

# コンピュータの 重箱の隅

『Vivliostyle CSS組版入門』サンプル

# 目次

• 第1章重箱の左隅 .....	3
○ 論理回路から加算器は飛躍しすぎ？ .....	4
○ 通信機能は5大装置のどこに入る？ .....	8
○ デジタルは人間の頭の中にしかない .....	10
• 第2章重箱の右隅 .....	13
○ 論理回路から加算器は飛躍しすぎ？ .....	14
○ 通信機能は5大装置のどこに入る？ .....	18
○ デジタルは人間の頭の中にしかない .....	20
• 第3章重箱の下隅 .....	23
○ 論理回路から加算器は飛躍しすぎ？ .....	24
○ 通信機能は5大装置のどこに入る？ .....	28
○ デジタルは人間の頭の中にしかない .....	30

# 第1章

## 重箱の左隅

# 1 論理回路から加算器は飛躍しすぎ？

過去に「コンピュータの歴史」を**ブール論理 (Boolean Logic)** の誕生あたりからたどろうとして、いろいろと調べてみたのだが、**ジョージ・ブール氏**の考えたものは現在ブール論理として習うものとかかなり違っていた。ブール氏が考えたのは、言葉で推論するとうしてもあいまいさが生じるので、数式を使って推論すべきだというものだった。実際、ブール氏の論文を見てみると、足し算や掛け算らしき数式しか書かれていない。

<p>CHAPTER VII. OF ELIMINATION 76</p> <p>Substitute these expressions for <math>x</math> and <math>1 - x</math> in the fundamental equation</p> $x(1 - x) = 0,$ <p>and there results</p> $\frac{f(0)f(1)}{f(0) - f(1)} = 0;$ $\text{or, } f(1)f(0) = 0, \quad (1)$ <p>the form required.</p> <p>6. It is seen in this process, that the elimination is really effected between the given equation <math>f(x) = 0</math> and the universally true equation <math>x(1 - x) = 0</math>, expressing the fundamental law of logical symbols, <i>qua</i> logical. There exists, therefore, no need of more than one premise or equation, in order to render possible the elimination of a term, the necessary law of thought virtually supplying the other premise or equation. And though the demonstration of this conclusion may be exhibited in other forms, yet the same element furnished by the mind itself will still be virtually present. Thus we might proceed as follows:</p> <p>Multiply (1) by <math>x</math>, and we have</p> $f(1)x = 0, \quad (2)$ <p>and let us seek by the forms of ordinary algebra to eliminate <math>x</math> from this equation and (1).</p> <p>Now if we have two algebraic equations of the form</p> $ax + b = 0,$ $a'x + b' = 0,$ <p>it is well known that the result of the elimination of <math>x</math> is</p> $ab' - a'b = 0 \quad (3)$ <p>But comparing the above pair of equations with (1) and (2) respectively, we find</p> $a = f(1) - f(0), \quad b = f(0);$ $a' = f(1) \quad b' = 0;$ <p>which, substituted in (4), give</p> $f(1)f(0) = 0,$ <p>as before. In this form of the demonstration, the fundamental equation <math>x(1 - x) = 0</math>, makes its appearance in the derivation of (3) from (1).</p> <p>7. I shall add yet another form of the demonstration, partaking of a half logical character, and which may set the demonstration of this important theorem in a clearer light.</p>	<p>CHAPTER VII. OF ELIMINATION 77</p> <p>We have as before</p> $f(1)x + f(0)(1 - x) = 0.$ <p>Multiply this equation first by <math>x</math>, and secondly by <math>1 - x</math>, we get</p> $f(1)x = 0 \quad f(0)(1 - x) = 0.$ <p>From these we have by solution and development,</p> $f(1) - \frac{0}{x} = \frac{0}{0}(1 - x), \text{ on development,}$ $f(0) = \frac{0}{1 - x} - \frac{0}{1 - x}.$ <p>The direct interpretation of these equations is—</p> <p>1st. Whatever individuals are included in the class represented by <math>f(1)</math>, are not <math>x</math>'s.</p> <p>2nd. Whatever individuals are included in the class represented by <math>f(0)</math>, are <math>x</math>'s.</p> <p>Whence by common logic, there are no individuals at once in the class <math>f(1)</math> and in the class <math>f(0)</math>, i.e. there are no individuals in the class <math>f(1)f(0)</math>. Hence,</p> $f(1)f(0) = 0. \quad (4)$ <p>Or it would suffice to multiply together the developed equations, whence the result would immediately follow.</p> <p>8. The theorem (5) furnishes us with the following Rule:</p> <p>TO ELIMINATE ANY SYMBOL FROM A PROPOSED EQUATION.</p> <p>RULE. The terms of the equation having been brought, by transposition if necessary, to the first side, give to the symbol successively the values 1 and 0, and multiply the resulting equations together.</p> <p>The first part of the Proposition is now proved.</p> <p>9. Consider in the next place the general equation</p> $f(x, y) = 0,$ <p>the first member of which represents any function of <math>x</math>, <math>y</math>, and other symbols. By what has been shown, the result of the elimination of <math>y</math> from this equation will be</p> $f(x, 1)f(x, 0) = 0;$ <p>for such is the form to which we are conducted by successively changing in the given equation <math>y</math> into 1, and <math>y</math> into 0, and multiplying the results together.</p> <p>Again, if in the result obtained we change successively <math>x</math> into 1, and <math>x</math> into 0, and multiply the results together, we have</p> $f(1, 1)f(1, 0)f(0, 1)f(0, 0) = 0; \quad (5)$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

The Mathematical Analysis of Logic by George Boole

[The Mathematical Analysis of Logic by George Boole](https://www.gutenberg.org/ebooks/36884)

