

知的可視化情報処理

Smart Visualized Information Processing

-その1 概念と考え方-

齋藤兆古

法政大学

キーワード: 可視化情報、情報処理、

1. はじめに

学術雑誌の解説は、本来堅い書き物であるが、学術論文よりも柔らかく読み易くしたものであるとあっていいだろう。まず、今後数回に渡って連載される本解説が、読者諸賢にとってかなり砕けた感じの読み物になることをご容赦頂きたい。

筆者は、教育・研究職に就いて27年目を迎えるが、これまで、学部の講義では既存の学術を如何に解り易く説明するかということに囚われてきた。他方研究面では、初期はある程度流行に追従してしまっただけで、論文数稼ぎと学術的貢献のみを追求した。教育・研究職に就いて15年目くらいになると、「基礎教育とは、歴史的経緯のため大規模な変更が不可能であり、多少の教育技術の変更が可能で有っても、本質的には、従来の方針を維持しなければならない。」ということを感じた。しかしながら、筆者は、大学院教育や研究に対して、またそのマスターベーション的教育・研究に対して、自己批判的にならざるを得ない空しさを感じるようになった。なぜなら、本棚が壊れるほどの膨大な論文の別刷りだけが残り、これらの論文が本来、工学が社会の産業形態へ影響を与えるべきものであるのに、実際は単なる紙公害を築いて来たに過ぎないと感じた為である。

工学における研究は、単純な流行に乗った研究で無く、数年先の社会がどのような技術が必要とするのか、社会の技術的波にどのような傾向があるのか、どの波が大きくなるのかを予測しなければならない。結果として、大学における工学は、社会が必要とするとき、如何して大学でタイミング良く研究・開発された技術を投入し、何らかの社会的影響力をもつ生産物をもたらすかでその存在理由が問われる。筆者は、これが大学における本来の工学的研究の在り方と思考した。これを筆者は「サーフィン志向研究」と自嘲している。

このサーフィン志向研究であるが、これが結構難しい。所詮、大学のプロダクトは学生であるから、企業の研究とは異なり、研究成果や結果で解雇される恐れは無い。しかし、その意味で、大学教授

は Professor の肩書きが有っても、所詮は直接工業製品を製作、販売し、生活の糧を得る企業の技術者とは本質的に異なるぬるま湯的環境に漬かっている。このぬるま湯的環境は、失敗を恐れないサーフィン志向研究を可能とする反面、学術的にも無意味な研究となる恐れもある。サーフィン志向研究を行うには、株の投資と同様に広い範囲を研究視野に入れ、産業界の動向と次世代産業製品を把握し、自分のカバー可能な技術分野で主流となる波を予想し、投機的な研究を遂行しなければならない。大学というぬるま湯的環境は、失敗を恐れないせいか、比較的、小規模であるがあるが、筆者のサーフィン志向研究は、多少なりとも社会的影響力を発揮でき、結果として研究費をある程度潤すことが出来た。ある文系の先生から自転車操業的研究と揶揄された記憶もある。ある意味で正しい見解であり、筆者個人としては、自転車操業が続けば立派なものだと開き直る今日この頃である。

性懲りも無く、筆者はサーフィン志向研究を続けているが、一体この波の原因は何だろうと考え始めた。要するに、目を皿のようにして、数年先の技術的・産業的な波を探すよりも、これらの波の根源が判れば、工学としてより大きな社会的貢献が可能である点に着目した。何らかの社会環境が工学的プロダクトを必要とし、そして、技術的環境が社会的需要に答えることを可能とする条件が整った場合に、大きな技術的・産業的な波の根源となっている感がある。技術的環境が生み出す社会的需要を入力とし、産業的プロダクトが応答出力であるとすれば、工学は入力に対する適切な応答出力を与える基幹システムとも考えられる。ここで、工学の創造性が発揮されることは言うまでも無く、「必要は発明の母」である。

