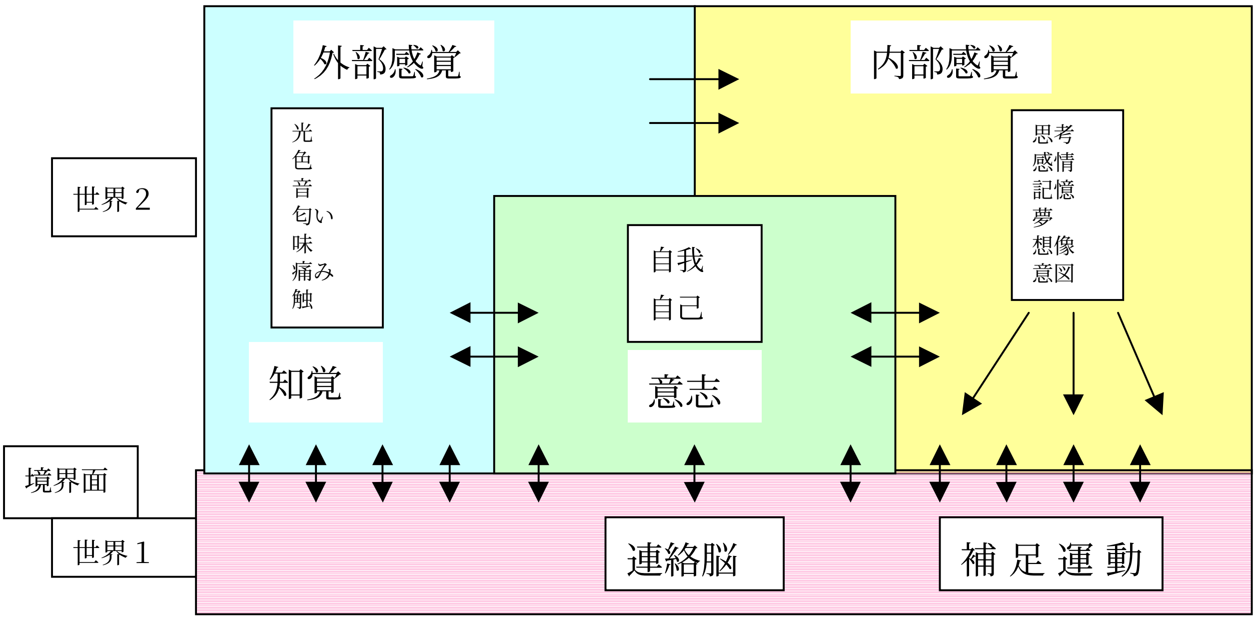
目次

０．　序論

　意識というものは我々の身体のどこにあるのか。あるいは、それは身体に属するものではなく、魂のようなものが独立に存在し、我々の身体を操っているのだろうか。これは誰しもが一度は行き当たる疑問であろう。あるとすればどこにあるのか。解剖学の進んでいなかった頃は、心臓や他の器官も疑われたりしたが、現在、それは脳にあると考える人がほとんどであろう。これは、他の器官をしらみつぶしに調べていって、最終的に脳だけが残ったということもあるかもしれない。実際、臨床実験による、脳内の電流の測定や、そこから出る電磁波の測定による成果によれば、意識活動と脳の生体活動には何らかのつながりがあることは明らかであるように思われる。

脳⇔心相互作用



(参考文献[1]より)

　しかし、はたして脳が意識活動を司っているのか。あるいは、意識活動が脳を操っているのだろうか。この議論について、ジョン・エックルス（John C. Eccles）は「二元論-相互作用説」という仮説を立てている(参考文献[1]参照)。二元とは、意識と脳とは同一ではない、もしくは、意識は脳の構造に完全に含まれるものではないという意味である。エックルスの仮説は「心と脳は独立した存在で、脳は『世界１』にあり、心は『世界２』にあって、これら２つは量子物理学によって相互に作用しあう」と主張した。「『世界１』は、無機物と有機物を問わず宇宙の物質界全体であって、生物の全て、人間の脳をも含み、人間が作ったもの全てを含む。『世界２』は、意識的経験の世界、すなわち心の世界であって、視覚、聴覚、触覚、痛覚、飢え、怒り、歓び、恐れなどの我々が直接知覚する経験の世界だけでなく、記憶、想像、思考、計画的行動の世界でもあり、独自性を持った自己の世界

の中心にある意識的経験である。」つまり、意識と脳(物質)はそれぞれ、別の次元に存在するものであるが、それらは互いに完全に閉じているわけではなく、その境界面で相互に作用するというわけである。

このモデルが正しいのかどうかはわからない。総じて言えば、まだまだ意識という対象は個人の宗教観や哲学観の束縛から解き放たれていないというのが現状であろう。現在、意識研究には大きく二つのアプローチがある。心理学と、脳神経科学である。

心理学の研究は、被験者の意識を試験者が検証する方法と、自らの意識を内証する方法とがある。被験者の意識を試験者が検証する方法では、被験者は心に浮かんだことを試験者に伝えるために、その内容を試験者の理解できる形で表現する必要がある。表現法としては、被験者が声に出したり、紙に書いたりしたものを試験者が解釈するという手段が用いられる。これには、被験者と試験者の高次の意識活動を伴うため、被験者の意識を正確に分析することが出来ないのは明白である。被験者が嘘をつくかもしれないし、試験者が何か勘違いするかもしれない。また、内省する方法としては、瞑想（meditation）のような方法が挙げられる。ブッダ（Buddha）は、菩提樹の下で瞑想にふけることにより、悟りを開いたと伝えられている。しかし、ブッダが理解した心の状態を知るためには、やはり、伝える側、伝えられる側の高次の意識活動を伴うため、正確にその状態を伝えられるとは考えにくい。

宗教的、哲学的な検証も意識研究であることを考えると、ずいぶん古くから人は意識活動の研究をはじめたものである。これに比べ、脳神経科学による意識活動の研究は、近年になって急速に発展してきた研究分野である。はじめのうちは、動物の脳に損傷を与えた場合の動物の行動を観察したり、もともと脳や身体に障害のある人を観察したりするような実験が主だった。やがて解剖学の発展により、脳の仔細な構造がわかってきた。脳に直接、微細な電極を差し、脳神経の電流を計測したり、脳波を計測したりして、被験者の刺激に対する反応を調べるのである。この手法であれば、実験結果がデータ化されるので、意識活動を共有できるような感じがする。しかし、任意のニューロン発火パターンや、脳波のグラフなどの検出結果から、そのときの意識活動の意味を被験者の高次の意識活動の助けを借りず、一意に取り出すことは不可能なのではないだろうか。

つまり、どちらの手法も、第三者がその得られた反応から意味(情報)を客観的に汲み取ることが出来ない、という根源的な問題を抱えているのではないかと思われる。

仮に、意識活動が脳を操っている場合、脳神経科学で、脳の構造がどこまで詳しくわかっても、その意識活動の意味を取り出すことができないかも知れない。我々が脳と呼んでいるものは物質によって構成されているものである。これに対し、意識は必ずしも物質を伴わなくてもよい可能性がある。それは、意識活動は動的な情報のやりとりであるという考えからである。情報は物質に刻まれることによって記録され、他人に伝達されるなどして、共有することができるものである。しかし、物質がないと情報を表現できないからといって、情報が物質を伴わずに存在し得る可能性を否定することは出来ないであろう。意

識は、ある程度脳の構造に依存する部分もある。とは言え、その全てが脳の構造によって定まると断定してしまうのは時期尚早であろう。むしろ現段階では不可知の立場をとるのがより科学的な立場のように思える。そこで、必ずしも解剖学的な構造に囚われない、むしろ知覚できる情報に重みを置いた意識モデルの考察を試みるに至った。

本研究では、我々が意識というものをどのように定義できるか、特に意識内に、ある種の単位と呼べるような活動があるかどうかについて、まず内省により考察を行った。この内省はあくまでも多数の人々に共有できる客観性の高い意識活動に可能な限り限定したつもりである。その結果、感覚器への入力刺激の、時間などに対する振幅の振動を内的な振動に置き換える過程があり、その過程が意識の最も基本的な要素となるのではないかと考えるに至った。つまり、感覚刺激という、物理的な、しかし同時に意味を含んだ波の情報をそのまま内的な情報、つまり、意識の要素へと置き換えることをねらいとした。かくして、波束を情報のかたまりとして考え、その情報処理の過程を数理物理学的に取り扱う単純なモデルを考案するに至った。そのモデルとは与えられた刺激の特徴を記憶された波束との内積を取ることにより、抽出し、再構成するという端的な繰り返しの過程を単位とする低次の意識モデルである。信号解析の方法としてウェーブレット解析を用いた。この解析法は有限な台を持つ波束（ウェーブレット）と相似な入力信号中の波形を抽出して再構成できる。加えて、時間情報を保持した動的な振る舞いを記述出来るというメリットを持つ。このモデルでは、先ず波束に意味を込め（学習)、その波束に基づいて入力刺激の分解 - 再構成を行う。ここで、分解は認知に相当し、再構成されている波形は想起しているものに相当する。このように波束に対して情報をマップすることにより、例えば、脳内を物理的に伝播する波束に込められた意識活動を一意に解釈できるはずである。本研究では、この方法による刺激の分解 - 再構成アルゴリズムを構築し、波束に込められた情報を失わない低次意識モデルを計算機上で実現することを目指した。

１． 脳・意識研究の現状

この章では、現在行われている意識研究の二つのアプローチについてまとめた。

１．１　現在の意識研究の問題点

心理学的アプローチ

個人の内省による方法と、被験者を試験者が観察する方法とがある。しかし、個人の思考結果を他人に伝える場合、それが完全に正確に伝わっているという保障は何もない。また、被験者に対してある刺激を与えたときの被験者の意識活動を解釈するのに、試験者と被験者との双方の高次の意識活動を伴うため、客観性に乏しいといえるのではないだろうか。

脳神経科学的アプローチ

被験者に対して、ある刺激を与えたときの脳の反応を、その約１００億個の脳神経一つ一つから電気的な情報が全て取り出せたとしても、その任意の発火パターンから被験者の意識活動を解釈するのは困難である。そのため解釈には結局、試験者の高次の意識活動の助けが必要となるため、やはり客観性に乏しい結末になるかもしれない。

本研究におけるアプローチ

意識研究の現状を考えると、取り出せた結果に客観性がないということが根源的な問題点としてあるのではないだろうか。意識活動を客観的に表現するためには、外部刺激などの物理現象とそこに含まれる意味を双方向に扱えるような方法が必要である。そこでまず、心理学、脳神経科学の両面から、意識及び、解剖学的な階層構造を議論し、物理現象とそれに随伴する意味の接点を、どの階層に求めるのかについて考察することにした。

