

知能形成の論理回路による理解

唐澤 信司[†]

[†] 宮城工業高等専門学校 名誉教授 〒981-1233 宮城県名取市小山 1-3-6

E-mail: †shinji-karasawa@kbh.biglobe.ne.jp

あらまし プログラム内蔵方式のコンピュータと脳神経回路網の仕組みを説明するには断続的で瞬間的に稼働する論理回路の概念が役立つことを説明します。知能の要素となる個々の条件反射的な反応は類似な状況に適用されるのでアナログと考えられがちですが、現実の知能の活動は多量で多重の開ループ制御で実行されている。各要素の動作は前提条件を同時期に満足する反応を AND 回路で接続し、異なる時間に筋肉を種々の動作で共用する場合には別々に一時的に形成される入力を OR 回路で接続している。アドレスとその解読器を用いてデータを出し入れするコンピュータでは外付け機器や他のコンピュータと一時的に連携し、インターネットを実現させている。

キーワード 知能の形成, インパルス, 論理回路, プログラム内蔵システム, ロボット工学, インターネット.

Understanding of intelligence formation by logic circuits

Shinji KARASAWA[†]

[†] Miyagi National College of Technology, Professor emeritus 1-3-6 Oyama, Natori, Miyagi, 981-1233 Japan

E-mail: †shinji-karasawa@kbh.biglobe.ne.jp

Abstract The concept of intermittent and instantaneous logic circuits is useful to explain how computer or neural network works. Individual conditional reflex reaction is the elements of intelligence. It is tended to be considered analog because they apply to similar situations. However, the activity of real intelligence is carried out in large number of multiple open loop control. The operation of each element connects simultaneously occurred reactions by an AND circuit., and the input which is temporarily formed separately when the muscle is shared by various operations at different times is connected by the OR circuit. Computers that use addresses and address decoders to put data in and out temporarily work with external devices and other computers to realize the Internet.

Keywords Formation of intelligence, Impulse, Logic circuit, Stored program system, Robotics, Internet.

1. 緒言

2020 年度から小学校でプログラミング教育が始められるので、教材として開発されたロボットが注目されています[1],[2]。しかし、小学生は AI や IoT は聞いていますが、多くの生徒は電子回路図や論理記号の図面をみただけで分らないとしてします。専門用語を用いた説明は難しいですが、専門用語の説明はなお難しいです。そこで、プログラミングをして、その仕組みはブラックボックスとするのが普通です。

しかし、情報の世界に生きている生物はいません。判断をするのは人間です。その知能の仕組みが断続的な論理回路で説明できるというのが本報告の主旨です。

コンピュータでは情報のアドレスをプログラムに書き込んでいます。それをアドレスバスに載せてアドレスデコーダにより特定のアドレスのメモリだけが共通線路とのゲートを開き、データを入出力させます。

すなわち、アドレスを用いて指定したメモリに一瞬に情報を送受して保持することを断続的な知能動作の

一つのステップとして実現しています。

神経回路は線形回路と相違して閾値でインパルスを転送します。そこではインパルスが反応の余効により一方方向にだけ伝達され、インパルスの存在する瞬間にその神経細胞が機能する断続的な開ループ制御です。

過去には神経回路を伝えるインパルスの形状に情報が含まれているかと提起された課題で研究がなされましたが信号に相当した証拠はインパルスの波形には見出されませんでした。また、神経回路のインパルスの並び方にモールス信号のような規則もありません。

生物は分子やイオンを入れ替える動作で生命の組織を維持しています[3]。神経回路が伝えるインパルスはその神経細胞が発火する前提条件を満たしたという意味を持っています。つまり、インパルスはサンプリングしたデータであり、インパルスはその神経細胞が発火する状況になったことを知らせます。

脳神経回路網では同時に発生したインパルスのパターンを解読する神経細胞が多重に存在して、その神

経細胞を中継点にして情報を動的に処理しています。

他方、プログラム内蔵方式のコンピュータではプログラムプロをメモリに保存して、メインプログラムによりサブルーチン呼び出して稼働させる“call and return system”仕組みにより動作しています。その動作の実際は複雑になりますが、その動作の原理を電子回路で実現する実験を経験することが理解を助けます。

