



## 情報の可視化の進展\*

加藤 千恵子\*\*, 李鹿 輝\*\*\*, 齋藤 兆古\*\*\*\*, 堀井 清之\*\*\*\*\*

### Progress in Information Visualization

Chieko KATO, Akira RINOSHIKA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

20世紀末、情報という学術分野が大きく開花したのは、主として情報の電子化とデジタル技術の広汎な普及によって人類史上経験の無い量および速度を持つ文明の利器を手に、情報を系統的な学術として集大成する必要性が生じてきたためである。1960年代末から始まった大型デジタル計算機の研究機関や大学への普及は、あらゆる理工学術分野へ広汎な影響を与え、従来、解析的に解くことが不可能な問題を数値解析可能とした。これが第1期情報革命である。第2期は1980年代からパーソナル・コンピュータ(PC)の広汎な普及であり、PCは個人レベルで数値解析を可能としたのみならず一般社会へゲーム機として普及した。この情報革命第2期に本学会の前身である「流れの可視化学会」が発足し、「流れの可視化」に関する学会誌が創刊された(1981年)。現在、進行中の第3期情報革命においては、インターネットが爆発的な普及を遂げ、その結果、テキストベースの情報だけではなく、より情報量が豊富な音声・画像情報を志向していることが大きな特徴となっている。特に1990年代末からデジタルカメラ・ビデオの広範な普及はオーディオ・ビジュアル情報を取り込むニーズを反映した結果である。技術の高度化により、我々は様々な分野で豊富な情報を得ることができるようになった。それに伴って、得られた数多くの情報から規則性や法則を抽出するための強力な解析手段を用いる事が不可欠なものとなってきた。その有力な手段の一つとして考えられているものが、視覚的把握および情報集約を容易とする「情報の可視化」である。このような時代の趨勢を鑑み、本学会の名称を「可視化情報学会」に変更し(1990年4月)、従来の可視化実験技術と数値シミュレーションの研究に加えて、「情報の可視化」技術に対する積極的な展開が始まった。その後、「情報の可視化」の研究を目指す新しい研究会(「ビジュアルデータマイニング」, 「ウェブレットと知的可視化の応用」, 「マイクロプロセッサによる可視化」), 「産業プロセス・トモグラ

フィ)が相次ぎ発足した。

「情報の可視化」は、非常に広汎な概念で、コンピュータグラフィックスを用いたデータを可視化する技術だけではなく、データの統計処理、データマイニング、パーティクルリアリティなども含んでいる。「情報の可視化」はこれまで主として自然現象を対象に利用されてきた。しかし近年、「情報の可視化」はデータまた画像の特異点抽出や規則性抽出、暗黙知(形式知でない知)、医学、経済指標などへの応用がなされ、すでにあらゆる分野の共通基盤となっている。第3期情報革命の成功の如何は、コンピュータグラフィックスのみならず「情報の可視化」をどのように創造的学術領域と産業へ結びつけるかに懸かっていると見える。

本稿では、自然科学、人文科学、社会科学など、幅広い学問領域において「情報の可視化」の最新の研究成果を紹介する。

#### (1) 知的可視化情報処理

「知的可視化情報処理」<sup>1)</sup>は、従来の可視化情報処理と区別されている。なぜならそれは、訓練された人間の視覚情報処理能力を前提とする従来の可視化情報処理とは異なり、計算機で全ての可視化情報処理を行なうことを意味するからである。換言すれば、特異点抽出や規則性抽出などを計算機が行うことを目標とするためである。例えば、動画像を2次元のHelmholtz型偏微分方程式で表現可能と仮定し、動画生成や物理系の動画から物性などを抽出し、動画像の有限個のフレーム画像から任意のフレーム軸に於ける画像を生成することを可能とする。具体的な例として、Fig. 1に示す最初と最後のフレームのカラー静止画像、およびレンダリングで生成された中間フレームのカラー静止画像に対する状態遷移行列を求める。次に、Helmholtz方程式の解から任意の時間分解能を持つ動画像を生成する。初期画像から最終画像まで1秒間に到達し、 $\Delta t = 1/3$ 秒として静止画像から動画像を生成した例をFig. 2に示す。初期のフレーム中の対象画像に比較的大きな変化が見られるが、最終フレームに近づくほどフレーム中の対象画像の変化が少なく、指数関数的に顔の表情が変化していることが判る。この例から、動画像を2次元のHelmholtz型偏微分方程式で表現することによって、動画生成や物理系の動画から物