それでは、一体どのような社会環境が工学的プロダクトを必要とするかを考えざるを得ない。読者諸賢も当然同じような疑問を抱くことであろう。この疑問に対し、少なくとも大きく2個に分類さ

れる回答が挙げられるであろう。一方は工学が生み出したプロダクトが社会へ貢献し、新しい産業が芽生え、その結果としてより高度で精緻な工学的プロダクトが社会的需要となる。この代表例が最近のパーソナルコンピュータの普及とネットワーク産業の勃興である。他方は、多くの読者が技術系であることを勘案すると言いが、要するに資本家の金儲けの為である。この代表が、全ての工学の原点となったジェームスワットによる産業革命である。ジェームスワットは、単純に家畜動力を蒸気機関による機械的動力へ変更することを考えただけで無く、産業プロダクトに蒸気機関を用いて長距離輸送することでより大きな付加価値を付けた点にその独創性が評価されるべきである。要するに、ジェームスワットの素晴らしさは、使わないときはエネルギーを消費しない効率的な機械動力へ着目したのみならず、プロダクトに付加価値を付け、より大きな資本蓄積を実現した点にある。ここで、ジェームスワットの考え方を実施する資本の蓄積があり、その資本がジェームスワットへ投資された結果が産業革命となった点に注意しなければならない。

さて、ジェームスワットは蒸気機関の根源となる熱力学を周知していたのであろうか？答えは否である。彼は単純に蒸気の力を知っていた技術者に過ぎない。熱力学が学問として完成したのは産業革命が起こって約1世紀後である。すなわち、真に社会的影響の大きいプロダクトが新しい学問を創造したのである。このような意味合いで、既存の学問から社会的影響の大きいプロダクトは生まれ難い歴史的背景を勘案して、本稿の主題である「知的可視化情報処理」について、その概念と考え方について解説する。

2. 知的可視化情報処理の社会的背景

2.1 半導体革命

産業革命はあらゆる工学の原点となったが、その後の産業プロダクトにおける革命に半導体が極めて大きな役割を担ったことは否めない。本稿では、これを「半導体革命」と呼ぶこととする。

産業革命は、資本の蓄積とジェームスワットの非凡な発想の協調が、現代社会の原点となる産業形態を構築した。蒸気機関を利用した産業プロダクトの長距離輸送で、最も必要となった技術は長距離通信手段である。産業プロダクトを長距離輸送することで付加価値が付いても、その付加価値を高めるためには、需要と供給側間の円滑な連絡手段が必要となる。その結果、鉄道の普及と共に有線通信が開発され、実用に供された。蒸気船を使った海外輸送にも海底ケーブルが敷設されたが、

大陸間の有線通信網が完成すると同時に、マルコニーとポポフによる無線通信技術も開発された。他方、機械動力による大規模大量生産は、必然的に各種部品などを生産する小規模工場を設け、より効率の良い生産形態へ移行せざるを得ない。動力の分散使用が比較的困難な蒸気機関に代わって、着目されたのが電力である。発電機の自己励磁方式が発明され、電動機が小規模動力の分散使用を可能とした。さらに電線だけでエネルギーの供給可能な電力系統網のインフラがなされ、産業革命の成果は近代文明社会の原型を構築した。

第2次世界大戦中に弾道学の計算を敏速に行うため、開発されたデジタル計算機（以下、計算機と略記）は、デジタル信号処理用部品に真空管やリレーなどを用いたため、巨大な大きさと信頼性に難があった。しかし、第2次世界大戦後の1947年にショックレー、バーディン、ブラッデンなどが開発した固体電子素子、すなわち、トランジスタは、真空管に取って代わり、計算機の圧倒的な高信頼性と小型化を可能とした。また、半導体は単に信号処理素子としてだけでなく、GE(General Electric)が開発したSCR(Silicon Controlled Rectifier)は電力制御を固体素子で可能とし、現代パワーエレクトロニクスの原点となった。その後、半導体プロセスに写真技術などが応用され、単純な素子でなく、高度な集積化がなされた回路、すなわち、IC(Integrated Circuit)が実現、信号処理技術は革命的な発展を遂げた。これを本稿では「半導体革命」と呼ぶ。この半導体革命がもたらした社会的影響力が最も大きなプロダクトは計算機である。

