup>「デジタル」と言ったり「デジタル」と言ったりします。

<sup>4</sup>多くの場合は 2 種類の値。

<sup>5</sup>数値データの大小を電圧や電流などの大小(連続的な量)で表現し、電子回路を使って計算を行なう計算機のこと。

<sup>6</sup>フォンノイマン(von Neumann)型計算機とも言います。

んや計算尺にはプログラムというものがそもそもありません。あるとしても、それを使っている人間の頭の中にあることになりしますので、プログラム内蔵方式とは呼ばません。

たとえば、情報処理実習室に並んでいるパソコンはそうですし、家庭用ゲーム機はもちろん、炊飯器やエアコンなどの家電製品にも、その動作を制御するために（上の3つの条件を満たす）コンピュータ<sup>7</sup>が組み込まれている場合がほとんどです。携帯電話、自動車、銀行のATMにもコンピュータが使われています。また、大量の情報を蓄積・処理することが必要な鉄道の座席予約システム、銀行の勘定（オンライン）システム、コンビニエンスストアの販売時点管理（POS）システムなどもコンピュータを使ったシステムの典型と言えます。大学での学籍・成績の管理システムもそうです。

世界初の汎用電子計算機は、1946年に米国で開発されたENIAC（エニアック）であると言われています。ペンシルバニア大学のJ.P.EckertとJ.W.Mauchlyによって開発されたもので、17468本の真空管、1500個のリレー（継電器）を使った総重量30tの電子計算機であり、150～200kwもの電力を消費したそうです。また、開発された当初のENIACも、電子式で、かつデジタル方式でしたが、計算の手順を変えるためには配線を変えなければならなかったので、プログラム内蔵方式とは言えませんでした。

## 計算機の仕事

計算機（コンピュータ）の役割は何でしょうか。エアコンに組み込まれている計算機のやっていることを想像してみますと、そのおおよその流れは次のようなものと考えられるでしょう。

- リモコンから送られて来る情報（どのボタンが押されたかなど）や、室温センサーからの情報（室温は何度か）などを受け取る。
- あらかじめ与えられていたプログラムの指示に従って、受け取った情報を処理し、その結果に基づいて、圧縮機や送風ファンの出力、送風口のフィンの向きなどを調整する。また、現在のエアコンの状態を記憶しておく。

一方、情報処理実習室に並んでいるようなパソコンの場合はどうでしょうか。

- マウスやキーボードなどから送られて来る情報（どのキーが押されたかなど）や、パソコンが接続されているネットワークから（電線や光ファイバを通して）得られる情報を受け取る。
- プログラムの指示に基づいて、これらの情報を処理し、その結果に基づいて、ディスプレイに表示される画像、スピーカーに出力される音、ネットワークに送出される信号などを制御する。また、得られた情報（作成された文書ファイルなど）をハードディスクなどに記憶しておく。

これらに共通しているのは、次のような流れです。

- 現実の（物理的な）世界の出来事に関する情報を適当な入力装置によって受け取る。
- 過去に記憶された情報を参照しながら、プログラムの指示に従って受け取った情報を処理する。

---

<sup>7</sup>「まどろこしいので、「コンピューター」と伸ばさずに、できるだけ「コンピュータ」と書くことにします

- その結果に基づき、新しい指示を適当な出力装置に送り出すことによって、現実の世界に何らかの影響を与える。あるいは、新たな情報を計算機の内部や外部の記憶装置に記憶する。