\* 原稿受付 2005年11月3日

\*\* 正会員 大分県立芸術文化短期大学

\*\*\* 正会員 山形大学 工学部

\*\*\*\* 正会員 法政大学 工学部

\*\*\*\*\* 正会員 白百合女子大学 文学部



(a) Initial image (b) averaged image (c) final image

Fig. 1 Example of blending image

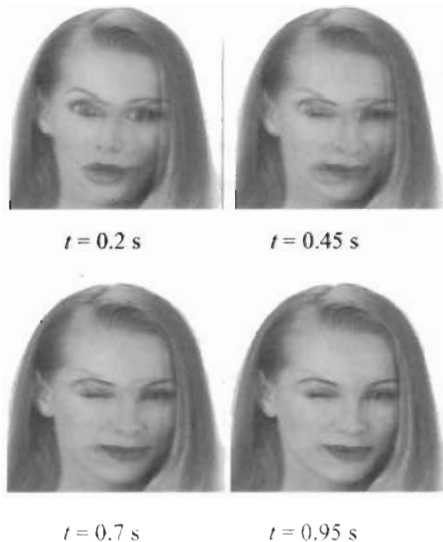


Fig. 2 Generated images as the solution of the Helmholtz equation

性などが抽出され、習熟した人間の目視検査に依存する作業の自動化が珪素鋼板の製造工程に於ける品質管理に一部可能とされている<sup>4)</sup>。

## (2) 心理学における情報の可視化

心理学においては、インタビューやアンケート調査結果のデータに対して通常の統計的手法が多く用いられているが、そのようなデータを可視化する手法に関してはまだほとんど開発されていない。そこで、ウェーブレット変換を用いて「情報の可視化」を行う試みがなされている。

周知のように、離散値系ウェーブレット変換は基本的な性質として、 $2^n$  個のデータを全体の平均的情報（和）と変化率情報（差）に変換する。例えばハール基底を用いた場合、変化率情報（差）に全体を2分割した部分から隣接する要素間までのデータ個数に応じた  $n$  個のレベルが存在する。従って、全体で  $n+1$  個のウェーブレットスペクトラムに分解される。すなわち、ウェーブレットスペクトラムは、最も低次レベルの要素がもとのデータの最も低周波成分からなり、高次レベルの要素はもとのデータの高周波成分を多く含む。このため、ウェーブレットスペクトラムの要素を順次離散ウェーブレット逆変換することで、もとのデータの低周波成分から高周波成分まで分析することができる。これを離散値

系ウェーブレット多重解像度解析と呼ぶ、この手法を用いることにより、インタビューやアンケート調査結果をより詳細に可視化情報として考察可能とする。

ここで、ウェーブレット多重解像度解析を適用することにより、成人前期の男性の結婚観及び仕事観を可視化した例を紹介する<sup>2)</sup>。

わが国では、近年の社会的環境の変化により、女性の結婚観と仕事観が変化したばかりではなく、男性の結婚観と仕事観も同時に変化している。特に成人前期の男性は価値観が激しく変化している。これまで、インタビューにより結婚観及び仕事観に関する調査を行い、男性の結婚観と仕事観を構成する多様な構成要素が得られた。その際の解析手法としては、最適尺度法による分析を試みているが、その結果、仕事観について『保守性と革新性』と『近代の日本企業が求めている姿への適応度』の2次元の軸の存在が確認できた。しかし、結婚観では個人による考え方にばらつきが大きく、軸の解釈が明確にできなかった。一つの原因としては、通常の統計手法では、要素ごとの情報が失われてしまうという欠点が挙げられる。これは、要素による心の揺れのレベルの解析は困難であったことを意味する。このような問題点を解決するために、ウェーブレット多重解像度解析を心理学に適用する方法を筆者らは提案した<sup>2)</sup>。