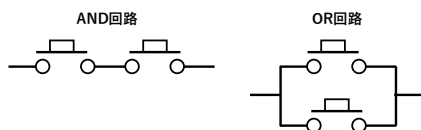
<https://www.gutenberg.org/ebooks/36884> にリンクしたい

現在使われている論理記号やAND、ORなどの用語は、後世に**数理論理学**として発展していく中で作られたもので、最初のとっかかりのアイデアを考えた人として、ブール氏の名前を冠することにしたらしい。

## 論理回路の誕生

ブール氏が論文を書いてから100年ほどして、電信に使われるリレーを使った**論理回路（Logic Circuit）**が誕生した。**クロード・シャノン氏**が論理回路についての論文を書いたのが1937年で、ほぼ同時期に最初のデジタルコンピュータも誕生している。このあたり順番がはっきりしなくてモヤッとするが、たいていの発明・発見は、複数の人が同時期に同じ答えにたどりつくもののようなのだ。

ここで不思議なのは、スイッチを直列に並べてAND回路、並列に並べてOR回路が作れるというのは、ブール論理の延長として理解できる。しかし、その先、つまり**論理回**

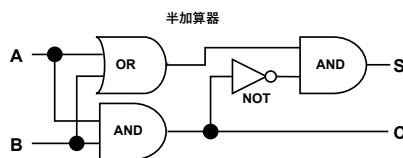


論理回路（Logic Circuit）

**路を使って計算する**という発想はどこからでてきたのだろう？

2進数1桁の計算を行う**半加算器（Half Adder）**は、AND回路2つとOR回路1つ、NOT回路1つの組み合わせで作れる。

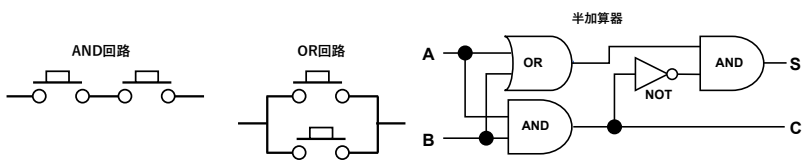
しかし、これがブール論理の延長で、普通に出てくるとはちょっと考えにくい気がする。ブール論理は「AND（かつ）」「OR（または）」などで真偽を求めるものであって、四則演算するものではないはずだ。



半加算器（Half Adder）

残念ながら、加算器の発明者の資料は見つけられなかった。おそらく、何かを作ろうとして論理回路の組み合わせを考えているうちに、「0+0=00」「0+1=01」「1+0=01」「1+1=10」という結果を出せば足し算する回路が作れるという答えにパッとたどりついたのだろう。

世の中には頭のいい人はたくさんいるので、このぐらいは複数の人が同時に  
思いつくものなのかもしれない。



論理回路と半加算器



# 通信機能は5大装置のどこに入る？

コンピュータサイエンスの初歩として必ず登場するのが、**ノイマン型コンピュータ (von Neumann architecture)** もしくは**コンピュータの5大装置**だ。コンピュータは「制御」「演算」「記憶」「入力」「出力」という5つの装置で構成されるという説で、**フォン・ノイマン氏**がその論文を書いたので、ノイマン型と呼ぶ。ノイマン氏は悪魔のように頭がいい人だったが、5大装置をノイマン氏自身がゼロから考えたわけではなく、**EDVAC**という開発中のコンピュータを見学して、「つまり、こういうことだろ？」と論文をまとめたそうだ。

- **制御：記憶装置からプログラムを読み込み、各装置に指示を出す**

- CPU

- **演算：四則演算などの計算を行う**

- CPU

- **記憶：プログラムやデータを記憶する**

- メモリ
- HDD
- SSD

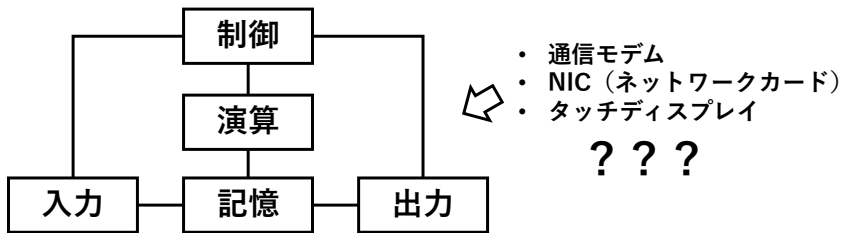
- **入力：外部から情報を取り込む**

- キーボード
- マウス

- **出力：外部に情報を書き出す**



- ディスプレイ
- スピーカー



von Neumann architecture

今のパソコンやスマートフォンでも、5大装置という構成は変わらないので、今の教科書にもそのまま出てくる。ただ、5大装置の図に、実際のCPUやメモリ、キーボードなどの部品を当てはめていくと、ふと困ったことに気付く。通信モデムやNIC、タッチディスプレイなど、5つのカテゴリにうまく当てはまらない機器が結構出てくるのだ。

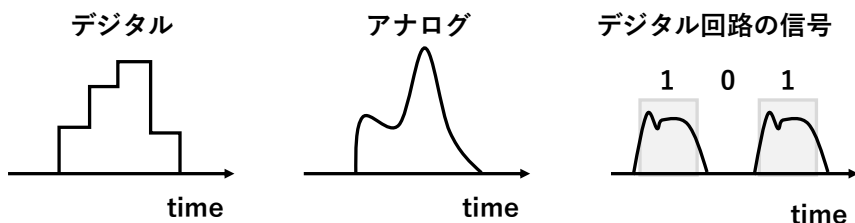
そのときはしかたなく、入力と出力を図の右側に配置して、「入出力兼用の機器もある」と説明したのだが、もっとうまいやり方があったのではと今でもときどき思う。