2.2 大規模大型プロジェクト

半導体革命があたかも計算機を生み出したかのように述べたが、実際は、現在の小型高性能計算機を生み出す重要な一要素に過ぎない。半導体革命だけで現在の計算機は到底実現出来ない。計算機の頭脳たる電子回路部分は半導体で大部分が構成されるが、電子回路に電力を供給する電源機器、外部メモリーを構成する磁気・光記憶装置、入出力機器等をアセンブルして構築される機械が計算機である。

個々の計算機を構成する機器や装置開発に大きく貢献したのは、核融合、人工衛星や有人宇宙探査船開発プロジェクトなどの全地球的、若しくは国家的規模の大規模大型プロジェクトが果たした役割が大きい。例えば、多くの計算機の電源を構成するスイッチング電源は米国の航空宇宙局NASA (National Aeronautics and Space Administration) の発明である。また、有人宇宙探査船は、人間が生息可能な地球環境を人工的に構

築する究極のアセンブル技術を生み出した。これらの、一見、無関係に見える大規模大型プロジェクトが現在の高性能計算機を生み出す副産物的役割を担ったことは否めない事実である。

2.3 計算機産業

半導体革命と大規模大型プロジェクトの融合は、究極の信号処理を可能とし、その集大成的プロダクトの代表が計算機である。計算機は単純な計算に用いられるだけでなく、近年では大部分の電気・電子機器に搭載されていると言っても過言ではない。

初期の大型計算機が民需に普及したのは、1960年代の末である。これは、既に計算機をプロダクトとする産業が生まれていたことを意味する。初期の計算機産業は、多くの場合、従来の解析的な数学を駆使する科学技術の方法を、離散的な数値で解析することを目的とした。その結果、FDM(Finite Difference Method) や FEM(Finite Element Method)などの数値解析技術が開発され、今日では商用汎用パッケージが数多く溢れ、個々の研究者や技術者が必要に応じて利用可能となっている。これを計算機産業の第1期と呼ぶ。

他方、高度な集積回路技術は計算機の小型軽量化を可能とし、制御用などに特化したMPU(Micro Processing Unit)が開発され、多くの測定器から家電機器まで搭載された。このMPUを使った個人用小型計算機(Personal Computer、以下、PCと略記)が開発され、このPCへゲームソフトを搭載したエンターテインメント産業が米国のタンディラジオシャックなどで開拓された。その後、日本の任天堂が中心となり、ゲーム専用PCとゲームを搭載した一大エンターテインメント産業が世界を席卷した。エンターテインメント産業の勃興と共にPCを利用した事務作業の電算化(Office Automation、以下OAと略記)、や工場の電算化(Factory Automation、以下FAと略記)が進められた。このようなエンターテインメント、OA、FA産業を計算機産業の第2期と呼ぶ。

半導体は、単純な超大型集積回路(VLSI)を構築し、計算機の小型軽量化を可能にただけでなく、半導体レーザーの開発も行われ、大容量データを送受信する光ファイバー線の研究・開発と相まって、大規模大量高速データ通信が可能となった。その結果、単独で利用されて来た計算機のネットワーク化が促され、初期のTSS(Time Sharing System)から、現代のインターネット通信へ発展し、いわゆるインターネット産業が勃興した。このような計算機を利用した通信産業を計算機産業の第3期と呼ぶ。