１．２　心理学からの意識単位の考察

意識についての探求はずいぶん昔から、恐らく人類の歴史がはじまった頃から既に行われていたのではないだろうか。それは哲学や心理学と現在呼ばれているような方法であるが、間違いなく、脳神経学による研究よりもはるかな長い研究が行われてきた。例えば、昔、人は苦行をすることによって、心の安らぎが得られると考えた。紀元前６世紀ごろ苦行した挙句、それを否定したのはブッダであった。また、１８世紀にはフランスのデカルト（Descartes）が、全てのものごとを疑い否定したが、疑っている自分自身の意識の存在は疑えないことから、「我思う故に我あり」という言葉にたどり着いた。今世紀になり、これもフランスの哲学者であるフッサール（Husserl）は、「意識とは常に何物かについての意識である」と指摘した。我々が、何かものを見たり、聞いたり、触ったり、味わったり、匂ったりするのは常に対象となる『何物か』が必要である。また、何か想像したり、意図したりすることも、その中で見たり、聞いたりしている自分という対象として『何物かについて』想像したりしているといえる。「意識とは常に何物かについての意識である」ということは、この宇宙全体の無限ともいえる大量の『何物か』に対する意識が存在していることになる。しかし、認知心理学の研究により、意識というものは実はいくつかのカテゴリーに分類できることが示された。まず、各感覚器への外部刺激に対する意識がある。よく五感といわれるもので、視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚のことである。生理学的には、圧覚・振動感覚・温度感覚・痛覚・固有感覚（位置や動き、力や重さの感覚）を含んだ体性感覚と、平衡感覚を補う必要がある。これとはべつに第六感と呼ばれる感覚がある。これは直感やインスピレーションのことで、私たちが、いわゆる「意識」と呼ぶ感覚のことであろう。だが、「意識」とは感覚器からの情報を統合したものから生まれるものである

と考えられるので、知覚することも意識の要素であると考えられる。また感覚といってもいろいろと分類できる。例えば、「鉛筆」という一つの意識に対しても、字や絵を書くためのもの、芯は黒色、木で出来ていてどのぐらい硬いなどと様々な細かい要素によって成り立っていることがわかる。そして、その要素もさらに細かく分類することが可能である。つまり、意識は要素的意識の複合体であるといえる。認知心理学においてはこの要素を「モデュール（module）」といい、それによって成り立っているという性質を「モデュラリティ（modularity）」という。要するに、意識は多数のモデュールの集まりで、モデュラリティをもつということになる。モデュールはもちろん互いに相互作用をするが、単位として独立しており、個別に、あるいは並列して働くことができる。仮にあるモデュールのはたらきが阻害されても、他のモデュールの機能は失われない。

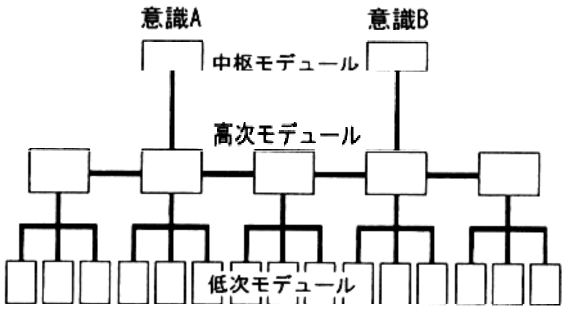


図１．１　意識のモデュラリティ

（参考文献[10]）

１．３　脳神経科学からの意識単位の考察

　脳の解剖学的な研究は近年急激な発展をみせている。脳細胞には、電気信号を伝えるニューロンと、ニューロンの環境を整えたり、脳の構造的な支えになったりする役目のグリア細胞との二種の細胞がある。一つのニューロンは一本の軸策とたくさんの樹状突起を持つ。軸策は先端で枝分かれして、他のニューロンの樹状突起にシナプスと呼ばれる接点をつくる。シナプスは電気的に絶縁されているが、軸策の終末部から、神経伝達物質と呼ばれる分子が分泌される（図１．２）。ニューロンの軸策（神経線維）とシナプスによる、ニューロンどうしの結びつきを神経結合という。

　さらに多くのニューロンが、互いに結びついてつくるネットワークを神経回路網と呼ぶ。脳は、百億以上のニューロンからできている、神経回路

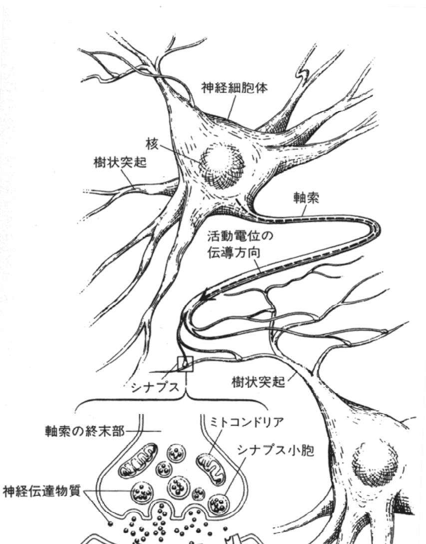


図１．２　ニューロンと
シナプスの模式図
（参考文献[2]）

網の巨大な集まりである。脳は、大脳、小脳、脳幹の三つに大きく分けられる（図１．３）。脳幹は、心臓の活動や呼吸をコントロールする、生命の中枢である。小脳は、主に運動の学習に関係した中枢である。

脳幹の大脳に近いところに、視床と呼ばれる、感覚の入力センターがある。この視床を取り囲むように、弓なりの円筒型をした海馬が、左右に一つずつある。海馬は、記憶のはたらきに必要な場所の一つである。大脳は、左右に一対あるので、大脳半球と呼ばれる。視野や、身体の運動および皮膚感覚などについて、右脳は左側を支配し、左脳は右側を支配する、という分業がある。また、言語や思考などの高次機能では、左脳と右脳のはたらきに差があることが知られている。たくさんのしわが見られる大脳の表面（厚さ四〜五ミリ）が大脳皮質であり、そこには灰色の脳細胞が詰まってい

大脳皮質は、後頭葉、側頭葉、頭頂葉、前頭葉の四つに大きく分けられ、更に層構造や機能の違いに基づいて、地図のように区分される（図１．４）。区分された大脳皮質の領域を、特に領野という。それぞれの領野は更に、「コラム（ column ）」という、より基本的な単位からできている。コラムは大脳新皮質の３つの神経要素、すなわち、出力ニューロン（他の脳部位に情報を送り出す）と内在ニューロン（皮質の中で情報をやり取りする）、そして求心線維（他の部分からの情報を伝える）がある。

この３つの要素が一定の規則で結合した単位構造がコラムである。１個のコラムは数万個のニューロンを含み、円柱（ないし直方体）状の形をしている（図１．５）。現在では、コラムが大脳の最も基本的な単位であると考えられている。そのため、脳科学ではコラムをさして「モデュール」と呼ぶことが多い。

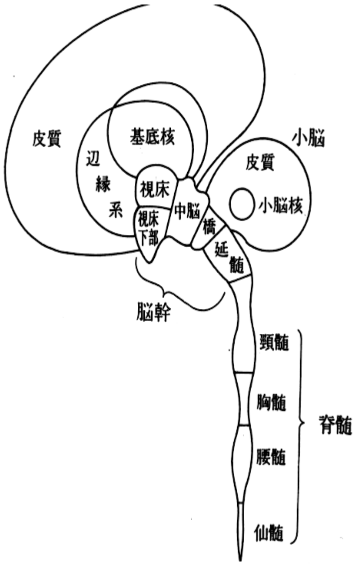


図１．３　脳と脊髄の区分
(参考文献[8])

このように、脳は様々なレベルの単位構造がおりなす多重構造であり、多数の単位構造による分業と統合が脳の働きの基本原理なのである。しかも、心と同様、小さな単位構造はさらなるより小さな単位構造に分けられるという「入れ子構造」になっている。心も脳もその大きな特徴かつ共通項はまさに「モデュラリティ」にあるわけだ。

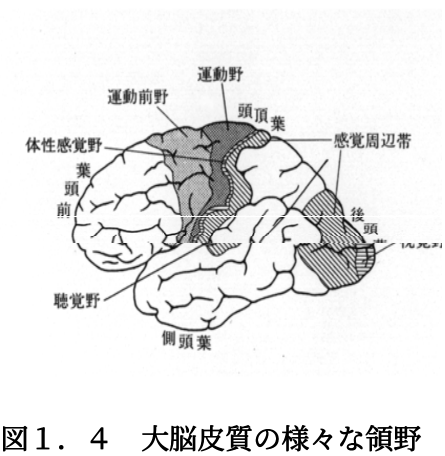


図１．４　大脳皮質の様々な領野
(参考文献[8])

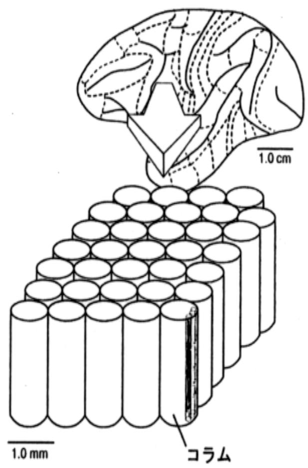


図１．５　コラム構造
(参考文献[10])

２．意識単位の考察

この章では、意識活動をモデル化するため、その要素となるものを突き止めることを目的として、具体的な意識活動について内省を行った。

２．１　意識活動の具体例

①　目に見える情景の中で、あるものを個別に認識する
②　耳で聞いた音の中から単語を探す
③　物が動いていることを認識する
④　テレビ
⑤　夢をみる
⑥　日本地図を描く
⑦　世界地図を描く
⑧　定常的に鳴っていた音が鳴り止んでも、聞こえている気がする
⑨　時間という感覚がある
⑩　幻肢
⑪　連想する

２．２意識活動の考察

①　目に見える情景の中で、あるものを個別に認識する

普段、我々が見る情景の中には、様々な要素が含まれている。それは、いつも見慣れているものであったり、とても珍しいものであったり、探しているもの、興味のあるもの、全く無いもの、好きなもの、嫌いなもの、等等である。ここで漠然と、”

もの”と述べたが、人間の記憶は様々な種類の”もの”という知覚の単位で外界からの刺激を区別し、記憶していると考えることが出来るのではないか。この単位を今後、記憶のパケットと呼ぶことにする。

この意識活動の場合、観測者がすでに学習によって保持している記憶パケット（人、自動車）により、視覚から入力される大量の情報を解析し、知覚、認識するという過程があると思われる。

② 耳で聞いた音の中から単語を探す

視覚による認知と同様に、既知のひとかたまりの音の情報を記憶パケットとして、耳から入る情報を解析すると考えることにする。音の情報は、様々なノイズを含むものである。この中から今までに聞いたことのある単語を取り出すという作業をしているのではないだろうか。つまり、既知の音で任意の音の解析をしていると考えることが出来るのではないだろうか。

③ 物が動いていることを認識する

物事を認知する過程は、ある複雑な入力信号を観測者固有の記憶パケットにより解析する、一連の流れであるように思える。この流れの１サイクルが意識を構成する最小単位のものと考えられる。物が動いている系を見るとき、最初の１サイクルで物を認知し、その場所にあることを記憶していると仮定すると。その直後の１サイクルで再び、その物を認知すると、それまで記憶していた位置とずれている事がわかる。さらに次のサイクルでは、さらにずれている。このずれの連なりが物の動きとして認知されると考えられるのではないだろうか。

④ テレビ

テレビの動画は、連続ではなく約３０㍉秒の周期で変化している。それが、実際に動いて見えるのは、ある刺激の入力を受けて、それを知覚し、思い浮かべるなどの一連の処理にかかるある一定の単位時間があって、その周期がテレビの画像の更新周期よりも、長いからであると考えられる。これは、脳波の周期が４０Hz であるという事実に照らしてみても、矛盾はしないと考えられる。

⑤ 夢をみる

眠っているとき、何も意図しなくても誰もが夢をみる。我々が覚醒しているとき

は、その感覚器官も鋭敏に働いているので、絶えず外部からの入力信号に対し、既知の記憶パケットによる解析を行う作業を繰り返しているのではないだろうか。しかし、眠ることによって各感覚器官からの入力が激減すると考えられる。そのときも、意識は解析を繰り返そうとするのではあるまいか。解析、つまり記憶パケットと入力信号とを比較することと考えられるが、入力信号がホワイトノイズに近いとき、認知されるのは既知の記憶パケットのバイアスを受けてしまうのではないだろうか。つまり夢とは、既知の記憶パケットによるバイアスをみていると考えることも出来るであろう。