ノイマン氏に聞いてみたいところだが、悪魔のように頭のいい人だったらしいので、「馬鹿め、そのぐらい自分で考えろ」といわれそうだ。

# デジタルは人間の頭の中にしかない

よくコンピュータは**デジタル**だという。デジタルは「連続した量」を意味する**アナログ**の対義語で、連続していないという意味から日本語では「離散的な値」ともいう。電気や光、音といった自然現象はすべてアナログだ。

ここでよく考えてみると、コンピュータの電子回路も電気が流れているからアナログではないかという答えにたどり着く。実際のところ、コンピュータの電気信号も連続的に変化していて微かなブレがあり、この範囲にだいたいおさまったら「1」、この範囲だったら「0」という感じに決めて、デジタルと見なしているようだ。



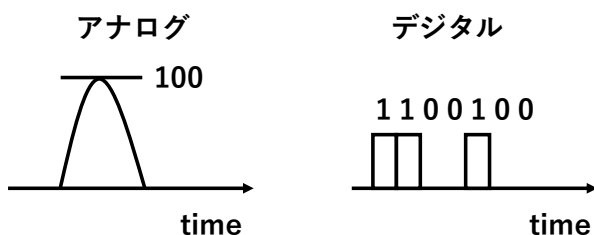
digital analog

自然界にはアナログしか存在せず、コンピュータもアナログ。ということは、純粋なデジタルは、人間の頭の中にしか存在しないということになる。加えていうとプログラム（ソフトウェア）も、人間のデジタル的な考え方を反映したものなので、デジタルといえる。

デジタルとアナログについて考えていくと面白いことがいろいろあって、昔のビデオテープや音楽テープはすべてアナログで、デジタル化したDVDやCDが登場したのは結構あとのことだ。これはなぜかということ、デジタルのほうが

データ量が増えるからだ。

例えばアナログで「100」を表す場合、単位や媒体は何かはわからないが、100の強さの信号があればいい。デジタルで100を表す場合、2進数だと「01100100」となるので7ビット必要になる。仮に1秒間に1つしか信号を送れないとすると、アナログでは1秒で済むところが、デジタルでは7秒必要という計算になる。つまり、デジタルのほうがデータ量が増えるわけで、これを解決するには電子回路をはるかに高速にするしかない。その発展に時間がかかったわけだ。