成人前期の男性の結婚観及び仕事観に対して解析方法としては、仕事観のみならず、結婚観にも『保守性から革新性へ』という軸を仮定し、既往研究では得られなかった伝統的価値観の差異による仕事観及び結婚観の『保守性から革新性』への変化の特徴を、ウェーブレット変換の多重解像度解析により分析した。その結果、結婚観および仕事観とも保守的な考え方から革新的な考え方へと変化してきているものの、考え方と行動との間に矛盾を含んでいる可能性が示唆された。仕事観においては、伝統非伝統混合の考え方の被験者と伝統的の考え方の被験者は、保守的な考え方と革新的な考え方において類似していることが判明した。

また、心理学においては言語による情報のみならず、表情などの非言語的情報が重要であるとされるが、そこにおいてもフーリエ変換やウェーブレット変換を用いることにより、非言語的情報を可視化することが可能となる。

周知のように、フーリエ変換は画像中の空間位相情報を完全に消去できるので空間位相の異なる画像中の図形認識に便利である。しかし、画像中の図形に相違部分がある場合や複雑な背景を持つ画像に対して、全体の変化情報を含有するため、局所的な情報が全体の変化情報に埋もれてしまう。他方、ウェーブレット変換法は局所的な相違部分の抽出に有効であるが、完全に空間位相を消去できないため、ウェーブレット変換は近似的に相違部分を抽出する。そこで、フーリエ変換の空間位相の消去機能とウェーブレット変換の相違部分の抽出機能を組み

合わせるフーリエ・ウェーブレット変換法を紹介する<sup>3)</sup>。この方法は、フーリエ変換は空間位相を消去して全体的な相違部分を抽出する機能を有するから、フーリエ変換によって抽出された全体的な相違部分をウェーブレット変換し、多重解像度解析を適用して全体的な相違部分を異なる解像度で評価する。すなわち、フーリエ変換によって抽出された全体的な相違部分からウェーブレット変換によって局所的な相違部分を抽出する。フーリエ変換とウェーブレット変換、それぞれの利点を組み合わせた画像の相違部分の抽出方法である。例として、フーリエ・ウェーブレット変換法による人間の表情変化の可視化例を紹介する。周知のように、人間の顔は目、鼻、口など複数個の部品からなっている。顔の表情はこれらの部品が総合的に合成されて構成される。ここでは、フーリエ・ウェーブレット変換法によって、人間の顔のいずれの部分に微かな表情変化（1/15秒で現れて、消滅する）の特徴を客観的に抽出してみよう。基準画像と供試画像を Fig. 3 に示す。基準画像を普通の顔、供試画像を笑顔とする。フーリエ・ウェーブレット変換法を用いた解析結果を Fig. 4 に示す。濃い部分が抽出された変化部分である。この結果から、目のまわりと頬のあたりに差が生じていることがわかった。

### (3) 文学作品の暗黙知について情報の可視化

文学は、言語または文字によって表現される芸術作品であり、人間の存在に関わる問題を探求する学問であると言われている。また、文学作品には作品に描かれた文字通りの情報と解釈が必要な創造された部分の二つの情報がある。暗黙知は、哲学において言葉でもって表現できない知の領域とされている。文学作品の暗黙知は「アイデア、暗示、思考プロセス、文体等、明確に表記されないが、自明に文章に含まれているもの」と定義され、文学作品の文体構成、思考の枠組み、思考のプロセス、