現在では、コンピュータやロボットのプログラムを学習する教材が発売されており、それらの教材を理解するのに役に立つように“プログラムのしくみを学ぶ電子回路の実験”を企画しました。

プログラミングの仕組みを学習する電子回路を回路図と実物の写真で示して説明し、部品はブレッドボードに挿入しました。その回路の動作は組み込まれた発光ダイオードが発光することで確認しました[4]。

本文では、このような経緯で、断続的に活動が転送されて知能が実現するという主旨の説明を試みました。

2. 原始地球において誕生した物質の生命活動

生命活動は知能を伴って誕生しました。生命誕生の出発点となった細胞の膜は $C_{16}H_{34}$ (融点 18°C 沸点 287°C) あるいは $C_{18}H_{38}$ (融点 $28\sim 30^\circ\text{C}$ 沸点 317°C) の分子を主成分としています[5]。そのような炭化水素の長い直線分子を合成する生化学反応は見つかっていません。原始地球の大気には二酸化炭素(CO_2)の分子が現在の大気の何千倍も多量に存在していました。 CO_2 は海にも多量に溶け込んでいました。その原始の地球環境でそれら炭化水素が次のように生成されました。

太陽風の水素イオン(H^+)が降り注いでいると原子の大気中の CO_2 と衝突して炭化水素の分子が生成されます。メタンの融点は -183°C 、沸点は -162°C です。このように炭素の数が少ない炭化水素分子は気体分子として上空に留まります。また、地表の温度より融点が高い大きな炭化水素の分子は固体になり塊になります。ところが、炭素原子数が16か18個の炭化水素の分子は $20^\circ\text{C}\sim 300^\circ\text{C}$ の温度範囲で液体として存在します。その炭化水素分子は地球環境で液体として存在します。炭化水素分子は水より軽いので、海面に浮遊して、疎水結合により水面に油膜となって集積します。

そこで、著者は、生命の活動が水の表面近傍にある長い炭化水素分子の巨視的な組織で生まれたというシナリオを提案しました[6], [7]。

水面では長い炭化水素の分子が疎水結合で集まり、その組織が協力現象を持ち組織化が促進されます。その膜を構成する炭化水素分子がアミノ酸のR基となれば、そのアミノ酸が別のアミノ酸とペプチド結合してタンパク質の糸状の分子となり、それが膜を縫うようにつながります。その膜の分子の組織は隣接する周囲の

分子にも影響を及ぼして分子の組織が拡大します。

その分子間結合の組織である膜の性質は水中ではつせりする気泡によって観察できます。炭酸水に鉄の微粉末を加えると水素結合した重炭酸イオン HCO_3^- の列と鉄イオン (Fe^{2+}) が二次元分子間結合して平面構造になるので気泡が形成されて水中を浮上します[8]。

二酸化炭素で飽和した炭酸水を凍結した氷を解凍する際に気泡が発生しますが、解凍中の二酸化炭素の小さな気泡の中には気泡が対となって連携して運動する様子や気泡が合体する様子が観察できます。その映像を分子間結合の組織の活動と題して Web site <https://www.youtube.com/watch?v=8uXA0pbUmhU> にアップロードしました。

気泡の合体などの現象は図1に示すように膜の近傍の水の分子が膜面に平行に配列された凝縮してエネルギーの低い水の構造が気泡と気泡の間にできるとして説明しました。

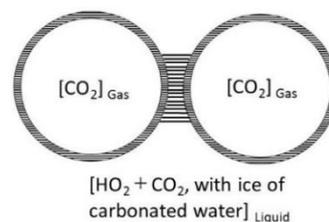


図1 CO_2 の気泡対を連結する液体水の凝縮構造
Fig.1 The condensed structure of liquid water that connects paired bubbles of CO_2