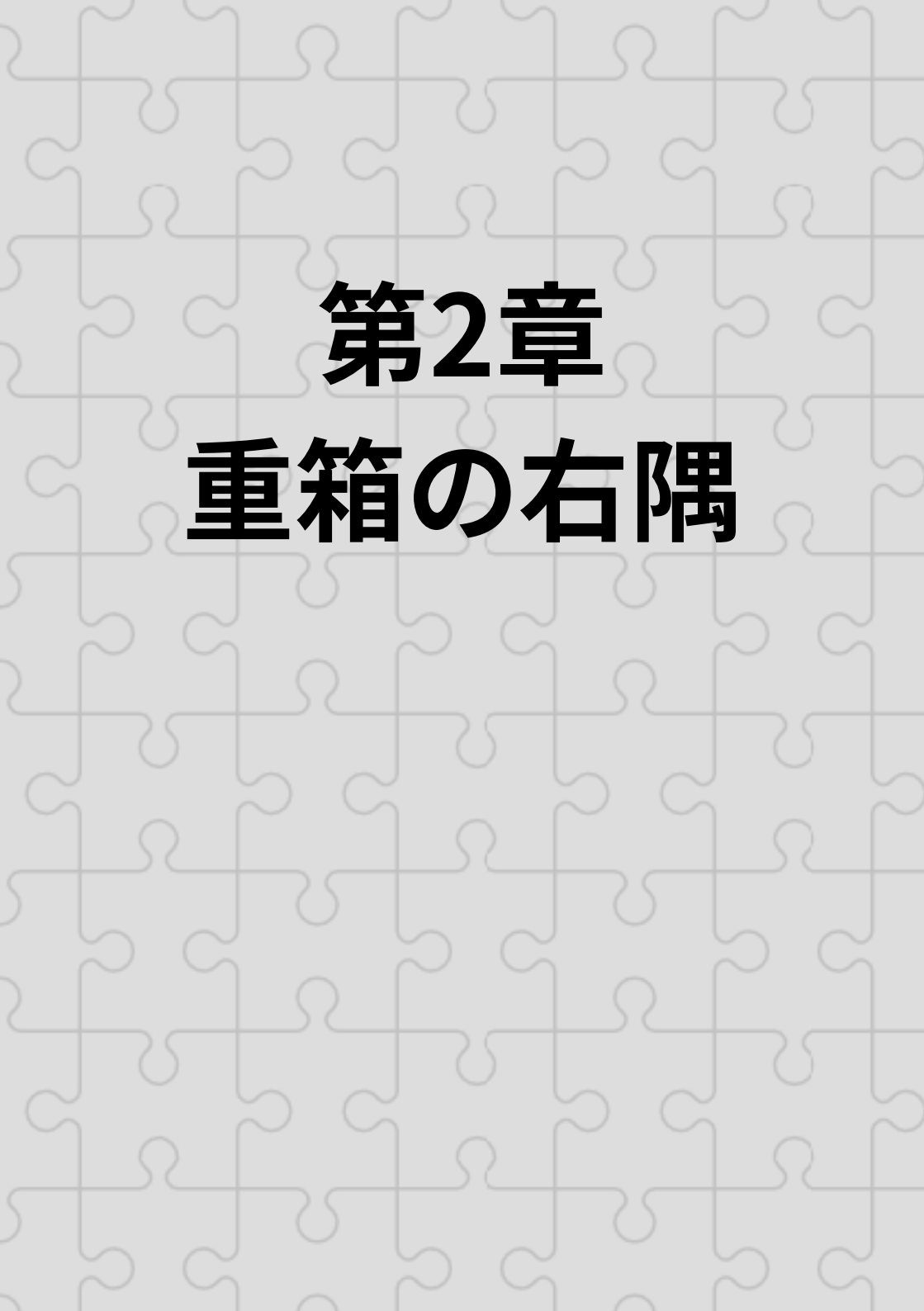


digital analog

データ量が増える以外のデジタルの弱点として、連続して変化するアナログを、段階的なデジタルに変換する過程で、変化途中の細かな情報が切り捨てられるという点がある。アナログの信号（レコードとかフィルムとか）だったら、昔は読み取れなかった情報が未来の技術で読み取れる可能性があるが、デジタルの信号（DVDとかBDとか）はいつまで経っても記録時点のままなので、切り捨てられた情報は未来永劫復元できない。最近よく聞くデジタルリマスターも、大元のフィルムから起こすのであって、DVDを原本とすることはない。

などと書きつつも、最近のAI技術では「存在しないものをそれらしく復元する」こともできてしまうので、将来的には何とかなってしまうかもしれないとも思う。未来を見通すのは難しい。



The background of the entire page is a repeating pattern of interlocking puzzle pieces. Each piece is a light gray color with a thin, darker gray outline. The pieces are arranged in a grid-like fashion, creating a textured, geometric background.

# **第2章**

## **重箱の右隅**

# 論理回路から加算器は飛躍しすぎ？

過去に「コンピュータの歴史」を**ブール論理 (Boolean Logic)** の誕生あたりからたどろうとして、いろいろと調べてみたのだが、**ジョージ・ブール氏**の考えたものは現在ブール論理として習うものとかかなり違っていた。ブール氏が考えたのは、言葉で推論するとうしてもあいまいさが生じるので、数式を使って推論すべきだというものだった。実際、ブール氏の論文を見てみると、足し算や掛け算らしき数式しか書かれていない。

<p>CHAPTER VII. OF ELIMINATION 76</p> <p>Substitute these expressions for <math>x</math> and <math>1 - x</math> in the fundamental equation</p> $x(1 - x) = 0,$ <p>and there results</p> $\frac{f(0)f(1)}{f(0) - f(1)} = 0;$ <p>or, <math>f(1)f(0) = 0,</math> (1)</p> <p>the form required.</p> <p>6. It is seen in this process, that the elimination is really effected between the given equation <math>f(x) = 0</math> and the universally true equation <math>x(1 - x) = 0</math>, expressing the fundamental law of logical symbols, <i>quæ logica</i>. There exists, therefore, no need of more than one premise or equation, in order to render possible the elimination of a term, the necessary law of thought virtually supplying the other premise or equation. And though the demonstration of this conclusion may be exhibited in other forms, yet the same element furnished by the mind itself will still be virtually present. Thus we might proceed as follows:</p> <p>Multiply (1) by <math>x</math>, and we have</p> $f(1)x = 0, \quad (2)$ <p>and let us seek by the forms of ordinary algebra to eliminate <math>x</math> from this equation and (1).</p> <p>Now if we have two algebraic equations of the form</p> $ax + b = 0,$ $a'x + b' = 0,$ <p>it is well known that the result of the elimination of <math>x</math> is</p> $ab' - a'b = 0 \quad (3)$ <p>But comparing the above pair of equations with (1) and (2) respectively, we find</p> $a = f(1) - f(0), \quad b = f(0);$ $a' = f(1) \quad b' = 0;$ <p>which, substituted in (4), give</p> $f(1)f(0) = 0,$ <p>as before. In this form of the demonstration, the fundamental equation <math>x(1 - x) = 0</math>, makes its appearance in the derivation of (3) from (1).</p> <p>7. I shall add yet another form of the demonstration, partaking of a half logical character, and which may set the demonstration of this important theorem in a clearer light.</p>	<p>CHAPTER VII. OF ELIMINATION 77</p> <p>We have as before</p> $f(1)x + f(0)(1 - x) = 0.$ <p>Multiply this equation first by <math>x</math>, and secondly by <math>1 - x</math>, we get</p> $f(1)x = 0 \quad f(0)(1 - x) = 0.$ <p>From these we have by solution and development,</p> $f(1) - \frac{0}{x} = \frac{0}{0}(1 - x), \text{ on development,}$ $f(0) = \frac{0}{1 - x} - \frac{0}{1 - x}x.$ <p>The direct interpretation of these equations is—</p> <p>1st. Whatever individuals are included in the class represented by <math>f(1)</math>, are not <math>x</math>'s.</p> <p>2nd. Whatever individuals are included in the class represented by <math>f(0)</math>, are <math>x</math>'s.</p> <p>Whence by common logic, there are no individuals at once in the class <math>f(1)</math> and in the class <math>f(0)</math>, i.e. there are no individuals in the class <math>f(1)f(0)</math>. Hence,</p> $f(1)f(0) = 0. \quad (4)$ <p>Or it would suffice to multiply together the developed equations, whence the result would immediately follow.</p> <p>8. The theorem (5) furnishes us with the following Rule:</p> <p>TO ELIMINATE ANY SYMBOL FROM A PROPOSED EQUATION.</p> <p>RULE. The terms of the equation having been brought, by transposition if necessary, to the first side, give to the symbol successively the values 1 and 0, and multiply the resulting equations together.</p> <p>The first part of the Proposition is now proved.</p> <p>9. Consider in the next place the general equation</p> $f(x, y) = 0,$ <p>the first member of which represents any function of <math>x</math>, <math>y</math>, and other symbols. By what has been shown, the result of the elimination of <math>y</math> from this equation will be</p> $f(x, 1)f(x, 0) = 0;$ <p>for such is the form to which we are conducted by successively changing in the given equation <math>y</math> into 1, and <math>y</math> into 0, and multiplying the results together.</p> <p>Again, if in the result obtained we change successively <math>x</math> into 1, and <math>x</math> into 0, and multiply the results together, we have</p> $f(1, 1)f(1, 0)f(0, 1)f(0, 0) = 0; \quad (5)$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

