

技術社会論

日本の科学技術の起源から未来まで

法政大学 工学部 電気電子工学科

応用電磁工学研究室編集
1997年4月 13日 Beta 1

はしがき

天から降って湧いたように今年私が社会技術論を担当することとなった。本来、このような科目は極めて限定された専門性よりも社会に対する知見や貢献の大きな大先生が担当すべきであると考え、私ごとき若輩がとても担当出来る科目でなく、また、担当が回ってくることなど想像もしなかった。しかし、担当を命ぜられ、考えて見ると何時の間にか私も若輩でなく、年齢的にもキャリア的にも文句が言える立場でないことを自覚せざるを得ない。

かような次第で担当することとなったが、何をやるべきか、自分の社会に対する知見や貢献などたかの知れたものである。では、如何にして将来技術者・研究者たらしとする学生諸君へ、私のつたない知見を通じて社会における技術、社会に対する技術の役割を講義するか、それなりに悩み、適当な文献を整理して講義ノートを作成するか、自分の経験を通じて講義ノートを作成するかを考えた。結論は、自分の知見でカバーを出来ない歴史的な技術と社会の関わりは文献を整理して講義ノートを作成することとし、デジタル計算機の開発と普及、そしてその応用に関しては、私自身の研究者としての大部分の人生が何らか

の形でこれらに関わっているため、第2次世界大戦後の近代、現代、そして未来について自分自身の研究者の観点から講義ノートを作成することとした。

このような状況と思索から本講義ノートを作成した。その結果、歴史的な技術と社会の関わりは、種本がベテランで研究者の著書によるものだから内容がこなれていて学生諸君は理解しやすいと思われる。しかし、私が私自身の研究者としてのつたない知見に基づく部分はやや難解であるかも知れない。が、難解な部分を総て理解する必要はない。技術の概念さえ把握できれば十分な将来の技術者・研究者としての教養が持てると思う。

従って、本講義ノートは大きく分けて、歴史的な人類と科学技術の関わり部分、そして第2次世界大戦後に開発されたデジタル計算機がもたらした新しい科学技術の紹介部分からなる。

歴史的な科学技術の画期的革命の原点は産業革命にある。ジェームスワットは熱力学を前提として蒸気機関を創始したのでなく、ジェームスワットが蒸気機関を発明し産業革命を起こし、実に100年を経過して熱力学が学問として集大成された。ジェームスワットの偉大さは、蒸気機関を単に家畜動力を機械動力に置き換えるだけでなく、出来上がったプロダクトを輸送する手段として活用することで産業革命を起こした点にある。蒸気機関は大動力の集中運用が前提である。しかし、産業は大規模大量生産によるコストの低減などから、必然的に動力の分散使用の必要性が生まれ、これにタイミング良くエネルギーの電線による輸送、小規模動力源としてのモータの発明等、エジソンが発明王となった下地が存在した。欧米が産業革命を行って近代技術を開発し普及させている間、日本は、徳川将軍時代であり、現在の近代国家で全く産業革命を経験せずに技術立国を宣言する極めて希な国家である。単に、徳川政権が倒れ明治になったから、産業革命を経た文明が日本に流入したわけではなく、徳川吉宗の蘭学解禁による外国技術文明を学ぶ期間があり、明治の文明開化で、当時の施政者は日本の社会状況に適合した技術だけを注意深く選択し導入した。その結果、文明が特定の社会層に限定されることなくスムーズに日本に定着した。良く考えれば、これは政府による規制である。規制は現在のようにネガティブな側面ばかりでなく、過去はそれなりに有効な緩衝的機能をした意義も認めなければならない。

日本が文明開化して、徳川政権時代に蓄積された知識を駆使して日本のために有益な技術を取捨選択して輸入しただけでなく、基礎技術の修得に努力した。その結果、日本は、悲惨な結末を迎えた第2次世界大戦を自前の兵器で戦うことが出来たアジア圏唯一の国家であった。第2次世界大戦後の日本の科学技術は再び徹底した輸入に依存する体質となったことは周知の事実である。軍事という金がかかり且つ足りない技術対象を捨てた技術開発はいわゆる民生用技術に主力が注がれ、結果として信頼性の高い高品質な自動車や電気電子機器を産みだし、日本経済を支える主幹技術となった。このような、基礎技術の輸入そして周辺技術の開発とその知的所有権の確立は、結果として膨大な投資から産まれた基礎技術を日本の周辺技術なくして製品化に至らせないことに繋がった。このような我侷な日本の国家政策が許容された背景には、全世界を2分する東西冷戦下における、日本の極東における存在理由がある。しかし、冷戦終結後における日本のバブル経済と極東における存在理由の低下は、バブル経済崩壊後の日本経済の低迷に繋がっており、従来型技術開発指向では再び技術立国として存在が危ぶまれる現状である。換言すれば、日本が民族として過去に経験の無い日本オリジナルの基礎技術開発と応用製品生産へ転換せざるを得ない状況である。明治の文明開化直後は日本は1大農業国家であった。日本が日露戦争に費やした軍事予算は国費の70%を占めた。しかし、ある意味で、食料は、人口も現在より少なく資源がなくても何とか自前で賄える状況にあった。現時点では資源はもとより食料も輸入に頼らざるを得ない国家である。第2次世界大戦後の豊かな時代は終わり、総てが日本民族として経験の無い状況下で如何にして私たち技術者が日本民族のみならず世界人類へ貢献できるかを念頭において講義を始めたいと考える。

目次

■ 第1章 科学技術の起源	1
■ 第2章 工業技術の夜明け	8
■ 第3章 究極の富・Energy	15
■ 第4章 数学のパラダイムWavelets	22
■ 第5章 Image・アナログからデジタルへ	39
■ 第6章 先端そして近未来科学技術	48
■ あとがき	62

第1章 科学技術の起源

ここでは近代電気電子技術の根幹である電磁現象応用の歴史を振り返り、将来の電磁現象を応用した機器のありかたについて模索してみよう。

1.1 技術の起源

まず最初に技術の起源について考えてみよう。約200万年前既に直立二足歩行をする人類が誕生していたことが確認されている。その結果、手の自由を確保し、手は食物等を摂取する場合だけでなく、多くの目的に使用されるようになった。しかし、例えば石を砕こうとする場合、到底手そのものだけでは石を砕くことができない。このため、手の能力を拡大するためにハンマーのような道具を創造することにつながり、この道具を創造することと道具を巧みに使うことが技術の概念の第一歩と考えられる。もう一つの重要な技術の概念の捕らえ方は、例えば蜂や燕が極めて巧みに精緻な巣を作るが、このような動物は本能的に巣を作っているにすぎず、決して彼らの頭の中に巣の設計図が予めあるわけでない、しかし、人類は予め何を作るかの目的があって道具を創造し、また、程度の差はあれ、予めどの様なものを作るかの設計図を想定し道具を駆使して目的を成し遂げる。すなわち 動物は本能的に合目的性を実現するのに対し、人類は意識的に合目的性を実現する点も技術の概念の第一歩とも考えられる。以上のことを整理すると次のように纏められる。

技術の起源

約200万年前・・・直立二足歩行・・・手の自由・・・道具の創造
動物・・・・・・・・・・本能的に合目的性を実現
人間・・・・・・・・・・道具（手段）をもって意識的に合目的性を実現

さて、人類は道具をもちいて意識的に合目的性を実現するが、この意識的な合目的性が実は労働の起源である。労働の目的は人類社会の富の拡充と快適な消費生活を維持することであり、この点が人間と他の動物との本質的な違いである。換言すれば、労働は人間の本質的行為であり、労働そのものに人間の価値が存在する。この労働の価値説はマルクスによつて完成された。

人間の労働

意識的な合目的性・・・労働の起源
労働の目的・・・・・・・・社会的富の拡充と消費生活
労働・・・・・・・・・・人間の本質的行為
労働の価値説・・・・・・・・マルクスによつて完成

マルクスによれば、労働過程のモーメントは三個の要素からなる。まず第一の要素は「人間と他の動物の労働の違いにあり、人間の労働は労働過程を開始する前に観念的に完成されている」ことである。第二の要素は「人間の労働は、労働対象として原料と補助材料を区別する」ことである。例えば、人間が家を建てようとする場合、木材やセメント等は家を構成する原材料であり、原材料を所望の形に固定するための釘やかすがい等は補助材料である。第三の要素は「人間の労働は道具、動力を持つ道具である機械、そしてある特定の目的を行う機械を組み合わせた装置を用いる」ことである。

労働過程のモーメント:マルクスによる三要素

人間の労働・・・・・・・・労働過程を開始する前に観念的に完成
 労働対象・・・・・・・・原料と補助材料
 労働手段・・・・・・・・道具, 機械, 装置

以上の議論から、結局、技術の概念は労働手段の体系化に他ならない。

労働手段の体系化 = 技術の概念

さて、技術を表す用語として、EngineeringとTechnologieがある。この用語の語源は真に興味深く、前者は1771年英国で最初に使われ、語源はラテン語で「天才の所産」の意味をもつ。他方、後者は1772年ドイツで最初に使われ、語源はギリシャ語で「わざ、技巧」の意味である。明らかに、前者は道具や機械を創造することを強調し、後者は道具を如何に巧みに使うかを意味している。よく、「はさみと何とかは使いよう」という言葉が使われるが、はさみを創造することが前者で、はさみの使い方が後者と考えても大きな誤解はないであろう。

1.2 科学の起源

次に科学の起源について考えてみよう。人間が手の自由度を得て、個々の用途に応じて手の機能拡大のために道具を創造し、その結果、自然物に道具を駆使して合目的性を実現しようとするとき、同じ道具でもどのように使えば最も効果的に機能するかの経験を積むことで事物間の客間的認識を持つこととなる。例えば、ハンマーで石を砕こうとするとき、この石ならどこをハンマーで叩けば砕け易いかは、ハンマーで石を幾つも砕けばなんとなく要領が掴めてくる。これが道具を使うことによる事物間の客間的認識の一例である。この客間的認識は、当然経験的、断片的であるが、多くの事物間で共通の客間的認識が蓄積され、確実な知識となり、体系的化された結果、普遍的認識となる。これが科学の起源であり、この歴史的経緯から見ると、「労働は技術の母であり、そして、技術は科学の母」と考えられる。

労働と科学

人間の労働→道具→自然に働きかける・・・事物間の客観的認識
 事物間の客観的認識・・・・・・・・・・経験的・断片的知識の蓄積
 多くの経験的・断片的知識の蓄積・・・・確実な知識, 体系化, 普遍的認識

しかし、単純に技術は科学の母と見なし得るのであるだろうか、ある面から見るとそのように取れるが、技術的労働の対象は人工的な構築物、道具、機械等であるのに対し、科学的労働の対象は必ずしも人工的なものとは限らない。例えば、気象等の自然現象における普遍的認識や物質構造のミクロな探求等の自然物である。

科学的労働と技術的労働

科学的労働の対象・・・自然物が自然物の運動形態

技術的労働の対象・・・人工的自然物（道具，機械，装置）

従って、科学とは「人類の歴史で集積されつつある認識の成果である知識の総体と認識活動」そのものであると言える。また、自然の法則は「自然現象の一般的、本質的な諸関連およびそれらの生成、発展、転化の必然的な道筋」を明かにするものであるのに対し、規則は「経験的な知識で実践的には有効だが理論的に完成していない法則」である。このことから、科学的労働の生産物は法則であり、技術的労働の生産物は規則であり、終局的には科学的生産物である法則に高められるものである。この意味から技術は科学の母であるが、科学は技術からだけ生まれるものではない。技術的労働の生産物は規則であり、終局的には科学的生産物である法則に高められる。

1.3 近代における電気技術

科学や技術の定義等抽象的な事柄について述べてきたが、いよいよ電気技術について触れてみよう。まず最初は電流の発見と有線通信技術である。人間が情報や意志を表示するために、言語や文字がある。すなわち 視聴覚的表象である。この視聴覚的表象を空間的距離を克服して伝達する人工的手段が通信技術である。では、郵便と通信技術の違いはどの点にあるのだろうか、郵便は手紙等の視覚的表象を加工せずにそのまま伝達する。しかし、通信技術は視聴覚的表象を他の形、例えば電気信号や光等に加工して伝達する点が郵便と本質的に異なる。

通信技術

意志や情報の表示・・・言語または文字 即ち、視聴覚表象

視聴覚表象の伝達・・・人工的手段が通信技術（空間的距離の克服）

通信技術は、軍事的必要性、施政者の情報管制のため、極めて古くから発達しており、既に奴隷制時代から光通信、すなわち 狼煙が使われていた。その後、17世紀にオランダで望遠鏡が発明されたことにより大幅に通信距離が増加した。18世紀末のフランス革命時に、より複雑な意志を伝達すべくシャップの腕木が利用された。すなわち 手旗信号の始まりである。19世紀の初頭から、産業革命に伴い大量生産と鉄道・蒸気船による遠距離輸送が始まり、これが電気による有線通信技術の開発と普及を促した。

通信技術の変遷

奴隷制時代 ・ ・ 光通信 ・ ・ 軍事的必要性（迅速な通信）

17世紀望遠鏡の発明 ・ ・ 通信距離の増加

18世紀末フランス革命時 ・ ・ シャップの腕木通信機

19世紀初頭 ・ ・ 通信技術の不可欠性 ・ ・ 産業革命と鉄道

1837年から1878年を有線通信器の成立期と呼び、1800年代初頭から電流の科学的研究が始まり、1837年に英国で磁針電信器が鉄道通信で実用化し、米国では電磁石式電信器の公開実験が行われた。

1837 - 1878年有線通信器の成立期

- 19世紀初頭 . . . 電流の科学的研究
- 1837年 . . . 英国で磁針電信器が鉄道で実用化
- 1837年 . . . 米国で電磁石式電信器の公開実験

このような電気技術の第一期は産業革命による社会的必要性によるものであることは極めて興味深い。1837-1878年の電気技術第一期（有線通信機器）は産業革命と鉄道、汽船などの輸送技術の急速な発達からの必要性による。

1.4 電力機器と系統の成立

19世紀末から資本主義は独占の段階に入り、運輸、建設、軍事的必要性から新しいエネルギーの形態が望まれた。この問題を解決したのが電気エネルギーであり、1860年代末に、ファラデーの電磁誘導現象発見から約40年後に自己励磁の原理が発見され、1873年ウィーンの万博で発電機、電動機、電力輸送が公開され、さらに1879年エジソンの白熱燈が発明され、1895年ナイアガラの発電、変電、電動機による電力エネルギー活用一大体系が完成した。

1879 - 1895年の照明電力機器の成立期

- 19世紀末から . . . 資本主義は独占の段階（運輸，建設，軍事の技術革新）
- 技術的問題 工業と運輸のための新しいエネルギー形態
- 1860年代末 . . . 自己励磁の原理の発見（ファラデーの電磁誘導現象発見の約40年後）
- 1873年 発電機，電動機，電力輸送の誕生（ウィーンの万博）
- 1879年 エジソンの白熱燈
- 1895年 ナイアガラの発電，変電，電動機による一大体系が完成

この1879-1895年間に電気技術の第二期と呼び、社会的必要性に答えた多くの発明・発見によって生まれた。1879-1895年の電気技術第二期（照明電力機器）は瞬間的な輸送と力，熱，光，化学エネルギーへ容易に変換できるエネルギー形態の必要性から誕生した。

1.5 伝送技術の発達と産業電化

産業革命の原動力となった蒸気機関は、動力の集中使用には適しているが動力の分散使用には不適である。特に、流れ作業方式や中小工場の動力源として電動機が最適であった。このため、1896年から1920年前後には、長距離電力輸送技術の確立、電動機の産業への応用がなされた。また、通信技術も1896年のポポフとマルコニによる無線通信の実験直後、1897年にマルコニによって無線通信企業が創立された。この1896年から1920年までの電気通信・電力伝送いずれも遠距離伝送技術の特徴とした。

産業電化と遠距離伝送技術

- 1896-1920年前後・・・長距離電力輸送技術の確立。電動機は機械の集
 団運転から単独運転への移行，流れ作業による
 大量生産方式を可能にし，中小工場の原動機と
 して最適であった。
- 1896年・・・無線通信の実験（ポポフとマルコーニ）
- 1897年・・・無線電信企業の創立（マルコーニ）
- 1896-1920年頃までは，通信，電力共に遠距離伝送技術を特徴とした。

また、1920年前後を契機に、有線通信は無線通信に主流を奪われたが、国際的有線通信網が完成した。

1.6 日本における電気技術

歴史的背景

- 徳川吉宗の洋学解禁・・・幕末まで知識の吸収
- 有線通信網・・・・・・・・西南戦争前後の整備（鉄道網の普及より十数年早い）
- 電力事業の発足・・・・・・・・アメリカやイギリスとほぼ同時
- 1920-1930年代・・・通信部門で多くの独創的研究（八木・宇田アンテナ，
 岡部金次郎の分割陽極マグネトロン，抜山平一の水中
 音響通信，永井健三の磁気録音）
- 第二次大戦中・・・・・・・・決定的技術格差
- 第二次大戦後・・・・・・・・戦前の遺産とアメリカからの技術導入で飛躍的な発達
 をしたが，固体素子や機器の部分的改良を除いては，
 本格的な独創技術の育成は妨げ
 られた。

さて、いよいよ日本における電気技術である。日本における電気技術は徳川吉宗に起源を発したと言っても過言ではないだろう。徳川吉宗の洋学解禁以来、主として蘭学者を中心として電気技術の吸収が行われた。佐久間象山の実験等是有名である。西洋では鉄道網の普及の必要性から有線通信網が普及したが、日本では施政者の情報管制と軍事的必要性から、西南戦争前後に鉄道網の普及よりも十数年早く有線通信網が整備された。西南戦争では熊本鎮台から東京へ有線通信で情報が伝達されたことはあまり知られていないが事実である。電力事業の発足は米国や英国とほぼ同時期に始まり、1920年から1930年代のほぼ十年間に、八木・宇田アンテナ、岡部金次郎のマグネトロン、抜山平一の水中音響通信、永井健三の磁気録音等多くの独創的研究がなされた。これはおそらく徳川吉宗以来蓄積してきた電気技術の基礎が開

花したと考えるても良いであろう。しかし、第二次世界大戦中には欧米諸国に比較して決定的技術格差がつき、第二次世界大戦後は戦前の遺産と米国からの技術導入で飛躍的な発達をした。が、戦前にも増して欧米崇拜主義から脱却できず、部分的改良や製造技術等を除いて、本質的に独創性のある研究はなされていない。部門別に第二次世界大戦後の電気技術を見ると、電力部門では、大貯水池式水力発電から技術導入による火力発電・原子力発電となり、超高压電力系統網が整備され、また、高度成長と家庭電化が実現された。通信部門では、トランジスタと集積回路の普及から機器の小型化と計算機の普及がなされ、時分割多重通信、導波管によるミリ波通信、レーザによる光通信、衛星通信や放送等が実現した。しかし、リスクを避け、大過ない結果のみを追求する行政、研究、経営の体質が抜けきらず、依然として欧米崇拜と権威主義が真の独創性を埋没させ、平均値を求める国民性が定着し、独創的研究がまともに評価されず、日本人の優秀な研究者の海外流出等、多くの問題点を残している。日本の電気技術は、戦後も欧米に依存しつつ革新を達成してきた。それは技術格差を是正するには有効であったが、日本独自の国民的課題にこたえる技術開発という観点からみると、大きな問題を残す結果となった。

1.7 現象から製品まで

電磁現象の発見から現代のいわゆるハイテク電子機器までを時系列で整理すると、

- ・電磁現象の発見：紀元前700年タレス摩擦電気を観察-1500年代まで
- ・電磁現象の規則：1600年ギルバートによる磁気と電気の違い-1700年代前半
- ・電磁現象の法則：1772年キャベンディッシュ電気力の逆二乗法則-1800年代初頭
- ・有線通信機器：1837-1878年の電気技術第一期（有線通信機器）
- ・電力機器：1879-1895年の電気技術第二期（照明電力機器）
- ・無線機器：1896年無線通信の実験（ポポフとマルコーニ），1920年前後を契機に有線通信は無線通信に主流を奪われたが、国際的有線通信網が完成した。
- ・情報機器：1950年代後半から計算機の実用化が始まる。
- ・ハイテク機器：1980年代から軽薄短小型電子機器の普及、機械と電子制御の結合によるメカトロニクスなる用語が誕生した。CT、MRIの実用化と普及、高温超電導体の発見。

となる。明らかに、現象の発見が最も時間を必要としたように考えられるが、実際は記録する意義が見いだされなかつたと思われる。また、規則が見いだされるまで約1世紀を必要としているが、社会的に電磁現象の規則を見いだす必要がなかつたと考えても良いだろう。しかし、電磁現象の法則は比較的短期間で見いだされている。これは1800年代初頭の産業革命時に近い時期であることから、ジェームス・ワットの蒸気機関の発明が先行したが、社会が家畜動力以外の新しい動力を模索していたことに起因するとも考えられる。電磁現象応用による機器の有意性が明らかに成ってから、その社会に対する普及はめざましいものがある。

電磁現象を応用した機器開発には二つの発想に基づくものがある。その一つは、順問題的発想であり、

その開発過程は

- 1) 既存の電磁現象や規則・法則 + 活用できる技術基盤と経験
- 2) 何ができるかの調査
- 3) 実現可能な機器の解析または実験
- 4) 実現し、生産された機器はそれらの社会的有用性によって淘汰である。

他の一つは逆問題的発想に基づくものであり、その開発過程は

- 1) 何が必要かの調査
- 2) 必要な条件
- 3) 必要な条件 + 既存の電磁現象や規則・法則 + 活用できる技術基盤と経験
- 4) 解析
- 5) 制作可能かどうかの判断
- 6) 制作可能であれば生産、不可能であれば2) 必要な条件の再設定である。

歴史的経緯から見ると、明らかに逆問題的発想で創造された製品が電気技術の歴史を作っていることが判る。

1.8 まとめ

以上の電気に関する科学・技術の歴史を総括して纏めてみよう。過去の歴史を振り返ったとき、それぞれの時代の社会的必要性が科学・技術進展の原動力となっており、その結果として新しい技術や製品が生まれてきていることが判る。科学・技術進展の成果として、新しい製品が生産され社会に供されるが、その製品が生まれるまでに大きく分けて1) 順問題的発想によるものと2) 逆問題的発想によるものがある。過去の歴史は逆問題的発想による製品が社会生活をより快適で便利な形態に変革する力を発揮することを示唆している。このことは、技術者が単に信頼性の高い高品質な製品を生み出すだけで満足すべきでなく、何が全人類そして全地球的に有益で必要な道具なのかを、21世紀を担う技術者は常に念頭に置かなければならないことを意味する。

参考文献

- [1] 山崎俊雄，山本忠昭 共著，電気の技術史（オーム社，昭和51年3月20日）。
- [2] 山崎俊雄，電気技術史（毎日新聞社，1956）。
- [3] 山崎俊雄，杉田元宣 共著，物理技術史（中教出版，1952）。

第2章 工業技術の夜明け

2.1 概要

第1章で述べたように、近代工業は産業革命によって始まった。産業革命とは、18世紀後半にイギリスではじまり19世紀前半のうちに西ヨーロッパやアメリカに広がった産業経済の変革現象をである。欧米人が近代工業技術を発明し利用し、近代工業に適した制度や組織を作り出すまで300年にわたる精神的遍歴と社会的葛藤があった。その成果をたった30年で受け入れた日本の速度は驚異的である。結果として、日本の「近代」の受け入れ方は極めて表層的であった。しかし、表層的に受け入れた近代工業技術を、日本が70年後にはどこの国よりも完全に近い近代工業社会に発展させた。このような日本的風土と日本の作り上げた近代工業技術の原点を考えるのがこの章の目的である。

2.2 近代工業社会

産業革命は蒸気機関を動力とする大型機械群を使った工業生産が社会の主要な生産形態として確立された現象、すなわち、一連の技術革新現象であった。しかし、単なる技術革新ならば、それ以前にもあったし、その後も起こっている。そのなかで、蒸気機関を動力とする大型機械群による技術革新を特に「産業革命」と呼ぶのは、これを契機として、産業のみならず、経済社会の全般が変革したことにある。すなわち、蒸気機関の動力を契機にした一連の技術革新が近代工業社会を生み出した。