Fig. 3 Normal (left) and smiling (right) faces

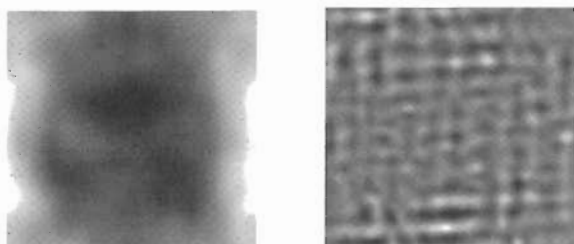


Fig. 4 Results of the Fourier-Wavelet Transform

思考の揺れ等の暗黙知を明らかにすることを文学作品における暗黙知可視化研究の目的としている。

解析には、作家の暗黙知が小説等文学作品の文体構造に表層化し、その文体構造は心象の ambivalent 性を基本要素としていると仮定し、文体構造は主観と客観、美と醜などの両極の狭間で揺れながら、時間軸上を螺旋状あるいは波動状に、時には両者が混在した状態で流れるとモデル化した。文学作品の文章中から快・不快、主観・客観といった ambivalent 性を持つキーワードといずれにも属さない中間的なキーワードを選択する。つぎに、文章中に現れるキーワードを3種類の一次独立要素データとして、出現頻度を時系列に整理し基礎データとする。この基礎データを3次元空間座標への変換手法であるグラムシュミットの方法で空間化し、データ抽出の偏りは正規化により除き、データ抽出のバラツキは離散値系ウェーブレット変換の多重解像度解析を用いて低減化する。解析結果として、文章の時間経過ごとに正規直交系一次独立要素データが求められ、これを文章の時間経過を時間軸として4次元空間に可視化する。解析結果より、作品の文体・構成、思考のプロセス、感情の揺れなど、文学作品の読みの暗黙知を客観的解析することを可能とし、結果として書き手の暗黙知と読み手の暗黙知の協同現象から文学作品の特徴を抽出することができる。

### (4) 流れの情報の可視化

現代高度技術の飛躍的な向上により、流体実験と数値実験から豊富な流れ情報を含む膨大なデータを得ることができるようになった。従来統計処理の解析手法（例えばフーリエ変換）により、膨大なデータを減らすことができるが、時間また空間領域などの情報が失われてしまう。したがって、豊富な情報から流れ場を支配する本質の構造や規則性を抽出する強力な情報解析ツールの開発が重要である。

近年、最先端の情報処理技術として、ウェーブレット解析の応用研究は急速に進展し、その応用範囲はきわめて広い。流体工学の分野においては、ウェーブレット解析は複雑な乱流渦構造の抽出、PIV また流れ画像の解析、混相流の流動パターン判別の研究で注目を浴びつつある<sup>3),6)</sup>。これまで見えない多重スケール乱流構造が時間-空間一周波数の3次元面から可視化された。ここで、後流乱流についてウェーブレット解析の例を述べる。最近、円柱などの二次元物体直後から形成される複雑な三次元の渦構造について、実験データからウェーブレット解析を用いて大小様々な渦が可視化された報告があった<sup>7),8)</sup>。しかし、物体から十分発達した後流（自己保存流れ）について、乱れ強さ分布などの乱流構造が相似となることが実験的に知られているが、スケールごとに渦構造はまた十分に明らかにされていない。Fig. 5は円柱とスクリーンから形成された自己保存流れを8本のX型プローブにより同時に計測した瞬時速度の流線と渦度分布を示したものである。ウェーブレット多重解像度解

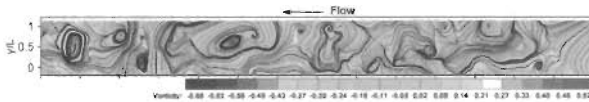


Fig. 5(a) Measured streamlines of cylinder wake

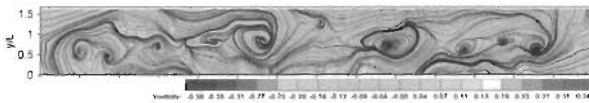
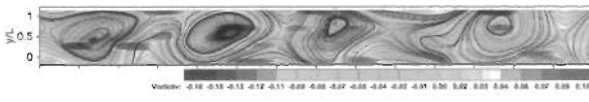
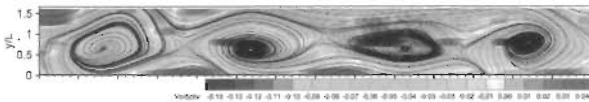
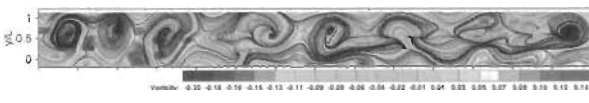
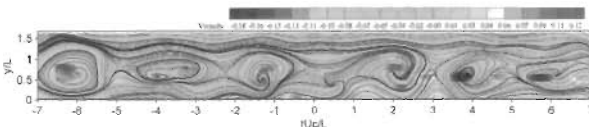