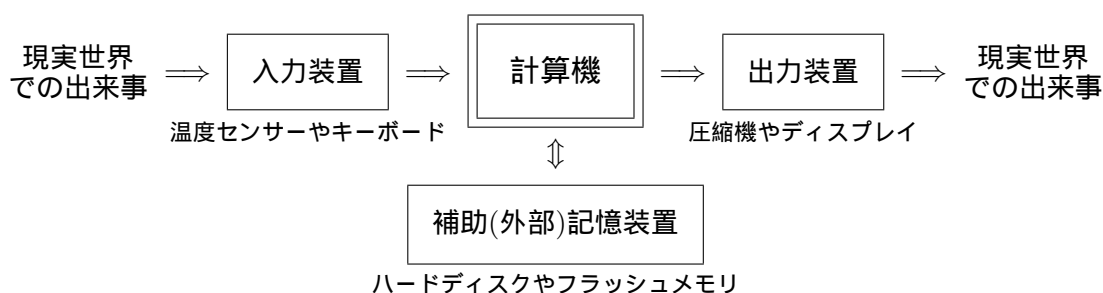


図 1: 計算機の扱う情報の流れ

パソコンのネットワークへの接続に使われている通信装置は、入力装置でもあり出力装置でもあると考えることができます。ただし、この入出力装置は現実世界に関する情報を得たり、現実世界に影響を与えたりするのが目的ではなく、他の計算機と情報を交換するために用いられています。

ここでは、入力装置や出力装置、補助(外部)記憶装置を計算機の外側の世界にあるものとして考えていますが、これらを計算機の内部にあるものとして考えることもあります。たとえば、パソコンのことを「計算機」と呼んだ場合、キーボードやマウス、ディスプレイ、ハードディスクなどを含めたシステム全体を意味するのが普通です。

### 計算機が取り扱うもの

入力装置や出力装置を計算機の外側の世界にあるものとして考えた時、計算機自体が行なっている仕事が現実世界に直接影響を与えることはありません<sup>8</sup>。もちろん、入力装置や出力装置との間では、何らかの物理的な現象が起こることで情報が伝えられるわけですが、計算機の目的は、その現象自体を検知したり発生させることではなく、あくまで、その現象で表現したかった情報を受け渡すことです。計算機は、情報を受け取り、記憶、加工し、また情報を送り出すための機械と考えることができます。計算機が取り扱うものはすべて情報です。

ちなみに、同じ国語辞典で「情報」という言葉を引いてみますと、

#### じょう - ほう〔ジャウ - 情報〕

- 1 ある物事の内容や事情についての知らせ。インフォメーション。「事件についての を得る」「を流す」「を交換する」「がもれる」「極秘」
- 2 文字・数字などの記号やシンボルの媒体によって伝達され、受け手に状況に対する知識や適切な判断を生じさせるもの。「時代」
- 3 生体系が働くための指令や信号。神経系の神経情報、内分泌系のホルモン情報、遺伝情報など。

とありますが、この科目で言うところの「情報」は、2番目の意味をさらに一般化したものになります。

<sup>8</sup>もちろん、計算機が電力を消費したり、熱や騒音を発生したりすることはありますが、これは計算機の本来の仕事とは考えないことにします。

### 1.3 アナログ情報とデジタル情報

計算機は

- 実世界の出来事 (物理的な現象) を、また実世界の出来事として反映させる働きの一部を担っていること
- しかし、計算機が実際に取り扱うのは、物理的な現象そのものではなく、「情報」という仮想的な存在であること

を説明しました。では、計算機が扱う情報とはどのようなものでしょうか。たとえば、エアコンを制御している計算機が、温度センサーから室温に関する情報を受け取る状況を考えてみましょう。

室温のように、取りうる値が連続的に広がっている量をアナログ量と呼びます。皮膚で感じる気温、目で感じる光の強さやその空間的分布 (物体の位置)、耳で感じる音 (空気圧の時間的変化) など、人間が直接感じ取ることのできる出来事 (物理現象) に現れる量はすべてアナログ量と考えることができます。

室温などのアナログ量を伝える最も単純な方法として考えられるのは、これを電圧や電流などの別の物理的アナログ量で表現することです。あるアナログ量を別のアナログ量で置き換えて表現したものをアナログ情報と呼びます。エアコンの例では、温度センサーが、室温というアナログ量を電流というアナログ量に変換する働きを持っていますが、こうして得られた電流の大きさがアナログ情報の例です。アナログ情報とは