産業革命とは

蒸気機関を動力源としたことによる一連の技術革新が近代工業社会の原型を産み出したことによる。

産業革命以前の社会では労働者が個々の生産手段を持っていた。たとえば、農民は耕作する土地とスキヤクワを持っていたし、鍛冶屋は個々の道具と仕事場を持っていた。ところが工場制工業生産が始まると、生産効率や生産物の豊富さから、個々の労働者の生産性は追従できず、結果として生産手段を失った大量の労働者が発生した。生産手段を失った労働者は、生産手段を持たないが故に、どのような職業でもつくことができ、どこにでも居住できた。マルクスは彼らを「自由なる労働者」と呼んだ。近代工業社会とは、自由なる労働者がメジャーを占める社会である。蒸気機関を動力源とする大型機械群を備えた工業では、生産設備を個々の労働者が持つことができない。このため、生産設備を持つ「資本家」と労働力を提供する「労働者」に人間を分離することとなり、近代工業社会が産まれた。

近代工業社会とは

大型の生産設備を持つ少数の資本家と多数の生産手段を持たない自由なる労働者からなる社会である。

蒸気機関による機械的動力源は、人間の持つ動力源としてのパワーや性格を完全に圧倒したが、人間の持つ知的作業が出来ない。このため、人間労働を機械労働に置き換えるためには、単純な動作で生産できるように生産可能な定型化した生産過程となり、必然的に定型化した製品を産み出すこととなる。すなわ

ち、機械動力源による生産は規格化が不可欠である。すべての製品を単純な形態の部品に分解して規格化し、大量に生産して、それらを一定の順序で組み立てることで機械化の適用範囲が広まり、人間労働の必要量は減少する。従って、労働生産性が向上し、製品の品質と均一性が維持される。このような規格大量生産に適した社会ほど近代工業に適した社会と言える。すなわち、規格大量生産に徹した社会が最適工業社会である。

最適工業社会とは

規格大量生産に最適化された近代工業社会である。

日本が世界に誇る国際競争力を持つ分野は、規格大量生産が可能な分野に限定されている。規格大量生産が不可能な伝統工芸品や一品生産的な大型航空機や原子力機器では、日本の生産性と競争力は決して強くない。計算機でも、規格大量生産になじまない大型機器が主流であった時期では、日本の競争力は強くなかった。80年代以降からの小型量産型計算機が主流になって日本の独壇場と化した時期もある。農業やサービス業、知価創造的な分野等の日本がイニシアティブをとれない分野は、規格化と大量生産ができない分野である。

日本の工業競争力

規格大量生産による品質と均一性を必要とする機器に限られる。

明治の文明開化以来日本は、欧米列強に劣らぬ近代工業国家を作ること邁進した。これは、規格大量生産に適した世の中に日本を改造することであつた。日本が本質的に量、質ともに規格大量生産に適した社会に改造が完成したのは第2次世界大戦後、特に1970年代以降である。第2次世界大戦後の日本は、本格的近代工業社会を作り上げるために総ての政策を動員したばかりでなく、情報機関、教育そして生活規則によって近代工業国家を作り上げた。

2.3 安定から効率への転換

近代工業社会を生み出した精神は、合理主義、つまり物財の豊富さを幸せとする美意識と、効率を正義と信じる倫理観にある。このような精神が日本に定着したのは比較的新しい。

徳川政権下における日本の正義は「安定」であり、「効率」でなかった。徳川政権下において、大井川に橋を架けず、複数帆柱の船舶の建造と運航の禁止も、人と物の移動が効率化されることで、人口の均衡と地域市場の崩壊が損なわれ、結果的に安定が維持されないことによる。勤勉と儉約を強調しマクロの均衡とミクロの安定を両立させ、労働を人格修養の手段と考える石田梅岩の石門心学が、民衆に受け入れられたのも、安定を第1とする社会コンセンサスがあったためである。

勤勉と儉約

長い戦国時代の経験からくる民衆の安定化志向を受け入れる思想

ペリーの黒船は、「安定」よりも「効率」を重視する近代思想を提示し、正義の概念が効率追求に革新された。これは「尊皇攘夷」から「文明開化」への革命であり、世界史上に例を見ない急激な変化であった。この急激な変化を受け入れる下地として、そのときその場の多数意見を正義とする日本人の相対的正義感があったためである。換言すれば、日本人には「みんなと違うことを恐れる集団主義的」な精神的風土を持つためである。

日本人の精神的風土

自分の属する集団の中で、皆に好かれたい感情、または皆に嫌われたくない感情の強さが世界で最も強い民族である。

日本人は死を恐れない民族なのか？ この疑問は神風特攻隊を代表として、外国人から見た日本人観としてある。が、しかし、これは誤りである。日本人は集団の中から疎外されることを死よりも恐れる見栄っ張りな民族である。理由は、癌の告知にある。日本では、通常、患者が癌であることを医者は告知せず、親族だけに告知する。他方、欧米では、医者は本人へ告知する。では、なぜ日本では告知しないのであろうか？理由は、告知しない方が生存期間が長くなり、告知すると生存期間が短くなるためである。欧米では告知してもしなくても、癌患者の生存期間は変わらない。これは日本人にとっては屈辱的な精神的風土である。しかし、逆に回りが同じ作業をしているとき、これと同じ作業をしないと落ちつけない精神的風土が、高品質で均一な工業製品の大量生産を可能とし、世界中に日本製品を普及させた原動力となったことは否定できない。

高品質で均一な工業製品

日本人固有の精神的風土がもたらしたポジティブな結果

2.4 文明開化から官僚主導型社会

徳川政権が崩壊し文明開化へ進むとき、日本人の志向はどうであったのか疑問である。現代で考えても、以前と同じ生活がつづく安定志向が大多数の日本人の感情であったと思われる。では、なぜ、250年にわたって維持されてきた徳川政権の安定がいつも簡単に崩壊して、文明開化に繋がったのであろうか？

ペリーの率いる黒船が現れたとき、日本人の大部分が攘夷を唱え、安定社会の継続を主張した。しかし、馬関戦争や薩英戦争の経験から安定社会の継続が不可能と知ると、たちまち従来の体制を否定し、すべて欧米一辺倒に日本人の志向は変節した。極端には寺院や神社も欧米流の発想で再編成を強要された。

徹底した変革に繋がる民族性

本質的には安定志向で保守的だが、それが不可能と知れば徹底的に変節する。これは、集団からの孤立を恐れる民族性が変更を徹底させることによる。

徹底した変革を求める国民性であっても、何らかの基盤がなければ近代化は不可能である。この意味で、日本には、日本的集団主義と刀鍛冶や宮大工などで代表される専門家を重視した下意上達の組織的伝統があった。

近代文明の特色は、細分化と専門化である。規格大量生産においては、全体の概念を生み出す少数の創造的人材と、かなりの数の部門別改良者（中堅技術者）と、その意図を忠実勤勉に実行する多数の現場技術者が必要である。日本的集団主義が膨大な数の忠実勤勉な現場技術者を生み出し、伝統的細部重視の専門家の下意上達慣習と「型の文化」の伝統がかなりの数の中堅技術者を生み出す基盤になった。残念ながら、全体の概念を生み出す創造的人材は少なかったが、それらを欧米諸国から輸入した。この結果、日本は急速な工業化が可能となった。

日本の近代工業化

日本の集団主義的精神的風土と名人芸的な専門家の存在が近代工業化の基盤となった。

アジア諸国の中で、日本だけが急速に工業化した。しかし、その底力はどの程度であったろうか？

昭和の初期、1930年代では、日本の工業化は未だ幼稚な段階であった。この時点で、量質ともに世界水準に達していたのは製糸と紡績業であり、当時の近代工業社会の中核となる重化学工業は、規模においても技術においても世界水準から遅れた状態にあった。この原因は何にあるのであろうか？

まず、最大の原因は近代工業が、社会構造のなかで信頼すべき就業の場でないと考えられていた点にある。1930年代までの日本は、世界で最も労働者横転率が高い国家であった。また、解雇の制限や事前通告等の法的整備も無かった。これは、日本の工場や商店の労働者は、農家の次男、三男、娘が主であり、精神的にも経済的にも郷里の家族と深くつながりを持った大家族制の構成員であったことによる。要するに、1930年代までは、製造工業はまだ、社会経済の中核になっていなかったばかりでなく、人生を通じて身を置くほどの安定した職場とも考えられていなかった。民間企業のサラリーマンは、大学卒の管理職でも「浮草稼業」と呼ばれていた。

重化学工業の遅れ

国家は近代工業国家を目指したが、大家族制を主体にする国民の保守性は継続し、近代工業の定着を遅らせた。

では、今日では考えられない重化学工業の社会的地位の低さはどのような原因に起因するのであろうか？ それには、まず、資本蓄積が乏しかったこと、工業製品の市場が未成熟であったこと、さらに日本に工業用原材料とすべき天然資源が乏しかったことによる。原材料を輸入に頼らざるを得ない場合、必然的に資本蓄積の妨げとなる。このため、第1次世界大戦後の日本政府は、市場と原材料を求めてアジア大陸へ進出し、軍事官僚はこれを梃子にして軍拡を推進し、アジア諸国や欧米諸国との軍事的緊張を高めた。このような状況の中で、さまざまな抵抗を排して作られたのが「官僚主導型業界大量協調体制（官導体制）」または昭和16年体制といわれるものである。今日の日本を最適工業社会に発展させたのは、この体制の成果である。

官僚主導型業界協調体制

最適工業社会に発展するために通過せざるを得ない体制

規格大量生産社会を目指す国家政策は、地域分権論者の多かった議会の抵抗で容易に進まなかった。議会制民主主義を破壊する方法は、古代ギリシア以来変わらず、金銭疑惑を宣伝することである。

明治の政治家は豪壮な邸宅に住み何十人もの使用人を置いていた。山形有朋の椿山荘を見てわかるように、到底彼らの給与で賄える生活でなかった。しかし、彼らの金銭感覚が重大な政治問題に発展することはなかった。ところが昭和になると、些細な金銭問題が政争の道具として使われ、マスコミの金銭疑惑追及は峻厳となった。このような金銭疑惑を利用し、議会勢力を抑え込んだ軍人官僚は、昭和13年（1938年）の国家総動員法の成立を契機に、法規を改正強化して「官僚主導体制」を作り上げていった。完成したのが昭和16年（1941年）前後である。従って、これを「昭和16年体制」とも呼ばれる。

議会の無力化

議会制民主主義を破壊する方法は、政治家の金銭疑惑を宣伝し議会での発言権を無力化することであり、これを利用して法規の改正強化を行い、結果として官僚主導型体制を確立した。

官僚主導型体制とは、要するに法的規制による規格大量生産型産業の育成である。法的規制とは規格化基準化である。例えば、日本工業規格（JIS）、米や酒の等級化、建築基準、電気工作基準、医療制度、または成人男子の服装を甲・乙2種類の国民服に限定。工業的観点からは、要するに徹底した規格大量生産の強制と国民へ規格製品を押しつける政策とも言える。

規格大量生産型産業

官僚主導性による国策として育成された。

第2次世界大戦後は、よりいっそうの法的規制と企業に対する行政指導が強化され、結果として1970年代以降の最適工業化社会の育成に成功した。これが官僚主導型体制の第1の柱である。

最適工業化社会を育成するためには、製品に対する規格化だけでなく、製品を生産する人間の能力も均質な規格化をしなければならない。これが、官僚主体体制の第2の柱である。昭和16年の「国民学校令」が人間の規格化を目指した最終的到着点であり、その骨子の一つは、「初等教育公営制」であり、初等教育を最終的には総て公立学校で行うことを目的としている。第2の骨子は「学区制強制入学方式」である。要するに1通学区1学校制度であり、この制度が厳重に守られている国家は共産主義国家と日本だけである。この国民学校令が目指したのは、総ての学校に「平均的生徒群」を集めることであり、結果として、個性的な生徒を悪とし、総ての生徒を均質化することに繋がる。本来この教育制度は、ナチスの教育官僚が考え出した教育統制である。平均的生徒とは、長所を伸ばすのではなく、短所を減らすことを目的とした教育を受けた生徒である。平均的教育を受けた人間は、均質規格品の大量生産に最適な労働者である。

初等教育公営制

最適工業社会に最適な労働力の育成を目的

官僚主導型体制の第3番目の柱は、有機的地域構造の形成である。有機的地域構造とは、国土全体を一つの有機体と見なす発想に基づき、国土全体が人体であれば、頭は一つでなければならない。要するに、全国的な頭脳機能を特定の1都市、首都に集中することである。では、頭脳的機能とは何か？当時の官僚は、経済統制機能、情報発信機能、そして文化創造活動と規定した。経済統制機能は、各業界に業界団体を作らせ、本部を首都に設置させ、官僚OBを専務理事や事務局長に送り込むことでなされた。次に情報発信機能は、昭和16年当時、唯一の情報発信機関であつた日本放送協会(NHK)の規則を改正、全国放送の発信は東京放送局に限ると決めた。第2次世界大戦後、民間放送局が誕生したときにも、この思想は厳格に踏襲され、世界に類例を見ない「キー局制度」が考え出された。第3の頭脳機能とされた文化創造活動については、文化創造に必要な施設と団体を東京に集中する方策が採られた。

有機的地域構造の形成

全国的な頭脳機能を特定の1都市、首都に集中することであり、経済統制機能、情報発信機能、そして文化創造活動を骨子とする。

2.5 最適工業社会の限界

昭和16年に生まれた「官僚主導体制」は、最適工業社会を形成するために、産業政策、教育政策、地域政策を集中するものであった。そしてそれは、第2次世界大戦後において、より一段と徹底された。その結果、日本は規格大量生産に非常に適した国家となり、工業モノカルチャー社会を実現した。これが、比較的容易に徹底した形で行えた背景には、風土と歴史によって築かれた日本人の気風と気性にあったと考えられる。

最適工業社会を作ることで、今日の日本は工業の発達した国家となり、統計上は豊かになった。しかし、ここでは新しい発想が入らず、進歩の要素が欠けるという問題がある。じつは日本が、最適工業社会を作りやすい気風と気性を早くから持ちながら、産業革命に立ち遅れた理由もそこにあった。

新しい概念

最適工業社会を作ることは創造性を奪うこと

ところが、第2次世界大戦後の日本は、幸いにも外国から新しい発想と概念と技術を手に入れることが出来た。そしてそれを学ぶ点では、日本人は非常に優れた伝統的手法を持っていた。そのおかげで第2次世界大戦後の日本は、規格大量生産社会でありながら停滞することなく、45年間の成長を続けられた。

成長の持続

外国からの新しい概念の導入による

第2次世界大戦後、日本には新しい物財、サービス、制度そして機能が数多くできた。しかし、その概念はことごとく外国から入ってきたものである。洗濯機、テレビなどの電子電気機器のみならず、スーパーマーケットやサラ金も高速道路も外国に見本があり、輸出振興政策や金融ノウハウも外国に学んだ。

勿論、日本で始まって大成功したものもある。パチンコ、インスタントラーメン、カラオケ、そして引っ越しセンターなどがその例である。これらの共通点は、けっして大組織や日本的「エリート」といわれるような人々が考え出したもので無い点にある。つまり、規格型の均質教育の優等生から新しい概念が生まれなかった。彼らのしたことは、外国の概念を導入し、技術を学び、それに改善改良を加えて規格化し大量生産したことである。

新しい概念

日本的規格型の均質教育の優等生から新しい概念が生まれなかった。

日本人は今も昔も、「概念が導入されれば、細部を改良し、規格化して大量生産するのが得意である。文化も「いいとこどり」して、集団主義的細部重視で勤勉に行うからである。

いま、日本は「外圧」、「豊かさの実感」そして「不祥事」の壁に当たっている。外圧とは国際摩擦であり、どこの国にも何時の時代にもある。国家民族の利害が対立するのは当然である。問題は、従来の個別的問題でなく、日本の政策と経済構造に対する総合的なものとなっている点にある。豊かさの実感とは、日本人が暮らしの中で豊かさを実感できないことであり、一生働いても家が買えない国の豊かさや個々の国民の貧乏感の矛盾にある。不祥事はどこの国にも何時の時代でもある。問題は、日本に起きている不祥事が、金額が巨大なだけでなく、業界ぐるみの犯行であり、犯した側に罪悪感が極めて乏しい点にある。多くの場合、政府機関による保護政策が絡んでいるから、日本社会の体質と気質に染み込んだ構造的

退廃である。これらの問題点は、すべて日本を「経済大国」にした官僚主導型集団主義が作り上げた日本型最適工業社会の構造的欠陥に起因する。

2.6 まとめ

本章では、日本が文明開化以来どのようにして現在の工業化社会を築いたかを述べた。日本の官僚主導型集団主義は、未曾有の繁栄を日本にもたらしたが、既にその方法は限界に達し、新しい日本型政策を模索する時代に入ったと言えよう。バブル経済時の異常な不動産の値上がり、その後の不良債権問題などはまさに従来型政策が頂点に達し、急激な下り坂を走っているとも解釈される。その不良債権は、日本国内に止まらず約1千兆円をバブル時に日本は外国に掃き出したとも言われている。

21世紀に向かって、借り物でない真の創造力が必要とされる時代になつたと考えても良いだろう。日本人が集団から外れることを、生命の危機よりも恐れる国民性は依然として持ち続けるであろう。この国民性の中から、奇をてらう結果に繋がる、真の創造性を発揮することは勇気のいることである。

最後に、本章の内容は参考文献[1]によるところが大部分である。日本の将来を支える学生諸君は一読することを進める。本当に日本人が賢い民族なら同じ轍は踏まないことを期待したい。

参考文献

- [1] 堺屋太一 著「日本とは何か」講談社文庫、1994年2月15日第1刷

第3章 究極の富・Energy

3.1 概要

地球上に存在する人類にとって究極の富とは何であろうか？この疑問について考えるのがこの章の目的である。

人類にとって究極の富はエネルギーである。人類の行う戦争行為は富の分配をめぐる争いであり、富とはエネルギーであり、無限の富があれば人類は究極の平和と文明生活を維持できるであろう。

3.2 究極の富とは

卑近な例で直ぐに想像する富とは金銭である。政治的な観点からは権力であろうし、もっと小さく研究者としての富は無数の才能かもしれない。しかし、世の拝金主義者が考えるように、政治的権力も金があれば何とかなるし、自分に才能がなければ巨大な金銭で才能ある人材を雇えばよい。結局、お金で買えないのは無限の生命だけとなる。これは、生物として生まれた以上避けて通れない宿命である。バイオテクノロジーの成果として、自分のクローンを作れるかも知れない。しかし、あくまでも自分のクローンであつて自分でない。

良く考えて見よう。本当にお金が人類にとって究極の富であろうか？答えは否である。お金がいくらあっても自分の生命のみならず、購買の対象が存在しなければ無意味である。では、購買の対象として現時点で最も付加価値の高いものは何であろうか？不動産屋であれば土地かも知れないし、証券マンにとっては株かも知れない。しかし、土地がいくら有っても購買者がいなければ無価値であり、株も企業が存在する故一定の配当が期待出来るから価値が存在する。こうして考えると、人類の富とはもっと根元的なものでなければならない。

戦争

人類が行った大規模な戦争の根源は富の不平等な分配にある。

では、人類の歴史をふりかえつて考えよう。人類の歴史の一面は国家や民族間の戦争である。では、戦争がどのようにして起こったのかを考えよう。戦争の起こる条件として宗教問題がある。一部の狂信的宗教を除外して考えれば、多くの宗教は基本的に人間の生きていく上の規範を昇華する形で作られている。要するに、生活に欠かせないルールを纏めた結果として聖典が作られる。宗教の枠を越えた大規模な戦争を考えてみよう。すなわち、第1、2次世界大戦である。最近では中東戦争である。これらの戦争の原因は個々の国家間での主張の違いとも言えるが、主張の違いはどこから来るのであろうか？答えは簡単で、要するにエネルギー源の分配に対する主張の違いである。やっと結論が出て来そうである。人類が政治の究極の手段として戦争行為に突入するのは、殆どがエネルギー源の争奪に起因する。恐らく、空気のように無限のエネルギーが存在し、人類に平等に分配されるならば戦争は存在しなかったであろう。従って、人類の究極の富とはエネルギーであり、エネルギーがあるから、食料も作られ、不動産や人工的工業製品も

生み出される。換言すれば、戦争は富の不平等な分配に起因し、富の不平等な分配が貧富の差を作出する根源に他ならない。

人類共通の富

人類の真の富とはエネルギーである。

3.3 国家の存亡

古代国家の栄枯盛衰をみると、古代国家が崩壊した原因は大きくわけて2つある。1つは究極の富であるエネルギーの枯渇である。この具体例として古代エジプト文明がある。エジプトは砂漠の国と思われがちであるが、本来は緑が沢山あった国家であった。古代エジプトにおけるエネルギー源は木材であり、木材をエネルギー源として消化し尽くした結果、国家が崩壊し残ったのは砂漠である。

国家崩壊の第1要因

古代エジプト文明はエネルギーの枯渇で崩壊し、砂漠だけが残った。

古代国家崩壊の第2の原因は、古代国家を形成した人口の減少である。この端的な例は古代ローマ帝国にみることが出来る。古代にしる近代にしるその時代の高度文明国家の特徴は、高度な文明を構成する国民は常に一定以上の文明に適合する教育が必要である。結果として出来上がった文明を享楽する国民だけでは高度文明国家は維持できない。また、高度文明国家を維持するにたる国民は常に一定の教育が必要であり、よりよい社会的地位を得るためにはより高度な教育が必要である。このような高度な教育を行うには、必然的に経済的負担と長い教育期間を必要とする。要するに、高度文明を維持するにたる国民を育成するのにコストが高くなる。子供を育てるのにかかるコストが増加すれば、必然的に子供の絶対数が低減することに繋がり人口の低下となる。

国家崩壊の第2要因

労働者人口の低下が、異民族の労働力を当てにし、最終的にローマ帝国は崩壊した。

しかし、高度な文明を維持するには常に一定以上の労働者数が必要である。このため、高度な文明を持たない異民族の労働力に生産を依存することとなる。高度文明国家に労働力として流入した異民族が、常に単純な労働者としての社会的地位に止まろうとするであろうか？一旦高度文明社会を知れば、より高度文明化社会の恩恵を享楽すべくよりよい社会的地位を得ようとするは自然であろう。よりよい社会的地位を得るには教育が必要である。では、異民族であつても高度な教育を受ければよりよい社会的地位を占めることが出来るであろうか？これは人種の壁があり容易にでない。しかし、真に実力を必要とする組織では、人種の壁は低い。これは、軍隊など真の実力ある人員で構成されなければ国家が潰されるためである。多くの古代国家の崩壊は、政治の一方法である軍事力が異民族で支えられるようになった時点で崩壊を始めている。軍事力は、対外的な力の行使を前提にするが対内的にその力が使われて国家が崩壊する。

私たち日本人は、21世紀が高齢化社会になり、高度福祉を維持するには若年労働者3人で1人の老人を扶養することになると統計上算出されているが、この若年労働者数に女性労働者数も勘定に入っていることに注意しなければならない。仮に女性の半分が就業したとしても、1.5人の労働者で1人の老人を扶養することとなる。このようなことは可能であろうか？真剣に国家として考えなければならない課題である。では、古代ローマ帝国と同様に発展途上国の労働者に依存することとなり、最終的に崩壊、または発展的国家解散になるのであろうか。将来の高度福祉国家等、一定の労働力を前提として成り立つものである。

3.4 高度文明国家の維持

第2章で述べたように日本は文明開化以来、最適工業社会を構築することに邁進し、ある意味で最適工業社会を形成することに成功した。その後、最適工業化社会が国民に多くの恩恵をもたらしたが、しかし、その欠陥が反省される時代に到達している。

本当に、日本の最適工業社会が日本国家にとってベストな選択だったのか？集团的平均性を最大の価値観とする日本人にとって、明治時代はまさに欧米諸国のように産業革命による工業化社会へ脱皮することが、結果として世界国家集団の仲間入りをすることに繋がるから、国家政策の最大目的となったことは理解出来る。