Fig. 5(b) Measured streamlines of screen wake

Fig. 6(a) Cylinder wake of the wavelet component at  $f = 75$  HzFig. 6(b) Screen wake of the wavelet component at  $f = 83$  HzFig. 7(a) Cylinder wake of the wavelet component at  $f = 150$  HzFig. 7(b) Screen wake of the wavelet component at  $f = 160$  Hz

析により Fig. 5 の瞬時速度を周波数空間に分解し、各周波数成分の瞬時流線と渦度分布を Figs. 6 と 7 に示す。円柱とスクリーンの自己保存流れを比較すると、大中スケールの乱流構造は物体の形状によって支配されることがわかった。円柱後流よりスクリーンの渦構造は大きい。大中スケールの渦度は小さくなっていることを示している。

### (5) 経済学における情報の可視化

ウェーブレット変換は、不規則変動の中に潜む特徴やパターンを抽出することを可能にするため、株価のような複雑で一見規則性のないような信号であっても特定のパターンが抽出されることによって、株価変動を予測できることを示唆している。最近、株価を予測する手法の一つであるグランビルの法則とウェーブレット解析を組み合わせる手法が提案されている<sup>9)</sup>。従来のグランビルの法則より平均利益率を上げることができる。このような不規則な変動を示す株価変動データをウェーブレット解析できることは、経済学分野でも広く応用できる潜在性を有している。その潜在性を見極めるためにも、多くの実証研究が蓄積されることが望まれる。さらに、ウェーブレット解析による群衆行動や交通渋滞など人間の心理が関係するような複雑な社会現象に対して特定の時系列パターンを抽出することが期待できる。

今後、ウェーブレット解析は、フーリエ変換と同様に、解析・可視化技術の汎用ツールとして重要な役割を担うだろう。これに伴って、画像情報の中から物理現象の本質を抽出する知的可視化情報処理技術は、「情報の可視化」の新しい手法としても期待されるであろう。

### 参考文献

- 1) 齋藤兆古, 遠藤久: 知的可視化情報処理—動画像処理とその応用—, 可視化情報学会誌, Vol. 25, No. 99 (2005) pp. 234-239.
- 2) 加藤千恵子, 齋藤兆古, 林 洋一, 堀井清之: 日本人男性の結婚観及び仕事観, 可視化情報学会論文集, Vol. 21, No. 11 (2001) pp. 138-143.
- 3) 加藤千恵子など: '文系知' と '理系知' の融合—コンピュータによる画像暗黙知可視化—表情・絵本・運動フォームを中心に—近代, 文芸社, (2002)
- 4) 井波真弓, 齋藤兆古, 堀井清之, 文学作品の暗黙知情報の可視化—離散値系ウェーブレット多重解像度解析—, 可視化情報学会誌, Vol. 25, No. 99 (2005) pp. 234-239.
- 5) 李輝: ウェーブレットによる流れの解析・可視化の新展開, 可視化情報学会誌, Vol. 21 (2001), No. 82, pp. 147-152.
- 6) 李鹿輝: ウェーブレットと知的可視化技術を用いた融合情報処理の展開, 可視化情報学会誌, Vol. 24, No. 95 (2004), pp. 240-244.
- 7) A. Rinoshika and Y. Zhou: Orthogonal Wavelet Multi-Resolution Analysis of a Turbulent Cylinder Wake, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 524 (2005), pp. 229-248.
- 8) A. Rinoshika and Y. Zhou: Effects of Initial Conditions on a Wavelet-decomposed Turbulent Near-wake, Physical Review E, Vol. 71, No. 4, 057504 (2005), pp. 1-8.
- 9) 水野明哲, 飯田明由: 株価の変動パターンの可視化, 可視化情報学会誌, Vol. 25, No. 99 (2005) pp. 240-247.