- どのようなアナログ量 (例えば室温) を
- どのような (別の) アナログ量 (例えば電流の大きさ) で表現するか

に関する取り決め (電流の大きさから室温への連続関数) を前提として、

連続的に広がっている取り得る値の中から、その1つを指定する

働きのことと言えます。

一方、連続的に変化するアナログ量をそのまま取り扱うことはせず、取り得る値の範囲を適当に区切って場合分けし、そのいずれの場合に該当しているのかを伝えることもできます。室温を伝える場合、(たとえば)  $-10^{\circ}\text{C}$  から  $+40^{\circ}\text{C}$  までを範囲を  $0.5^{\circ}\text{C}$  刻み<sup>9</sup>で区切って100通りの場合に、それに  $-10^{\circ}\text{C}$  未満の場合と  $+40^{\circ}\text{C}$  以上の場合を加えて、都合102通りに場合分けするといった具合です。こうした場合分けのやり方を決めておけば、たとえば、計算機に102本の電線<sup>10</sup>を繋げておき、この内の1つにのみ電流を流すことで、現在の室温がどの場合に該当するのかを計算機に伝えることができるはず<sup>11</sup>。このように離散的な (飛び飛びの) 値で表現される情報を特にデジタル情報と呼びます。

デジタル情報が働くためには、情報の送り手と受け手の間で

---

<sup>9</sup>現実のエアコンでは、もっと細かくしないと使い物にならないでしょうね。

<sup>10</sup>実際には電流が戻ってくるための電線がさらに1本必要でしょう。

<sup>11</sup>現実のエアコンでは、もっと賢い方法でどの場合に該当するかを計算機に伝えているはず<sup>11</sup>です。

- 何をどのように場合分けするのか
- それぞれの場合をどのように (物理的な現象の組合わせとして) 表現するのか

に関する取り決めがなされていなければならないということに注意してください。このような取り決めを前提として、

複数の場合の中から、その1つを指定する

という働きを持つものがデジタル情報だと言うことができます。デジタル情報を伝達したり、記憶したり、加工したりするためには、物理的な媒体や装置が必要になってきますが、それが具体的にどのような方法で実現されているのかをとりあえず無視して、その「複数の場合の中から、その1つを指定する」という働き自体を捉えたものが「デジタル情報」です。

### アナログ情報処理とデジタル情報処理

音という物理現象を取り扱う場合を例として、アナログ情報やデジタル情報がどのように処理されているのかを見ていくことにします。人間にとっての音は空気の振動です。どのような音であるかは、空気圧がどのように変化しているのか、つまり、時間という物理的アナログ量から空気圧という物理アナログ量への関数が (ある位置において) どのようになっているかで決まることになります。この関数のグラフが決まれば音が決まるわけです。