気泡や水面の油膜のような分子の組織の界面では液体の水が動的に組織されます。図2に著者が提案した液体の水の動的構造を示します。

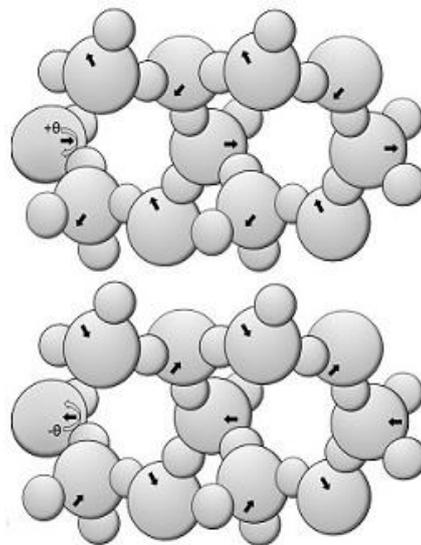


図2 膨張収縮を伴う螺旋型熱振動する水の動的構造
Fig.2 Dynamic structure of water that is helical thermally oscillating accompanying with expansion and contraction

この格子構造のモデルは低温型水晶 (α 水晶) と同じです[9]。四面体の構造単位を光軸に沿って螺旋上に配列しています。その四面体単位は3方向の電気軸を回転軸にして交互に回転する熱振動し、その際に膨張と収縮と同時に電気分極の変化を伴っています。

気泡と気泡が合体する瞬間に図1に示す気泡と気泡の狭い中間領域が不透明になることが観察されます。空飛ぶ円盤型のような気泡が合体するとき急移動することも観測されます[10]。そこで、図2に示す構造が膜と膜の間に行けると考えられます。

のらせん構造の一部がひずむとその領域の電子状態は励起状態になります。その励起状態が熱運動により転送されます。その励起状態が転送されるという分子の組織が生命活動の誕生には重要な要素です。

しかし、まだその確証は得られていません。水の構造の平均寿命は 10^{-12} 秒程度であり、含まれる分子や観測条件によって水の分子の配列が変化するので水の分子の構造を観測することは難しいといわれています[11]。

3. 知能のしくみとしての解読器

図3に示す回路は電池の接続状態を発光するLEDで示すことができます。実験回路は電子部品をブレッドボードに組み込み作成します。ここで、閾値論理でサンプリングして得るデジタルデータとして電池の極性の入れ替えを、LEDでデータの極性を解読していると考えられます。

特定の状態を選択するのが認識の機能であると仮定すると、認識の機能の形成が回路の接続で実現します。そうすると、この電子回路で簡単なコネクションモデルを実験したとも言えます。

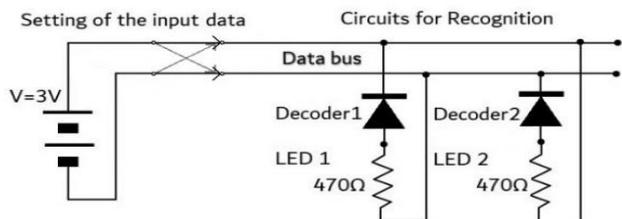


図3 コネクションモデルを実験で示すLEDの回路
Fig.3 The LED circuit that experiment a connection model

現象の意味は考え方に依存します。分子を作る環境が活性化されてその分子が合成されます。活動を制御することはそれを引き起こす環境を活性化することです。従って、動作行方条件に適合して稼働する解読器により動作が制御できます。

4. 神経回路網の発達

4.1 デジタル的に状態を遷移する組織の形成

PLA(Programmable Logic array)では入力に非反転入力と反転入力を準備して、Hレベル[1]をAND回路の入力とすれば自動的に解読器群を作ります[12]p.94。

図4に、Aを上位の桁、Bを下位の桁とする2桁の2進数を10進数に解読する回路を示します。

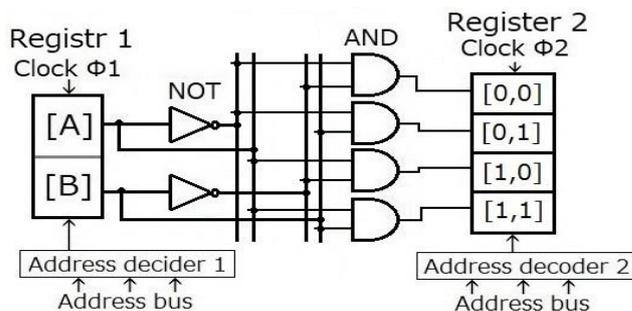


図4 2桁の2進数を解読する回路
Fig.4 Decoders of two-digit binary numbers

図4には処理のタイミングの制御回路も示しています。デジタル情報処理ではデータをフリップフロップ回路に保持しておいて組み合わせ論理回路により処理します。一つの状態の遷移の結果が次の状態遷移に反映するために、状態遷移が一度に進行してしまうことを避ける必要があります。そのためにゲートを開く制御信号は前と後のレジスタについて遅延時間を設定しています。2相クロックシステムでは、 $\phi 1$ および $\phi 2$ の2種類のクロックパルスによりゲートを開閉して時間の進行でデータが一方向に転送されます[12]p. 89。