日本の最適工業社会の壁

エネルギー問題と人口の伸び悩み

しかし、このような国家政策は限界に達し、国家政策の見直しをする必要があることは既に述べた。では、現時点の政策をどのように変更すれば良いのか考えるとき、原点に振り返って考えることは有意義であろう。

文明開化以前から、日本は中国大陸から朝鮮半島を経由して入ってくる文化・文明を日本的な精緻さをもって加工し導入して来た。日本語と言われるこの複雑怪奇な言語が漢字、仮名、カタカナ、アルファベット等を包含していることは、日本の文化が、日本固有の文化と異文化との融合でなく、総て輸入し加工したものに他ならないことを意味している。高度文化国家の言語の特徴は、名詞が多く動詞が少ない点にある。日本語は、本来固有の言語としては名詞が少なく動詞の多い言語であり、高度文化国家の言語でない。例えば、「飛行機」を固有の日本語で表せば「空飛ぶからくり」となる。では、現代の日本語はどうであろうか？実は外来語をそのまま名詞として輸入することで、名詞の数の豊富な高度文化国家の言語となっている。このように言語学的観点から見ても、日本は如何に多くのものを輸入することで賄ったが了解出来るであろう。

文明でなく文化の輸入大国

日本の歴史は外国文化輸入の歴史である。

文化を輸入することは国家を形成する国民生活へ即座に反映しない。しかし、明治以来の文明の輸入は国民生活に直接的、且つ即時的に反映した。その結果、最適工業社会とはいえ、原材料、加工に必要なエネルギー、労働者の食料総てを輸入に頼らざる得ない国家である。高度文明を維持しなくて良いから総ての輸入を止めればどうなるであろうか？いわゆる徳川將軍治世下の鎖国である。現時点で鎖国をすれば、計算する必要もなく餓死者の続出で国家が崩壊するであろう。徳川政権下の鎖国時代は、ひたすら安定を求める治世であつたが、環境工学的観点からは人口と食料、エネルギーのバランスのとれた時代であった。

安定志向統治

環境工学的にはバランスのとれた国家経営である。

他方、明治以降の治世はひたすら効率を追求し現時点に至った。ここで生まれる疑問である。なぜ、安定と効率をバランス良く配分した国家経営を行わなかったかである。これは、常に集団の中に埋没しようとする日本人の風土、気風から徹底した一方向的政策を採らざるを得なかったためであろう。

安定と効率をバランスした国家経営

フランスが代表的な国家であり、食料は自国内で賄え、エネルギーは原子力に依存

では、安定と効率をバランス良く配分した国家政策を維持する国が存在するであろうか？実は存在する、代表的な国家がフランスである。東西冷戦中、西欧諸国は東側諸国の侵略に対抗するために NATO（北大西洋条約機構）を設けた。このNATOからいち早く脱退したのがドゴールが率いるフランスであった。まず、軍事力を自国の防衛に専念させた。フランスは、高度工業技術を創始した国家であるにも拘わらず、最適工業化社会へ総てを変更せず、食料生産を担う農業を維持した。このため、少なくとも徳川将軍治世下の日本のように、鎖国をしても国民の食料を賄える体制を維持している。しかし、エネルギー無くしては高度文明を維持できない。残念ながら、フランス国内にエネルギー資源は存在しない。このため、原子力エネルギーを国家維持のために国策として開発した。その結果、フランスの電力エネルギーは80%以上が原子力によって賄われている。日本が高速増殖炉もんじゅのためにプロトニュウム処理を依頼したのは、フランスが最も原子力技術に習熟しているためである。実にエゴイステックな国家のように見えるが、世界中が死に絶えてもフランスだけは文明を維持した国家が存続する。大変立派な国家運営を行うドゴールの見識である。

何れにしろ、食料とエネルギーは人類存続の必要条件である。最近のバイオテクノロジー技術により食料問題はエネルギーを前提とすれば解決する可能性が無いわけではない。従って、まずは、究極の富であるエネルギーの確保である。

3.5 核融合エネルギー

■ 3.5.1 社会的必要性

(1) 究極のエネルギー源

従来、核融合研究開発の必要性と有用性を主張する論拠として次の3点が強調されてきた。

- ・ 無尽蔵のエネルギー源 -> 究極のエネルギー源
- ・ クリーンでかつ安全 -> 放射能が少なくかつ核暴走がない
- ・ エネルギー安全保証 -> エネルギー資源を他国に依存しない

その主張は社会的に受け入れられ、日本をはじめ、米国、欧州連合、ロシアといった先進諸国において極めて活発に研究開発が展開されてきた。しかしながら、現在、一般社会の核融合研究開発に対する期待感は依然としてあるものの社会的要請が薄れ、研究成果に対する評価も厳しくなっているように見える。15年前と比べて現在では核融合研究開発に対する見方は冷えているといえる。

その理由は二つ考えられる。一つはプラズマの磁場閉じ込めは、研究者が当初予想したより格段に困難であったこと、もう一つは大型の巨費を要する設備を必要としたことであった。つまり、成果を挙げることに時間がかかり、核融合関係者が約束した達成度に疑念が持たれており、また他分野における技術進展が著しい中で巨費を要するビッグプロジェクトの有効性に対する批判が生じていることである。しかしながら、以下に主張するように、核融合研究開発の必要性は依然として変わらず、現在または未来における地球環境の汚染防止、日本の国際社会への貢献、増大する開発途上国のエネルギー需要といった要素を勘案すれば、開発の緊急性はいささかも低下していない。

(2)核融合エネルギーは究極的に核抜きである

地上で実現可能な核融合反応は次の通りである。

- $D + T \rightarrow He^4 + n + (17.58MeV)$
- $D + D \rightarrow He^3 + n + (3.27MeV)$
 $\rightarrow T + H + (4.05MeV)$
- $D + He^3 \rightarrow He^4 + H + (18.34MeV)$

D:重水素、T:三重水素、 He:ヘリウム原子、 n:中性子

反応の起こり易さから、当面はD T反応を目標としている。三重水素は天然に存在しない放射性元素であり、中性子は周辺の物質を放射化する、という意味においてD T炉はクリーンなものでない。しかしながら、D-H e³反応に着目すると、ヘリウム3資源が月面上にしか存在しないといううらみはあるものの、一切の放射能とは関係ないので人類にとって理想的なエネルギー源であることに疑いはない。

(3)核エネルギーの利用形態は進化する

宇宙のエネルギーの源泉は全て核エネルギーである。人工的に制御し利用に供し得るエネルギーは、ウランのような重い元素の核分裂と水素のような軽い元素の核融合の2つである。前者は既に原子力プラントとして社会的に定着しており、高い比率で電力供給を行っている。しかしながら、ウラン資源は有限であり、いつかは枯渇する。一方、D T炉は、核融合反応率が最も高いことから初めに実現されるが、炉心プラズマ閉じ込め技術がこれによって格段に進歩し、有用な知見が集積されれば、次のステップとしてD-H e³の反応を利用することが可能となる。従って、核エネルギーの利用形態において、現在は過渡期にあると認識すべきである。人類の文明社会が永久に存立し発展して行くためには、資源的に有限な化石燃料から脱却し、過渡的な核エネルギーの利用形態を容認しながら、究極のエネルギー源開発に継続して努力を傾注していく必要がある。宇宙開発が人類に大きな夢を与えてくれるように、核融合開発も人類の未来に夢を与えてくれる筈であり、私たちはこの夢を大事に育てる必要がある。

(4)核融合エネルギーは環境汚染をもたらさない

既存の大容量のエネルギーは、主として化石燃料により供給されてきたが、これは、人類文明社会の発展に多大の貢献をしてきた反面、質的側面においては地球規模の弊害をもたらした。21世紀には人間の生命力より環境の劣化によって人類は滅びる可能性があることが論じられるようになってきた。これに対して環境汚染防止や生態系の維持という観点から核エネルギー利用システムを完成させることが要望されつつあると認識できる。短期的には、放射能の格納技術に関して著しい進展を遂げてきた核分裂炉の果たす役割が重要と思われるが、長期的にはD T核融合炉の経験と実績を踏まえて、D-H e³核融合炉が最終的な解決策を提供するものと期待される。

(5)核融合エネルギー開発は高度の技術を必要とする

これに関して三つの観点がある。

まず第1に、核融合プラズマの制御技術は人類共通の知見である。この知見を日本が提供するか、欧米が提供するかあるいは同時に両者が提供するかは、予測困難であるが、日本の国際社会への貢献という観点から見ても、日本が人類のために引き続き研究開発を継続していくことが重要である。西欧諸国及び米国は、現在の高度な技術を創成したことで子子孫孫に至るまで高い評価を得るであろう。日本にはこれに匹敵する貢献は今のところない。このことによって国際社会から得られる評価は、非常にたかいものがある。

第2に、核融合炉は技術集約型の装置であることを特徴とするが、そのため構造が複雑でかつ多くの技

術開発を必要とする。各国の保有する技術の現状では先進国による技術開発によってのみ制作することができる。このことは、この技術戦争に打ち勝った暁に得られる国益は非常に大きい。従って、日本の将来を考えたとき、核融合技術を日本のものとしておくことは、将来の技術戦略上極めて重要なことである。

第3に、エネルギー発生装置としての核融合炉に必要な技術はまだ確立されていない。核融合炉の主要な機器が過酷な条件にさらされるからである。必要とされる技術は既存技術の延長線上にないという意味において、技術のパラダイム変換を要求しているものである。

■ 3.5.2 研究の必要性和緊急性

(1) DT核融合炉研究開発の必要性和緊急性

現在、核エネルギーの利用は原子力発電という形で核分裂反応を利用しており、既に十分な実績を有している。核融合については、水素爆弾という制御されない形でDT核融合反応を実現している。核融合炉研究開発においては、将来の理想的なエネルギー反応形式であるD-H e³反応の利用を最終目標とするが、研究の現段階でこれに挑戦することは知見および技術の欠如のため不可能に近く、DT反応を利用したエネルギー発生装置を段階的に実現していくことが必要不可欠なステップである。そして、近年大型トカマク実験装置によって、エネルギー増倍率Q = 1が達成されており、科学的実証の最終目標である自己点火領域に達するには、もう一歩まで迫ってきている。

(2) 核融合炉研究の進展の現状

これまでの核融合研究の主流は、水素プラズマの閉じ込めに関するものであった。実験規模も大規模となり、世界に四大トカマクとして、JT-60（日本）、JET（欧州連合）、TFTR（米国）、T-15（ロシア）があり、更に有用なデータを蓄積するために、改造を重ねながら稼働してきている。プラズマ研究者たちは、プラズマ閉じ込めの予想外の困難さに対して忍耐強く研究を実施してきており、現在では臨界プラズマ条件（入力エネルギーと出力エネルギーが等しい条件）を達成している。進展の次のステップとして自己点火条件（入力対出力比が無窮大）を目標とする実験炉の建設が考えられている。このための準備研究として、ITER（国際核融合炉設計作業）やFER（核融合実験炉-日本原研）がある。これらの次期装置の工学的な特徴は放射性物質であるトリチウムを使用することである。これは初めての試みであるので、未経験の領域が多く、基礎研究も含めて多くの研究を必要としている。核融合研究は、新しいフェーズに入り、その特徴はまさしく「核燃焼指向」にあるといえる。

3.6 まとめ

本章では、人類の究極の富はエネルギーであり、人類が未だ制御出来ない核融合エネルギーが究極のものであることを述べた。

本章の最初の部分は参考文献[1]の内容を独断と偏見で纏めたものであり、核融合開発の部分は東京大学原子力研究施設宮健三研究室の資料による。

■ 参考文献

[1] 堺屋太一 著、風と炎と（上下巻）、新潮文庫、平成6年12月25日

第4章 数学のパラダイム・Wavelets

4.1 概要

工業技術はデジタル計算機の登場で極めて大きな変貌を遂げ、我々の周辺には洗濯機から自動車、果てはドーム型野球場まで多くの計算機を使った機器や設備が氾濫するようになった。

工業技術の根幹を形成する学問的基礎として応用数学がある。科学・工学の多くの問題は微積分方程式を解くことに帰する。デジタル計算機がこの微積分方程式に適用され、多くの工学的諸問題を解くことが可能となり、従来不可能であった技術が開発された。その結果、私達の周辺に多くの工業製品が氾濫するようになった。

さて、古典的な数学は不連続関数を取り扱うのが不得手であり、何らかの形で連続な関数に置き換える工夫が必要であった。例えば矩形波状の周期関数などの不連続点を有する波形を正弦波や余弦波などの連続関数の和に置き換えて解析する方法がフーリエ級数である。しかし、このような手法にも限界があり、応用数学はディラックのデルタ関数等の不連続関数を用いる超関数論などへ展開せざるを得なかった。ところが、デジタル計算機の登場によって連続関数を規則的にサンプリングした数値データの組で表現することとなった。換言すれば、連続関数を不連続な数値データで表現する数学が必要になり、離散値系数学なる用語が登場し、大部分の応用数学を使う諸問題がこの離散値系数学で取り扱われることとなった。

離散数学は、デジタル計算機の登場によって必然的に開発された新しい数学体系である。これは、本来連続関数をサンプリングして得られる離散した不連続な数値データを前提にしているため、サンプリング個数を無限大に増やした場合、本来の連続関数に収束することが大前提である。

ところが、サンプリング個数を無限大に増やすことの出来ない関数の存在が1982年にフランスの女流応用数学者イングリッド・ドビッシー(Daubechies、現在プリンストン大学応用数学科教授)によって発表された。大変なことである。数百年間連続関数を前提に研究されて来た応用数学の方法論が、デジタル計算機でしか取り扱うことの出来ない関数に遭遇したわけである。この意味で、数学のパラダイムである。

本章は、このデジタル計算機でしか取り扱えない数学のパラダイムを喚起した離散値系ウェーブレット変換を紹介し、21世紀を担う科学技術者の卵たる諸君へ古典的数学から脱皮した概念を把握して頂くことを目的としている。

4.2 離散値系ウェーブレット変換

■ 4.2.1 連続系ウェーブレット変換と離散値系ウェーブレット変換

<a>フーリエ級数 ある時間 t をパラメータとする不連続な関数 $f(t)$ を一定値 a_0 、正弦波および余弦波の和で表現できるとしよう。すなわち、 ω を角周波数として、

$$f(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \sin(i\omega t) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos(i\omega t) \quad (1)$$

と仮定する。

問題は (1) 式の係数、 a_0 、 a_i 、 b_i を決める方法である。いま、関数 $f(t)$ が時間 $t=0$ から $t=T$ の区間で (1) 式の係数を決めることを考えれば、(1) 式は $\omega=2\pi/T$ であるから、

$$f(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \sin\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (2)$$

とも書ける。

(2) 式の両辺を時間 $t=0$ から $t=T$ の区間について積分すると、

$$\int_0^T f(t) dt = \int_0^T \left[a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \sin\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) \right] dt \\ = a_0 T \quad (3)$$

が成り立つ。

従って、定数項 a_0 は

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4)$$

となる。

次に、(2) 式の両辺に正弦波 $\sin[j(2\pi/T)t]$ 、 $j=1,2,3,\dots$ 、を掛け算し、時間 $t=0$ から $t=T$ の区間について積分する。

$$\int_0^T f(t) \sin\left(j\frac{2\pi}{T}t\right) dt = \int_0^T \left[a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \sin\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) \right] \sin\left(j\frac{2\pi}{T}t\right) dt \\ = a_i \frac{T}{2}, \quad i=j \quad \text{or} \quad 0, \quad i \neq j \quad (5)$$

(5) 式から係数 a_i は

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin\left(i\frac{2\pi}{T}t\right) dt \quad (6)$$

として得られる。

同様に、(2)式の両辺に余弦波 $\cos[j(2\pi T)t]$ 、 $j=1,2,3,\dots$ 、を掛け算し、時間 $t=0$ から $t=T$ の区間について積分することで、

$$b_j = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt \quad (7)$$

として係数 b_j が得られる。

従って、関数 $f(t)$ は、区間 $t=0$ から $t=T$ で、

$$f(t) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt + \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt \right] \sin\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) + \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt \right] \cos\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) \quad (8)$$

と書ける。これがいわゆるフーリエ変換の原型となるフーリエ級数であり、左辺の関数 $f(t)$ を右辺の計算が簡単な定数項と三角関数の和に変換している。

フーリエ級数の考え方の中に重要な関数間で成り立つ性質、すなわち、関数の直交性 (orthogonality) が使われている。

まず、(4)式の係数 a_0 が計算される過程を考えよう。(3)式は(2)式の両辺に定数値 1 を掛け算し積分する演算である。このとき、

$$\int_0^T 1 \cdot \sin\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt = 0, \quad \int_0^T 1 \cdot \cos\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt = 0, \quad i=1,2,\dots \quad (9)$$

の関係が成り立つために、(4)式の係数 a_0 がうまく計算できた。この関係を、定数値 1 と正弦波 $\sin[j(2\pi T)t]$ 、および余弦波 $\cos[j(2\pi T)t]$ 間の直交性という。同様に、(6)、(7)式で計算される a_i 、 b_i は

$$\int_0^T \sin\left(j \frac{2\pi}{T} t\right) \cdot \sin\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt = 0, \quad \int_0^T \sin\left(j \frac{2\pi}{T} t\right) \cos\left(i \frac{2\pi}{T} t\right) dt = 0, \quad i \neq j \quad (10)$$

なる直交性が成り立つことに基づいている。

(9)、(10)式から、直交性とは、与えられた関数を他の関数の和で表現しようとする場合、和となる関数の大きさ(係数)を一意的に決める条件であることがわかる。言い換えれば、与えられた関数を他の関数の和で表現できる条件である。

さて、ある任意の時間 t をパラメータとする関数 $f(t)$ は、区間 $t=0$ から $t=T$ で、一定値、正弦波および余弦波の和で表現できることがわかった。この変換は、一定値、正弦波および余弦波間で直交性が成り立つことが条件であつた。この結果に至る過程を考えてみると、まず、展開される関数の和でもとの関数が表現されるとする大前提があることに気づくであろう。ある関数が他の関数の和で表現できる性質を線形性という。では、(6)式で計算される正弦波の係数 a_i が定数 c_i の n 個の和で表現されるとしよう。すなわち、

$$a_i = c_i + c_i + \dots = nc_i$$

(11)

である。(11)式から、和を前提とする系では比例関係が成り立つことを意味することがわかる。すなわち、線形系とは比例関係が成立する系である。

連続系ウェーブレット変換 フーリエ級数で、和となる正弦波や余弦波を基底関数 (base function) という。この基底関数に正弦波や余弦波のように直交性が成り立たない関数を採用することを考える。たとえば、図1に示す

$$\psi(t) = (1 - t^2) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$$

(12)

で与えられる関数である

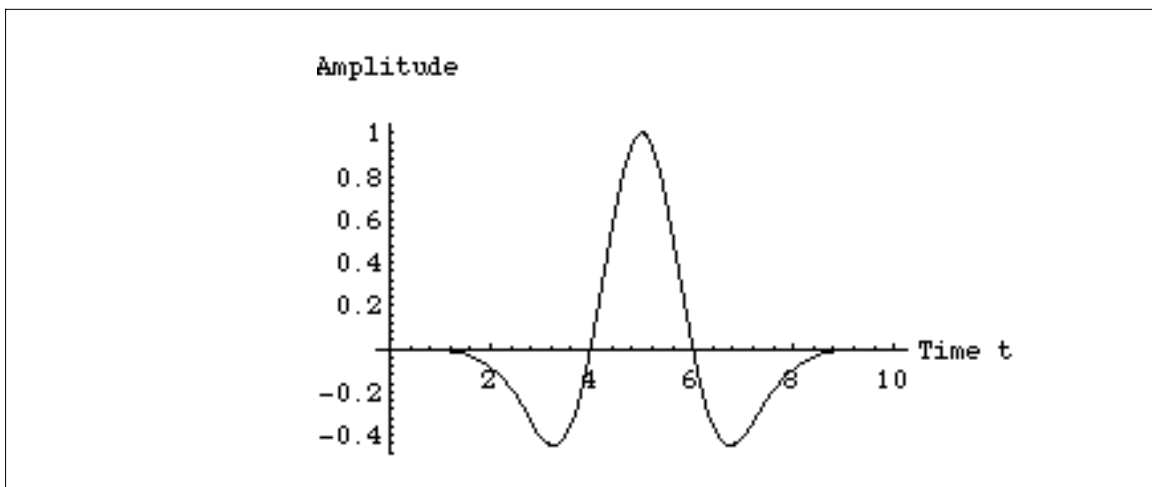


図1. 非直交基底関数の例 (メキシカンハット型)

この基底関数を用いて、

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

(13)

なる関数を考えよう。

(13)式で、パラメータ a は基底関数の広がり、すなわち、図1の時間 $t=1$ から $t=9$ までの周期 T を表し、 b は基底関数のピーク $t=5$ の時間位置を示す。フーリエ級数では、周期 T の異なる正弦波と余弦波を基底関数として考えた。(13)式では、周期 T に対応する a と時間位置 b をパラメータとする変換を行う。

(6)、(7)式と同様な形式の内積演算

$$T(a,b) = \frac{1}{\sqrt{c}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi^{(a,b)}(t) f(t) dt$$

(14)

を行い a 、 b をパラメータとする係数 $T(a,b)$ を計算する。

さて、この係数 $T(a,b)$ はどのような物理的な意味を持つであろうか。まず、パラメータ b で図1に示す波形のピーク時間位置が決まる。次に、パラメータ a で波形の周期 T が決まる。従って、係数 $T(a,b)$ は、

関数 $f(t)$ が周期 $T=a$ 、時間 $t=b$ でピーク持つ図 1 の波形と共通部分を取り出した値に相当することを意味する。言い換えれば、仮に関数 $f(t)$ が図 1 の波形と全く同じ波形であれば、係数 $T(a,b)$ は最大値をとる。これは、ある任意波形から、図 1 の波形と同じ波形成分を取り出す演算として (14) 式がきわめて有効であることを意味する。この変換を連続ウェーブレット変換 (continuous wavelet transform) という。残念ながら、(12) 式基底関数はパラメータ a 、 b が異なっても直交性を持たない。このため、線形性も成り立たない。