⑥　日本地図を描く

　日本地図を描くとき、まずその全体像をくっきりと思い浮かべることが出来る。紙の上に描こうとするときに、その像を正確に再現することは出来ないが。大体、一まとまりとして、描けるはずである。これは、毎日のように天気予報などで、日本地図を見ているために、その形全体をパケットとして記憶していると考えられる。

⑦　世界地図を描く

　日本地図を描くときと比べて、世界地図を描く場合はその全体像を思い浮かべることは困難である。どうやるかというと、まず、おぼろげな全体像をイメージし、アメリカやオーストラリア、インドなどの位置と形を思い出しながら、パズルのように組み立てていく。しかし、普通は日本地図に比べ、陳腐な絵しか描けない。これは、世界地図は普段見かけることが少ないために国や島の形、それらの位置関係の記憶パケットが曖昧なものでしかないことに由来するのではないだろうか。つまり、パケットとして記憶されやすいものは、情報としてある程度小さいものであり、また、その情報の入力頻度が高いものであると考えられる。そして、単体の情報として大きすぎるものは、既知の細かいパケットの合成で表現されるようである。

⑧　定常的に鳴っていた音が鳴り止んでも、聞こえている気がする

　何も特別な音が鳴っていないときに、突然、ピーというアラーム音を聞くと、その音に誰もが反応する。何も口に出して言わなくても、誰もがその音が鳴ったことには気づいている。これは、一瞬の間に起こる意識活動である。さらにアラーム音が、間欠的に鳴り続ける場合、最初のうちは、鳴り続けているな、と感じるが、やがて気にもかからなくなる。そのときに、ふと、定常的なアラーム音が止まってしまう。そうすると、アラーム音が本当に止んでしまったのか、それとも、まだ実は

鳴り続けているのか、区別がつけられなくなる。

この一連の過程で、我々の意識はどのような働きをしているのだろうか。先ず、最初にアラーム音を聞いたときは、聞こえたままを受け入れることになるであろう。これを丸憶えするのではないだろうか。２回目の音は、１回目の音との相関をとると、とてもよく似ていることに気づくであろう。さらに３回目以降、どうやら全く同じ音が鳴り続けているのだと気づくであろう。相関を見続けていくうちに、やがて、ほぼ完璧に、アラーム音を頭の中で再構成できるようになっている。アラーム音がどんな音で、どんなタイミングで鳴るのか、完全に予想がつくようになる。もはや、その定常的な音が鳴っていようが鳴っていまいが、関係なく無意識に定常的なアラーム音を再構成し続けるのではないだろうか。

⑨　時間という感覚がある

我々の周りには、大なり小なり、常に何らかの刺激がある。それは音であったり、風景であったり、温度であったり、様々な感覚に対しての刺激である。しかし、どんな刺激に対しても、刺激（入力信号）を受けそれを、分解（知覚）し再構成するサイクルがあると思われる。このサイクルより細かい変化を我々は知覚することができないのである。つまり、この刺激の分解－再構成が、知覚（意識）の最小単位と呼べるのではないだろうか。この最小単位が我々の知覚し得る時間の最小単位になると考えても無理はないだろう。

⑩　幻肢

幻肢とは、手足などの身体の一部を事故や病気で失った人が、そのすでに失われた身体の一部の感覚をあたかも、まだ実在しているがごとく覚えるという現象である。その失われた感覚器(手や足)からの入力信号はないのにもかかわらず、まるで、もともとあった場所に手や足があるように感じる。このことは、その感覚器があった頃から、その感覚器だけからの入力だと思っていたものは、実はそこからだけではなく、他の多くの感覚器からの入力も含まれていて、その総合したものであったと考えてもよいのではないか。つまり、あらゆる感覚というものは常に、各感覚器官に対応するような多元的な経験によって、再構成されると考えられる。各感覚器官に応じた信号はそれ固有のものとは限らず、様々な感覚器からの入力情報からの影響を受けているといえるのであろう。つまり、経験とは常に、多元的であるといえるであろう。

⑪　連想する

ふつう人が何かを経験するとき、その経験は多元的であると考えられる。人の五感からは常に情報が取り込まれ続けているからである。例えば海岸を歩いているとき、その景色だけではなく、波音や、潮の香り、足の裏の砂の感触など、必ず、その他の感覚からの情報を同時に取り込んでいると考えるのは自然であろう。その中から、海水だけを取り出しても、その青い色、しょっぱい味、冷たさ、H_2Oの集まりであるなどと様々な情報を含んでいる。

人は、このような多元的な情報を同時に記憶しており、その一面を入力されると、意図しなくても、その関連する情報も同時に想起するのではないか。波音を聞くと自然と以前見た海岸の景色が思い浮かぶ。しかも、思い浮かぶ対象は一つとは限らない、テレビで見たハワイのビーチや、海にまつわる歌などが頭の中で鳴り始めることもある。このことから経験が常に多元的なものであり、この多元的な経験を同時に再構成することによって、いわゆる連想という感覚が生まれると考えられそうである。また、デジャヴ（déjà vu）という現象もこの連想から生まれるのかもしれない。

２．３　意識活動の基本要素

意識活動についての考察の結果、次のような意識活動の基本単位とも呼べそうな要素が見えてきた。

パケットとしての記憶 パケットは多元的経験によって記憶される (多元的な)分解-再構成の繰り返し

これらの要素により、先に述べた意識活動を分類すると次のようになる。

パケットとしての記憶	①,②,③,④,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨,⑩,⑪
多元的な記憶	⑩,⑪
分解-再構成	①,②,③,④,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨,⑩,⑪

外部からの刺激に対していわゆる無意識的な反応(光、音、匂い、味、痛みなど)が意識の最も基本的な要素であると考える。この刺激に対しての反応という単位をもとに、さらに複雑な意識が成り立っているのではないだろうか。外部からの感覚器への刺激というものは、時間あるいは位置などの物理量に対しての振幅の揺らぎであると考えられる。つまり意識活動の基本要素を振幅の揺らぎ、つまり波の振る舞いとして扱えば、意識を数理的に扱うことが出来るといえるのではないだろうか。このための手法として、本研究ではウェーブレット解析という方法に着目した。次の章では、ウェーブレット解析のレビューをする。

３．ウェーブレット解析

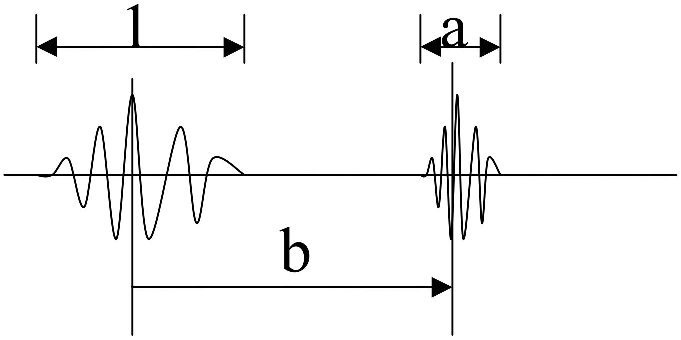
外部刺激などの動的な振る舞いを記述するものとしてウェーブレット解析を利用するのが有効であると考えられる。この章では簡単なウェーブレット解析の解説を行うこととする。

３．１　ウェーブレットとは

ウェーブレット（小さい波の意）とは、ある有限の台を持つ、つまり局在する波束である。たとえば、グラフに表すと図３．１のような関数である。これを$\psi(x)$で表す。

図３．１　ウェーブレットの例

ウェーブレット$\psi(x)$は、その変数 x を実数ａ，ｂを用いて（x－b）/ａと置き代えて、$\psi((x-b)/a)$と、することができる。つまりスケールパラメータａでｘ軸方向の拡大・縮小を行い、トランスレート・パラメータｂでｘ軸方向の平行移動を行うことができる。



３．２　ウェーブレット変換

信号とウェーブレットの関係を示す。

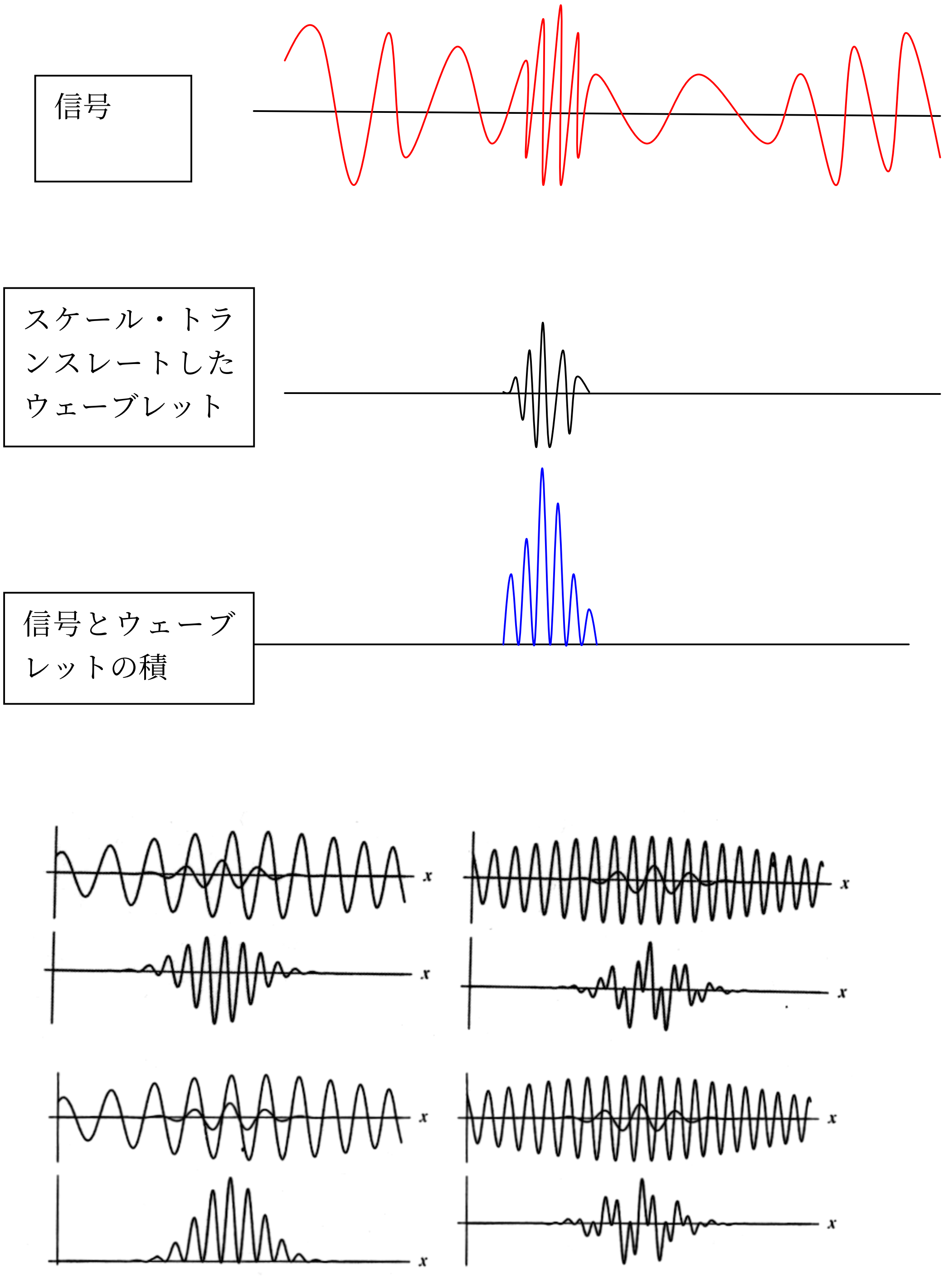


図３．２　信号とウェーブレット(それぞれ上の段)とこれらの積(それぞれ下の段)
(参考文献[3])