このように、コンピュータはレジスタが重要な役割を果たすのでコンピュータをレジスタマシンとも呼ばれます。

4.2 階層構造のファイル名を持つ知能の構造

脳神経回路網ではセンサからアクチュエータへの励起状態を正のインパルスで転送する断続的に動作する開ループ制御です。神経細胞は閾値で発火し、発火の余効により発火は断続的になります。神経細胞は同時に到達したインパルス群をAND論理の回路でまとめて解読する回路網を形成します。その時に同時期に稼働している解読器群をまとめた上位の階層の解読器により一時的な階層的に解読する構造ができます。

神経系の入力部や出力部には種々の活動で同じ部分を共用します。解読器群が多重に活動しますが各々の解読器はそれぞれ別々に進行し、神経細胞が閾値を超えなければその活動は消滅します。状況があまり変わらなければ一時記憶されたように断続して発火を続

けます。そこにはインパルスを巡回して一時的に保持する仕組みは存在しません。神経回路は常に活動しており、神経回路の上層の神経細胞の活動により、予測することや創造的な活動ができます。小脳研究の国際的な権威の伊藤正男博士は脳の回路網は階層型バックプロパゲーションとは違ったところがあると指摘しています[13]p.12。

人間の脳では、連合野は脳の2/3を占める。その連合野は言語表現などの上位層の情報の代表をつかさどると理解することができる。図5に示すように下位の層のファイル名(情報の代表名)の集まりを上位の層の一つのファイル名でまとめるとファイル名の組織が木構造になります。神経細胞は閾値で活動するので頂上のファイル名が予測の活動ができます。

コンピュータのファイルと人間の言語表現は同じ情報の要素の構造であり、その制御は時間の経過で進行します。ただ視覚では断続的な一方向の平行的な制御であり、多量のデータが流れ込んでいます。参考までに NEC の μ PD7281(Image Pipelined Processor, 1984年)は印鑑照合, 指紋照合に採用された。

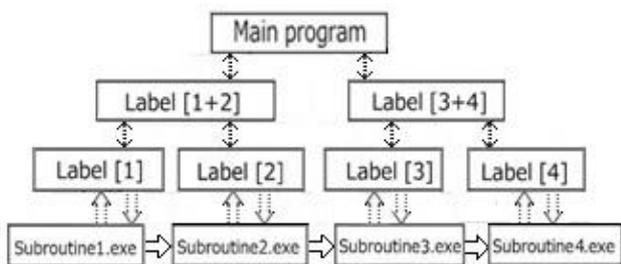


図5 ファイル名を階層化した知能の構造
Fig.5 Layered representatives in intelligence

4.3 言語使用による知能の構築

人間は現実の世界の生活で言語の世界を構築しました。現実の事実の共通な事柄を言葉で表現しましたので、言語が普遍性を持ち、その普遍性を活用して創造性を発揮しました。神経回路網で断続的にインパルスを送って活動することが高度な知能を持ちことを可能にしました。人間の言語の認識は、文脈や環境が関与しています。脳の連合野がそれを可能にしています。

Noam Chomsky の標準理論(standard theory)では意味部門としての深層構造(deep structure)と、音韻部門として表層構造(surface structure)があるとして、深層構造の活動が変形部門に送られて表層構造に形体を変えするというモデルを考え、そこで音声表示(phonetic representation)や意味表示(semantic representation)の構造を考えました[14]。木構造の言語の構造論によりコ