具体的な例として、図 2 に示す波形を図 1 に示す基底関数を用いて (14) 式を計算する。

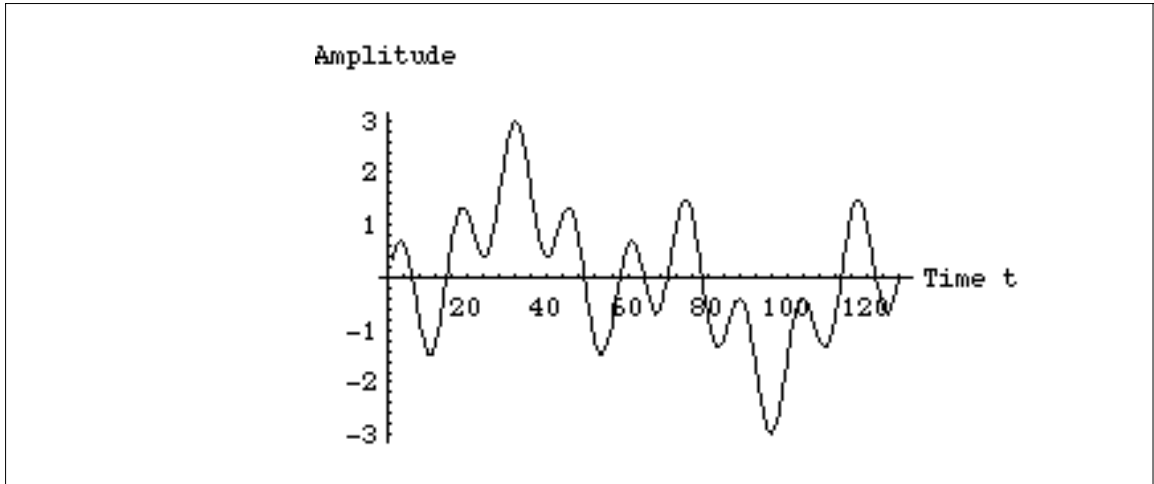


図 2. 連続ウェーブレット変換される波形 $f(t)$ の例

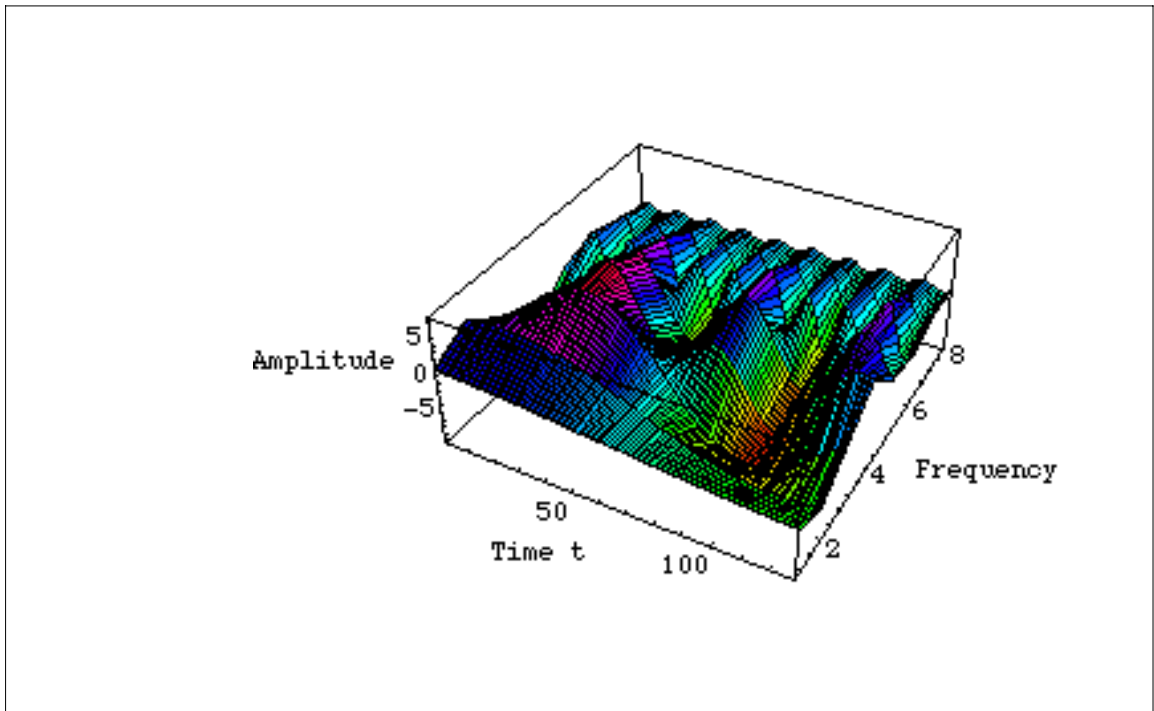


図 3. 連続ウェーブレットスペクトラム $T(a,b)$

図 3 は横軸が b 、縦軸が a の逆数、さらに高さ軸が連続ウェーブレットスペクトラム $T(a,b)$ を示す。この結果から、周波数がゼロの直流成分は存在せず、基本波、第 3、9 高調波が弁別され、波形解析には有効な変換であることが理解できるであろう。

以上のことから、連続系ウェーブレットは位置 (時間) ・ 振幅 ・ 周波数にまたがった解析を可能とする。

しかし、連続ウェーブレット変換は、変換に用いる基底関数が直交しない。これは基底関数の選択によって異なる結果を与えることを意味する。従って、連続系のウェーブレット解析は解析対象によって異なる基底関数を選び、解析対象の望ましい特徴を抽出するために用いられる。

他方、離散値系のウェーブレット解析は、基底関数の直交性がつねに成り立つ。これはフーリエ解析と同様に離散値系ウェーブレット解析のスペクトラムにパワーの概念が与えられることを意味する。離散値系とよばれる言葉は、従来多くの場合、連続関数をサンプリングして量子化されたデータを扱う系に対して用いられる。しかし、ウェーブレット解析における連続系と離散値系は本質的に異なり、連続関数をサンプリングしたデータを前提にせず、最初から離散化されたデータを前提とする線形変換である。したがって、サンプリング間隔を無限小にして連続系が得られることを前提にしていないことに留意する必要がある。また、離散化されたデータの個数は2のべき乗でなければならないことも大きな特徴である。近年の電子機器の測定器は大部分がデジタル化され、解像度とサンプリング個数はいずれも2のべき乗であり、離散値系ウェーブレット解析はこの意味でデジタル測定器と相性の良い解析法であることが興味深い。

■ 4.2.2 離散値系ウェーブレット変換の原理

<a>ウェーブレット変換行列 いま、 a と b なる数値を考えてみると、この数値の線形的な組合せは

$$\begin{aligned} s &= \alpha + b \\ d &= \alpha - b \end{aligned} \tag{15}$$

が考えられる。さて、逆に s と d が与えられ a と b を求めようとすれば、

$$\begin{aligned} \alpha &= \left(\frac{1}{2}\right)(s+d) \\ b &= \left(\frac{1}{2}\right)(s-d) \end{aligned} \tag{16}$$

となる。

(15)式の関係を行列を使って書くと、

$$\mathbf{X}' = C \mathbf{X} \tag{17}$$

と書ける。

ここで、 \mathbf{X}' 、 C 、 \mathbf{X} はそれぞれ

$$\mathbf{X}' = \begin{bmatrix} s \\ d \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \alpha \\ b \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \tag{18}$$

$$\mathbf{X} = D \mathbf{X}' \tag{19}$$

と書ける。ただし、行列 D は

$$D = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

である。行列 C と D との関係は

$$D \cdot C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

となる。すなわち D は C の逆行列になっている。しかし、(20)式の行列の係数 (1/2) を C と D に平等に分配して、

$$C = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad D = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

とすれば、行列 D は C の転置行列であり、かつ逆行列となる。すなわち

$$C^{-1} = C^T \quad (23)$$

である。次に a 、 b の 2 個の数値だけでなく、 a 、 b 、 c なる数値の組合せを考える。この場合、

$$\begin{aligned} s_1 &= a+b, & s_2 &= b+c, & s_3 &= c+a, \\ d_1 &= a-b, & d_2 &= b-c, & d_3 &= c-a \end{aligned} \quad (24)$$

等の組合せが考えられる。この関係を行列で書くと、

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (25)$$

となる。(25)式右辺の係数行列は 6 行 3 列の長方形であるため、(20)式のようにうまく逆行列を得られない。これは、組み合わせる数値の個数が奇数であると(19)-(23)式のような線形変換が適用できないことを意味する。では、 a 、 b 、 c 、 d の 4 個の数値の組みを考える。最初に考えられる組合せは、

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ d_1 \\ s_2 \\ d_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

(26)

となる。これには、当然、

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ d_1 \\ s_2 \\ d_2 \end{bmatrix}$$

(27)

が成り立つ。しかし、 a と b 、 c と d それぞれの組合せはできるが、 a と c 、 b と c 等の組合せはできない。このため、(26)式の左辺を並べ換えて、次の組合せを得る。

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ D_1 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}$$

(28)

(28)式で、 a 、 b 、 c 、 d の4個の数値の組合せがすべて揃ったこととなり、結局、もとの $\{a, b, c, d\}^T$ のベクトルは(26)と(28)式の2回の線形変換で、和 S_1 と差 D_1 、 d_1 、 d_2 を要素とするベクトル $\{S_1, D_1, d_1, d_2\}^T$ に変形された。(28)式の逆変換は

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 \\ D_1 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}$$

(29)

によって行われ、(29)式の左辺を(27)式右辺のベクトルの形に並べ換えて、(27)式に代入することで完全な逆変換ができる。(26)式から(28)式までの変換をまとめて書くと、

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ D_1 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ \sqrt{2} & -\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & -\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

(30)

または

$$\mathbf{s} = \mathbf{W} \mathbf{x}$$

(31)

となる。W はウェーブレット変換行列であり、この変換行列を構成する基底関数をハール(Haar)基底とよぶ。

(31)式の逆変換は W の転置行列 W^T が W の逆行列になるから、

$$\mathbf{X} = W^T \cdot \mathbf{S}$$

(32)

で与えられる。

次に、6 個の数値の組合せを考えると、(26)式と同じ形で第 1 回の変換は、和が 3 組と差が 3 組となり、(28)式と同様に第 2 回の変換はできない。したがって、数値の組を和と差に分解する線形変換は、組を構成する数値の個数が、偶数でかつ、2、4、8、16、32 等、2 のべき乗でなければならない。

ウェーブレット変換行列の物理的意味 さて、2 のべき乗個のデータはすべて和と差の形に表現できることがわかった。実はこれが離散値系ウェーブレット変換の骨子であり、和と差はそれぞれ積分と微分に対応する概念であるから、ウェーブレット変換は積分と微分を行うデジタルフィルタリングを行う演算と考えられる。和をとる演算、すなわち積分演算は数値を平均化する平滑フィルターであり、差をとる演算、すなわち微分演算は数値の変化率の大きい部分を捕えるフィルターとなる。このため、和の部分は全体の平均的情報を抽出し、差の部分は変化率の大きい情報を抽出する。したがって、フーリエ変換のスペクトラムが変化率の大きいパルス状のデータに対して拡散するのに対し、ウェーブレット変換のスペクトラムは変化率の大きなパルスを含むデータに対して収束する相補的性質をもつ。

また、ウェーブレット変換は画像データ等に対して、画像の輪郭やコントラストの高い部分がゼロでないウェーブレットスペクトラムを与えることとなる。このため、画像データのすべてを記憶しなくても、画像の輪郭やコントラストの高い部分のみを記憶することが可能となり、結果として画像圧縮がなされる。画像データでなく、より一般的な波形データで考えれば、波形データの変化率が急峻な部分を特徴として抽出するため、きわめて有効なデジタルフィルター演算とも解釈できる。これがウェーブレット変換のデータ圧縮原理である。

具体的な例として、データの個数が 4 個の場合について考える。(31)式の変換行列 W の第 1 行は、(30)式から、すべてのデータの和をとることを意味する。したがって、(30)式の S_1 はデータの平均的情報を表し、 S_1 だけを逆変換した結果を第 0 次解像度解析結果とよび、全データの平均値を表す。特に、データの平均的情報を表すウェーブレットスペクトラムをマザーウェーブレット(mother wavelet)係数とよぶ。(31)式の変換行列 W の第 2 行は、全体のデータを前半と後半に分けて、前半と後半データ間の変化率を求める差分演算になっている。したがって、(30)式の D_1 だけを逆変換すると、全体を 2 分割した場合の変化率を表すこととなり、第 1 次解像度解析結果とよぶ。(31)式の変換行列 W の第 3、4 行は、隣接するデータ間の変化率を求める差分演算となっている。このため、(30)式の d_1 、 d_2 だけを逆変換した結果は最も高周波の変化率を表すこととなり、第 2 次解像度解析結果とよぶ。

以上のことから、離散値系ウェーブレット変換は、与えられたデータによって、全データの平均値と大きなグループから隣接するデータまでの変化率を抽出する変換であることが明らかであろう。また、2 のべき乗である n 個のデータは $\log n / \log 2$ 次までの解像度で解析ができる。したがって、ウェーブレットスペクトラムを各次数(周波数)別に分類し、各スペクトラムの表す原波形の成分を与える解析を多重解像度解析という。

4.3 離散値系ウェーブレット変換の応用

■ 4.3.1 多重解像度解析

テストデータとしてノイズを含んだ DC/DC コンバータの出力電圧波形を取り上げる。直流電圧は 1 V で、ノイズは乱数で発生する。図 4a に解析対象波形を示す。

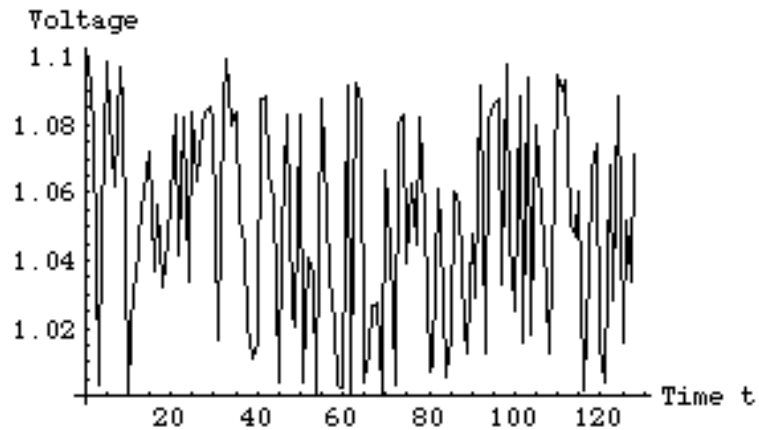


図 4. サンプル波形

図 4 テストデータをウェーブレット変換し、各次数のスペクトラムに分類した後、各次数毎に逆変換して得られる多重解像度解析結果を図 5 に示す。図 5 で、横軸が時間、縦軸が周波数、高さが各周波数成分の電圧である。

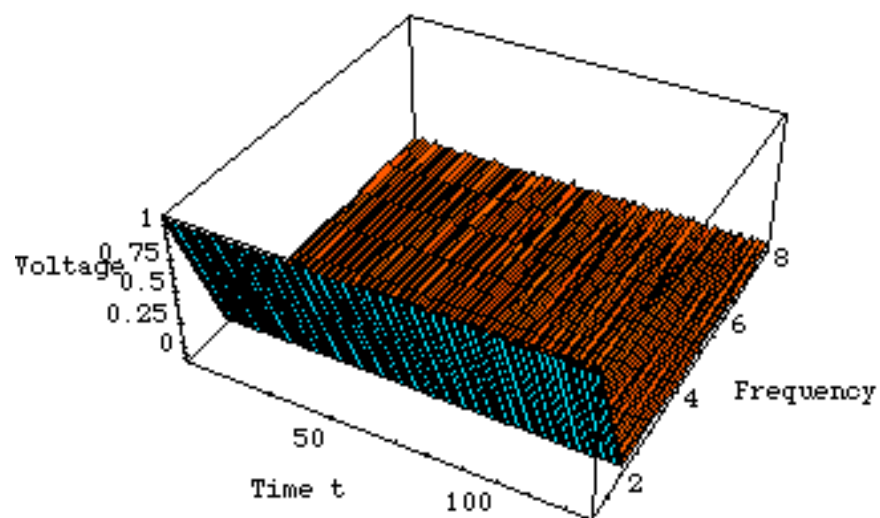


図 5. 離散値系ウェーブレット変換による多重解像度解析

各高調波の同一時間における和を計算し、原波形を再現する。図6が再現された波形である。

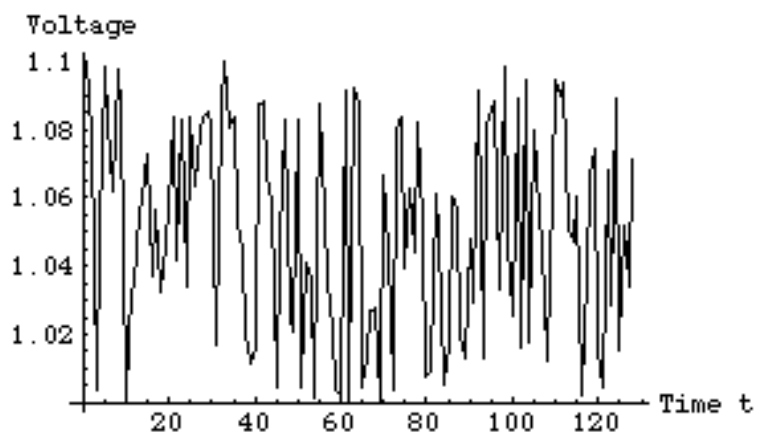


図6. 逆変換によって再現された波形

図4と図6を比較すると、サンプル波形が完全に再現されていることがわかる。したがって、離散値系直交ウェーブレット変換で（フーリエ級数的意味と異なる）高調波解析が可能であり、連続ウェーブレット変換に比較して高速に波形の特徴が把握できる。

ノイズ成分だけを抽出すると図7となる。これが乱数でつくられたノイズ成分である。

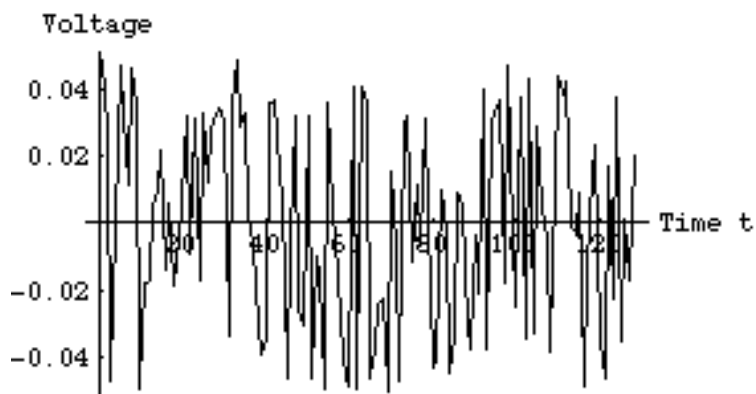


図7. 抽出されたノイズ波形

■ 4.3.2 データ圧縮

<a>考え方 我々が波形や画像を見て認識することは、どの辺にピークがあったとか、どの部分の形が印象的であったかなど、多くの場合、波形や画像の特徴を把握することである。何とかして、頭の中に残るイメージを計算機の中でつくり、記憶しておくことができないだろうか？

我々の頭の中に残るイメージの多くは断片的なもので、波形や画像の詳細をすべて記憶していないことは誰しも感ずるところであろう。実は我々の頭の中に残るイメージは圧縮された形式で記憶されているのである。そうしなければ、数十年以上も使う記憶部分がパンクするであろう。頭に残るイメージが断片的なものであれ、面白いことに、もう一度同じ波形や画像を見ると、それらが以前見たものと同じであることにすぐ気づくであろう。

このようにデータの圧縮は記憶や認識にきわめて重要な役割を担う。日本の偏差値指向型教育制度は人間のもつデータ圧縮機能の評価を与える指標と考えられる。なぜなら、理科系の思考や推論を必要とする学問も、この種の問題の解法はこういう手順で行う等、問題解法を記憶する学問に化しているからである。

いずれにしろ、いかに与えられた情報を効率良く圧縮して記憶するかは人間にとってきわめて重要な機能で、いわゆる知能テストとして、人間の能力評価にも使われる。

データを圧縮して記憶・認識することは、人間だけでなく、機械にとってもきわめて重要である。例えば、光通信によるデータ通信量は通常のケーブルに比較して巨大なものである。しかし、有限である。この有限なハードウェアをより効率良く使うには、データを圧縮して伝送することである。要するに、限られたハードウェアを最大限に生かすのはソフトウェアである。

人間の判断能力を機械にもたせようとするソフトウェアがある。いわゆるエキスパートシステム(expert system)である。最近では病院で心電図をとっても、一応ハードコピーを出力するが、そのハードコピーの中に機械が正常か異常かを判断した結果が記されている。スケールの違いはあれ、すでに我々の周りにはエキスパートシステムが使われている。このエキスパートシステムで、最も重要な要素は、人間の経験量に対応するデータベース量である。人間はきわめて効率良く圧縮したデータベースを構築しているが、機械はどうであろうか？ やはり機械にも効率良く圧縮したデータベースを構築するべきであろう。なにしろ、記憶するハードウェアは有限であるから。エキスパートシステムの能力はデータベース量にほぼ比例すると考えられる。このようにデータの圧縮は限られたハードウェアを最大限に生かす重要な技術である。いま、本書の原稿も計算機で書いている。計算機のバスを圧縮データで使えば、より強力な計算機になるような気がするが、いかがであろうか。すでにパルスの組合せであるから、圧縮されているのであろうか？ 答えは違う。このパルスの組合せは正確に情報を置き換えたものであり、特徴を抽出した圧縮データではないからである。いずれ、このような特徴的情報だけを使った信号を用いる計算機が出現するかもしれない。こうなるとかなり人間に近い計算機となるであろう。

さて、計算機、特にマイクロコンピュータの普及は、計算機そのもの以外にも多くの電子機器へ計算機が搭載され、いわゆる高性能なデジタル機器の開発を促した。このため、電子計測器の取り扱うデータもアナログデータでなく離散値データとなり、例えばデジタルオシロスコープの波形等は計算機の画像データそのものである。画像データを大量に必要とする機器、例えばデータベースを前提とするエキスパートシステム等ではいかに大量の画像データを高速に取り扱うかが重要なキーポイントとなることはすでに述べた。特に画像データの特徴を利用するパターン判別等は、厳密な画像データをデータベースとして貯えるよりも、画像の特徴を抽出して貯える方が記憶容量と速度の観点から有利である。画像を正確に再現するよりも画像のもつ特徴を再現する方法としてウェーブレット変換はきわめて有効であろう。また、直交アナライジングウェーブレットを採用することで高速化が可能である。換言すれば、ウェーブレット変換で画像を圧縮し、取り扱うデータ量を減らすことと、直交アナライジングウェーブレットを採用することで2段階の高速化が可能となる。

データ圧縮の原理 ウェーブレット変換は与えられたデータの特徴を局所的に集める性質をもつ、これは具体的にウェーブレット変換されて得られたウェーブレットスペクトラムを観察することから容易に理解される。ウェーブレット変換によるデータ圧縮の原理は、原データの特徴を表す絶対値の大きなスペクトラムのみを残し、他をゼロとすることにある。

ここでは、離散値系ウェーブレット変換を用いることで原データの特徴がどのようにウェーブレットスペクトラムの形で圧縮され、圧縮されたデータからどの程度原データが再現できるかを吟味する。

絶対値の大きいスペクトラムを残す場合、絶対値の大きい順にある個数を残す方法とスペクトラムの特定部分（ふつう、1行1列の要素から順番に）を残す方法が考えられる。前者はスペクトラムが拡散しても良好な再現性が期待できる。しかし、順番がランダムになるため要素位置を記憶しなければならないために圧縮効果が低いのが欠点である。後者は、必ずしも絶対値の大きなスペクトラムが特定部分に集中するとは限らないため、すべてのデータには適用できないが、圧縮効果はきわめて大きくなる。

データのサンプルを図8に示す減衰振動波形とする。

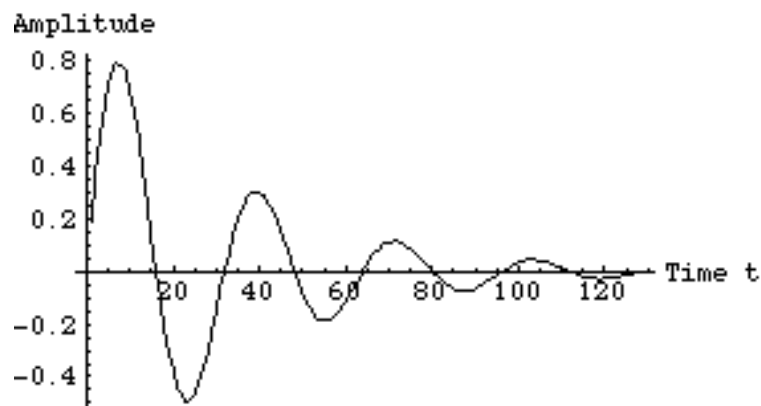


図8. サンプル波形

サンプル波形のウェーブレットスペクトラムを図9に示す。

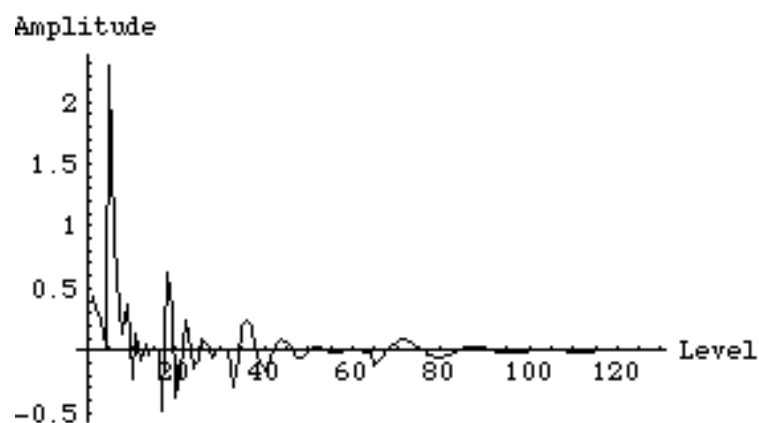


図9. サンプル波形のウェーブレットスペクトラム

図9から、最初の部分スペクトラムだけが大きな値をもつことがわかる。最初から40個以外をゼロにしてデータを約1/3に圧縮する。圧縮されたスペクトラムを逆変換し、データを再現する。図10が圧縮データから再現された波形ともとのサンプル波形の比較である。