計算機を利用した通信技術の普及の社会的影響は極めて大きく、従来型の電話などの通信産業や計算機産業の第2期であるエンターテインメント、OA、FA産業の形態に変革を与えつつある。既に携帯電話で音声のみならず画像の送受信も可能となり、エンターテインメント分野では通信カラオケなどから始まり、ネットワークを前提としたゲーム機が広汎に家庭に普及するに至っている。将来的にはゲーム機でゲーム、DVD、ネットワーク通信、ショッピング、さらに銀行口座の管理までが企画され、相当部分が実現されている。このような計算機を利用通信機器から脱皮した、汎用複合機能機器産業を第4期計算機産業と呼ぶ。

2.4 IT関連学術

半導体革命がもたらした計算機産業は、第1期のプロ用商用ソフトウェアとハードウェア産業、第2期のエンターテインメント、OA、FA産業、第3期の計算機を利用したインターネット産業を経て、現在、第4期の汎用複合機能機器産業が勃興中と言えるであろう。この第4期の計算機産業はデータ(情報)通信が大きなウエイトを占めるため、IT(Information Technology)産業とも呼ばれる。

学者・研究者の大半が認めたがらないが、IT関連学術があって、この学術の成果としてIT産業が生まれてはいない。IT産業が生まれて、このIT産業向けの学術が構築されている。すなわち、IT産業向けの人材を教育するのが現状のIT関連学術である。やはり、ゲームソフトと熱力学の関係と同様に、産業が先行し、学術は後追いである。計算機が広汎に利用され始めた時代には、情報科学(Information Science)なる用語が流行した。しかし、現実には、誰も情報科学なる用語の厳密な定義は出来ない。多くの大先生方から、やれACM(Associated Computer Machinery)の規定に拠れば、IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)の規定に拠れば等の議論を喚起しそうであるが、情報科学なる用語の厳密な定義が出来たときは、学問として完成した時点であろう。

ITなる用語が定着するまで、いろいろな用語が存在していた。例えば、KIPSなる用語をご存知な読者諸賢が居られるであろうか? Knowledge Information Processing Systemの頭文字を取った造語である。AI(Artificial Intelligence)も随分流行ったが、最近では廃れ気味である。最近、AIに代わって使われる言葉に多いのが、NN(Neural Network)である。このNNは計算機を前提とした学問である。NNに関する論文は大量に見かけるが、NNを使って作られたハードウェアプロダクトを筆者は一度も目にしたことがない。NNはAIよりは多少実現

性の高い感じの用語だが、NN を搭載したソフトウェアパッケージが唯一の産業的プロダクトかも知れない。何れにしても、産業革命の原点である蒸気機関、すなわち、熱力学ほど明快な代物でないのが IT 関連学術であることは確かである。

本稿で解説する知的可視化情報処理も IT 関連学術の一環である。ある意味でこの原稿が出版された時点で次の概念が出てくる可能性も否定できない未確定な分野である。

3. 知的可視化情報処理の学術的背景

3.1 可視化情報

第 4 期計算機産業、すなわち、IT 産業の大きな特徴は全ての情報を電子的に可視化情報へ変換し、人間の視覚情報処理能力で可視化情報を判断し、キーボード等の入力装置を通して判断結果入力・伝送する点にある。

可視化情報は、「コード化情報」と「非コード化情報」へ分類できる。

コード化情報とは、文字や数字などの組み合わせで構成される可視化情報であり、いわゆる言語である。計算機はこれらのコード化情報で制御されるため、可視化情報でも特にコード化情報の機械的処理を高速に可能とする。当然であるが、計算機はコード化情報の知的処理、すなわち、文章のもつ文学的意味合いや文章中に暗黙に含まれる意味などは解釈できない。計算機が解釈可能なコード化情報は、厳格な規則に則った一連の命令の流れに沿った作業であり、これを計算機プログラムやコードなどと言い、本稿で対象とするコード化情報とは区別して置く。

非コード化情報とは、いわゆる映像化情報である。非破壊検査におけるオシロスコープ上に表示される波形からの異常診断、医者による X 線や MRI 画像からの健康診断、言語を使えない赤ちゃんが顔の表情変化で快・不快を表す表情の解釈、芸術的絵画における芸術性の評価、電子顕微鏡画像から結晶性や材料欠陥の評価などが、それぞれの分野で高度な経験を有する人間の知識を前提として提供される可視化情報が非コード化情報である。