ンピュータで人間の話しを聞き取り、文章にすることや、コンピュータの処理で書かれた文章を読むことができるようになりました。

4.4 プログラム内蔵方式の装置の構成

図6に示すようにプログラム内蔵装置では入出力装置やレジスタあるいはメモリが共通のアドレスバスおよびデータバスに並列に接続しています。そこで、アドレスバス(Address Bus)を使用して、プログラムで指示したアドレスのゲートを開いてデータを入力や出力を実行します

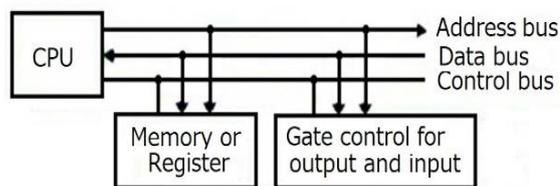


図6 デジタルデータの処理を行う回路の構成
Fig.6 Circuital configuration for digital processing

データの処理は図7に示すように一時的にデータを保持するレジスタを用いてデータをデータバスに載せて、そのデータを組み合わせ論理回路によりします[12]p.89。

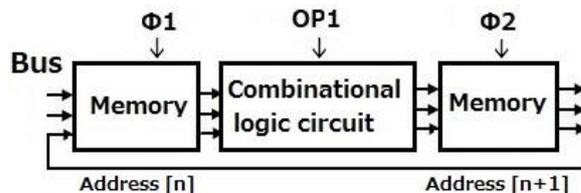


図7 帰還回路を付けたレジスタ転送回路
Fig.7 Register transfer circuit with feedback circuit

レジスタはフリップ回路を並べて構成されます。図8にフリップフロップの実験回路を示します。

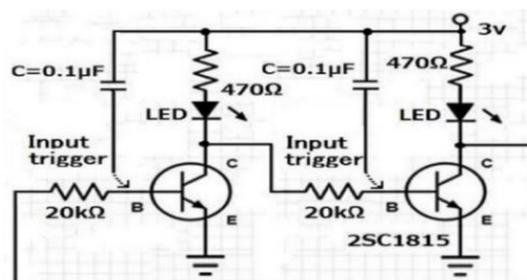


図8 フリップフロップの実験回路
Fig.8 Experimental circuit of a flip-flop circuit

4.5 共用する出力装置の OR 論理による制御

様々な動作で稼働させる筋肉のような装置の入力回路はそれぞれの動作で別であり独立しています。図9の右のように入力回路群をワイヤード OR で接続すると入力回路が独立なくなります。そこで一方的に inputs が制御する回路要素のダイオードあるいはトランジスタを入れた OR 回路を用います。

十進数の 0~3 を 2 桁の 2 進数に変換する OR 回路を図9の左側の回路に示します。右側の wired OR 接続では入力の相違がなくなってしまいます

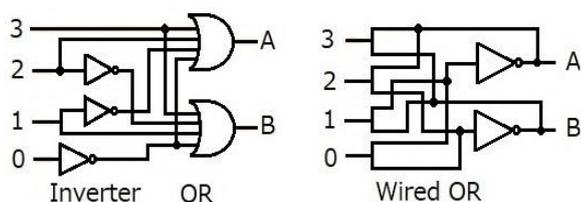


図9 OR論理による共用出力の制御回路
Fig.9 Control of shared system by OR logic connections

小脳は筋肉細胞の駆動を支援することが知られています。その小脳を特徴づける神経細胞はプルキンエ細胞です。この細胞は刺激を抑圧する物質を出力することが明確になりました[13] p.8。興奮性刺激が来ない時に抑圧性神経伝達物質を放出するという報告がある。そこで、ド・モルガンの定理を考えると、小脳では興奮性刺激が来れば興奮性刺激を抑圧しないという OR の論理で興奮性の刺激のラインを抑制する機能で制御していると理解できます。

5 プログラム言語

5.2 アセンブリ言語とC-言語

変数としてデータを収めたメモリのアドレスを用いたプログラムを作れば、いろいろデータを変化させて処理できます。そこで、データにプログラムを示す拡張子を付けプログラムとデータを別にしてあります。

アセンブリ言語のプログラムではメモリの番地を具体的に記述するので、少ないメモリをレジスタとして繰り返して使用できる利点があります。

他方、c-言語は異なるアーキテクチャのCPUでも移植をすることができるように開発されたプログラミング言語です。c-言語のプログラムでは変数で宣言し、指定された変数の内容を定義し、それを呼び出して使うのでプログラムが階層化しています。