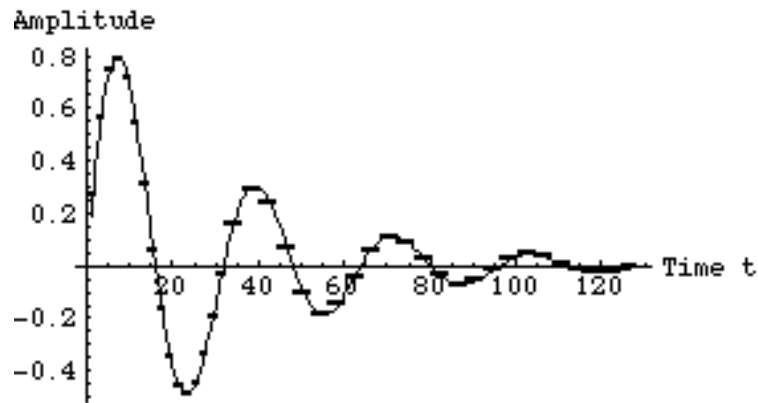


図10. サンプルデータと1/3に圧縮されたデータから再現された波形の比較

もとのサンプルデータ図と1/3に圧縮されたデータから再現された点線部の波形を比較すると、非常に良く再現されていることがわかる。

4.4 離散値系ウェーブレット変換の一般化

■ 4.4.1 高次ウェーブレット係数

いままでは2のべき乗からなるデータベクトルを和と差に分ける最も単純なハール基底によるウェーブレット変換について述べた。和と差の概念はそれぞれ積分と微分に対応するが、積分や微分には重み付きで行う場合がある。例えばガウス(Gauss)型の数値積分公式等がその典型的な例である。ここでは、ウェーブレット変換の和や差をとる場合、重み付きで行うことを考えよう。換言すれば、重み付き積分・微分演算の概念をウェーブレット変換に導入し、高次の係数を使ったウェーブレット変換へ一般化する。

さて、2のべき乗の要素からなるデータベクトル X を線形変換する演算(3)式では、行列 C が隣接する要素間の和と差をとる演算子であった。ここでは次のような4個の係数 c_0, c_1, c_2, c_3 をもつ変換行列 C を考える。

$$C = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 \\ c_2 & c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & c_0 & c_1 \\ c_1 & -c_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & c_3 & -c_2 \end{bmatrix}$$

(33)式で、第1行はベクトル X の要素1から4までにそれぞれ係数 c_0, c_1, c_2, c_3 を重みとする平均値をとることを意味する。第2行はベクトル X の要素1から4までにそれぞれ係数 c_0, c_1, c_2, c_3 を重みとする差分をとることを意味する。換言すれば、(33)式の第1行は重みをつけた積分演算に対応するデジタルフィルターであり、第2行は重みをつけた微分演算に対応するデジタルフィルターである。第3、4行はそれぞれベクトルの要素3から6までに対する積分と微分演算を行うことを意味する。したがって、積分と微分演算はハール基底の場合と同様にベクトルの2要素ずつシフトして循環する形で行われる。

次に、逆変換を可能とするために

$$C^T \cdot C = I$$

(34)

の条件が成り立つことが必要である。 I は C と同じ次数をもつ単位正方行列を示す。(34)式の条件より

$$\begin{aligned} c_0^2 + c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 &= 0 \\ c_2 c_0 + c_3 c_1 &= 0 \end{aligned}$$

(35)

が成り立つ。しかし、式の数未知数の数より少なく、(35)式から係数 c_0, c_1, c_2, c_3 を決めることはできない。このため、次の条件を追加する。

$$\begin{aligned} c_3 - c_2 + c_1 - c_0 &= 0 \\ 0c_3 - 1c_2 + 2c_1 - 3c_0 &= 0 \end{aligned}$$

(36)

(36)式で、最初の条件は入力データが一定値であればつねにゼロとなることを意味する。第2の条件は入力データが単調増加であってもつねにゼロであることを意味する。したがって、入力データが2次関数以上の変化率をもつとき、第1段階の差分演算を受けた項はゼロでない値をもつ。第2段階は重み付き積分もしくは平均値の項から2次関数以上の変化率を抽出する演算となる。このことから、この場合のウェーブレット演算はハール基底を用いたウェーブレット演算よりも大きな変化率の部分のみを抽出する変換となる。

(35)式に(36)式の条件を追加することで

$$c_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$$

(37)

として(33)式の要素が求められる。このようにして高次の係数を決めた基底関数をドビッシー(Daubechies)基底とよぶ。

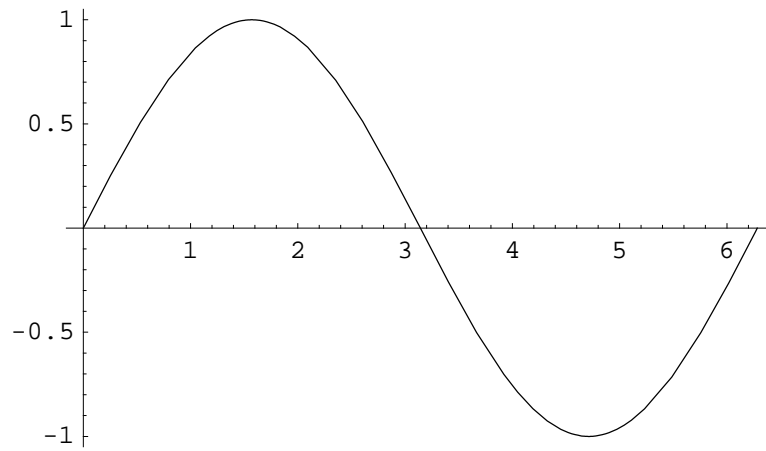
4.5 まとめ

本章では応用数学ののパラダイムとなった離散値系ウェーブレット変換の考え方と幾つかの応用を取り上げた。具体的内容は、ハール基底によるウェーブレット変換を使ったデータの多重解像解析やデータ圧縮についてである。より一般的なドビッシー基底についてはその導き方を述べた。

■ 参考文献

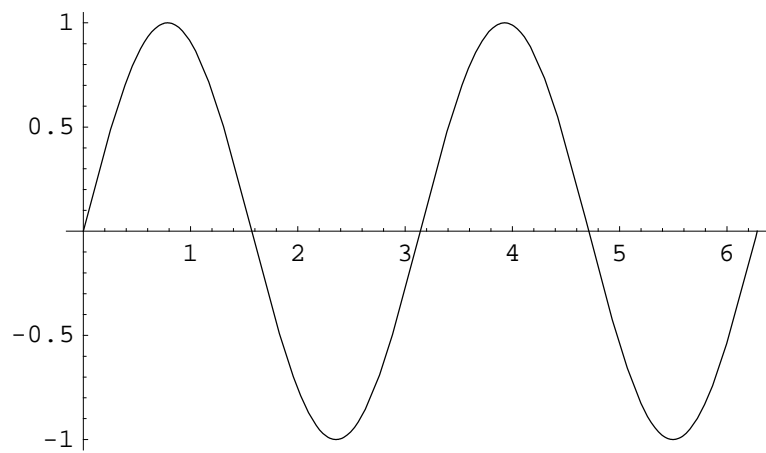
- [1] 斎藤兆古、"Mathematicaによるウェーブレット変換、"1996年9月5日、朝倉書店
- [2] I.Daubechies," Orthnormal Basis of Compactly Supported Wavelets," Communications on Pure and Applied Mathematics, Vol.41, pp.909-996,1988
- [3] G.Beylkin, R.Coifman and V.Rokhlin, "Fast Wavelet Transform and Numerical Algorithms 1," Communications on Pure and Applied Mathematics, Vol.XLIV,141-183 (1991) (John Wiley and Sons, Inc.)

```
Plot[Sin[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



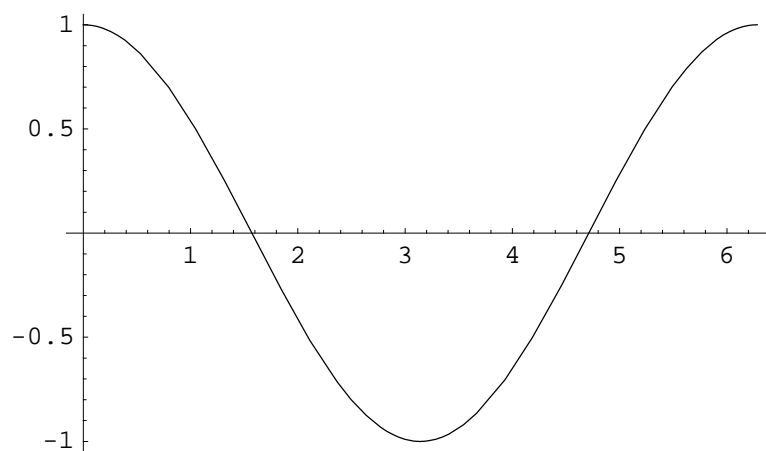
- Graphics -

```
Plot[Sin[2 x], {x, 0, 2 Pi}]
```



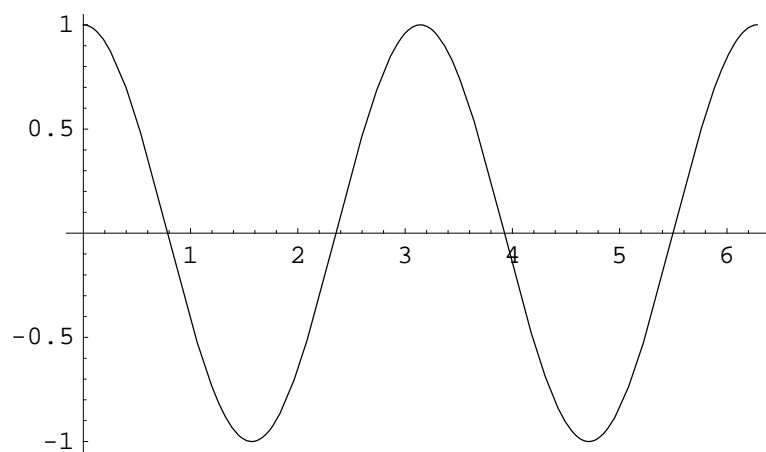
- Graphics -

```
Plot[Cos[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



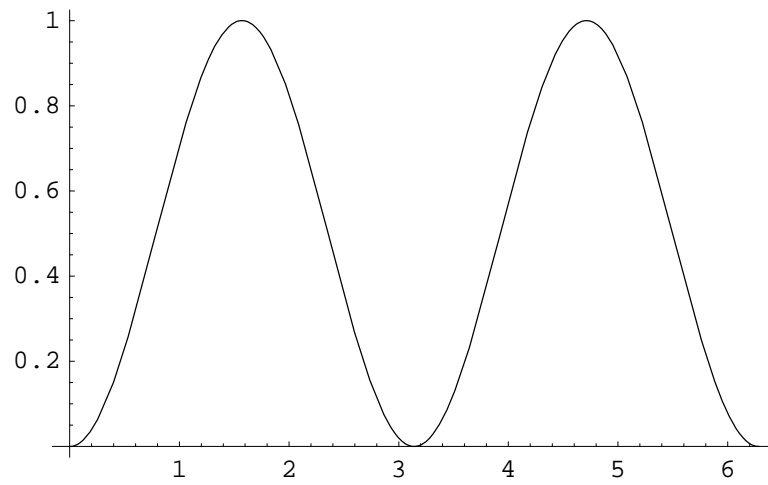
- Graphics -

```
Plot[Cos[2 x], {x, 0, 2 Pi}]
```



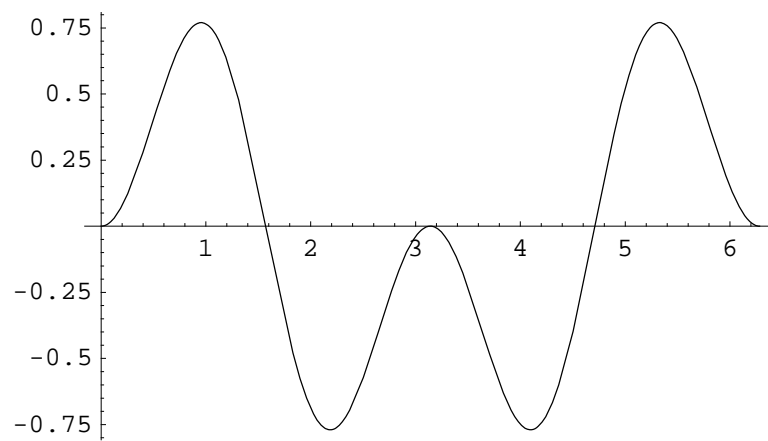
- Graphics -

```
Plot[Sin[x] Sin[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



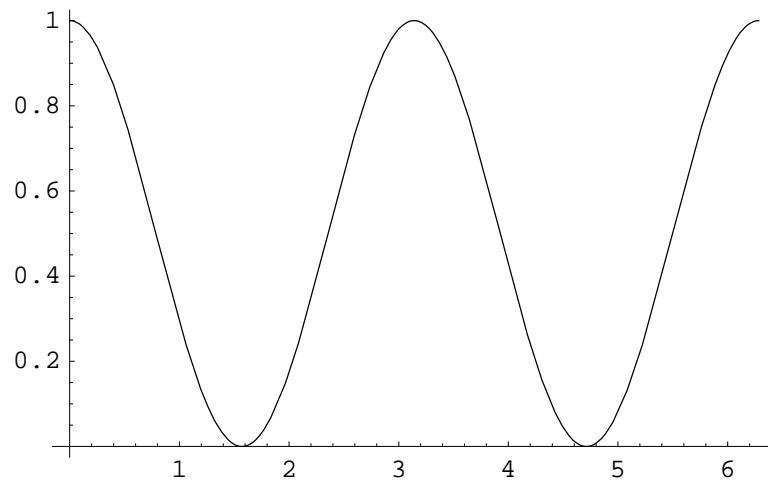
- Graphics -

```
Plot[Sin[x] Sin[2 x], {x, 0, 2 Pi}]
```



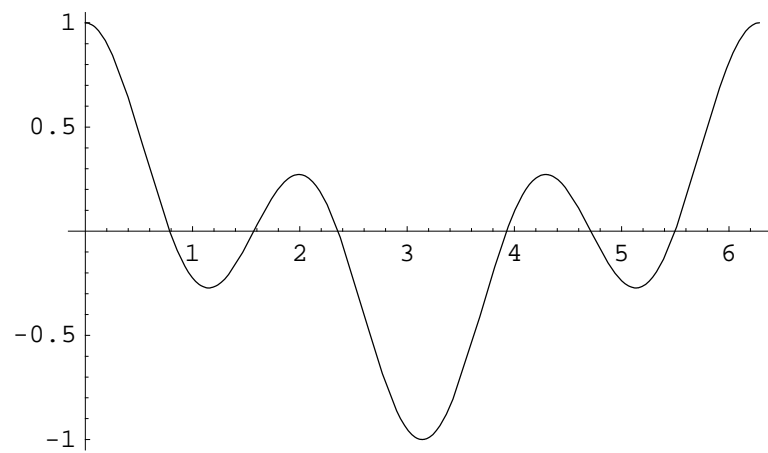
- Graphics -

```
Plot[Cos[x] Cos[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



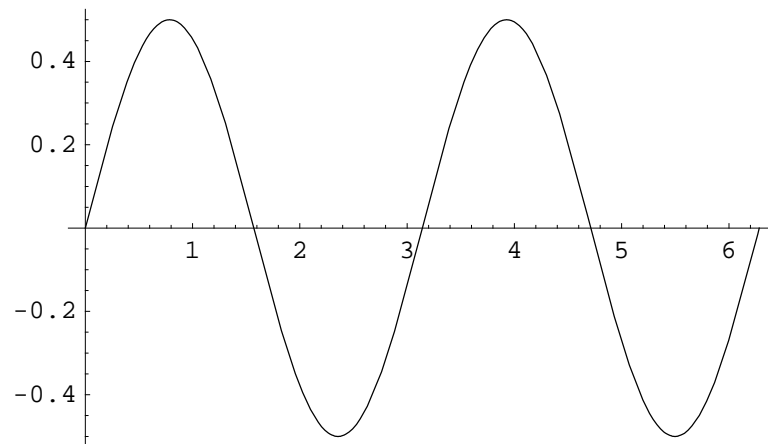
- Graphics -

```
Plot[Cos[x] Cos[2 x], {x, 0, 2 Pi}]
```



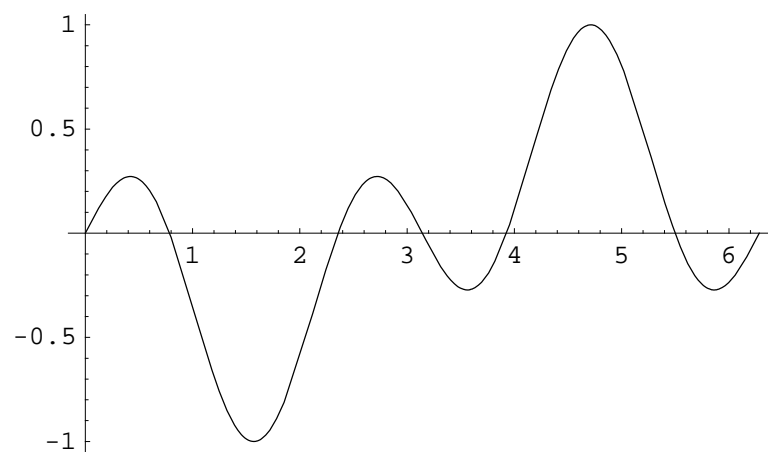
- Graphics -

```
Plot[Sin[x] Cos[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



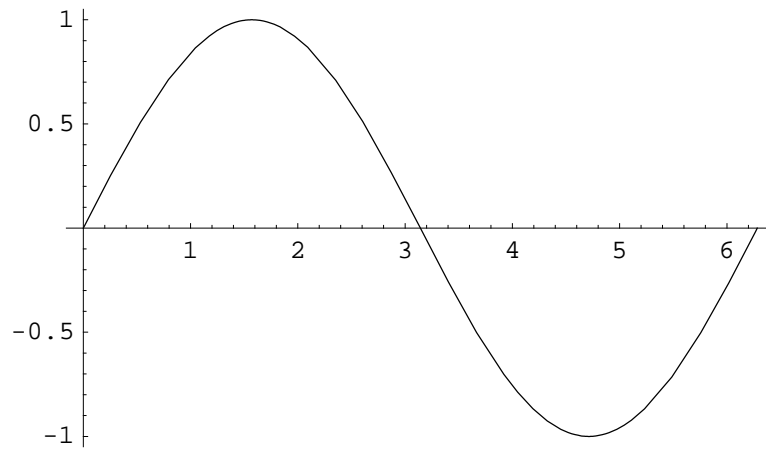
- Graphics -

```
Plot[Sin[x] Cos[2 x], {x, 0, 2 Pi}]
```



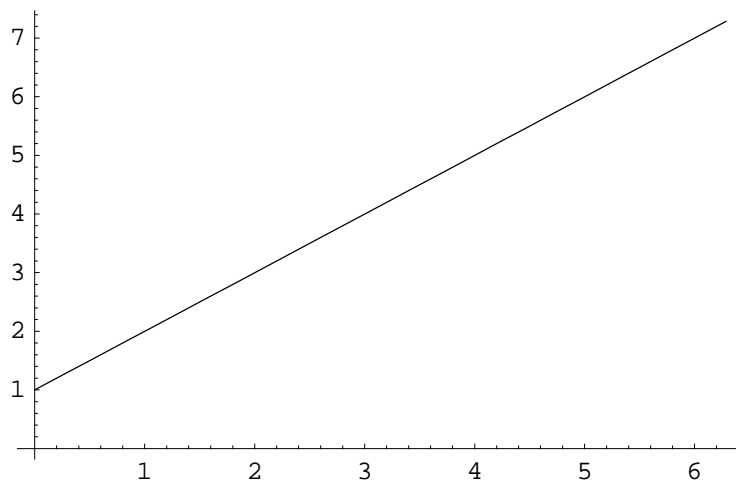
- Graphics -

```
Plot[Sin[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



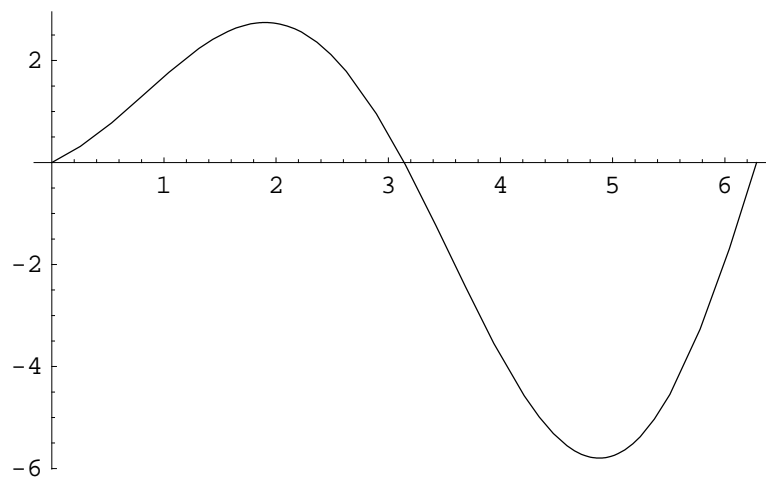
- Graphics -

```
Plot[1 + x, {x, 0, 2 Pi}]
```



- Graphics -


```
Plot[(1 + x) Sin[x], {x, 0, 2 Pi}]
```



- Graphics -

$$\int_0^{2\text{Pi}} (1 + x) \text{Sin}[x] \, dx$$

- 2 π

$$\int_0^{2\pi} x \sin[x] dx$$

$$-2\pi$$

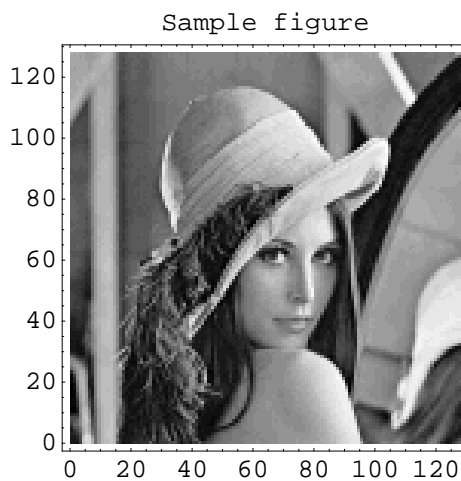


図1. サンプルデータ

ここでは2次の基底関数を用いた例を示す。テストデータは図1のイメージである。

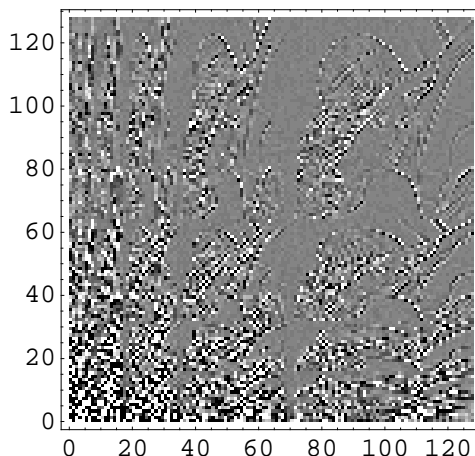
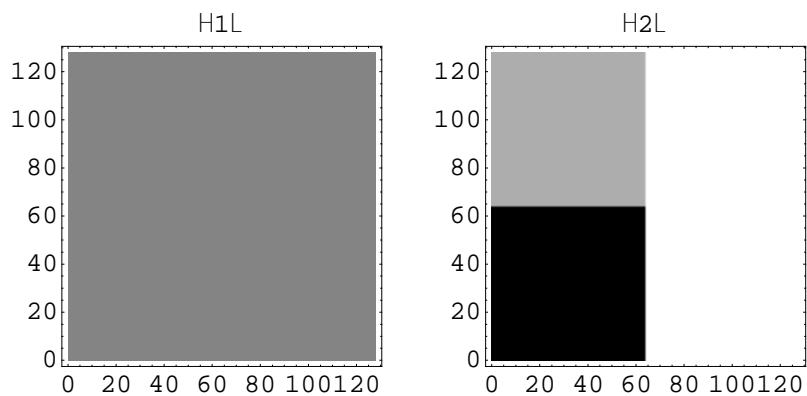