音のアナログ情報がミキサやアンプ、カセットテープデッキなどの (アナログ方式の) 音響機器で処理される流れは、おおよそ次の図のようなものとなります。

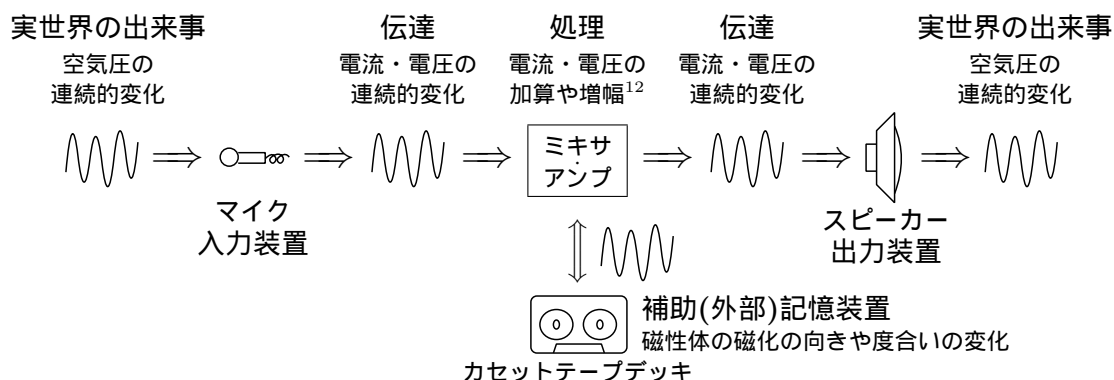


図 2: 音に関するアナログ情報処理の流れ

この図の中に現れているアナログ情報は、あるところでは、ある電線を通る電流の量で表現されていたり、またあるところでは、カセットテープ上のある場所での磁性体の磁化の向きや度合いで表現されていたりしますが、いつでも何らかのアナログ量として伝達・記憶・処理されていることに注意してください。

アナログ情報にせよデジタル情報にせよ、それを伝達・記憶・処理するには、何らかの物理量によって情報が表現されることになります。アナログ情報を表現しているのは、物理的アナログ量で決まりますから、その物理量の歪み (たとえば雑音) は情報の誤差にそのまま結び付きます。

<sup>12</sup>電気信号 (電流や電圧の変化) を定数倍することを増幅と呼びます。

一方、デジタル情報の場合、飛び飛びの物理量で複数の場合（多くは2つの場合）が区別できればよいので、情報を表現している物理量に少々の変形が生じて、それが表現しているデジタル情報には影響を与えないで済むことができます。

たとえば、そろばんの玉は、上がっているか下がっているかの2通りの区別さえ付けば良いので、少々その位置がずれていても計算結果に全く影響を与えませんが、計算尺の場合は、数値をそのまま位置（長さ）で表現していますから、位置のずれは直接計算結果のずれに結び付いてしまいます。

### アナログ情報からデジタル情報への変換

アナログ量をデジタル計算機でそのまま処理をすることはできませんが、次のような方法によって、これを近似的に取り扱うことができるようになります。たとえば、音のような時間の流れに沿って連続的に変化するアナログ量は、次のような手順でデジタル情報へ変換します。

1. 標本化 適切な時間的間隔で値を調べる
2. 量子化 標本化で得られた値（標本）を、適切な間隔の飛び飛びの値のいずれかで近似する
3. 符号化 量子化で得られた（標本の近似）値を（たとえば）8桁の2進数で表わし、その8桁を時間の流れに沿って並べる

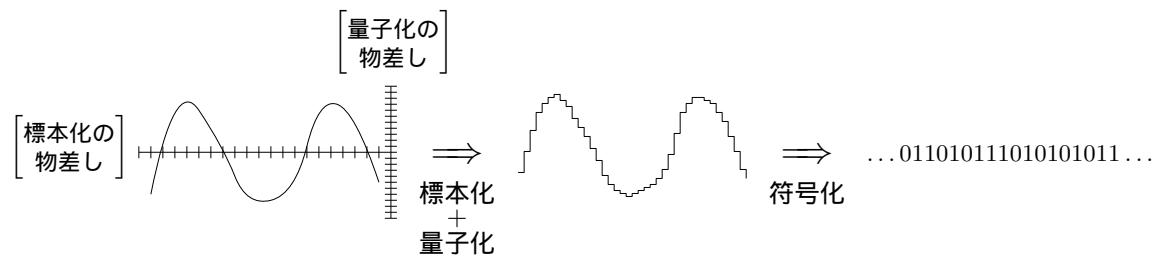


図3: A/D 変換

このような手順でアナログ情報をデジタル情報に変換することを A/D 変換と呼びます。また、この手順を逆に辿ってデジタル情報をアナログ情報に戻すことを D/A 変換と呼びます。上の図は模式的なもので、標本化と量子化を行なった後の階段状のグラフは、元の音のグラフからかなり崩れてしまっていますが、実際には標本化や量子化の間隔を非常に小さくすることで（その情報が実世界に反映された時に、人間がその違いを識別できない程度の）十分な精度を得ることができます<sup>13</sup>。