図３．２の左上の場合のようにトランスレートとスケールのパラメータｂとａをうまく選んだ場合、積分 $\int_{-\infty}^{\infty}\psi((x-b)/a)f(x)dx$ の絶対値が大きくなる。しかし、信号とウェーブレットの位相か、周波数が少しずれるとその積は符号を激しく変化させ、よって積分の値は小さくなる。

ウェーブレット変換はこの事情を定式化したものである。ψ(x)によるウェーブレット変換は次のように定義される。

$$(W_\Psi f)(a,b)=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{|a|}}\overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)}f(x)dx\cdots\cdots(1)$$

逆に、ウェーブレット変換（１）からもとの信号ｆ(ｘ)を復元することができる。つまり、逆ウェーブレット変換（２）が存在する。

$$f(x)=\frac{1}{C_\Psi}\iint_{R^2}(W_\Psi f)(a,b)\frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)\frac{dadb}{a^2}\cdots\cdots(2)$$

ここで右辺が定義できるためには、次のアドミッシブル条件が満たされなければならない。

$$C_\Psi=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|}d\omega<\infty\cdots\cdots(3)$$

一般的なアドミッシブル条件の代わりに、ふつう次の条件式が使われる。

$$\int_{-\infty}^{\infty}\psi(x)dx=0\cdots\cdots(4)$$

３．３　信号の不確定性関係

一般に信号は局所的な周期性は持っていても、その周波数は、常に一定ではなく、時間とともに変化するようなものが多い。例えば、会話の音声では、「か」という一音は「あ」という母音とその前に、さらに高周波の子音が付くという時間変化を伴う。このように局所的に周期的な信号を時間の推移のなかでとらえることを時間周波数解析という。ウェーブレット変換は信号 $f(x)$ の時間周波数解析を行う方法の一つである。

与えられた関数 f の変数 $x\in R$ の平均値 $\tilde{x}$ を次のように定義する

$$\tilde{x}=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}x|f(x)|^2dx}{\|f\|}\qquad（5）$$

２つの関数 $f,g\in L^2(R)$ の内積 $\langle g|f\rangle$ は次のように定義される。

$$\langle g|f\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{g(x)} f(x) dx \qquad (6)$$

$\sqrt{\langle f|f\rangle}$ を f のノルムといい $\|f\|$ で表す。

$$\|f\|^2 = \langle f|f\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx \qquad (7)$$

$f(x)$ が局在している関数の場合は $\tilde{x}$ はこの関数の中心となる位置を決める。関数 f の幅 $\Delta_f \geq 0$ を次の式によって定義する。

$$\Delta_f^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x-\tilde{x})^2 |f(x)|^2 dx}{\|f\|^2} \qquad (8)$$

フーリエ変換 $\hat{f}$ の幅 $\Delta_{\hat{f}}$ も同様に定義される。

$$\tilde{\omega} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega |\hat{f}(\omega)|^2 d\omega}{\|\hat{f}\|} \qquad (9)$$

$$\Delta_{\hat{f}}^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\omega-\tilde{\omega})^2 |f(\omega)|^2 d\omega}{\|\hat{f}\|^2} \qquad (10)$$

どんな関数 f を選んでも Δ_f と $\Delta_{\hat{f}}$ とは同時に小さくは出来ない。実際、次の不等式が成り立つ

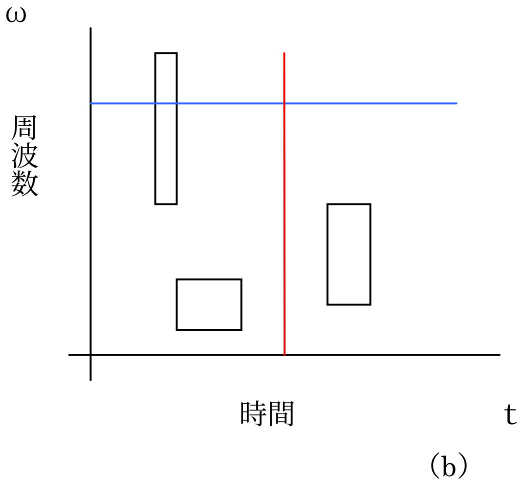
$$\Delta t \Delta\omega \geq \frac{1}{2} \qquad (11)$$

これは不確定性関係と呼ばれる。

一般に信号 $f(x)$ は時間軸に沿ってある点 $\tilde{t}$ を中心に幅 Δt の領域を占める。またフーリエ変換 $\hat{f}(\omega)$ は周波数軸に沿ってある点 $\tilde{\omega}$ を中心に幅 $\Delta\omega$ の領域を占める。図３．４の例でわかるように、Δt を小さくすれば $\Delta\omega$ は大きくなり、反対に $\Delta\omega$ を小さくすれば Δt は大きくなってしまう。

図３．４　不確定性

　フーリエ変換などのように、一般的な変数変換ではどちらか一方のモードに決定してしまうため、時間か周波数どちらかの情報しかもてない。ウェーブレット変換では、どちらも一意に決まらないことによって、どちらの情報も失わない変換が可能である。



３．４　多重解像度解析

　一般に信号は時間に対して局所的に周波数を変化させるものが多い。たとえば楽音の信号では、一定の周波数がある時間持続するが、次には全く異なる周波数の音に変わる。会話の音声はもっと複雑で、持続音にも母音による違いがあり、子音はさらにその冒頭に高周波を含む複雑な波形を持つ。このように局所的に周期的な信号を時間の推移の中でとらえること、つまり信号 f(x)を時間と周波数の両面からとらえることを時間周波数解析という。

　ここで信号 f(x)の周波数とそのときの時間を知りたいとする。しかし信号には最小の単位がある。周波数を一定値に求めるためには、時間に対してのある程度の広がりを必要とし、その逆に時間を一転に絞ると周波数は全くわからなくなる。厳密に１点（b、１/ａ）に対応する信号は存在しないのである。２点（ｂ'、１/ａ'）と（ｂ、１/ａ）がともに最小単位の領域内に含まれるほど近ければ、(W_ψ ｆ)（ｂ'、ａ'）と (W_ψ ｆ)（ｂ、ａ）は独立な量とはいえない。

　このことから、信号の効率的な時間周波数解析を得るには、互いに同一の最小単位の領域に属さないような代表的な点（b、１/ａ）の組を選び出し、これについて (W_ψ ｆ)（b、ａ）の値を列挙すればよいことがわかる。ふつうそれは２つの整数ｊ、ｋによって（b、１/ａ）＝（2^{-j}ｋ、2^{j}）と置いて離散化することによって実現できる。ウェーブレット変換 (W_ψ ｆ)（2^{-j}ｋ、2^{j}）を $d_k^{(j)}$ と書くことにすれば、（１）は

$$d_k^{(j)} = 2^j \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi(2^j x - k)} f(x) dx \qquad (12)$$

となり、逆変換（２）は

$$f(x) \sim \sum_j \sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x - k) \qquad （１３）$$

のようになる。

離散ウェーブレット逆変換の右辺に現れる２重和の一方を

$$g_j(x) = \sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x - k) \qquad （１４）$$

と書き、また

$$f_j(x) = g_{j-1}(x) + g_{j-2}(x) + \ldots \qquad （１５）$$

と書くことにする。ここで整数ｊはレベルと呼ばれる。信号ｆ(x)をｆ$_0$(x)と見なすと、（１．４）は

$$f_0(x) = g_{-1} + g_{-2} + \ldots \qquad （１６）$$

と書ける。これは信号ｆ$_0$(x)をウェーブレット成分ｇ$_{-1}$(x)、ｇ$_{-2}$(x)、...、に分解したことに対応する。信号をレベルごとに分解した例を次の図３．３に示す。

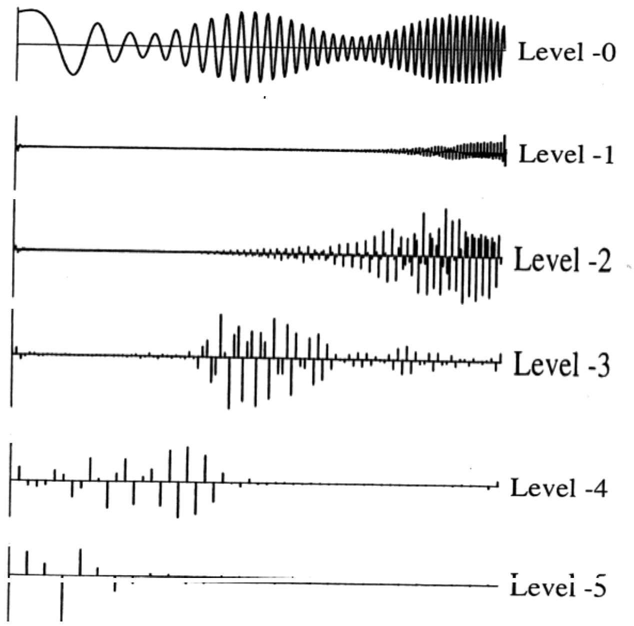


図３．３　多重解像度解析(参考文献[3])

関数 f_j はスケーリング関数 $\phi(x)$ を用いて次のような線形結合で表すことが出来る。

$$f_j(x) = \sum_k c_k^{(j)} \phi(2^j x - k) \qquad （１７）$$

数列$\left\{c_k^{(j)}\right\}$は無限数列でもよいが、応用上はふつう有限個の数列である。この数列からレベルｊ－１の数列を

$$c_k^{(j)} = \frac{1}{2}\left(c_{2k}^{(j)} + c_{2k+1}^{(j)}\right)$$
$$d_k^{(j)} = \frac{1}{2}\left(c_{2k}^{(j)} - c_{2k+1}^{(j)}\right) \qquad （１８）$$

のように求めれば、関数f_jは

$$f_j(x) = f_{j-1}(x) + g_{j-1}(x) \qquad （１９）$$

と一意的にレベルｊ－１の関数の和に分解できる。ここで$g_j(x)$は次の式で与えられる。

$$g_j(x) = \sum_k d_k^{(j)} \psi_H\left(2^j x - k\right) \qquad （２０）$$

式(１８)は、(１９)の分解を行うのに使われる係数をそれぞれのｋについて計算する式で、分解アルゴリズムと呼ばれる。

逆に$f_{j-1}(x)$と$g_j(x)$とが与えられれば、(１９)からf_jを再構成できる。このとき係数を求める式は、(１８)を逆に解いて得られる次の式である。

$$c_{2k}^{(j)} = \mathrm{c}_\mathrm{k}^{(\mathrm{j-1})} + \mathrm{d}_\mathrm{k}^{(\mathrm{j-1})}$$
$$\mathrm{c}_{2\mathrm{k}+1}^{(\mathrm{j})} = \mathrm{c}_\mathrm{k}^{(\mathrm{j-1})} - \mathrm{d}_\mathrm{k}^{(\mathrm{j-1})} \qquad （２１）$$