The Mathematical Analysis of Logic by George Boole

[The Mathematical Analysis of Logic by George Boole](https://www.gutenberg.org/ebooks/36884)

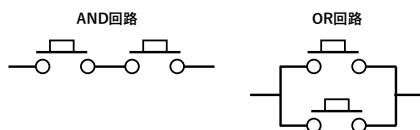
<https://www.gutenberg.org/ebooks/36884> にリンクしたい

現在使われている論理記号やAND、ORなどの用語は、後世に**数理論理学**として発展していく中で作られたもので、最初のとっかかりのアイデアを考えた人として、ブール氏の名前を冠することにしたらしい。

## 論理回路の誕生

ブール氏が論文を書いてから100年ほどして、電信に使われるリレーを使った**論理回路（Logic Circuit）**が誕生した。**クロード・シャノン氏**が論理回路についての論文を書いたのが1937年で、ほぼ同時期に最初のデジタルコンピュータも誕生している。このあたり順番がはっきりしなくてモヤッとするが、たいていの発明・発見は、複数の人が同時期に同じ答えにたどりつくもののようなのだ。

ここで不思議なのは、スイッチを直列に並べてAND回路、並列に並べてOR回路が作れるというのは、ブール論理の延長として理解できる。しかし、その先、つまり**論理回**

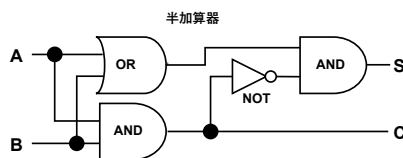


論理回路（Logic Circuit）

**路を使って計算する**という発想はどこからでてきたのだろう？

2進数1桁の計算を行う**半加算器（Half Adder）**は、AND回路2つとOR回路1つ、NOT回路1つの組み合わせで作れる。

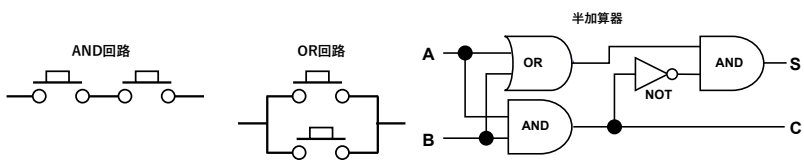
しかし、これがブール論理の延長で、普通に出てくるとはちょっと考えにくい気がする。ブール論理は「AND（かつ）」「OR（または）」などで真偽を求めるものであって、四則演算するものではないはずだ。



半加算器（Half Adder）

残念ながら、加算器の発明者の資料は見つけられなかった。おそらく、何かを作ろうとして論理回路の組み合わせを考えているうちに、「 $0+0=00$ 」「 $0+1=01$ 」「 $1+0=01$ 」「 $1+1=10$ 」という結果を出せば足し算する回路が作れるという答えにパッとたどりついたのだろう。

世の中には頭のいい人はたくさんいるので、このぐらいは複数の人が同時に  
思いつくものなのかもしれない。



論理回路と半加算器





# 通信機能は5大装置の どこに入る？

コンピュータサイエンスの初歩として必ず登場するのが、**ノイマン型コンピュータ (von Neumann architecture)** もしくは**コンピュータの5大装置**だ。コンピュータは「制御」「演算」「記憶」「入力」「出力」という5つの装置で構成されるという説で、**フォン・ノイマン氏**がその論文を書いたので、ノイマン型と呼ぶ。ノイマン氏は悪魔のように頭がいい人だったが、5大装置をノイマン氏自身がゼロから考えたわけではなく、**EDVAC**という開発中のコンピュータを見学して、「つまり、こういうことだろ？」と論文をまとめたそう。

- **制御：記憶装置からプログラムを読み込み、各装置に指示を出す**

- CPU

- **演算：四則演算などの計算を行う**

- CPU

- **記憶：プログラムやデータを記憶する**

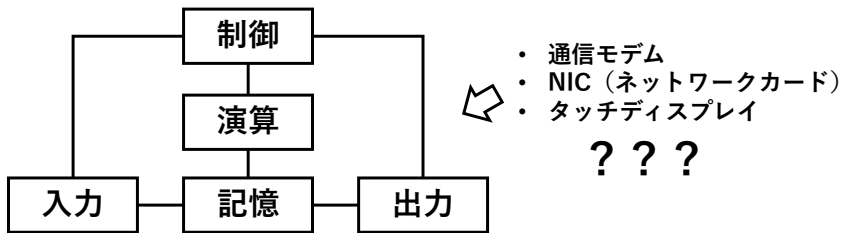
- メモリ
- HDD
- SSD

- **入力：外部から情報を取り込む**

- キーボード
- マウス

- **出力：外部に情報を書き出す**

- ディスプレイ
- スピーカー



von Neumann architecture

今のパソコンやスマートフォンでも、5大装置という構成は変わらないので、今の教科書にもそのまま出てくる。ただ、5大装置の図に、実際のCPUやメモリ、キーボードなどの部品を当てはめていくと、ふと困ったことに気付く。通信モデムやNIC、タッチディスプレイなど、5つのカテゴリにうまく当てはまらない機器が結構出てくるのだ。