本稿で述べる「知的可視化情報処理」は、計算スクリーン上へ表示される全ての電子的な可視化情報、すなわち、情報コード化情報と非コード化情報から、人間の視覚情報処理能力と高度に訓練された人間の知的処理機能を計算機に持たせんとする技術である。

3.2 視覚情報処理機能

人間の脳機能の中で約 30% が視覚情報処理に使われているなどと言われる。では、人間の視覚上

処理機能とは何であるかと厳密な定義を問うと、解剖学的、すなわち、ハードウェア的には大まかな分類は可能であろうが、これが意外と困難である。

素人的解釈では、人間の視覚上処理機能とは、目で見て判るもの、すなわち、人間の視覚を通して経験的に蓄積した知識の中で該当する知識と比較照合した結果の情報へ整理し、脳へ伝達する過程と言えるかも知れない。脳外科のお医者さんの意見を伺うと、眼球は脳と同じ構造・機能と言われる。このご意見から、上記の素人的解釈は必ずしも的外れな解釈で無いと考えられる。

しかし、人間の視覚を通して経験的に蓄積した膨大な知識をそのまま眼球の中に蓄積することは物理的に無理であろうし、これでは残り 70% の脳機能の存在意味が無い。脳には記憶・認識野と呼ばれる領域が存在することが知られている。したがって、視覚情報処理は、外部から入力される可視光情報を脳内に記憶されて可視化情報と比較照合し、既知情報と未知情報へ分類する過程であり、ハードウェア的には可視光情報を感知するセンサー部分と脳の記憶野から既存情報を読み出し蓄積するテンポラリーな記憶部、そして、外部からの入力情報とテンポラリーな記憶部に蓄積された既存情報を比較・認識する部分からなると考えられる。

では、人間の視覚を通して経験的に蓄積した知識について考えてみよう。仮に、人間が視覚を通して経験的に蓄積した情報がそのままの形、すなわち、映像情報として脳へ蓄積されているのだろうか？ 仮に、映像情報が直接蓄積されているとすれば、限られたニューロンの数であるから脳の記憶野は数歳までの発育でパンクであろう。脳の記憶野がパンクしない理由は、脳には記憶の消去、すなわち、忘れる機能が備わっている点も有るが、到底、映像情報がそのまま脳へ蓄積されているとは考えられない。理由は 2 点ある。第 1 は、個人差はあるが、ハードウェアの割に膨大な情報量が蓄積可能である。第 2 は、映像情報中で着目したターゲットに関する映像は思い出せるが、着目していない背景などの映像情報は正確に思い出せない。したがって、人間が視覚を通して得た映像情報は、そのまま脳の記憶野へ蓄積されず、映像情報の特徴を抽出して記憶されていると考えられる。人間の頭の良し悪しは可視化情報の特徴抽出能力とその蓄積量で判定されることが多い。これは大学入試の偏差値なる指標を考えれば判りやすい。では、映像情報の特徴とは何かに議論になるが、これは容易に定義できるものでない。ある三角関数の問題がコード化可視化情報として与えられた

場合、問題の意図を読み取って、この種の問題に対しては、まずこの関係を用いるなどの数学的問題の特徴と、医者が X 線画像から癌などの異常部位を特定する場合とではその形態が異なるため、個々の映像情報へ応じた特徴とその抽出法が存在するであろう。ここでは、映像情報の特徴についてこれ以上は述べない。個々の可視化情報で、映像情報の特徴について議論する事とする。

3.3 知的可視化情報処理とは

図 1 に示すように、ニュートンは林檎が木から落ちる視覚情報から、どうして木から林檎が落ちるのかを追求した。その結果が、未曾有の機械的製品を駆使する現在文明の基礎となるニュートン力学の発見である。明らかに、木から林檎現象の因果関係を追求したニュートンの非凡な知的処理に拠る産物がニュートン力学である。