図2. daub2によるウェーブレットスペクトラム

各解像度のイメージを図2に示す。



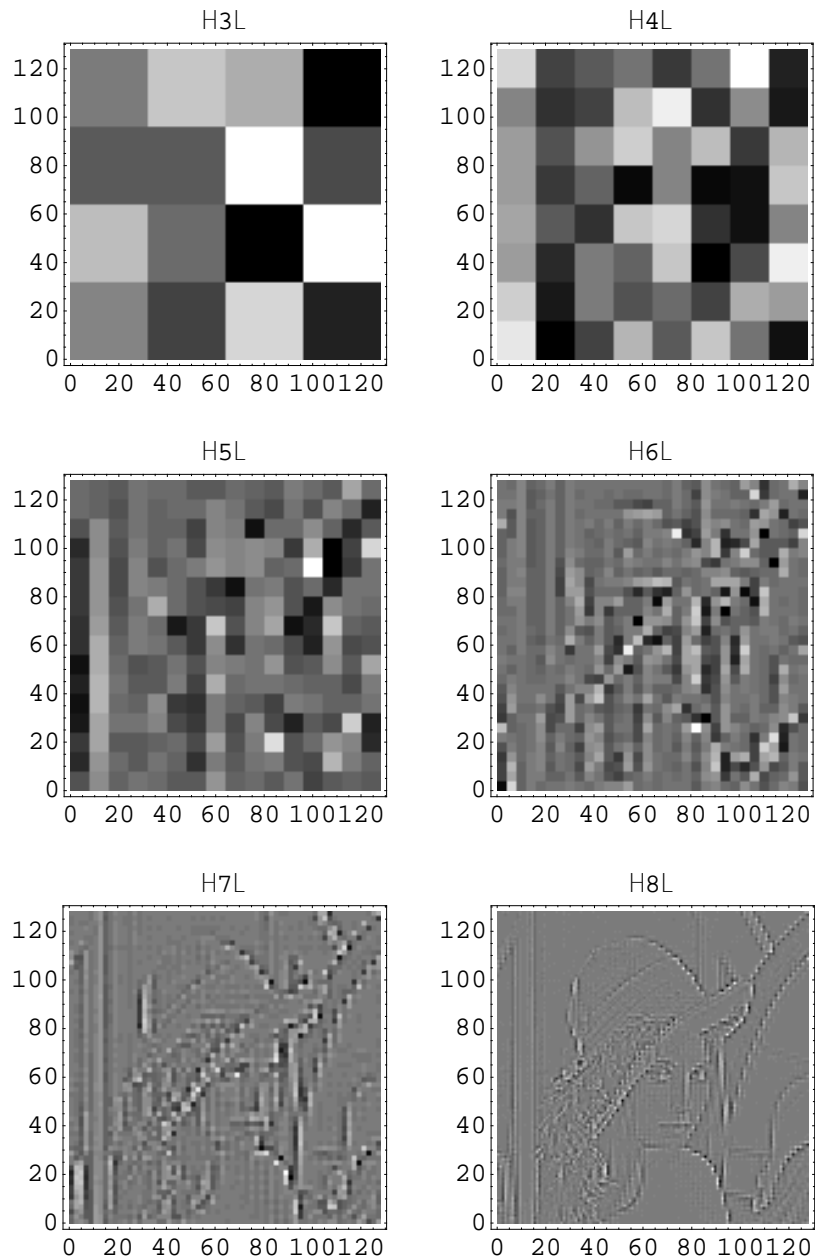


図2.多重解像度解析の結果

個々のスペクトラムによるイメージ成分がよくわかる。個々の和によるイメージが原イメージになるかどうか調べる。図3が個々の和による再現イメージである。図1と比較すると完全に再現されていることがわかる。

Recovered by entire spectrum.

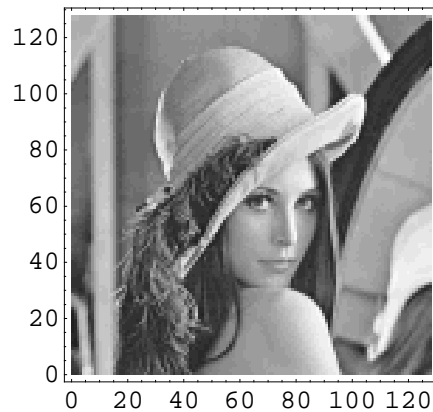


図3.全体の和によるイメージ

■ 5.4.2 コフマンの基底

ここでは閾値法によるイメージデータの圧縮を行う。まず最初にメモリー節約のため変数を除く。つづいてウェーブレット変換の結果を一括して表示するため基底関数名を配列に入れておく。

```
Remove["base","transformMatrix","spectrumMatrix","effData",
      "compressedSpectra","recoveredImage","recoveredGraph"];
Unprotect[In,Out];Clear[In,Out];Protect[In,Out];
```

```
base={coif6,coif12,coif18,coif24};
```

次に各基底関数を使った変換行列の配列を作る。

```
transformMatrix=Table[waveletMatrix[n,base[[i]]],{i,4}];
```

各変換行列によるウェーブレットスペクトラムを計算する。

```
spectrumMatrix=Table[transformMatrix[[i]].lena128.
      Transpose[transformMatrix[[i]],{i,4}];
```

ウェーブレットスペクトラムで値が1000以上の個数を計算する。

```
numberOfBigSpectrum=Table[Count[Positive[Flatten[Abs[spectrumMatrix[[
      i]]]]-1000],True],{i,4}]
```

```
{665, 615, 683, 689}
```

データの圧縮率は、

```
100. 3 numberOfBigSpectrum/(n n)
```

```
{12.1765, 11.261, 12.5061, 12.616}
```

であるから約12%程度のデータ量となる。

つぎに閾値以下の成分をゼロにするために窓行列をつくる。

```
windowFunction=Table[Sign[1+Sign[Abs[spectrumMatrix[[i]]]-1000]],{i,4}];
```

窓関数演算によってデータを圧縮する。

```
compressedSpectra=Table>windowFunction[[i]]
spectrumMatrix[[i]],{i,4}];
```

ウェーブレット逆変換は、

```
recoveredImage=Table[
  Transpose[transformMatrix[[i]].compressedSpectra[[i]].
    transformMatrix[[i]],{i,4}];
```

で行われる。

再現性を相関係数で評価しておこう。

```
Do[ Print["Order=",6 i," Cor.Coe.=",
  corRelation[Flatten[lena128],
    Flatten[recoveredImage[[i]]]],{i,4}];
```

```
Order=6 Cor.Coe.=0.959295
```

```
Order=12 Cor.Coe.=0.961707
```

```
Order=18 Cor.Coe.=0.963836
```

```
Order=24 Cor.Coe.=0.964499
```

高次の基底関数ほど再現性が高くなっている。再現された結果の図を配列へ入れておく。

```
recoveredGraph=
  Table[ListDensityPlot[recoveredImage[[i]],Mesh->False,
    PlotLabel->StringForm["`1`",i],
    DisplayFunction->Identity],{i,4}];
```

再現されたイメージを図6に示す。同図中の番号(1)-(4)はそれぞれ、coif6からcoif24の基底関数による結果である。

```
Do[ Show[GraphicsArray[{
  {recoveredGraph[[i]],recoveredGraph[[i+1]]}],{i,1,4,2}];
```



図6. 約13%に閾値法で圧縮されたデータから再現されたイメージ、図中の番号(1)-(4)はそれぞれ、coif6からcoif24の基底関数による結果を示す

第5章 Image・アナログからデジタルへ

5.1 概要

イメージデータ、要するに画像データである。従来、画像データは化学変化を利用した写真技術であったが、近年のデジタル計算機の普及で画像が計算機に取り込まれ、結果としてデジタル処理がなされるようになった。この意味でイメージデータ処理は、化学変化を利用したアナログデータ処理から計算機によるデジタルデータ処理に変わりつつある世界である。

本章では、イメージデータ処理を行う手段として離散値系ウェーブレット変換を用いた一方法を紹介する。

具体的内容は、イメージデータをウェーブレット変換して得られるスペクトラムに含まれる情報について検討する。まず、従来型である領域法や閾値法による圧縮データの再現性を調べる。次に、多重解像度解析によって得られる部分スペクトラムによるイメージの再現性について検討する。この結果得られた知見を基にして、イメージデータに含まれるノイズ処理方法について吟味する。

5.2 二次元ウェーブレット変換

■ 5.2.1 原理

いま、縦軸方向に n 個、横軸方向に m 個サンプリングされた 2 次元データが n 行 m 列の長方形行列 H に与えられている。ただし、 n 、 m は両方とも 2 のべき乗個とする。このデータは 2 次元であるから、縦方向と横方向についてウェーブレット変換することで 2 次元ウェーブレット変換が可能である。

すなわち、2 次元のウェーブレットスペクトラム S_2 は縦方向のウェーブレット変換が H の左から W_n を掛け算し、横方向が H の右から W_m^T を掛け算することで行われるから、次式で与えられる。

$$S_2 = W_n \cdot H \cdot W_m^T \quad (1)$$

逆変換は、(1)式の左右から掛け算したウェーブレット変換行列を単位正方行列とすればよいから、次式で行われる。

$$H = W_n^T \cdot S_2 \cdot W_m \quad (2)$$

■ 5.2.2 二次元データの圧縮

オリジナルのイメージとコフマン(Coifmann)の30次基底による二次元ウェーブレットスペクトラムを図1に示す。

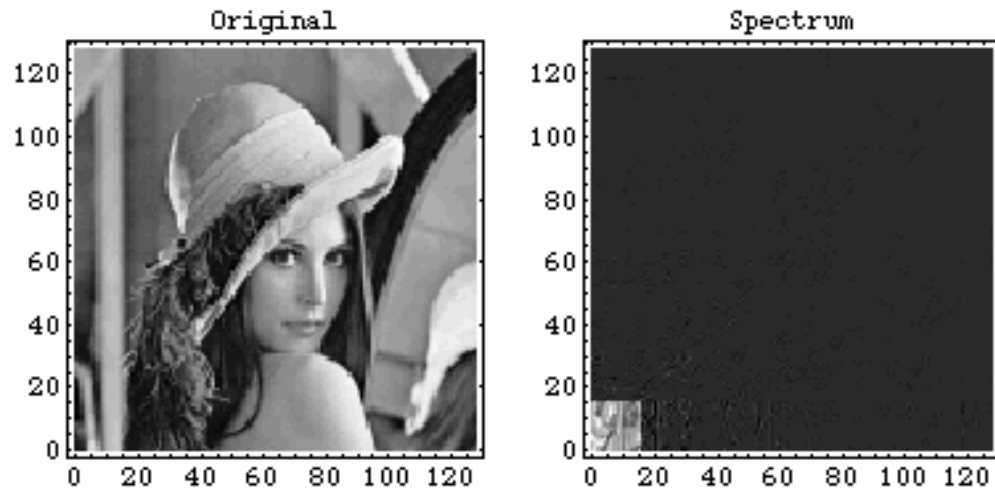


図1.オリジナルイメージとそのウェーブレットスペクトラム

図1のウェーブレットスペクトラムから、マザーウェーブレット近傍に絶対値の大きなスペクトラムが集まっていることが判る。従って、原点から16x16の正方行列要素部分のみを残し他をゼロとする領域法で約7%のデータに圧縮する。約7%のスペクトラムを逆変換して得られるイメージの再現性を相関係数で評価と約93%以上の再現性がある。

つづいて、ある特定の大きさ以上のスペクトラムを残し他をゼロとする閾値法でデータを圧縮行う。図1のウェーブレットスペクトラムで、値が2000以上の個数を計算すると385個あるので、各スペクトラムの座標データを勘案すると約7%のデータ量になる。これはほぼ領域法と同等の圧縮率である。閾値以下の成分をゼロにしてデータを圧縮する。この圧縮されたデータをウェーブレット逆変換してイメージを再現する。再現性を相関係数で評価すると約93%程度の再現性があり、領域法と同等である。領域法と閾値法、それぞれによって再現されたイメージを図2に示す。

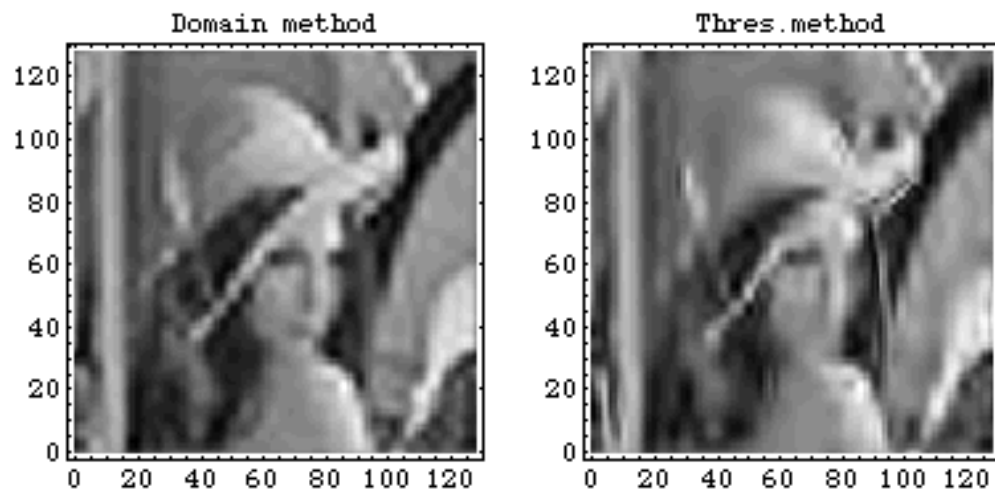


図2.領域法と閾値法によるイメージ再現性

図2の結果は、いずれの圧縮法を用いても圧縮率が同等であれば似たような再現性であることを示している。

■ 5.2.3 多重解像度解析

多重解像度解析を用いて部分ウェーブレットスペクトラムのイメージ再現性を調べた結果を図3に示す。

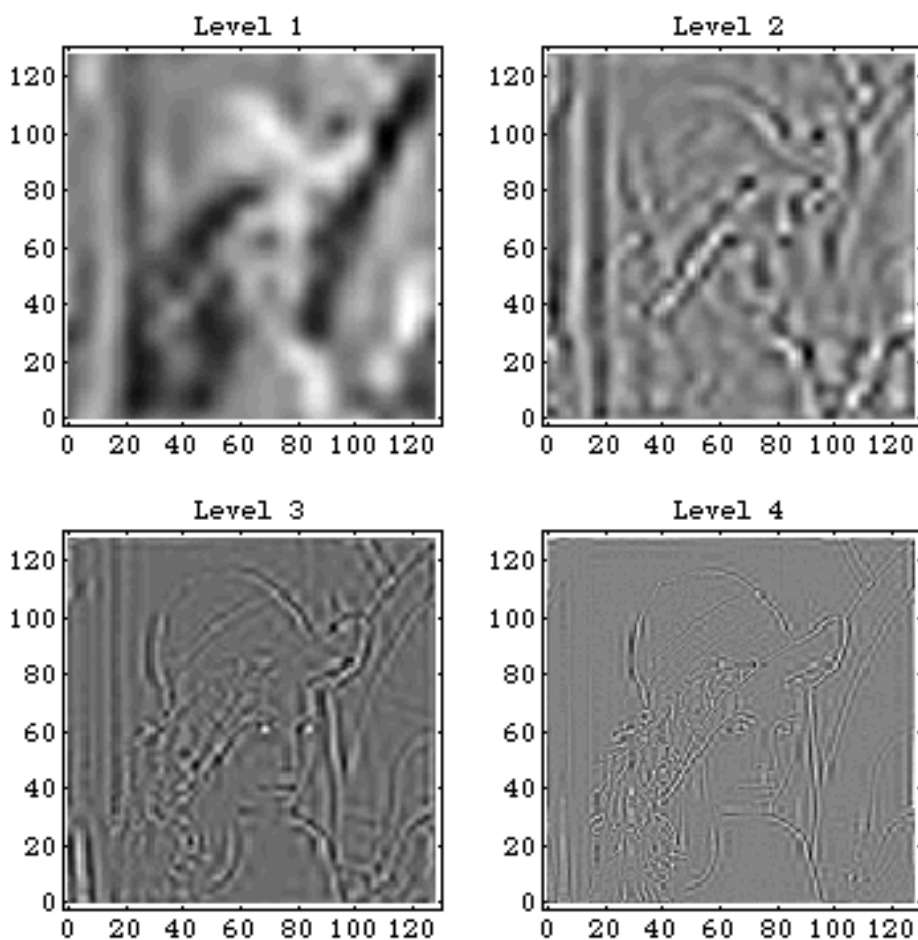


図 3. 多重解像度解析の結果

個々のスペクトラムによるイメージ成分がよくわかる。レベルの低いスペクトラムと高いスペクトラム、それぞれによるイメージの再現性を調べるため、レベル1と2、3と4、それぞれの和から再現されるイメージを比較しよう。図4に結果を示す。

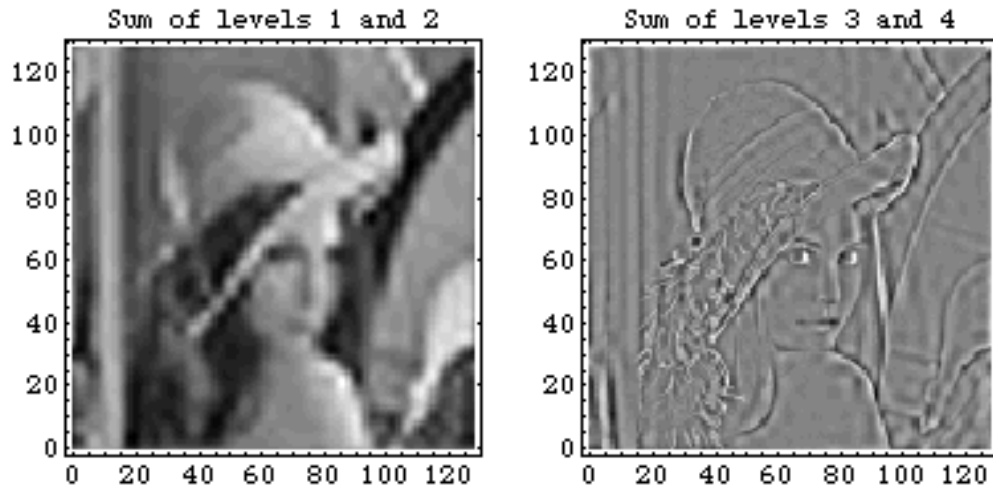


図4. 低次と高次スペクトラムのイメージ再現性

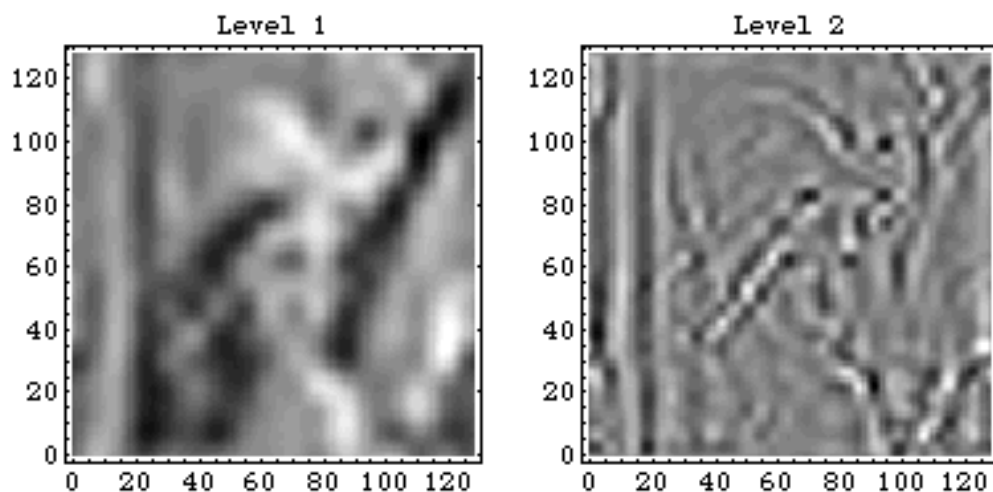
図4から以下のことが判る。低次（低周波）レベルのスペクトラムは明確なイメージの輪郭を与えないが全体的な濃淡イメージを与える。他方、高次（高周波）レベルのスペクトラムは明確なイメージの輪郭を与えるが全体的な濃淡イメージを与えない。

従って、全体としての濃淡イメージ情報は比較的低次のスペクトラムに含まれ、これら低次のスペクトラムから再現されるイメージは図2に示す従来型データ圧縮法による結果に近い。実際に、図2の領域法とLevel 1と2の和によるイメージ間の相関は1.0であり、図2の閾値法とLevel 1と2の和によるイメージ間の相関は0.96である。

他方、高次レベルのスペクトラムは全体としての濃淡情報を含まない。しかし、隣接するイメージデータ間の情報を多く含み、結果として、高次レベルのスペクトラムはイメージデータ中に含まれる図形の輪郭を再現する。

■ 5.2.4 ウェーブレットスペクトラムの性質

ここでは低次と高次それぞれのスペクトラムに含まれる情報抽出を考える。まず、図4の低次スペクトラムから再現されたイメージに含まれる情報を調べるため、Level 1と2の和によるイメージをウェーブレット変換し、さらに多重解像度解析を行った結果を図5に示す。



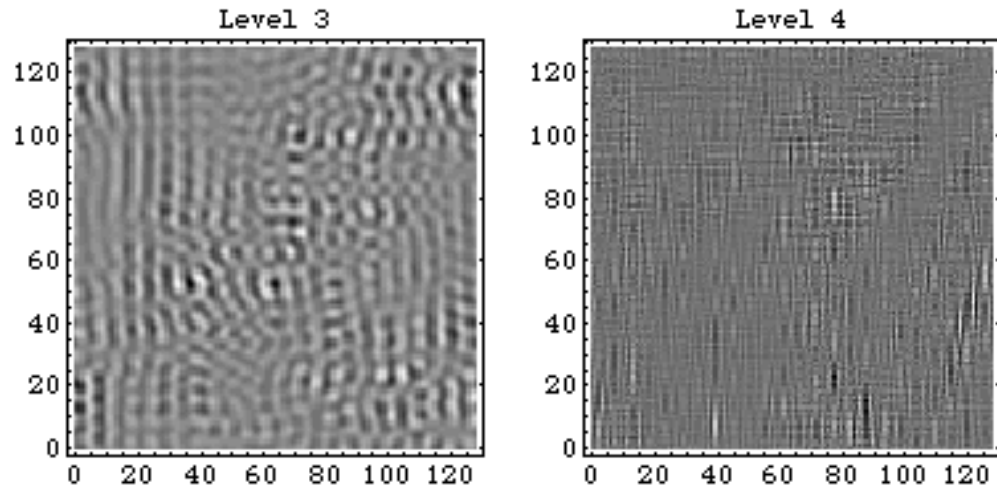


図5. 低次レベルから再現されたイメージの多重解像度解析の結果

レベルの低いスペクトラムと高いスペクトラム、それぞれによるイメージ再現性を調べるため、レベル1と2、3と4それぞれの和から再現されるイメージを比較する。図6が結果である。