これは再構成アルゴリズムと呼ばれる。このように$f(x)$と$g(x)$の展開係数$c_k^{(j)}, d_k^{(j)}$だけで各レベルの分解-再構成が可能であることから、高速アルゴリズムと呼ばれる。

レベルｊの関数f_jの解像度は2^jである。分解(１９)によってf_jのレベルを下げると、解像度は半分になる。これを次々繰り返せば、f_jのレベルは１つずつ下がり、解像度はそのたびに半分になる。このように$\left\{f_j\right\}_{j\in \mathrm{Z}}$は解像度の階層構造を持つが、これを多重解像度解析という。

一般にスケーリング関数ϕは次のトゥー・スケール関係を満たす。

$$\phi(x)=\sum_{k\in Z} p_k \phi(2x-k) \qquad (２２)$$

また、ウェーブレットψは次のトゥー・スケール関係によって決まる。

$$\psi(x)=\sum_{k\in Z} q_k \phi(2x-k) \qquad (２３)$$

スケーリング関数ϕが与えられると、それぞれのレベル$j\in Z$について$\{\phi(2^j x-k)\}_{k\in Z}$の

張る空間V_jが決まる。任意の関数$f_j\in V_j$は次の形に表すことが出来る。

$$f_j(x)=\sum_k c_k^{(j)} \phi(2^j x-k) \qquad (２４)$$

トゥー・スケール関係から$V_j \subset V_{j+1}$である。またϕに対応するウェーブレットψが与え

られると$\psi(2^j x-k)$の張る空間W_jが決まる。任意の関数$g_j\in W_j$は次の形に表すことが

出来る。

$$g_j(x)=\sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x-k) \qquad (２５)$$

$V_j=V_{j-1}\oplus W_{j-1}$が成り立つ。言い換えれば、$f_j$は次のように一意的に分解できる。

$$f_j(x)=f_{j-1}(x)+g_{j-1}(x) \qquad (１９)$$

　一般に$p_k^{(j)}, k\in Z$、を

$$p_k^{(j)}=\sum_l p_{k-2l} p_l^{(j-1)}, p_k^{(1)}=p_k \qquad (２６)$$

によって再起的に定義すれば、

$$\phi(x)=\sum_k p_k^{(j)} \phi(2^j x-k) \qquad (２７)$$

と書ける。これはスケーリング関数ϕの満たすマルチ・スケール関係である。

３．５　補間画像表示アルゴリズム

レベル j の関数f_jは一般に(１７)の形に表すことが出来る。この式で$x=n/2^j, n, j\in Z$と

置けば

$$f_j\left(\frac{n}{2^j}\right)=\sum_k c_k^{(j)}\phi(n-k) \qquad (２８)$$

が得られるが、右辺は整数点$x=n$におけるϕの値によって決まり、これからf_jの２進分点$x=n/2^j$における値が求められる。

しかし、f_jの詳細なグラフを書くには２進分点をもっと細かく取る必要がある。それにはf_jについてのマルチ・スケール関係を導けばよい。式(１７)に(２２)を適用すれば、

$$\begin{aligned} f_j(x) &= \sum_l c_l^{(j)}\phi(2^j x-l) \\ &= \sum_l c_l^{(j)}\sum_k p_k\phi(2(2^j x-l)-k) \\ &= \sum_k\sum_l c_l^{(j)}p_{k-2l}\phi(2^{j+1}x-k) \end{aligned} \qquad (２９)$$

となる。ここでlについての和を

$$c_k^{(j+1)}=\sum_l p_{k-2l}c_l^{(j)} \qquad (３０)$$

と置けば、

$$f_j(x)=\sum_k c_k^{(j+1)}\phi(2^{j+1}x-k) \qquad (３１)$$

と書くことが出来る。

これを繰り返すことにより、一般に

$$f_j(x)=\sum_k c_k^{(j+1)}\phi(2^{j+1}x-k), l\geq 1 \qquad (３２)$$

を得る。係数$c_k^{(j+1)}, l\geq 1$は次の式から再帰的に求められる。

$$c_k^{(j+1)}=\sum_l p_{k-2l}c_l^{(j+i-1)}, i\geq 1 \qquad (３３)$$

これを補間画像表示アルゴリズムという。

ここで$x=n/2^{j+1}$と置いて得られる式により、$f(n/2^{j+1})$の値を整数点におけるϕの値から求めることが出来る。こうして、lを十分大きくとれば、関数$f_j(x)$の詳細なグラフを描くことが出来る。

３．６　任意のウェーブレットに対する連続ウェーブレット変換アルゴリズム

意識モデルを作るためには、任意の波形をウェーブレットとして用いたウェーブレット解析が計算機上で、出来なければならない。ウェーブレット変換の定義式（１）に注目すると、これは、入力信号ｆ(ｘ)とウェーブレットψ((ｘ－ｂ)/ａ)との相互相関関数とみることが出来る。

ウェーブレット変換の定義式（１）

$$(W_{\Psi} f)(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \overline{\Psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} f(x)dx$$

相互相関関数の式

$$R_{f,y}(k) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t)y(t+k)dt \qquad (34)$$

相互相関関数のフーリエ変換として、クロススペクトル $S_{f,y}(\omega)$ を定義する。相互相関関数のフーリエ変換とその逆変換は次のように定義される。

$$S_{f,y}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{f,y}(k) e^{-j2\pi\omega k} dk \qquad (35)$$

$$R_{f,y}(k) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{f,y}(\omega) e^{-j2\pi\omega k} d\omega \qquad (36)$$

また、$f(t), y(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ $F(\omega), Y(\omega)$ とすると、

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi\omega k \backslash t} dt \qquad (37)$$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Y(\omega) e^{j2\pi\omega t} d\omega \qquad (38)$$

よって、

$$
\begin{aligned}
R_{f,y}(k) &= \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t)y(t+k)dt \\
&= \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left(\int_{-\infty}^{\infty} Y(\omega) e^{j2\pi\omega(t+k)} d\omega \right) x(t)dt \\
&= \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} Y(\omega) e^{j2\pi\omega k} \left(\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) e^{j2\pi\omega t} dt \right) d\omega \\
&= \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} \overline{X(\omega)} Y(\omega) e^{j2\pi\omega k} d\omega
\end{aligned}
\qquad (39)
$$

式（３６）と（３９）を比較すると、

$$S_{f,y}(\omega)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\overline{X(\omega)}Y(\omega) \qquad (40)$$

したがって、クロススペクトルは、y(t)のフーリエ変換 Y(ω)と、f(t)のフーリエ変換 X(ω)と共役の $\overline{X(\omega)}$ とのスペクトル積によって表される。

ウェーブレットの二つのパラメータａ,b のうち、スケーリングパラメータａを定数として扱うと、式（１）は

$$W^a_{\psi,f}(b)=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{\infty}\psi^a(t-b)f(t)dt \qquad (41)$$

というｂについての関数になる。

クロススペクトルの性質をウェーブレット変換にも適用する。ウェーブレットのフーリエ変換 $\Psi^a(\omega)$ と信号のフーリエ変換 $F(\omega)$ によって、ウェーブレット変換のクロススペクトル $S_W(\omega)$ は

$$S_W(\omega)=\frac{1}{\sqrt{a}}\Psi^a(\omega)F(\omega) \qquad (42)$$

のように求められる。これを逆フーリエ変換すれば、ａに関するウェーブレット係数 $W_a(b)$ が求められる。この計算の流れを図３．５に表した。

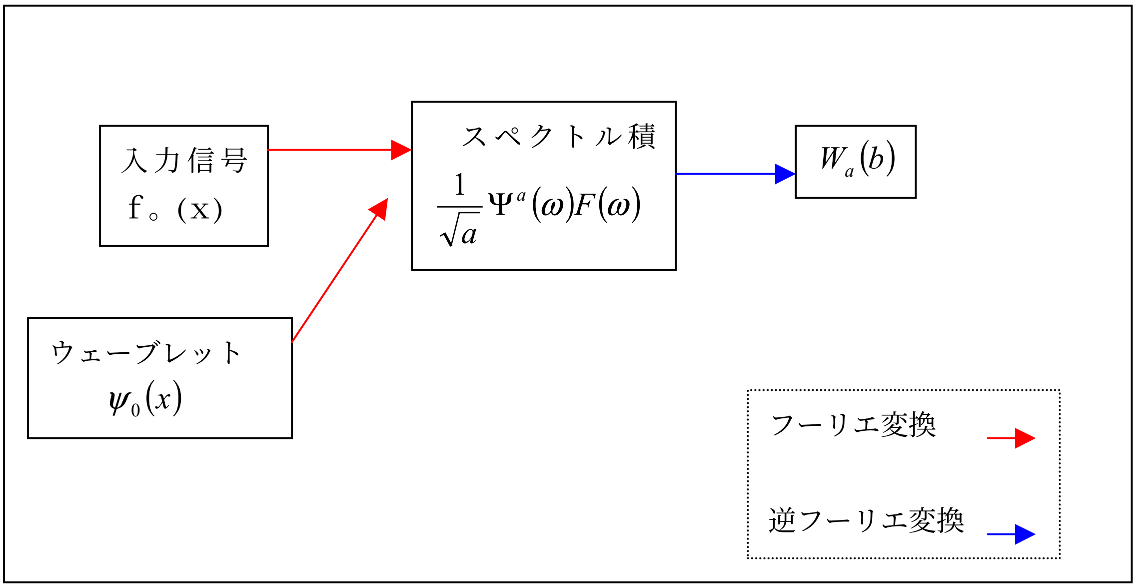


図３．５　入力信号の分解-再構成過程

このウェーブレット解析を用いたアルゴリズムによって、実際の意識に対応するモデルと呼べるものを考察した。

４．低次意識モデルの構築

　意識というものは、これまでは物理学の対象となるものではなかった。これは、物理対象に用いるモノサシが必ずしも意識などの情報を、より一般的に扱うには、不充分であったからかもしれない。物理学にはある対象を扱う際、必ず決まった過程が含まれている。先ず、その扱う全ての対象を見る空間あるいは座標を定常的に固定する。それと同時に、その空間内で定義されている全ての対象を同じ単位を用いて記述する。その上で、対象とするものの極限的な変換に対する不変性を問う。物理学は平均描像、あるいは不変性を重視するといった、静的な過程を扱うのにふさわしいフレームワークを基礎にしているといえる。

一方、このモデルでは、対象を記述する線形関数空間の座標系を分解-再構成のたびに、自由に選ぶことが出来、且つ、その関数空間の元となる座標系を規定する際、各座標軸の単位の大きさ(スケール)をも変化させることが出来るという自由度を取り入れることにした。これはすなわち、むしろ刹那的で再現性が必ずしもないものでさえも扱うことの出来るフレームワークを考えるということである。ここで元となる関数とは、例えば「あ、い、う…」という個々の音、あるいは、「あか」などの単語であったり、映像であったり、例えば時間などの物理量に対して、ある有限な範囲で、局在した動的に定義される振幅(情報)のことである。