整数を扱うデータ型(int)の加算をc-言語で記述したプログラムの例を図10に示します。

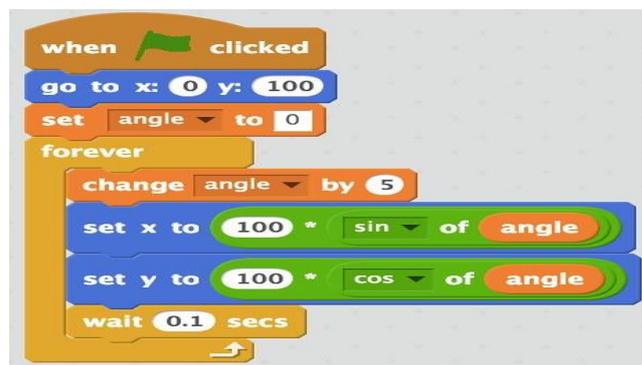
```
#include <stdio.h>
int add(int a, int b); //function declaration
int main()
{
    int a=10,b=20;
    int c=add(10,20); //function call
    printf("Addition:%d\n",c);
    getch();
}
int add(int a,int b) //function body
{
    int c;
    c=a+b;
    return c;
}
```

図10 プログラム言語の c-言語のプログラムの例
Fig.10 Example of a program written by c-language

5.3 ビジュアル・プログラミングソフト

Scratch (スクラッチ) はMITメディアラボが開発したソフトウェアの統合的な開発環境です。

図11 にスクラッチのプログラムの画面を示します。命令名や関数名などを覚えている必要が無く、マウス操作で画面上の表示 (アイコン) を移動してプログラミングができます。



https://c1.staticflickr.com/3/2819/9461183065_9b58e060f2.jpg
図11 スクラッチのプログラムの例
Fig.11 A sample of scratch program

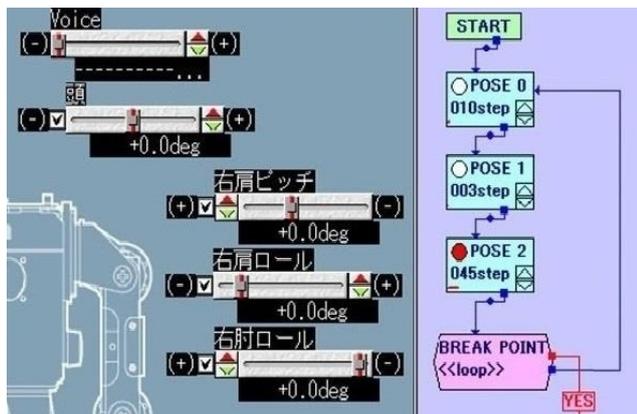
[Arduino]はロボットを制御するのに適したイタリアで開発されたマイコンボードです。S4A というファームウェアをインストールすることによってスクラッチでプログラミングができるようになります[15]。

[Raspberry Pi]はプログラミングの学習に適したイギリスのラズベリー・パイ財団が提供する小型コンピュータです[16]。

[micro:bit]はイギリスの BBC が中心となって開発した教育用のマイコンボードで、スクラッチと同様にプログラミングができます。

5.4 ロボットを制御するプログラム

ロボットを制御するプログラムの作成により人工知能の基本が学習できます。市販の教材には容易にプログラミングができるように様々なツールの集合からなる統合的な開発環境(:IED) が準備されています。図12に1例としてヴイストーン社の二足歩行ロボットのプログラミングのエディタの画面を図12に示します[17].



Reproduced from an editor [Robovie Maker II], V-stone [17].