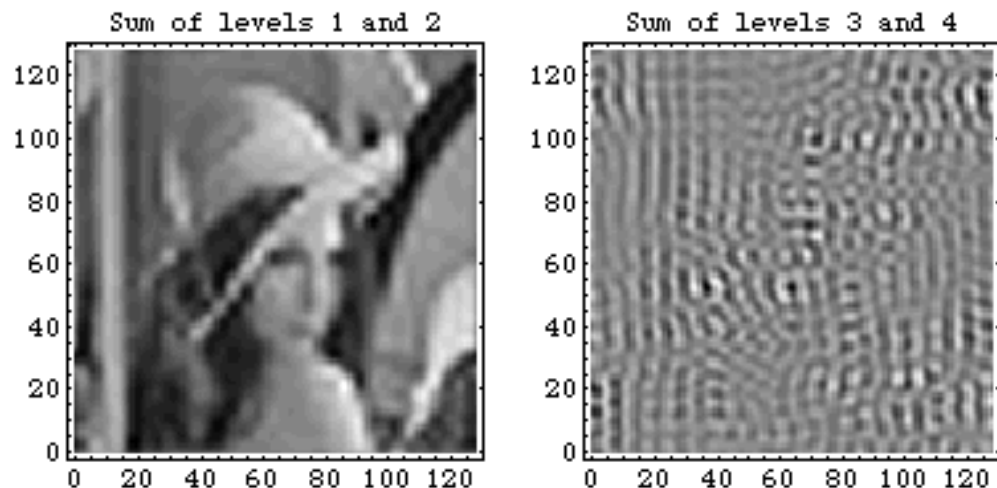


図6. 低次と高次スペクトラムによるイメージ再現性

明らかに、低次レベルのスペクトラムはもとのイメージ（図4の左図）を再現しているが、高次レベルのスペクトラムは無意味である。これは、図4の低次レベルのイメージデータは高次レベルイメージデータを含まないことを意味する。換言すれば、図4の低次レベルのイメージデータは100%図6の低次スペクトラムに含まれている。この事実は、図4の低次レベルのイメージデータと図6の低次レベルのイメージデータ間の相関係数が1になることから確認される。

次に高次のスペクトラムに含まれる情報抽出する。まず、図4のLevel 3と4の和によるイメージをウェーブレット変換し、多重解像度解析を用いて、部分ウェーブレットスペクトラムのイメージを計算し、さらにレベル1と2、3と4それぞれの和から再現されるイメージを比較する。図7が結果である。

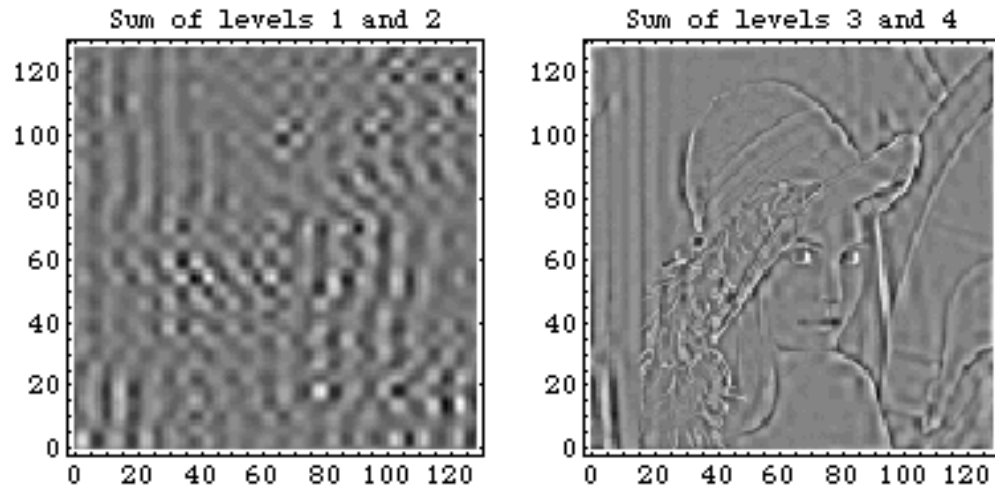


図7. 低次と高次スペクトラムによるイメージの再現性

明らかに、高次レベルのスペクトラムは図4の右図のイメージを再現しているが、低次レベルのスペクトラムは無意味である。これは、図4の高次レベルのイメージデータは低次レベルのイメージデータを含まないことを意味する。換言すれば、図4の高次レベルのイメージデータは100%図7の高次スペクトラムデータに含まれている。この事実は、図4の高次レベルのイメージデータと図7の高次レベルのイメージデータ間の相関係数が1になることから確認される。

以上の各ウェーブレットスペクトラムの性質は、ウェーブレット変換が直交な線形変換であることから明らかである。

5.3 ノイズを含むイメージデータ処理

■ 5.3.1 低周波ノイズを含むイメージ

イメージデータに含まれるノイズ成分は、イメージ全体に加わる空間周波数の低いノイズと局所的に加わる空間周波数の高いノイズが考えられる。最初はイメージ全体に加わる低周波ノイズが加わったイメージデータ図8を考える。

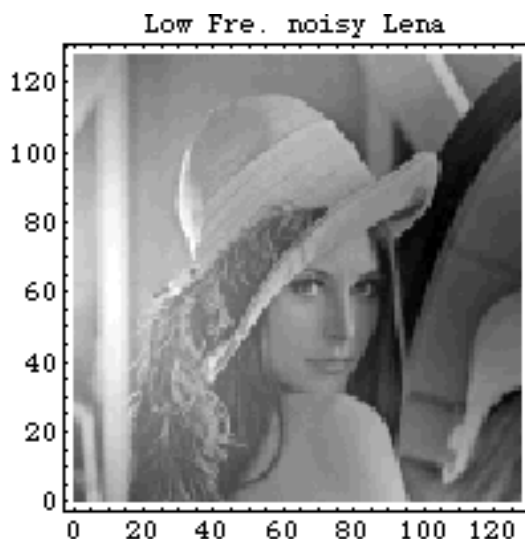


図 8. 低周波（全体的な）ノイズを含んだイメージデータ

部分ウェーブレットスペクトラムのイメージを計算し、レベル1と2、3と4、それぞれの和から再現されるイメージを図9に示す。

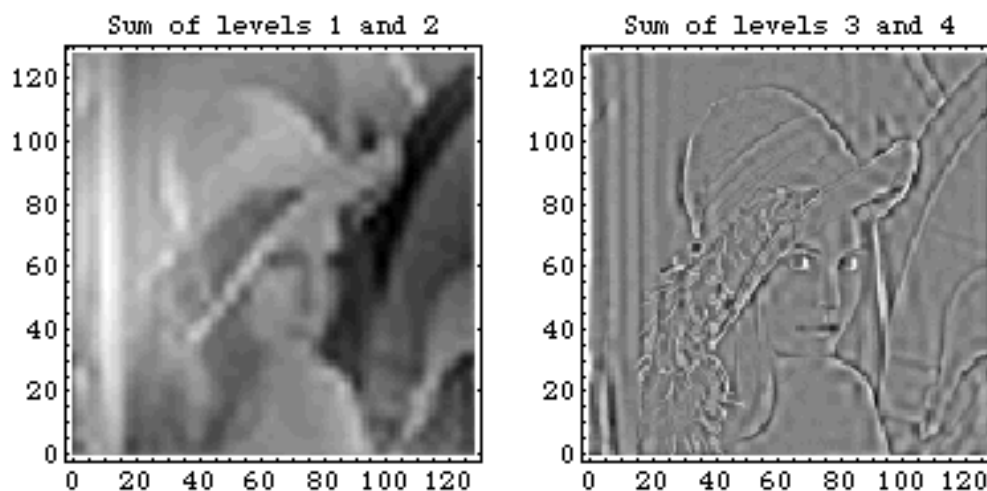


図 9. 低次と高次スペクトラムによるイメージ再現性

図9の結果で、高次スペクトラムは図4または図7の高次スペクトラムと同様にイメージデータ中の輪郭をほぼ再現している。すなわち、低周波のノイズが含まれたデータから高周波成分が構成する部分的情報（この場合は輪郭）を抽出できる。

■ 5.3.2 高周波ノイズを含むイメージ

次に、図10に示す高周波ノイズを含んだイメージデータを示す。

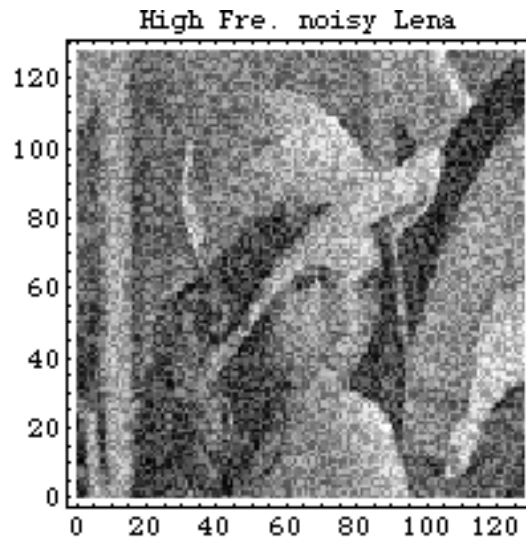


図 10. 高周波（局所的）ノイズを含んだイメージデータ

図10のデータをウェーブレット変換し、多重解像度解析を適用し部分ウェーブレットスペクトラムのイメージを計算する。その中で、レベル1と2、3と4、それぞれの和から再現されるイメージを図11に示す。

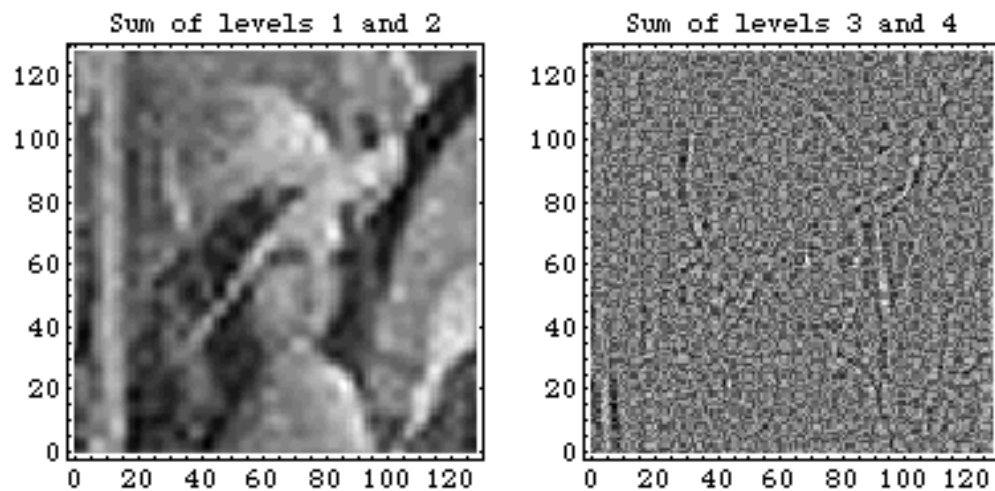


図 11. 低次と高次スペクトラムによるイメージ再現性

図11の結果で、低次のスペクトラムは図4または図7の低次スペクトラムと同様に全体的なイメージをほぼ再現している。すなわち、高周波のノイズが含まれたデータから低周波成分が構成する全体的情報を抽出できる。

5.4 まとめ

本章では、二次元ウェーブレット変換を利用したイメージデータの圧縮法、多重解像度解析、さらにノイズを含むイメージデータの処理方法について述べた。

イメージデータは計算機の出現まで化学変化を利用した写真技術によって処理される典型的アナログデータであった。しかし、計算機の出現と離散値系数学の手法が、イメージデータのデジタル処理を可能とした。ある意味で、画像技術のパラダイムであり、21世紀は殆どのイメージデータがデジタル処理されることとなるであろう。

画像データのデジタル処理を行うソフトウェアとして有名なPhotoshopなどがあるが、計算機の機能を利用した試行錯誤的観点からイメージプロセッシングがなされているのではなく、必ずバックボーンとして離散値系の線形数学が存在することが理解できることを意図した章である。

第6章 先端そして近未来科学技術

6.1 概要

デジタル計算機の普及に伴って多くの電子・電気機器が計算機で制御されるようになった。計算機は、多様な情報を入力すれば情報の量と質に応じてきめ細かい制御を可能とする能力を持つ。このため、より最適な制御を行うため、情報を感知するセンサー技術の開発が促されている。ある意味で、計算機はあらゆる周辺機器の開発と改善を行う牽引車の役割を果たしている。その周辺機器の中で最も急速な発展を遂げたのがセンサーである。

デジタル計算機以外に、21世紀の末期で最も力が注がれた研究に超電導技術がある。超電導そのものは1911年液体ヘリウムの液化に成功すると同時に発見された現象である。一般に、電気導体として良好な特性を持つ金属は高温で電気抵抗が大きく、低温で電気抵抗が小さくなる。このため、絶対零度において金属の電気抵抗がゼロになる超電導の存在は予期されていたが、絶対零度でなくても電気抵抗がゼロになる物質が高温超電導体である。超電導体に関する最大の発見は液体ヘリウム温度で無くても、液体窒素温度で超電導体となるセラミックス超電導体の発見であろう。

1911年の水銀における超電導現象発見以来、超電導を応用した多くの機器開発が企てられたが、最も成功したのは超電導の量子効果を利用した超高感度磁気センサー（SQUID）である。

人体の神経活動が電気信号で制御されている事実は、心電図や脳波による医療診断技術から、誰でも納得出来る。実は、心電図や脳波は体表面上の電圧を測定しているにすぎず、場所が心臓か脳の上かの違いである。さて、電圧が存在すれば電流が存在するはずである。電流が存在すれば周辺に磁界が存在するはずである。従って、心臓を動かす電圧信号として心電図が測定出来るならば、心臓の発生する磁界が測定出来るはずである。心電図は電圧測定であるから、電極を直接体に接着しなければならない。しかし、磁界は空間を通過するから、心臓の作る磁界は非接触で測定できる。本当であろうか？この事実が確認されるに至ったのは超電導現象を利用した超高感度磁気センサーSQUIDによるものである。心臓の作る磁界が測定できるならば、脳が作る磁界は測定可能であろうか？ 脳が作る磁界が測定可能ならば、人間の脳がどのように情報処理を行っているかを解明できるであろうか？ まず、最初の疑問は脳が作る磁界測定の可能性である。これは可能である。既に、脳の作る磁界を測定する装置は商品化されている。次の疑問は、磁界測定の結果から脳機能の解明である。これは、現在、先進諸国で最も精力的に行われている最先端研究テーマであり、脳機能の解明には幾つかのハードルを越える必要がある。

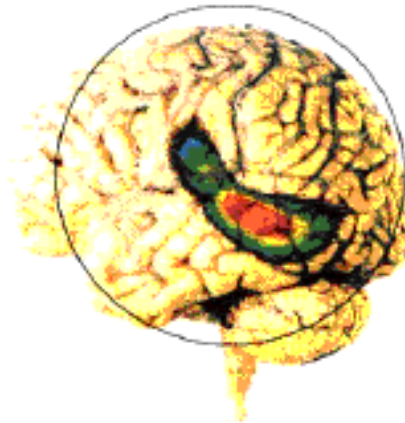


図1. 聴覚誘性反応（母音の「ア」を聞いた後に生ずる脳内の電流分布）

このハードルで最も越えるのが困難なハードルが、磁界測定から磁界源となる電流を求める解析技術である。一見易しそうに考えられるこの問題は、実は古典的数学では解が一意的に決まらない問題である。要するに従来の数学では解けない問題である。

この章の目的は、連続関数を前提とする古典的数学が無力である問題に対して、計算機の登場により数学のパラダイムを作った離散数学の方法論が適用出来るかどうかを検討することにある。要するに計算機を前提とする真の離散数学で従来解けなかった問題が解けるかどうかである。

恐らく、読者は解けるかどうかの結論だけを予め聞きたいであろう。答えは、ある条件下で測定されたデータを前提とすれば解ける。ある条件下とは、何であろうか、これは最適にセンサーが配置された場合である。センサーそのものは驚異的發展を遂げたが、残念ながら従来技術の延長線上では、必要な情報を探査するための最適センサー配置を決定する方法論が存在しない。これは、従来の数学的延長線上では、結果から原因を探査する計算が不可能であったことから当然であろう。逆に、従来の延長線上に無い離散数学に新たな可能性が存在するのが当然であろう。

この章ではもう一つ述べなければならない項目がある。それは近未来の科学技術である。科学技術は何らかの数学的基盤を必要とする。デジタル計算機の出現で、連続関数を前提とする従来の数学が総てでなく、離散値だけで成り立つ数学の世界の一端を知ることが出来た。本当に、近未来に学問として成立するかどうかは疑問であるが、本章では文学作品を離散数学で解析する手法を紹介する。

6.2 結果から原因へ・逆問題

■ 6.2.1 原理

逆問題のシステム方程式は、一般に次式の形に書ける。

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C} \mathbf{X}$$

(1)

\mathbf{Y} 、 \mathbf{C} 、 \mathbf{X} はそれぞれフィールドの測定から得られた n 次のフィールド既知ベクトル、グリーン(Green)関数またはその空間微分から得られる n 行 m 列のシステム行列、および求めるべき m 次の未知ベクトルである。

一般に、フィールドの測定可能な点数 n は、フィールド源の存在する数 m よりも圧倒的に少なく、

$$m \gg n$$

(2)

の条件が成り立つ。このため、従来の解析手法では一意的な解ベクトルは得られない。

システム行列 C を二次元画像データと見なすことで離散値系ウェーブレット変換を適用する。正方行列でないシステム行列 C の逆行列は通常計算できない。しかし、ウェーブレット変換されたシステム行列 C のスペクトラム C' では、マザーウェーブレット近傍に情報が集約されているからマザーウェーブレット近傍の正方領域で全体のシステム行列が代表出来るとすれば、この正方領域の逆行列が特異行列でない限り C の逆行列が計算できる。これが離散値系ウェーブレットによる解法の考え方である。

n 次のウェーブレット変換行列を W_n 、 m 次のウェーブレット変換行列を W_m とすれば、(1)式のウェーブレット変換は次式で行われる。

$$W_n \cdot \mathbf{Y} = (W_n \cdot C \cdot W_m^T) (W_m \cdot \mathbf{X})$$

(3)

いま、上式の各演算を以下のように書くとすれば、

$$\mathbf{Y}' = W_n \cdot \mathbf{Y}$$

$$C' = W_n \cdot C \cdot W_m^T$$

$$\mathbf{X}' = W_m \cdot \mathbf{X}$$

(4)

(3)式は次式のように書き直される。

$$\mathbf{Y}' = C' \mathbf{X}'$$

(5)

C' はシステム行列のウェーブレット変換されたスペクトラム分布を示しているが、このウェーブレットスペクトラムは原システム行列 C と同じ $n \times m$ の長方形行列である。

問題はこのスペクトラム行列の要素の配置にある。全体のシステム行列のもつ情報をマザーウェーブレットの近傍に集めてしまうウェーブレット変換の性質を利用して全体の情報を維持しつつ長方形の逆行列を近似的に求める。この考え方がウェーブレット変換による逆問題解析の最大のキーポイントである。

しかし、スペクトラム行列の特定領域に原システム行列の情報をいかに集約しても $n \times m$ の長方形の逆行列はできない。そこで、マザーウェーブレットを含む式の数に等しい $n \times n$ の正方行列を切り出して、この行列でシステム行列全体の情報を代表することが第2のキーポイントである。

このマザーウェーブレットを含む $n \times n$ の正方行列を C'' とする。問題はこの切り出した部分行列 C'' に逆行列が存在するかどうかである。ここでは C'' の逆行列 C''^{-1} が存在すると仮定して、形式的な逆行列の求め方を述べる。

次に、 n 行 m 列の行列の逆行列の形を仮定しなければならない。目的とする解ベクトル \mathbf{X} の次数は m 、入力ベクトル \mathbf{Y} の次数は n であるから、逆行列は m 行 n 列の形、すなわちもとのシステム行列 C を転置した形となる。

すべてをゼロ要素とする $m \times n$ の行列を C_{zero} とすれば、スペクトラム行列 C' の近似逆行列 C'^{-1} は

$$C^{-1} = C_{\text{zero}} \oplus C^{-1} \quad (6)$$

で与えられる。但し、サークルで囲んだ + 記号は C_{zero} の (1,1)-(n,n) の正方領域に C^{-1} を足し算する演算を示す。

次は、この逆スペクトラム行列 C^{-1} をウェーブレット逆変換して原行列 C の逆行列をつくる。さて、ウェーブレットスペクトラム空間では、(5)と(6)式から、

$$C^{-1} \mathbf{Y}' = \mathbf{X} \quad (7)$$

が成り立つ。(7)式を書き直すと、

$$C^{-1} (W_m \cdot \mathbf{Y}) = W_m \cdot \mathbf{X} \quad (8)$$

であるから、(8)式の両辺に W_m の転置 (逆) 行列 W_m^T を掛け算すると、

$$(W_m^T C^{-1} W_m) \cdot \mathbf{Y} = \mathbf{X} \quad (9)$$

となる。したがって、もとのシステム行列 C の近似逆行列 C_{inv} は

$$C_{inv} = W_m^T C^{-1} W_m \quad (10)$$

で求まる。整理すると、長方形行列を2次元ウェーブレット変換し、1行1列のマザーウェーブレットを第1要素として、式の数に等しい大きさの正方形行列部分を切り出し、全体のシステム行列の性質を抽出する考え方に基づいている。この考え方の妥当性を吟味する以下の解釈がある。

解ベクトル X のウェーブレット変換 X' は、ウェーブレット変換の性質から、通常ベクトル X のマザーウェーブレット近傍に特徴を抽出した要素が集中する。このため、(6)式の逆行列 C^{-1} は、解ベクトル X の特徴をスペクトラム解ベクトル X' の第1要素から第 n 要素までに圧縮した解ベクトルを与えることとなる。これは式の数 n が多いほど、再現される解ベクトル X の精度が向上することを意味する。

■ 6.2.2 例題

ここでは、フィルム幅 filmWidth に電流が流れていて、フィルムの上方に、フィルムに平行な磁界の測定区間 measuredSurface を考える。図2を参照。平行方向 (フィルムの接線方向) の磁界が n 点等間隔で測定される。フィルムは m 個に等間隔に分割され、この各点に集中された m 点の電流を求める問題を考える。一般に $m > n$ である。

n と m はそれぞれ測定点数と電流の個数に対応するから、 m 個の未知数をもつ n 個の式からなるシステムを考えることになる。要するに n 行 m 列のシステム行列の逆行列を考えることになる。

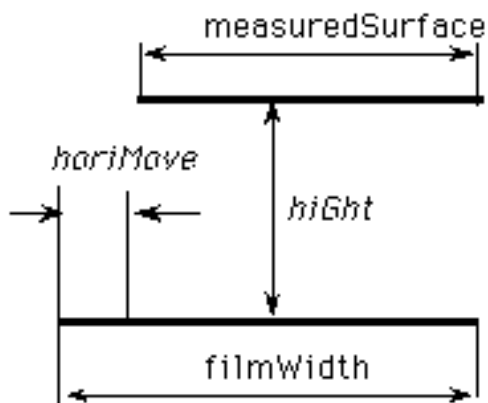


図2. 解析モデル

つづいて、システム行列を計算する。最適センサー位置は $n \times n$ の正方行列 C の逆行列をガウスの消去法を用いて計算する場合に相対誤差が最小になるように決める。図3に得られたシステム行列を双直交基底関数でウェーブレット変換した結果のスペクトラムを示す。