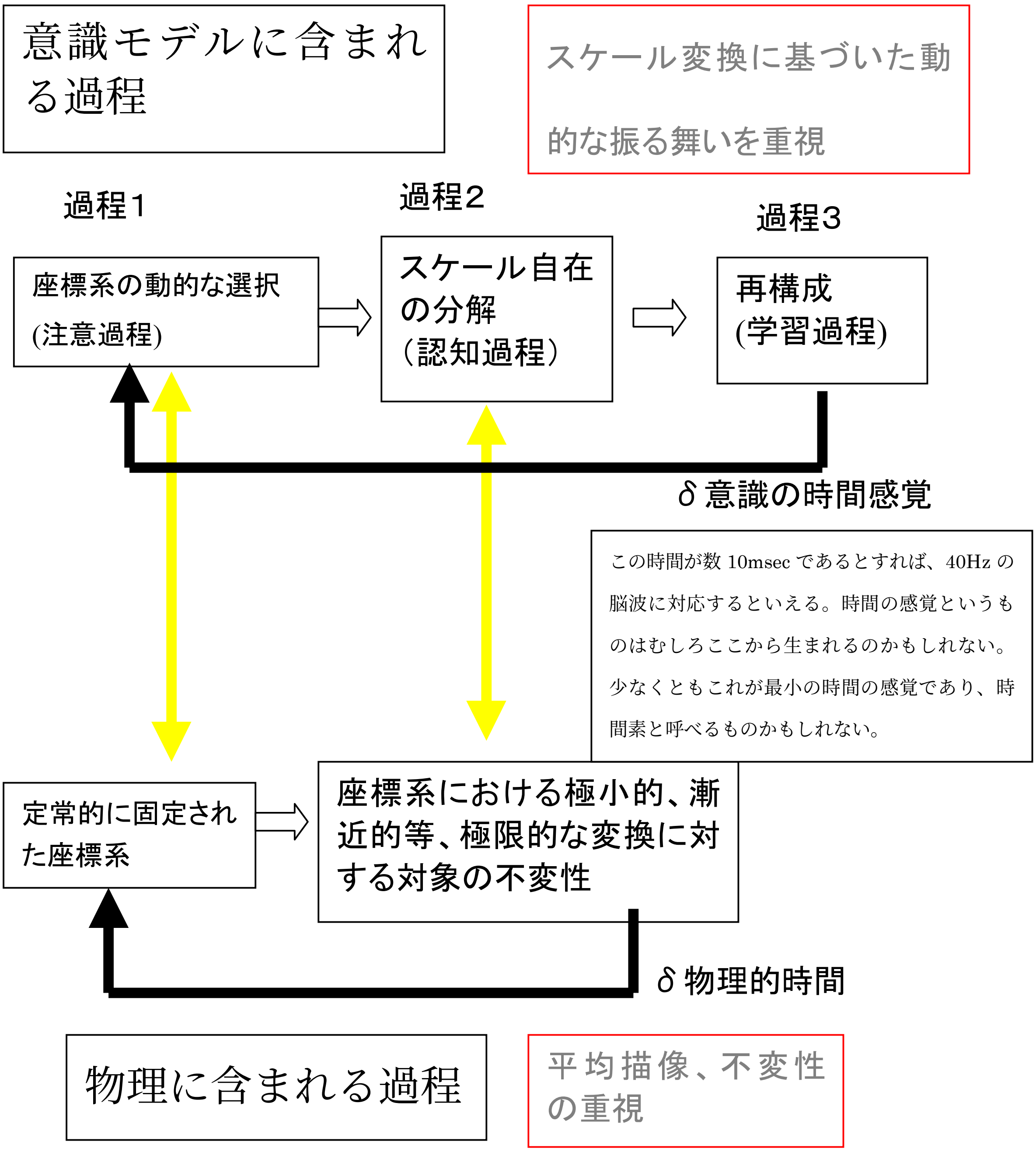


図４．１　意識モデルと物理学的観念との関係

ここに示す意識モデルはある入力刺激に対して出力を返すという端的なものである。しかし、対象の見方として、座標を固定し、且つ、各座標についての単位が固定されている物理学の観念をも内包している、より一般的な観念といえる。

この低次意識モデルの青写真は、図４．２に示されている。

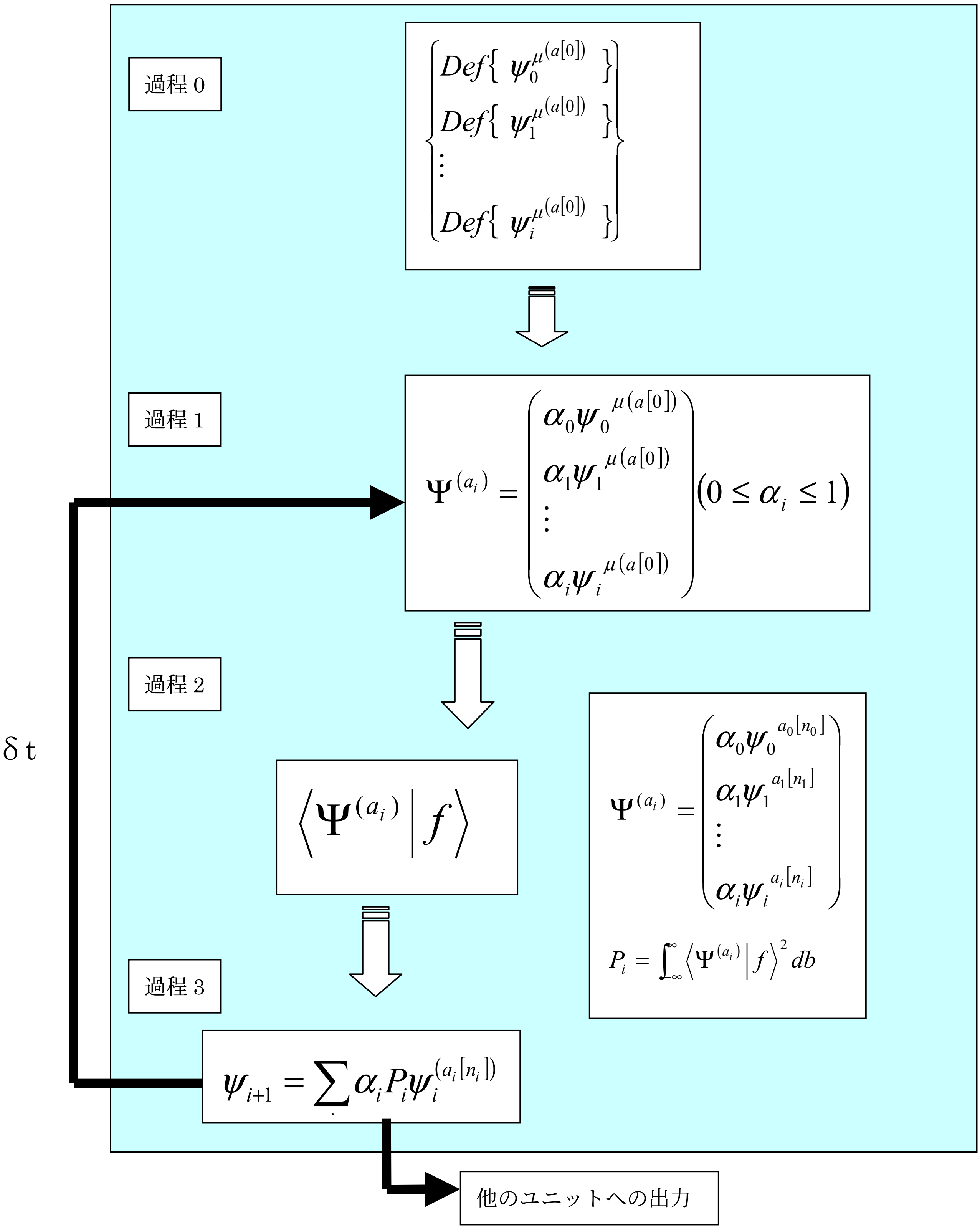


図４・２　意識モデルの青写真

４．１　記号の定義

$\psi^{\mu}{}_{i}{}^{(a_i[n])}$ とは、コンパクトサポートのウェーブレットであり、情報のかたまりの単位を表す。この情報のかたまりとしてのウェーブレットはある物理量の関数である。物理量は感覚器について固有のものである。それは、例えば音に対しては時間であり、画像に関しては位置である。また、i は線形の関数空間における関数の番号である。$a_i[n]$ はウェーブレット ψ_i と観測対象(刺激)との間に成立する固有のスケールを表し、$[n]$ はその ψ_i が新たに線形関数空間に追加(記憶)されたときのスケールに対応する番号付けである。ここで物理時間に対して、意識時間を定義しておく。意識時間とは、図４．１の過程１(刺激に対する注意を払う過程)、過程２(認知過程)、過程３(再構成、及び学習過程)の全てを経るのにかかる物理時間を一単位として番号付けする。μは異なった属性の感覚に対応する添え字とし、多元的な感覚情報を表現するときに用いられる。

$\{\ \psi^{\mu}{}_{i}{}^{(a_i[n])}\ \}$ は上で定義した、ウェーブレットがつくる関数の集合とし、後の認知過程で内積 L_2 を定義するため、少なくともプレヒルベルト空間と見なすことができる。この空間の元が、一次独立であるか、すなわち最終的に直交関数系になり得るかどうかは不明であるが、空間内のある任意のウェーブレットが定義されるサポートの長さのスケールにおいて、その他の元の線形結合で、そのウェーブレットが表現できないという意味で、ナイーブに一次独立であると見なす。

これらの具体的なイメージとして、各元であるウェーブレットは、学習した内容に対応する入力刺激に起因した抽象的な波束(記憶)である。そして、それらの集合で定義される線形関数空間とは、記憶の貯蔵庫に相当することを述べておく。

４．２　過程０(初期の学習過程)

この過程は、入力頻度の高い刺激を丸暗記して、基底となるウェーブレットがつくられる様子を表している。ただし、ウェーブレットは、必ず特定のスケールにおいて定義され、記憶された時点でのスケール番号を[0]とする。この記憶の過程を $Def\{\ \psi_0^{\mu(a_i[0])}\ \}$ と表すこととする。すなわち、異なったスケールで経験された波束は基本的には異なった記憶となることを仮定する。

４．３　過程１(刺激に対する注意を払う過程)

この過程は、線形関数空間のうち、入力刺激の処理に使用されるウェーブレットを用い

て部分空間を張る、あるいは、部分空間は張らないにしても、初期の元に対する重みを決めることに相当する。すなわち、刺激に対して、ある種の注意を払う(座標系を選択する)過程と見なす。ここでいう α_i はその重みに対応しており、ある元については全く使用されないこともあるであろう。α_i については、選択された系に応じた規格化が必要である。

４．４　過程２(認知過程)

この過程は、ウェーブレット変換すなわち、ウェーブレットパケットと入力刺激の内積を表しており、入力刺激の中から、個々の元に類似した部分をスケールを変えながら、分解・抽出する過程である。すなわち、認知に相当する。その際、各元におけるスケールはウェーブレット変換係数の自乗の時間積分(パワー)、$P=\int_{-\infty}^{\infty}(W_{(a,b)})^2 db$ が最大になるレベルで決定される。

４．５　過程３(再構成及び、学習過程)

この過程は、各元の最大の P を重みとして、使用された元の合成により入力刺激を再構成する過程に相当する。その際、再構成された刺激が、頻繁に生じる場合には、それを新たなウェーブレットパケットとして線形関数空間の集合に追加し、過程１に戻る。すなわち、以前の経験をもとに、対象を学習し、新たに記憶する過程を表す。再構成は過程２で P の最大値によって決められた各元のスケールレベルごとに足し合わせることによって行われる。これは次のように表される。

$$\psi_{i+1}^{(a_{i+1}[0])}=\alpha_0 P_{0\max}\psi_0^{(a_0[n_0])}+\alpha_1 P_{1\max}\psi_1^{(a_1[n_1])}+\cdots+\alpha_i P_{i\max}\psi_{\mathrm{i}}^{(a_{\mathrm{i}}[n_i])}+\cdots$$