計算機による音のデジタル情報処理の流れは次の図のようになります。

### デジタル情報は0/1の並び

A/D 変換の過程では、標本化と量子化を終えた段階で、すでにデジタル情報になっていると言えますが、さらに符号化を行なって0/1の並びにすることで、音の情報に限らず、ありとあらゆる情

<sup>13</sup>たとえば、音楽用 CD では44100分の1秒間隔で標本化を行い、標本の取り得る値の範囲を65536個の区間に分割して量子化を行なっています。

<sup>14</sup>Digital Signal Processor の略で、デジタル化された信号を高速に処理するための専用演算装置です。どのような演算を行なうかをプログラミングできますが、プログラム自身をデータとして処理することはできません。

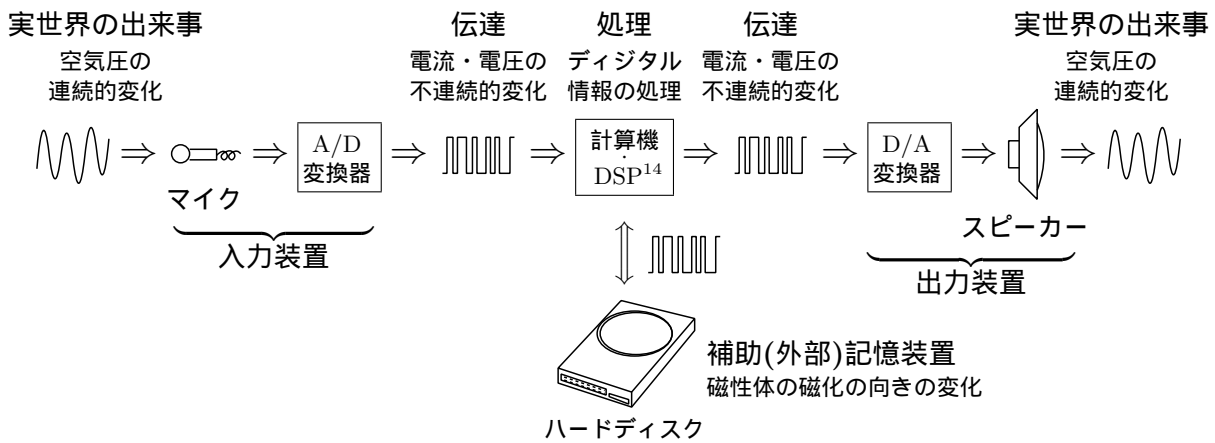


図 4: 計算機による音に関するデジタル情報処理の流れ

報を統一的に計算機で取り扱うことができるようになります。

入出力装置や補助(外部)記憶装置と計算機の間でやり取りされているデジタル情報は、すべて0/1の並びだと考えることができます<sup>15</sup>。また、デジタル情報がハードディスクに記憶される際にも、この0/1の並びとして記憶されます。これらの0/1の並びは、2通りの電圧や電流、2通りの磁化の向きなどで表現されています。

## 演習問題

1. あなたが最後に「計算機」を内蔵した機器を操作したのはいつだったか考えてみましょう。ただし、エアコンと携帯電話、パソコンの3つは除いて考えましょう。
  - (a) その機器は何でしたか。
  - (b) その機器に内蔵されていた「計算機」は、どのような入力装置を介して、どのような情報を受け取っていたと考えられますか。
  - (c) その機器に内蔵されていた「計算機」は、どのような出力装置に対して、どのような情報を与えていたと考えられますか。

<sup>15</sup>0と1でなくとも、あるとない、白と黒、上と下、右と左など、2つの場合の内のどちらであるかを指定する働きさえあれば、何だと思っても構わないのですが、0と1だと思っておけば、その並びを非負の整数の2進法による表現と見なすことができ何かと便利なのです。