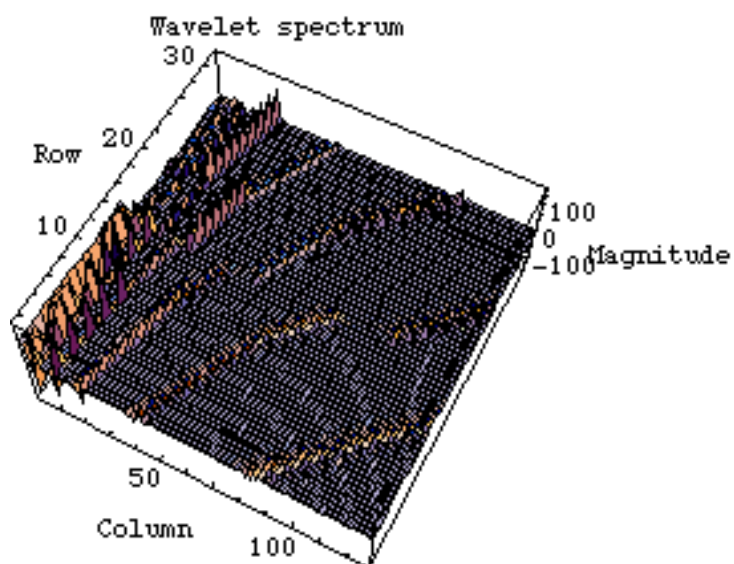


図3. 双直交基底関数によるシステム行列のスペクトラム

図4にウェーブレット変換による近似電流分布（細線）と厳密な電流分布（太線）を示す。

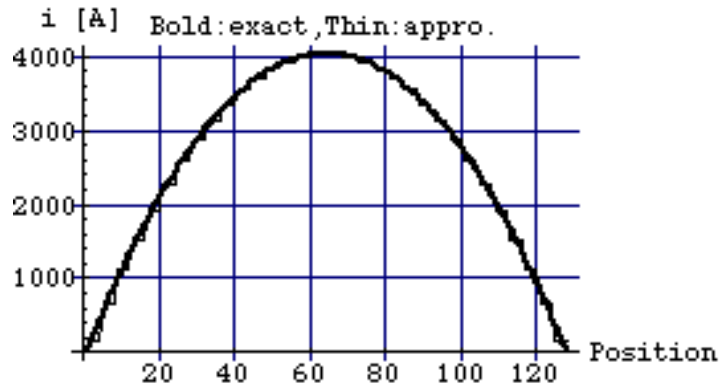


図4. ウェーブレット変換による解と厳密解の比較

6.3 離散数学による文学解析

■ 6.3.1 考え方

ここでは文学作品中に使われる特定用語を頻度・種類・意味等に分類し、それぞれを数値データに置き換えてイメージデータに変換する。そして、それぞれのイメージデータにウェーブレット変換を適用し、多重解像度解析を行うことで、データの持つ性質やスペクトラムに含まれる情報について検討する。

■ 6.3.2 データの持つ性質

白百合女子大学の宮沢教授によれば、宮沢賢治の作品使われている色彩の頻出度を時系列で書けば、

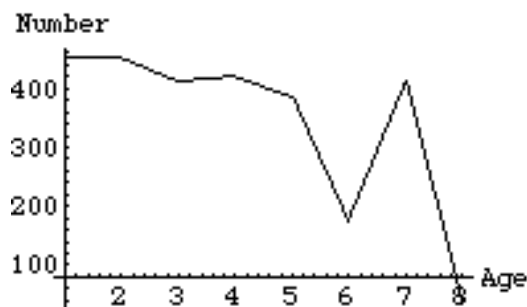


図5. 色彩の頻出度

であり、晩年になるほど色彩の頻出頻度が振動的に減少している。

他方、色彩の種類は

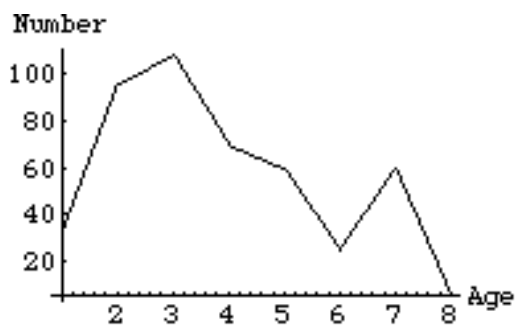


図6. 色彩種類の頻出度

であり、晩年になるほど色彩の種類が振動的に減少し、図5と同様な傾向である。

色彩数ベクトルと種類ベクトル間の角度は 19.9522 度であるから、図1と2はほぼ同じ傾向のデータと考えられる。これをウェーブレット変換のノイズリダクション機能を使って明確にする。

ドビッシーの2次を用いてウェーブレット変換し、得られたスペクトラムを図7示す。

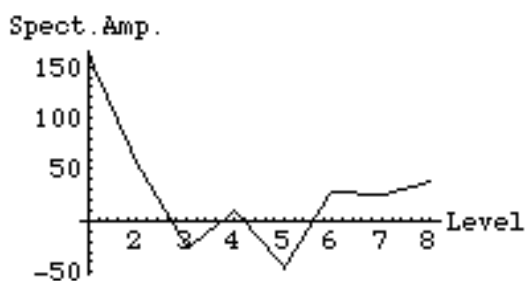


図7. 色彩種類の頻出度スペクトラム

多重解像度解析を行い、その結果を図8に示す。

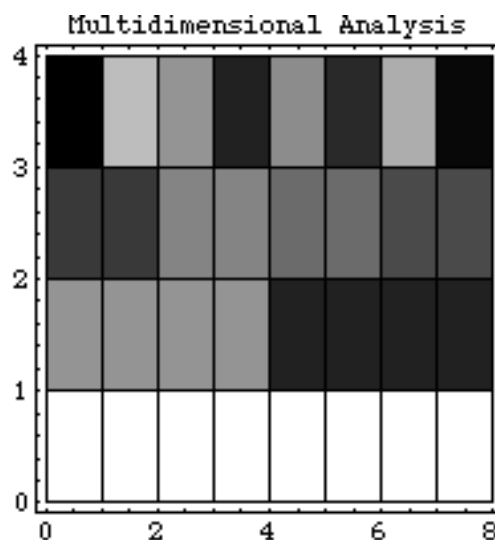


図8. 色彩種類の頻出度解析結果

レベル4の波形だけを描いてみよう。

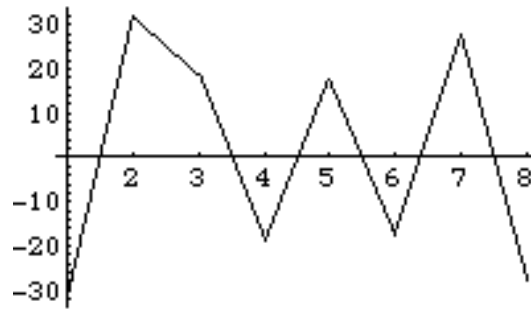


図9. 色彩種類の頻出度ノイズ

殆どランダムな波形であるから、レベル4の波形はノイズである。このノイズを除いた波形を図10に示す。



図10. ノイズを除いた色彩種類の頻出度

同様にして、色彩の数についても多重解像度解析を行う。その結果を図11に示す。

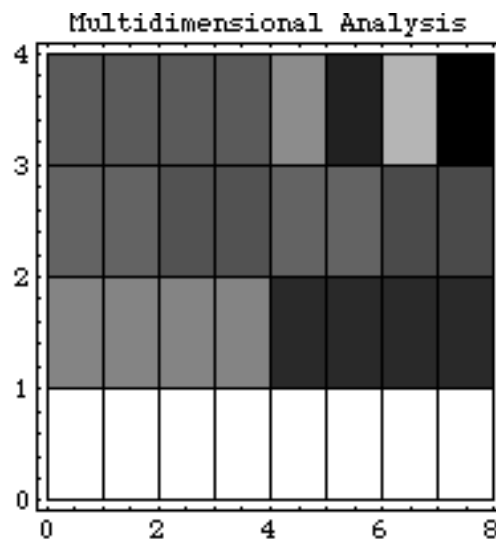


図11. 色彩数の頻出度解析結果

色彩数に含まれるノイズは図12のようになる。

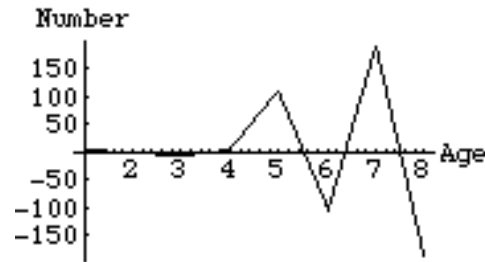


図12. 色彩数の頻出度ノイズ

殆どランダムな波形であるから、レベル4の波形はノイズであることが確認できる。このノイズを除いた波形を図13に示す。

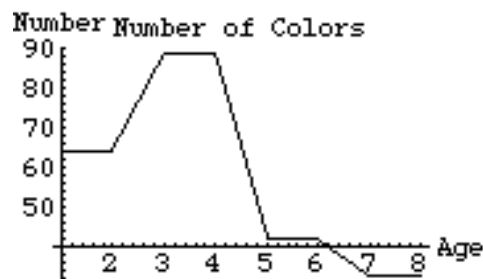


図13. ノイズを除いた色彩数の頻出度

ノイズを取り除いたデータ間の角度は0度であるから、図10と13のデータは完全に平行なベクトルを構成する。従って、ウェーブレット変換の多重解像度解析を用いてデータに含まれる誤差を取り除くことで、宮沢賢治の作品における色彩数と色彩種類の頻出頻度は全く同じ性質を示すデータであることが判明した。

■ 6.3.3 正規直交化ベクトル解析

白百合女子大学の宮沢教授によれば、宮沢賢治の作品使われている色彩で青色系に着目すると、青がいわゆる緑色を示すために使われる場合、通常の青色を示す場合、さらにネガティブな意味で使われる場合に分類される。これらのパーセント表示データを

で入力し、図14に示す。

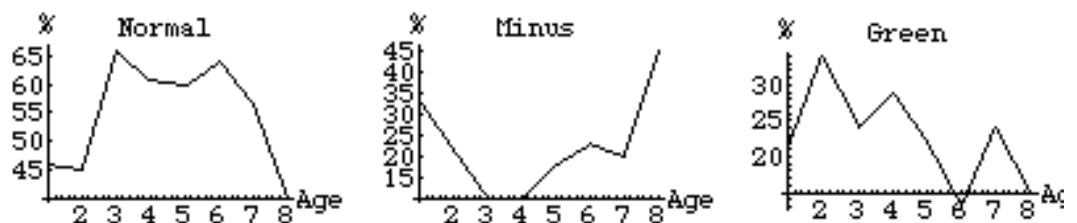


図14. 青色系データ

図14を観察すれば、マイナスとノーマルの波形は相反する傾向を持つデータであることがわかる。minusColorベクトルの中でnormalColorベクトルに直交するベクトルをminusCompとすれば、

$$[\text{minusColor}] = x[\text{normalColor}] + [\text{minusComp}]$$

(11)

であるから、

$$[\text{minusComp}] = [\text{minusColor}] - \frac{[\text{normalColor}]^T [\text{minusColor}]}{\|[\text{normalColor}]\|^2} [\text{normalColor}]$$

(12)

が成り立ち、この関係を用いてマイナスペクトルからノーマルベクトルへ直交するベクトルminusCompを抽出する。

次に、次式の関係を用いてgreenColorベクトルからnormalColorおよびminusCompベクトルへ直交するベクトルgreenCompを抽出する。

$$[\text{greenColor}] = x[\text{normalColor}] + y[\text{minusComp}] + [\text{greenComp}]$$

(13)

$$[\text{greenComp}] = [\text{greenColor}] - \frac{[\text{normalColor}]^T [\text{greenColor}]}{\|[\text{normalColor}]\|^2} [\text{normalColor}] - \frac{[\text{minusComp}]^T [\text{greenColor}]}{\|[\text{minusComp}]\|^2} [\text{minusComp}]$$

(4)

互いに直交するこれらのベクトルを正規直交系にしておく。よつて、x、y、z軸をそれぞれノーマル、マイナス、グリーンとすれば図15に示すように3次元ベクトル表示が可能となる。

Vectorical view

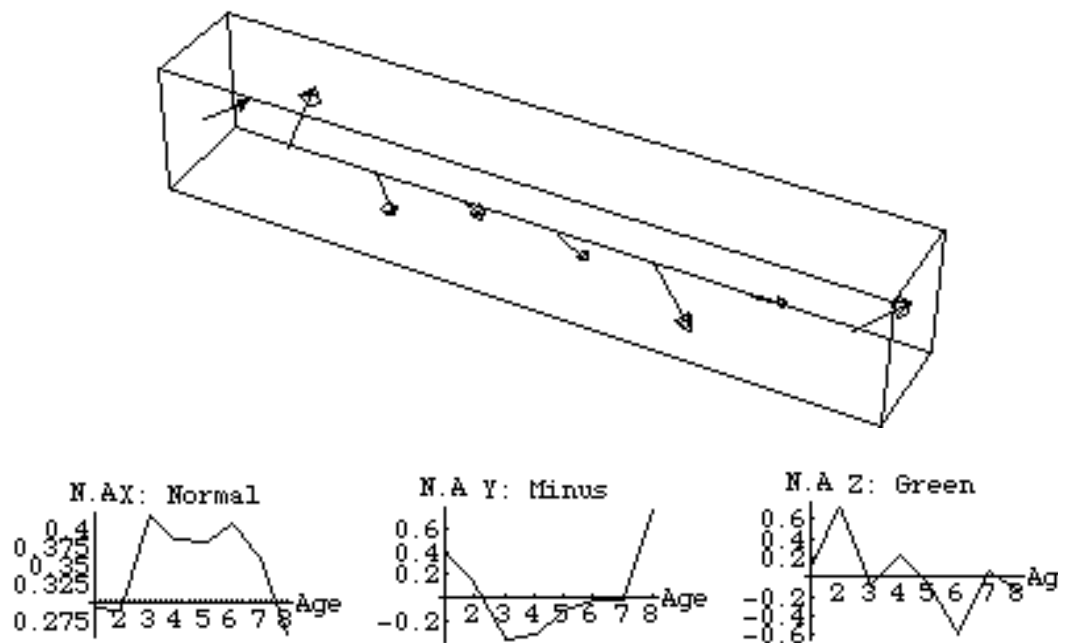


図15.ベクトル化したデータ、後方から手前位置：初期から末期作品

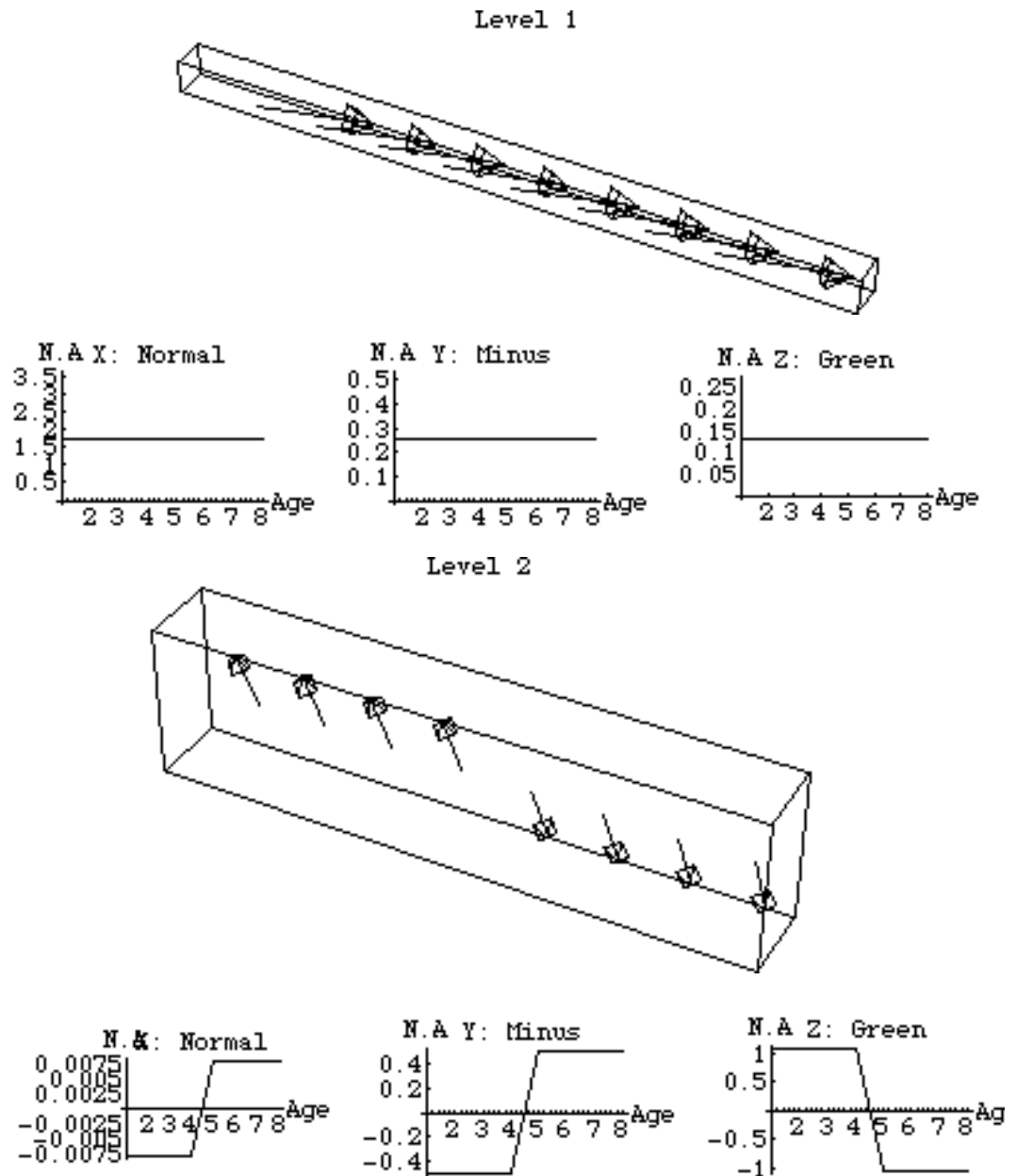
角柱軸方向 X：ノーマル、幅方向 Y：マイナス、高さ方向 Z：グリーン

図15から、賢治の初期と末期の作品では青がネガティブな使われ方をしているが、中期の作品では青が正常な使われ方をしていることが判る。

■ 6.3.4 多重解像度解析

より詳細な分析を行うため図15のベクトル化したデータの多重解像度解析を行う。

x, y, z 方向成分に分離し、それぞれのウェーブレット変換を行う。x, y, z 各方向成分、それぞれに対して多重解像度解析を行い、各スペクトラム成分の構成するベクトルを計算し、図16に示す。



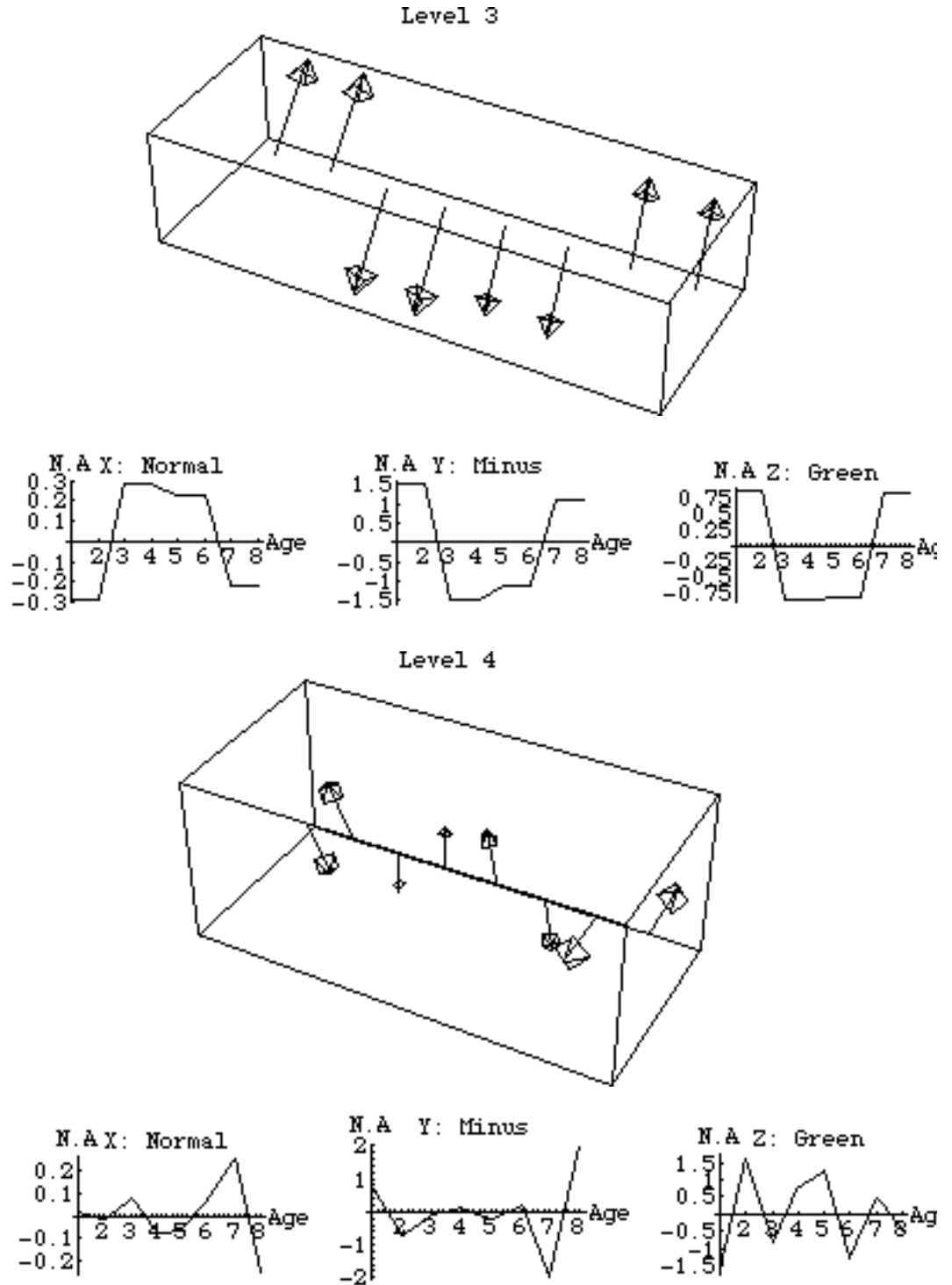


図16. 各スペクトラムの構成するベクトル、後方から手前位置：初期から末期作品

角柱軸方向 X：ノーマル、幅方向 Y：マイナス、高さ方向 Z：グリーン

図16で、各成分の振幅を注意して観察すれば、以下のことが判る。Level 1は賢治作品全体としての平均的ベクトルを与えるから、賢治の生涯を通して青はノーマルな青色表現に使われたことを意味する。Level 2は賢治の生涯を前半と後半に分けた場合の青の使われ方を意味し、前半はノーマルな緑色、後半はネガティブな表現に使われたことを意味する。起伏の変化率はグリーンが支配的である。Level 3は賢治の生涯を4時期に分割した場合の青の使われ方を意味し、交互にグリーンとネガティブを繰り返すが、ネガティブの起伏が支配的である。Level 4は個々の作品を時系列で見た場合の青の使われ方を意味し、前半の

作品では変化が見られるがその起伏は少ない。他方、後半の作品では、起伏の大きな変化が見られる。ネガティブの起伏が最も支配的で、ついでグリーンが支配的である。

以上を纏めれば、賢治の生涯で平均的に青は通常の使われ方をしているが、前半と後半で分ければグリーンとしての使われ方が前半で多く、後半は減少している。賢治の生涯を4分割して考えれば、ネガティブな使われ方の起伏が大きく、初期と後期の作品でネガティブな意味で多く使われ、中期では正常な使われ方が多い。個々の作品で見れば、初期と後期にネガティブな意味で使われることが多く、中期ではグリーンとして使われることが多い。

6.4 まとめ

本章では計算機の普及に伴うハイテク機器の中で、とりわけセンサー技術が高度の進歩を促されたことを述べた。その結果、必要な情報を得るためのセンサーの最適配置問題等が従来技術の延長線上の技術で解決出来ないことを指摘し、さらに、従来数学の延長線上に得られた情報から情報源を一意的に求める手法が存在しないことを述べた。

この種の計算機普及に伴う諸問題を解決する手法は、計算機によって出現した真の離散値系数学の応用にあることを述べた。

また、一見すると計算機と無関係な学術分野と見なされる文学の世界にも離散数学の手法が適用出来、新しい文学解析の手法が開拓される可能性を示唆した。

■ 参考文献

- [1] 宮沢賢治著、"宮沢賢治 近代と反近代"、洋々社(1991年9月10日)

あとがき

本講義ノートの作成は、自分の専門分野と違い意外と手間取り苦労したのが正直な感想である。科学技術の発祥から、現代そして未来と大きく構えて書き下すつもりであったが、科学技術の歴史的な部分は文献を調べれば何とかなると考えていたが、自分の考え方とマッチする参考文献を探し読み下すのが難航し、その上、現代と未来技術に関して、どうしても自分の専門分野からの視点になり、電気・電子工学が専門でない学生諸君には難解になってしまった。しかし、意図した部分の概念は把握出来るように努力したつもりである。

1997年4月13日 斎藤兆古