この際、再構成された波形は同時に出力として、その他の意識ユニットに分配される。しかし、再構成されたウェーブレットパケットが全て線形関数空間の集合に追加されるとは考えにくい。これは P についての閾値を設定することで扱うことの出来る問題であると思われる。

４．６　低次意識と高次意識の定義

ここに示した意識モデルにおける一連の処理、すなわち過程１～３の１サイクルが、意識活動の最小単位(意識モデュール)と呼べるものではないだろうか。さらに、これに要する時間が時間素と呼べるものかもしれない。いや、むしろ、時間という概念すらこの意識モデュールから生じるものかもしれない。

ここで示した意識モデュールは、ある入力に対して、ほぼ入力を真似た出力を返すとい

う端的なものである。それは、例えば楽器と同じようなものである。バチで叩くとその叩いたリズムを保ちながら、強さに応じた固有振動の音を出す。同様に、息を吹き込むとリズムを保ちながら、吹き込んだ量や勢いに応じた、音を鳴らす。楽器の集まり、オーケストラはこの楽器の鳴らす音を重ね合わせて楽曲を演奏する。複雑な意識活動は、オーケストラのようなものではないかと考えられる。つまり、高次の意識活動(感情、想像、意図、自我、等)は端的な意識モデュールの統合されたものの上に生まれるのではないか。そこで、高次の意識活動に対して、この意識モデュールを低次の意識活動と呼ぶことにする。低次の意識活動とは具体的には、感覚器への刺激に直接対応するものと考えられる。外部刺激を受けて、低次意識モデュールは別の意識モデュールへと出力を発信する。それを受けたモデュールは、同様の処理を行い、さらに別のモデュールへと送る。ここで、各モデュールが並列に行っている処理は、どれも同じものである。この全てのモデュールの活動を統合したものが、より高次な意識活動と呼べるようなものになるのではないだろうか。別言すれば、多体系の振動子(意識モデュール)が全体として持続する共鳴状態になっている状態を高次の意識と呼ぶことにする。このモデルの利点は、意味を含んだ動的な波束の重ね合わせとして、表現できる共鳴状態の時間的な発展を追えるのと同時に、共鳴状態に含まれる各振動子に内在する波束の意味が抽出できる点にある。すなわち、共鳴状態全体としての動的な意味を最終的に解釈できる可能性がある。

５．　計算機上でのシミュレーション

本研究では、過程 0 については基底となるウェーブレットは一つ既に丸暗記してあるものとして与える。一つとしたために過程１の重みをつける過程は自動的に省略されたことになる。その上で過程２の認知過程のシミュレートを行うこととした。

Daubechies(N=２)というコンパクトサポートを持つ波形(図５．１)をウェーブレットとしてつまり、線形関数空間における関数の一つとして最初に保持している状態からスタートする。そして、この Daubechies(N=２)と１周期のサインカーブを重ねたものを信号 f として入力したときの意識活動をシミュレートした。

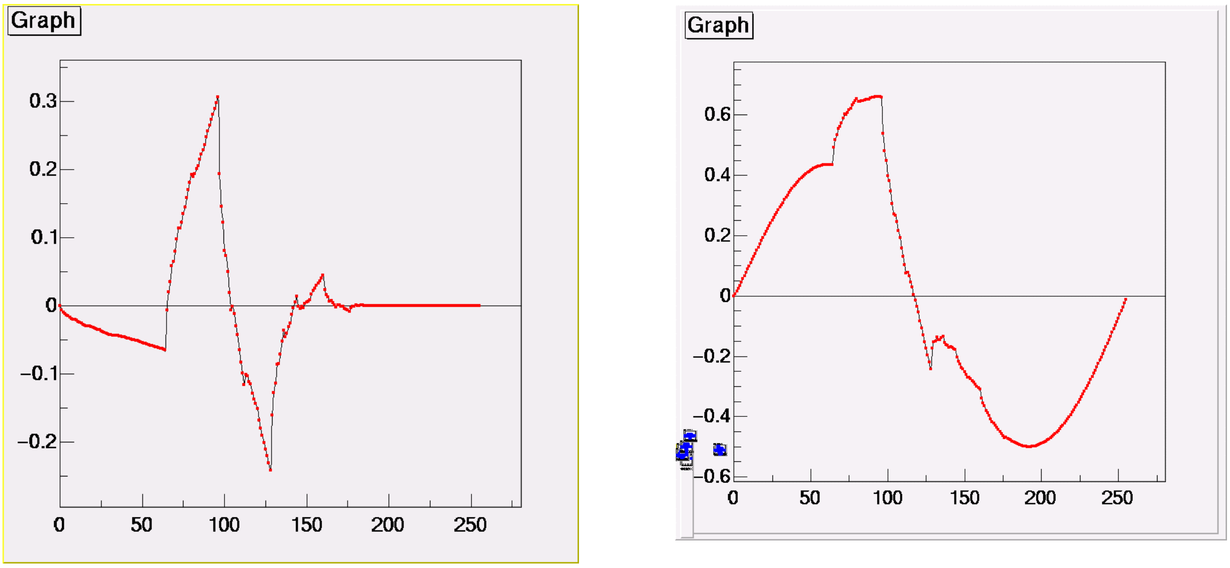


図５．１　Daubechies(N=２)の波形(左)と信号の波形(右)

まず、Daubechies(N=２)という波形をウェーブレットとして、ある信号 f に対して、３章で述べた、展開係数 $c_k^{(j)}, d_k^{(j)}$ を用いる分解アルゴリズムによりウェーブレット係数を求めるために、計算機上に実装した。

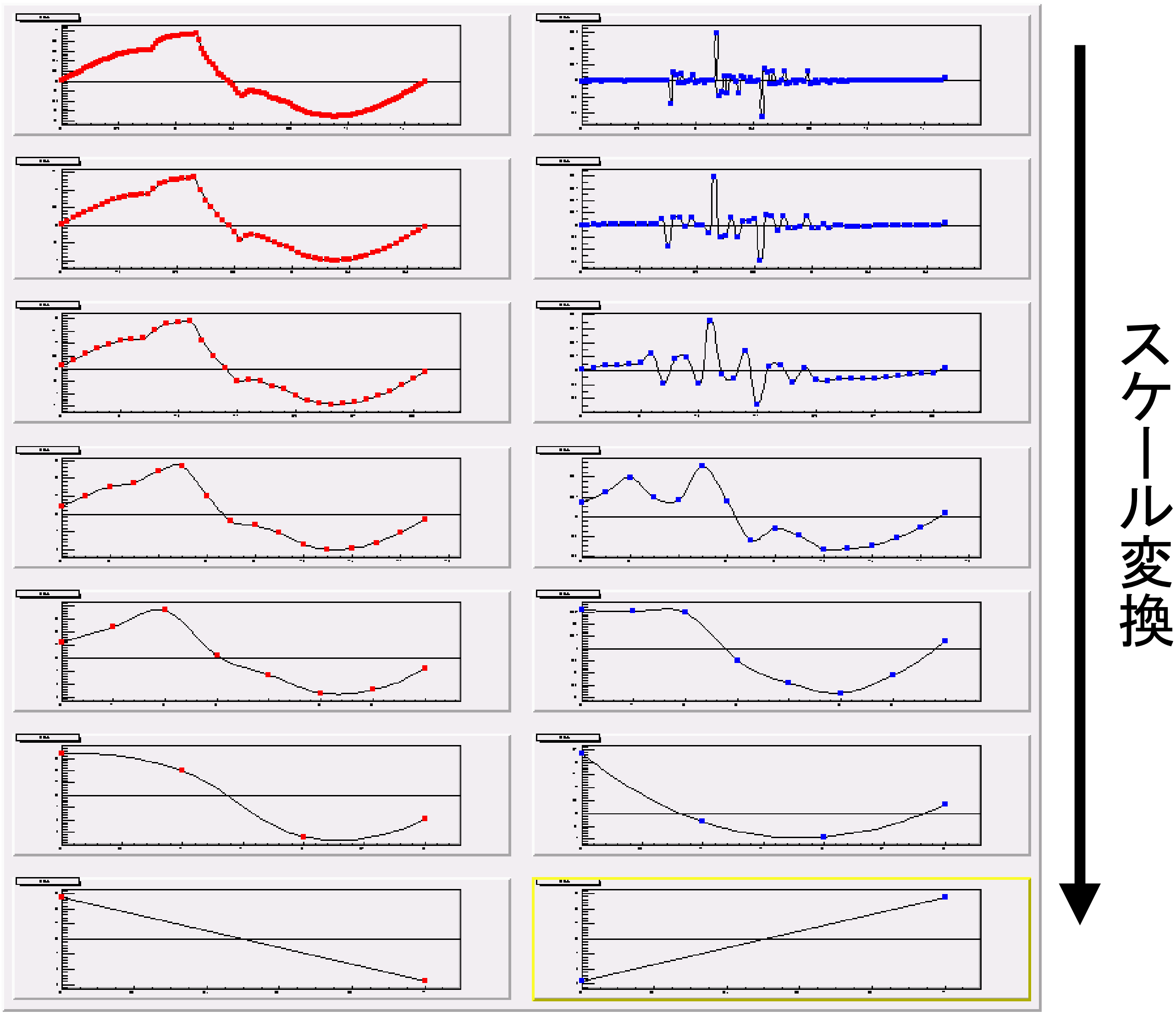


図５．２　離散多重解像度解析

左側の一番上が入力波形であり、そこから下はスケーリング関数である。右側はウェーブレット係数に対応している。ウェーブレットの時間的な幅を順次変えながら入力波形との相関を取ることが出来る。このことは、入力波形を見る距離を変えることに相当する。スケーリング関数が左側に、ウェーブレット係数が右側に、ウェーブレットの幅(スケーリング)の大きさが、小さいものから順番に上から並べられている。ウェーブレット係数の一番細かいビンを見ると、Daubechies(N=２)の特徴が取り出せているといえる。