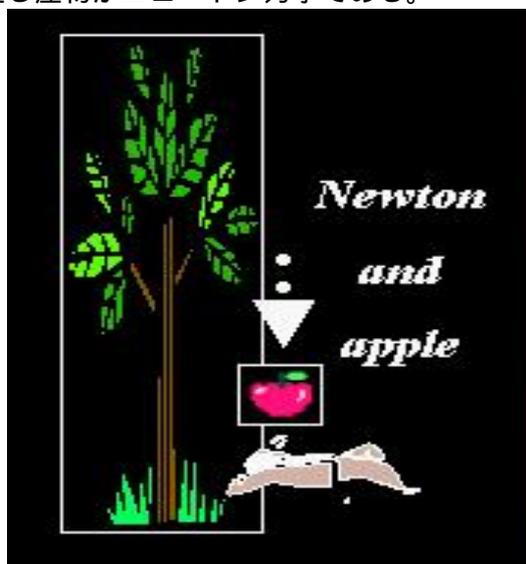


図 1. ニュートンと林檎

恐らく、林檎が木から落ちるのを見た人類は無数に居るであろう。ニュートン以外の人間は現象をそのまま受け入れて既成事実としたのであろう。ニュートンの非凡さは、現象が何故起こるのかの規則性の抽出、そして、規則性が生まれる因果関係を明らかにしてニュートンの法則を導いた点にある。

ニュートンの時代では、人間の視覚・聴覚・触覚を直接使った現象だけを人間は観察出来なかった。しかし、今日では、図 2 に示すように、IT 関連産業に拠るインフラで、人類は時間的と空間的制約が無い電子的に可視化情報を計算機スクリーン上で観察することが可能となった。このような全ての可視化情報から計算機の無限に近い反復計算能力と正確な記憶力を前提として、規則性や法

則を導く過程を、本稿では「知的可視化情報処理」と呼ぶ。



図 2. 現代可視化情報機器

3.4 数学的背景

人類の誕生から 20 世紀末まで営々と築かれてきた大きな数学的体系は、大宇宙の生成に関わるビッグバンの仮説の数学的基盤となった「場の理論 (Field Theory)」と線形空間論を体系化した「ヒルベルト空間論 (Hilbert Space Theory)」である。

場の理論は、音響工学、電磁気学、熱力学などの古典物理学の集大成であり、その数学的基盤をなす関数は波動や拡散現象を表す連続関数を前提としている。しかし、全てが連続関数でなく、円周率 や自然数 e 等の離散値数でしか定義できない数値を使わなければならない。換言すれば、連続関数を完全に記述するには何らかの数値で定義される離散値を使わなければならない。

ヒルベルト空間論は直交関数空間論とも呼ばれるように連続系の直交関数を作る空間論の集大成であり、場の理論で使われる連続関数を網羅している。

さて、1960 年末から広汎に普及が始まった計算機を前提とする数値解析技術は、解析的な解が期待できない場の理論に拠る方程式を数値的に解く手法であり、21 世紀の今日まで営々と研究・開発が進められている。これら数値解析法の代表的な例が、有限差分法、有限要素法、境界要素法、さらにモーメント法などである。何れの数値解析法を用いても、結果的には線形システム方程式を解く事に帰し、解ベクトルはヒルベルト空間中に存在する。すなわち、これらの数値解析技術は場の理論で前提となる連続関数系をサンプリングして得られた離散数値をハンドリングする方法論であり、これを第 1 期離散数学と呼ぼう。

1982 年フランスの数学者ドビッシ-(Daubechies) は、フランスの石油探査技師モレット (Mollet) が提案した基底関数に直交関数を用いないフーリエ変換の拡張である連続ウェーブレット変換 (Continuous Wavelets Transform) から、数値のみで定