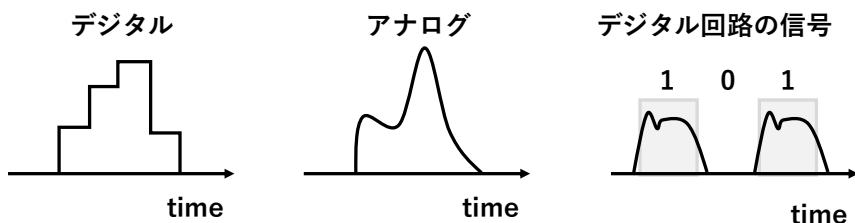
そのときはしかたなく、入力と出力を図の右側に配置して、「入出力兼用の機器もある」と説明したのだが、もっとうまいやり方があったのではと今でもときどき思う。

ノイマン氏に聞いてみたいところだが、悪魔のように頭のいい人だったらしいので、「馬鹿め、そのぐらい自分で考えろ」といわれそうだ。

# デジタルは人間の頭の中にしかない

よくコンピュータは**デジタル**だという。デジタルは「連続した量」を意味する**アナログ**の対義語で、連続していないという意味から日本語では「離散的な値」ともいう。電気や光、音といった自然現象はすべてアナログだ。

ここでよく考えてみると、コンピュータの電子回路も電気が流れているからアナログではないかという答えにたどり着く。実際のところ、コンピュータの電気信号も連続的に変化していて微かなブレがあり、この範囲にだいたいおさまったら「1」、この範囲だったら「0」という感じに決めて、デジタルと見なしているようだ。



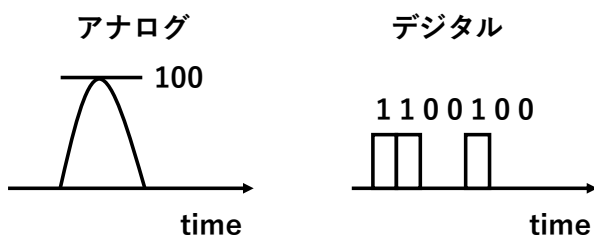
digital analog

自然界にはアナログしか存在せず、コンピュータもアナログ。ということは、純粋なデジタルは、人間の頭の中にしか存在しないということになる。加えていうとプログラム（ソフトウェア）も、人間のデジタル的な考え方を反映したものなので、デジタルといえる。

デジタルとアナログについて考えていくと面白いことがいろいろあって、昔のビデオテープや音楽テープはすべてアナログで、デジタル化したDVDやCDが登場したのは結構あとのことだ。これはなぜかということ、デジタルのほうが

データ量が増えるからだ。

例えばアナログで「100」を表す場合、単位や媒体は何かはわからないが、100の強さの信号があればいい。デジタルで100を表す場合、2進数だと「01100100」となるので7ビット必要になる。仮に1秒間に1つしか信号を送れないとすると、アナログでは1秒で済むところが、デジタルでは7秒必要という計算になる。つまり、デジタルのほうがデータ量が増えるわけで、これを解決するには電子回路をはるかに高速にするしかない。その発展に時間がかかったわけだ。



digital analog

データ量が増える以外のデジタルの弱点として、連続して変化するアナログを、段階的なデジタルに変換する過程で、変化途中の細かな情報が切り捨てられるという点がある。アナログの信号（レコードとかフィルムとか）だったら、昔は読み取れなかった情報が未来の技術で読み取れる可能性があるが、デジタルの信号（DVDとかBDとか）はいつまで経っても記録時点のままなので、切り捨てられた情報は未来永劫復元できない。最近よく聞くデジタルリマスターも、大元のフィルムから起こすのであって、DVDを原本とすることはない。

などと書きつつも、最近のAI技術では「存在しないものをそれらしく復元する」こともできてしまうので、将来的には何とかなってしまうかもしれないとも思う。未来を見通すのは難しい。



# 第3章

## 重箱の下隅

# 1 論理回路から加算器は飛躍しすぎ？

過去に「コンピュータの歴史」を**ブール論理 (Boolean Logic)** の誕生あたりからたどろうとして、いろいろと調べてみたのだが、**ジョージ・ブール氏**の考えたものは現在ブール論理として習うものとかかなり違っていた。ブール氏が考えたのは、言葉で推論するとうしてもあいまいさが生じるので、数式を使って推論すべきだというものだった。実際、ブール氏の論文を見ると、足し算や掛け算らしき数式しか書かれていない。

CHAPTER VII. OF ELIMINATION

76

Substitute these expressions for  $x$  and  $1 - x$  in the fundamental equation

$$x(1 - x) = 0,$$

and there results

$$\frac{f(0)f(1)}{f(0) - f(1)^2} = 0;$$

$$\text{or, } f(1)f(0) = 0, \quad (1)$$

the form required.

6. It is seen in this process, that the elimination is really effected between the given equation  $f(x) = 0$  and the universally true equation  $x(1 - x) = 0$ , expressing the fundamental law of logical symbols, *qua* logical. There exists, therefore, no need of more than one premise or equation, in order to render possible the elimination of a term, the necessary law of thought virtually supplying the other premise or equation. And though the demonstration of this conclusion may be exhibited in other forms, yet the same element furnished by the mind itself will still be virtually present. Thus we might proceed as follows:

Multiply (1) by  $x$ , and we have

$$f(1)x = 0, \quad (2)$$

and let us seek by the forms of ordinary algebra to eliminate  $x$  from this equation and (1).