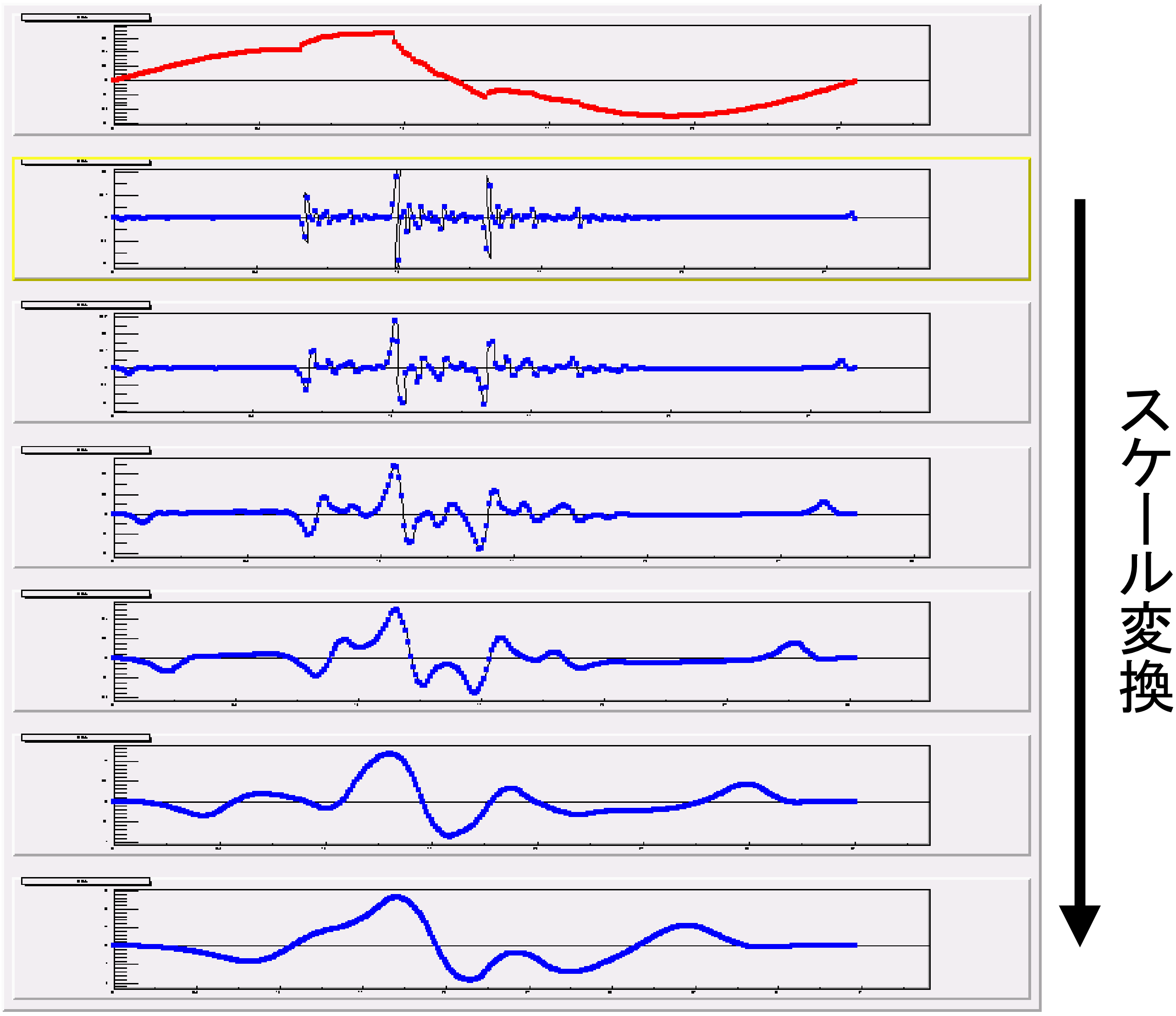


図５．３　任意のウェーブレットを用いた解析

これは図５．２と同じ処理について、クロススペクトルを利用したウェーブレット解析を用いて行ったものである。一番上が入力波形、２段目から下に順にウェーブレットの幅を広くしていって求めたウェーブレット係数が並べてある。これは、先ほどの、単純なウェーブレット解析の図を、細かい幅で見たときは、よく再現できているといえる。しかもウェーブレットの幅を広くした場合においてもより、詳しく分解できているようである。しかし、Daubechies(N=２)が認知されているとはいえない。そこで、さらに、上のレベルにまで分解することにした。

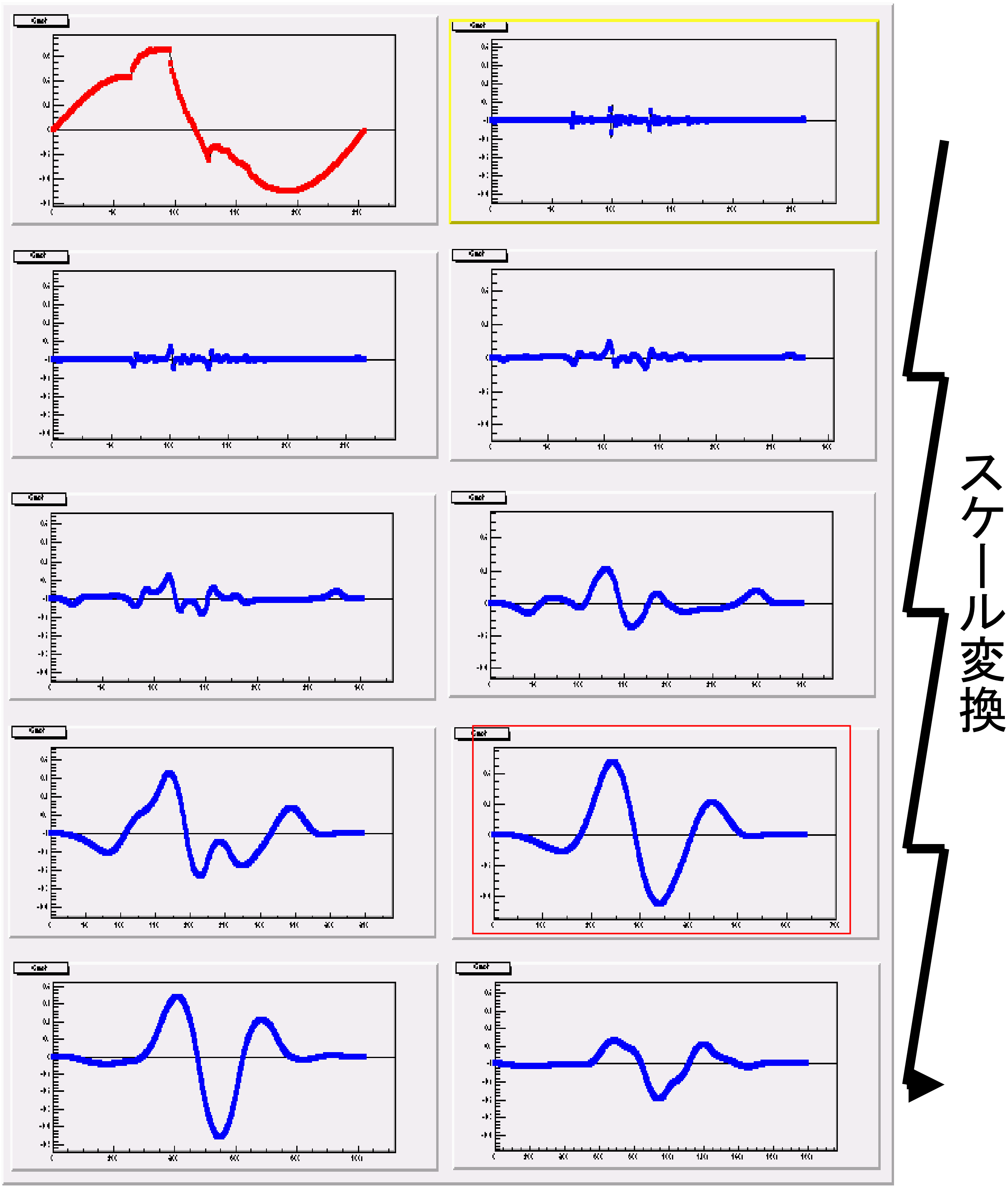


図５．４　任意のウェーブレットを用いた解析(２)

図５．４は、全く同じ処理を図５．３で行ったウェーブレットの幅よりも、さらに広いまで拡張したものである。左上が入力波形で、その右、左下、右、左下、…という順に分解したスケールごとのウェーブレット係数が示されている。ここで注目したいのは、縦軸の値である。これを見ると、その赤で囲んだ波形において、その振幅の絶対値が最大値となっていることが読み取れる。縦軸の絶対値の積分値はパワー（P）に対応する。パワーが最も大きいということは、このスケールにおいて、認知が行われたことに相当すると考えることが出来る。

６．考察

　実際のシミュレーションの結果を見ると、このモデル及び、ウェーブレットによる解析は、意味のある波形を一意に取り出すことに成功しているといえる。

　ただし、このモデルの不備な点は、同じ信号が入り続ける場合、機械的にその刺激に関しての重みを強め続け、システムは１つの事象にしか着目しない状態になってしまう可能性がある。例えば、勉強を始めるとそのことばかりが気になって、他のことには目もくれず、勉強しか頭に無くなってしまい、いつまでも続けてしまうようなことになるのではないだろうか。多くの人にとって、実際にはそんなことは起こり得ない。すぐに気が散って、おもむろに部屋の掃除をしてみたり、テレビをつけてみたくなったり、とにかく様々に、「気が散る」はずである。気を散らせるためには一部の重みが高まってきた元に対する、抑制作用が必要となるはずである。その候補としては、まず、重みα_iへの閾値の導入が考えられる。これによって、閾値よりも大きくなったα_iに対応する元の影響を、切り捨てるか、あるいは、トーンダウンさせることが考えられる。この閾値という考え方は、低い重みがついた関数の切捨てにも応用できそうである。しかし、切り捨てて、全くその影響をなくしてしまうと、そのときにどんなに強い信号が入力されても気付かない、という奇妙なことになってしまうであろう。そこで、やはり、元が切り捨てられるということはなく、その影響を減少させるものであるはずであると考えられる。

　ある元の影響を減少させる方法には、先の、各元に対する重みα_iを変化させる、という方法と別に、ある元ψが生じる際に、その対となる元$\overline{\psi}$も同時に生じるという考え方がある。$\overline{\psi}$はψの影響を抑制する性質を持つもので、抑制性の元（クエンチ・ウェーブレット）と、呼べるものである。すなわち、ある対象を積極的に認知したい場合には、ψを用い、逆に無視したい、あるいは、むしろψからのずれを学習したい状況においては、$\overline{\psi}$を用いるという考え方である。

　　　　　今後の課題として以下のようなものが挙げられる。

- 複数の関数(ウェーブレット)を持っている状態での、信号の分解-再構成。
- ある刺激に対して、関数集合の各元の重みα_iを決定する、メカニズムの構築。
- 各感覚器官に対応すると考えられる、添え字μを含んだ多元的分解-再構成の実装。
- 抑制性の元、クエンチ・ウェーブレット$\overline{\psi}$の導入。
- 高次意識モデルへの接続。

・謝辞

本研究の原案は本間先生によるものであり、且つ、忙しいなか、多くの時間を割いていただき、細部にわたり助言をいただきました。さらに、指導教官の杉立先生、研究室の方々にも、手取り、足取りご指導いただきました。大変助かりました。ありがとうございました。

・　参考文献

[1] John C. Eccles 著／大野　忠雄・齋藤　基一郎 訳 「自己はどのように脳をコントロールするか（How the SELF Controls Its BRAIN）」 シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社

[2] 酒井　邦嘉 「心にいどむ認知脳科学」 岩波書店

[3] 榊原　進 「ウェーブレット変換　ビギナーズガイド」 東京電機大学出版

[4] Charles K. Chui 著／桜井　明・新井　勉 訳「ウェーブレット応用 (信号解析のための数学的手法)」 東京電機大学出版

[5] 中野　宏毅・山本　鎮男・吉田　靖男 著 「ウェーブレットによる信号処理と画像処理」 共立出版

[6] 中村　尚五 「ビギナーズ　デジタルフーリエ変換」 東京電機大学出版

[7] 佐川　雅彦・貴家　仁志 著 「高速フーリエ変換とその応用」 照晃堂

[8] 伊藤　正男　「脳と心を考える」　紀伊国屋書店

[9] 日野　幹雄 「スペクトル解析」 朝倉出版

[10] 苧阪　直行 編 「脳と意識」 朝倉書店

[11] 甘利　俊一・酒田　英夫 「脳とニューラルネット」 朝倉書店

[12] 外山　敬介・杉江　昇 編 「脳と計算論」 朝倉出版

[13]「別冊　日経サイエンス　知能のミステリー」　日経サイエンス社

[14]「別冊　日経サイエンス　心のミステリー」　日経サイエンス社

[15]「Computer Today 2001.11 No.106」　株式会社サイエンス社