図 12 プログラミングエディタ「Robovie Maker II」
Fig.12 Programing Editor「Robovie Maker II」

図12の右側で状態の遷移を示します。赤印で指定された状態の各関節のデータが右側に示されます。このロボットでは関節部にサーボ モーターがあり、サーボモーターには回転軸の角度の位置を検出するセンサがあり、指令された角度に内部で自動制御しています。

6 インターネットにおけるネットワークの仕組み

インターネットはアドレスで結ばれたコンピュータのネットワークです。送信では、@に続いて示されている送信元のメールサーバにメールをSMTPパケットで送り、そこから@に続いて示されている受取り側のメールサーバに送り記憶されます。受信ではメールサーバにユーザー名とパスワードを送って認証された受信者がPOP3のパケットのメールを受け取ります。

インターネットと無線で接続するWi-Fiルーターが複数ある場合にはパソコンとそのどれかのWi-Fiを接続するには識別名 (Service Set Identifier) を指定し、そのパスワードを入力して接続します。

他方、Local Area Network(LAN)でケーブルや無線電波などでパソコンとプリンターなどが相互にデータ通信ができるようにするには、Wi-Fiのルーターの機能を停止させて(アクセスポイントモード)にしてLANの内部の機器間でデータを送受するようにセットします。このように困難を解決する技術が組み込まれています。

7 あとがき

本文は脳とコンピュータの知能の動作が断続的で瞬間的な操作により行われていると説明しました。

本報告が断続して採取される多量の並列データを多重に解読する視覚等の開発に貢献できれば幸いです。

文 献

- [1] E. Afari, M. S. Khine, Robotics as an educational tool: Impact of Lego Mindstorms, Inter. Journal of Information and Education Technology, Vol 7, No.6 pp.437-442, June 2017.
- [2] F. Basoeki, F. D. Libera, E. Menegatti, M. Moro, Robot kits from Japan: new frontiers in education, Proc. 3rd Inter. Workshop Teaching Robotics, Riva del Garda (Trento, Italy, pp.180-190, April 20, 2012.
- [3] S. Karasawa, Origin of metabolism: a network of chain reaction via intermolecular coupling, http://youtu.be/_e1YV2rrVLQ, 2013.
- [4] 唐澤信司, プログラムのしくみを学ぶ電子回路の実験, 仙台市青葉少年少女発明クラブ, 英語で工作 Website 資料, http://www.hatsumei.club/19.10.26_11.23.pdf, 2019.
- [5] B. Alberts, D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, J. D. Watson, Molecular biology of the cell, Third Ed., p.479, 1994.
- [6] 唐澤信司, 生命誕生の謎は如何にして解明されるのか? 生命の起原および進化学会・アストロバイオロジー, 夏の学校, 講演要旨, p.17.千葉工業大学, 2018.
- [7] S. Karasawa, The birth of life on the Earth, <https://www.youtube.com/watch?v=p-PfUaZ1s7A>, 2018.
- [8] S. Karasawa, Prebiotic reactions in the bubble that was formed in carbonated water by iron atoms, Viva Origino, Vol.42, No.3, Received: Sept.1,2014, Accepted: Sept.24,2014.
- [9] 唐澤信司, 解凍する炭酸水の氷の近傍において気泡の挙動が示す水中の分子がラセン運動する条件, viva Origino Vol.43, Supplement March 2015, pp.7, 第40回学術講演会, 東京理科大, 2015.
- [10] 唐澤信司, 解凍する炭酸水の氷の近傍において気泡の挙動が示す水中の分子が螺旋運動をする条件, <https://www.youtube.com/watch?v=DK2izjAxTFY>, 2015
- [11] Ho M-W, Large Supramolecular water clusters caught on camera- a Review, WATER, 6 ,1-12, Jan.20, 2014.
- [12] C. Mead, L. Conway, Introduction to VLSI system, Addison-Wesley Pub. Co., Inc, 1979.
菅野卓雄, 榊裕之 監訳, LS システム入門, pp.89, pp94, 培風館, 1981.
- [13] 甘利俊一 監修, ニューロコンピュータの現状と将来, 伊藤正男, “脳に学ぶ”, p.12, p8, 共立出版, 1991.
- [14] N. Chomsky, Aspects of the Theory of Syntax, MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1965.
安井稔(訳), “文法理論の諸相”, 研究社, 1970.
- [15] 福田和弘, これ1冊でできるラズベリー・パイ長入門, ソーテック社, 2018.
- [16] 福田和弘, これ1冊でできる! Arduino で始める電子工作超入門, ソーテック社, 2015.
- [17] ロボット用小型 CPU ボード 「VS-RC003」専用ソフトウェア, Robovie Maker II, V-stone, 2007