Now if we have two algebraic equations of the form

$$ax + b = 0,$$

$$a'x + b' = 0,$$

it is well known that the result of the elimination of  $x$  is

$$a'b' - a'b = 0 \quad (3)$$

But comparing the above pair of equations with (1) and (3) respectively, we find

$$a = f(1) - f(0), \quad b = f(0);$$

$$a' = f(1) \quad b' = 0;$$

which, substituted in (4), give

$$f(1)f(0) = 0,$$

as before. In this form of the demonstration, the fundamental equation  $x(1 - x) = 0$ , makes its appearance in the derivation of (3) from (1).

7. I shall add yet another form of the demonstration, partaking of a half-logical character, and which may set the demonstration of this important theorem in a clearer light.

CHAPTER VII. OF ELIMINATION

77

We have as before

$$f(1)x + f(0)(1 - x) = 0.$$

Multiply this equation first by  $x$ , and secondly by  $1 - x$ , we get

$$f(1)x = 0 \quad f(0)(1 - x) = 0.$$

From these we have by solution and development,

$$f(1) = \frac{0}{x} = 0(1 - x), \text{ on development,}$$

$$f(0) = \frac{0}{1 - x} = 0.x.$$

The direct interpretation of these equations is—

1st. Whatever individuals are included in the class represented by  $f(1)$ , are not  $x$ 's.

2nd. Whatever individuals are included in the class represented by  $f(0)$ , are  $x$ 's.

Whereby by common logic, there are no individuals at once in the class  $f(1)$  and in the class  $f(0)$ , i.e. there are no individuals in the class  $f(1)f(0)$ . Hence,

$$f(1)f(0) = 0. \quad (4)$$

Or it would suffice to multiply together the developed equations, whence the result would immediately follow.

8. The theorem (5) furnishes us with the following Rule :

TO ELIMINATE ANY SYMBOL FROM A PROPOSED EQUATION.  
RULE. The terms of the equation having been brought, by transposition if necessary, to the first side, give to the symbol successively the values 1 and 0, and multiply the resulting equations together.

The first part of the Proposition is now proved.

9. Consider in the next place the general equation

$$f(x, y) = 0,$$

the first member of which represents any function of  $x, y$ , and other symbols. By what has been shown, the result of the elimination of  $y$  from this equation will be

$$f(x, 1)f(x, 0) = 0;$$

for such is the form to which we are conducted by successively changing in the given equation  $y$  into 1, and  $y$  into 0, and multiplying the results together.

Again, if in the result obtained we change successively  $x$  into 1, and  $x$  into 0, and multiply the results together, we have

$$f(1, 1)f(1, 0)f(0, 1)f(0, 0) = 0; \quad (5)$$

The Mathematical Analysis of Logic by George Boole

[The Mathematical Analysis of Logic by George Boole](https://www.gutenberg.org/ebooks/36884)

<https://www.gutenberg.org/ebooks/36884> にリンクしたい

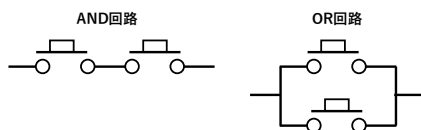


現在使われている論理記号やAND、ORなどの用語は、後世に**数理論理学**として発展していく中で作られたもので、最初のとっかかりのアイデアを考えた人として、ブール氏の名前を冠することにしたらしい。

## 論理回路の誕生

ブール氏が論文を書いてから100年ほどして、電信に使われるリレーを使った**論理回路（Logic Circuit）**が誕生した。**クロード・シャノン氏**が論理回路についての論文を書いたのが1937年で、ほぼ同時期に最初のデジタルコンピュータも誕生している。このあたり順番がはっきりしなくてモヤッとするが、たいていの発明・発見は、複数の人が同時期に同じ答えにたどりつくもののようなのだ。

ここで不思議なのは、スイッチを直列に並べてAND回路、並列に並べてOR回路が作れるというのは、ブール論理の延長として理解できる。しかし、その先、つまり**論理回**

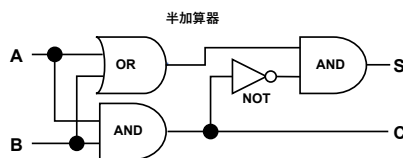


論理回路（Logic Circuit）

**路を使って計算する**という発想はどこからでてきたのだろう？

2進数1桁の計算を行う**半加算器（Half Adder）**は、AND回路2つとOR回路1つ、NOT回路1つの組み合わせで作れる。

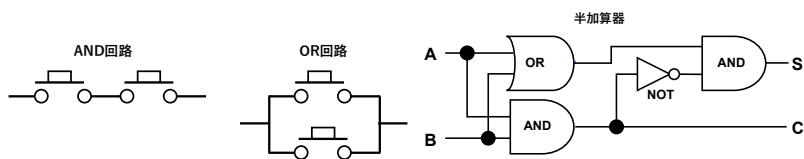
しかし、これがブール論理の延長で、普通に出てくるとはちょっと考えにくい気がする。ブール論理は「AND（かつ）」「OR（または）」などで真偽を求めるものであって、四則演算するものではないはずだ。



半加算器（Half Adder）

残念ながら、加算器の発明者の資料は見つけられなかった。おそらく、何かを作ろうとして論理回路の組み合わせを考えているうちに、「 $0+0=00$ 」「 $0+1=01$ 」「 $1+0=01$ 」「 $1+1=10$ 」という結果を出せば足し算する回路が作れるという答えにパッとたどりついたのだろう。

世の中には頭のいい人はたくさんいるので、このぐらいは複数の人が同時に  
思いつくものなのかもしれない。



論理回路と半加算器



# 通信機能は5大装置のどこに入る？

コンピュータサイエンスの初歩として必ず登場するのが、**ノイマン型コンピュータ (von Neumann architecture)** もしくは**コンピュータの5大装置**だ。コンピュータは「制御」「演算」「記憶」「入力」「出力」という5つの装置で構成されるという説で、**フォン・ノイマン氏**がその論文を書いたので、ノイマン型と呼ぶ。ノイマン氏は悪魔のように頭がいい人だったが、5大装置をノイマン氏自身がゼロから考えたわけではなく、**EDVAC**という開発中のコンピュータを見学して、「つまり、こういうことだろ？」と論文をまとめたそうだ。