義される一連の直交関数基底を発見した。いわゆる、離散値系直交ウェーブレット変換(Discrete Orthogonal Wavelets Transform)である。その後、多くの応用数学者によって離散値系ウェーブレット変換基底が発見され、応用数学は、20世紀までの連続関数を主体とする数学から、離散値の数値のみで定義される離散関数を主体とする新しい離散数学の世界を開こうとしている。この離散直交関数の世界を此処では第2期離散数学と呼ぼう。

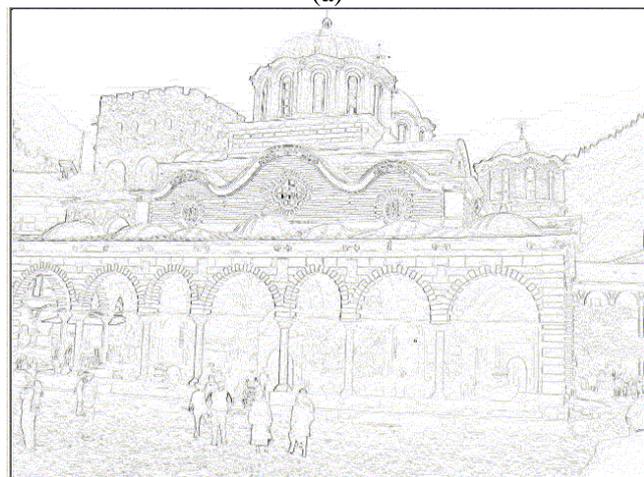
本解説で述べる「知的可視化情報処理」は、第1期離散数学のみならず第2期離散数学を可視化情報の数学的ハンドリングツールとして採用する。

3.5 知的可視化情報処理の概要

知的可視化情報処理とは計算スクリーン上に表示される時間・空間的相違に制約されない全ての可視化情報から計算機の無限に近い反復計算能力と正確な記憶力とを前提として、規則性や法則を導く過程である。



(a)



(b)

図3. 画像からスケッチを生成した例

その社会的背景として、第4期計算機産業で培われた高速かつ大容量データ通信インフラを前提

とした各種の学術的提案がなされているが、知的可視化情報処理もこの学術的提案の一環である。この提案とAIやNNなどとの異なる点は、古典物理の集大成である場の理論、直交連続空間論の集大成であるヒルベルト空間論、計算機を前提とする第1期離散数学、さらに離散数値関数のみで定義可能な第2期離散数学を道具として活用する点にある。

知的可視化情報処理の具体的な内容は、

- 1) 場の理論を応用した可視化情報処理方法の開発、
- 2) ヒルベルト空間論の一部を構成する線形空間論から可視化情報の多重解像度解析法の開発、
- 3) 可視化情報の特徴量抽出による画像認識方法の開発、

からなる。

次回の予告編として、場の理論を用いて図3(a)の画像からスケッチを描いた例を図3(b)に示す。

4. まとめ

本稿では、知的可視化情報処理に関する解説の第1回として、

- 1) 研究開始の動機、
- 2) 社会的背景、
- 3) 学術的背景

について述べた。

文章ばかりの解説で読者には不親切かも知れない。特に、若手の研究者には年寄りの戯言の羅列かもしれない。しかし、若い研究者も何れは歳を取り、自分の過去を振り返って、自分の存在理由を明快に語る方は幸せである。また、歳を取っても直向に研究に打ち込まれる方も居るであろう。人生は一度しか無い、何と云っても、工学に携わる研究者・学者の存在理由は次世代の教科書になるような学術を開拓し、社会の産業へ寄与できる事に尽きるであろう。そのような意味で、自分の研究テーマに対して馬車馬的な観点からでなく、時々は大局的観点からの研究の意義を見出して頂きたい。

次回からは、具体的例題を取り上げて「知的可視化情報処理」に関する解説を掲載したい。

最後に、書き殴り原稿を何とか読める形に校正して頂いた本学大学院(博)生である遠藤久君に感謝の意を述べて、知的可視化情報処理に関する第1回の解説を終わりとす。