- **制御：記憶装置からプログラムを読み込み、各装置に指示を出す**

- CPU

- **演算：四則演算などの計算を行う**

- CPU

- **記憶：プログラムやデータを記憶する**

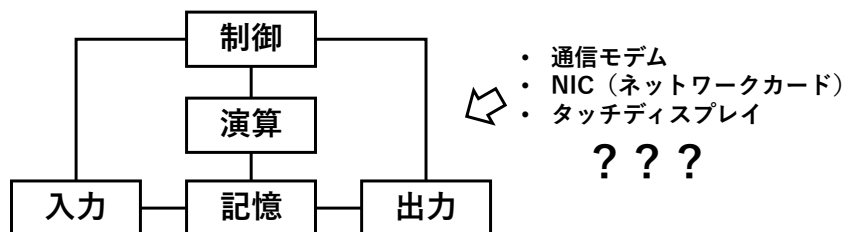
- メモリ
- HDD
- SSD

- **入力：外部から情報を取り込む**

- キーボード
- マウス

- **出力：外部に情報を書き出す**

- ディスプレイ
- スピーカー



von Neumann architecture

今のパソコンやスマートフォンでも、5大装置という構成は変わらないので、今の教科書にもそのまま出てくる。ただ、5大装置の図に、実際のCPUやメモリ、キーボードなどの部品を当てはめていくと、ふと困ったことに気付く。通信モデムやNIC、タッチディスプレイなど、5つのカテゴリにうまく当てはまらない機器が結構出てくるのだ。

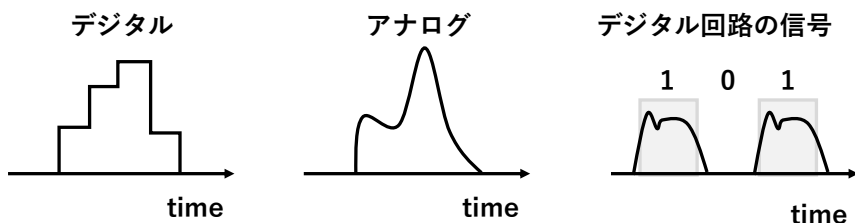
そのときはしかたなく、入力と出力を図の右側に配置して、「入出力兼用の機器もある」と説明したのだが、もっとうまいやり方があったのではと今でもときどき思う。

ノイマン氏に聞いてみたいところだが、悪魔のように頭のいい人だったらしいので、「馬鹿め、そのぐらい自分で考えろ」といわれそうだ。

# デジタルは人間の頭の中にしかない

よくコンピュータは**デジタル**だという。デジタルは「連続した量」を意味する**アナログ**の対義語で、連続していないという意味から日本語では「離散的な値」ともいう。電気や光、音といった自然現象はすべてアナログだ。

ここでよく考えてみると、コンピュータの電子回路も電気が流れているからアナログではないかという答えにたどり着く。実際のところ、コンピュータの電気信号も連続的に変化していて微かなブレがあり、この範囲にだいたいおさまったら「1」、この範囲だったら「0」という感じに決めて、デジタルと見なしているようだ。



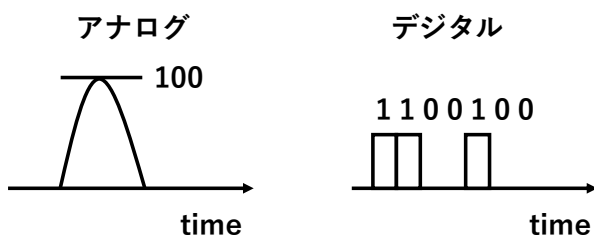
digital analog

自然界にはアナログしか存在せず、コンピュータもアナログ。ということは、純粋なデジタルは、人間の頭の中にしか存在しないということになる。加えていうとプログラム（ソフトウェア）も、人間のデジタル的な考え方を反映したものなので、デジタルといえる。

デジタルとアナログについて考えていくと面白いことがいろいろあって、昔のビデオテープや音楽テープはすべてアナログで、デジタル化したDVDやCDが登場したのは結構あとのことだ。これはなぜかということ、デジタルのほうが

データ量が増えるからだ。

例えばアナログで「100」を表す場合、単位や媒体は何かはわからないが、100の強さの信号があればいい。デジタルで100を表す場合、2進数だと「01100100」となるので7ビット必要になる。仮に1秒間に1つしか信号を送れないとすると、アナログでは1秒で済むところが、デジタルでは7秒必要という計算になる。つまり、デジタルのほうがデータ量が増えるわけで、これを解決するには電子回路をはるかに高速にするしかない。その発展に時間がかかったわけだ。



digital analog

データ量が増える以外のデジタルの弱点として、連続して変化するアナログを、段階的なデジタルに変換する過程で、変化途中の細かな情報が切り捨てられるという点がある。アナログの信号（レコードとかフィルムとか）だったら、昔は読み取れなかった情報が未来の技術で読み取れる可能性があるが、デジタルの信号（DVDとかBDとか）はいつまで経っても記録時点のままなので、切り捨てられた情報は未来永劫復元できない。最近よく聞くデジタルリマスターも、大元のフィルムから起こすのであって、DVDを原本とすることはない。

などと書きつつも、最近のAI技術では「存在しないものをそれらしく復元する」こともできてしまうので、将来的には何とかなってしまうかもしれないとも思う。未来を見通すのは難しい。