可視化今昔*

中山 泰喜**

Visualization Now and Past

Yasuki NAKAYAMA

1. はじめに

可視化情報学会は前身である流れの可視化シンポジウムが1973年に開催されて今年で32年、流れの可視化学会が1981年に設立されて24年になる。1981年学会誌の創刊号が出版され、2006年1月号で通算100号を迎える。学会設立当初から関係した者として感激一入である。学会の歩みについて、20周年には記念事業として「流れの可視化 今・昔」¹⁾が出版されており、その中に「20年の歩み」として、52ページに亘って記録した。その後30周年記念号に大島裕子名誉会員が「可視化情報学会この10年の歩み」と題して記述された詳細な報告²⁾が掲載されている。

ここでは、もう少し可視化情報の長い歴史について考えて見たいと思う。

2. 可視化の始まり^{3), 4)}

空気の流れは見えない。水の流れは見る事が出来るが渦とか、はがれとか、速度分布とかは、見る事ができない。この見えない物を見えるようにすることが可視化である。見えないものが見たいというのは人間本来の欲望である。では、この可視化が実際に行われたのはいつ頃からであろうか。記録に残っているものとしては、縄文時代だと思う。

それでは今からその証拠をご覧に入れたいと思う。縄文時代は今から約12,000年前に始まり、約2,500年前に至ると言われている。その文化をになった人々が縄文人である。この縄文人の作製した土器を縄文土器と呼んでいる。縄文土器は日本各地で発見され、沢山の種類がある。その中で、1931年12月31日新潟県長岡市郊外の馬高遺跡で発見された土器はFig. 1左のような見事な文様をもっている。この土器は約4,500年も前のものといわれている。その後、他地域でもFig. 1右のような同じ様式の土器が次々と発掘された。これらの土器はいずれもすばらしい形をしているが、馬高遺跡で発掘された土器のプロポーションの良さは他を圧するものがある。

ところで、これらの土器は燃え盛る火を連想してか、

「火焰土器」と名付けられているが、実はむしろ水との関連が深いと思う。Fig. 1左の火焰土器ならびにこれを展開したFig. 2の文様を考えてみる。この開口部の文様は火焰からの着想とも考えられるかもしれないが、岩に砕ける大波に続くさざ波からの着想とも考えられる。その下にある、側面に刻まれた見事な渦文様は、明らかに2種類の渦から成り立っている。側面の上部の渦はFig. 3(a)に示すような回転方向が互いに反対な対称渦の双子渦と呼ばれるものである。その下部の交互に連なった渦はFig. 3(b)に示すような流速が少し速くなったときに生ずるカルマン渦からの造形である。カルマン渦はFig. 3(b)に示すように、ある時にはS字形に、ある時は逆S字形に見える。これらの双子渦とカルマン渦は火

Umataka ruin

Sasayama ruin

Fig. 1 Jomon pottery (Kaen-Suimon pottery)

Fig. 2 Enlarged pattern of Kaen-Suimon pottery

* 原稿受付 2005 年 11 月 15 日

** 名誉会員 未来技術研究所

(a) Twin vortex

(b) Kármán vortex

Fig. 3 Vortex behind cylinder

Fig. 4 Jomon people watching vortex

焰やその煙からは生成することは出来ない。

縄文人はおそらく Fig. 4 に示すように、川の岸辺に近づいて、川の流れに浮かぶ杉や松の花粉や落ち葉や花びらなどをトレーサとして、川の岸辺の葦や杭や石の後ろにできる渦を眺め、土器に文様として移したに違いない。Fig. 5 に葦の背後の渦を、4,500 年前と同じ方法すなわち松花粉をトレーサとして可視化した結果を示す。このように可視化は表面浮遊法から始められたと推定される。

縄文土器は日本の各地で発見され、渦文様を持った土器も沢山発見されている。しかし、双子渦とカルマン渦と区別して渦模様とした土器は私の知る限りでは、馬高遺跡から発掘された火焰土器ただ一つである。その意味において、この土器は世界の宝である。

水の流れをじっと見詰めているうちに、2 種類の渦を

(a) Twin Vortex

(b) Kármán vortex

Fig. 5 Vortex behind the stem of a reed beside a river visualized using pollen of pine trees

始めて認識して、土器に移した一人の縄文人はレオナルド・ダ・ビンチのような、非常に観察力のすぐれた天才であって、可視化によって行われた 2 種類の渦を区別した貴重な渦現象の発見である。

縄文土器の文様が水流により形成される渦からの着想であることが明らかとなったので、従来の火焰という発想も尊重し、同類の土器を今後、火焰水文土器と呼ぶと共に、双子渦とカルマン渦を合わせて縄文渦と呼ぶことを提唱する。

3. 可視化を育てた人々⁵⁾

3.1 万能の天才レナルド・ダ・ビンチ

可視化を意識して最初に提唱したのは 15 世紀にイタリアに生まれ、万能の天才と言われたレオナルド・ダ・ビンチだと思う。その一例として、Fig. 6(a) は障害物のまわりの流れをスケッチしたもので、流れに対抗して物体を置けば背後に渦を生ずるが、流れに沿って置けば渦は殆ど生じないことを示している。図から解るように、彼は鏡像文字を用い、しかもしばしばページの裏から表、右から左へと、左手で書く習慣があり、このことが、彼の記録を分類する作業を難しくしたといわれている。

Fig. 6(b)も広がり流れのうずを示している。船・自動車・高速列車・航空機などで関心の高い流線形 Fig. 6(c)もレオナルド・ダ・ビンチが初めて見出したものである。

我々は今日まさにレオナルド・ダ・ビンチがスケッチに残したような流線や渦を可視化技術を使って求めようとしている。実に、彼は可視化のパイオニアである。

3.2 層流と乱流を見分けたレイノルズ

その後、実際に可視化技術を応用して偉大な発見をした人はイギリスのレイノルズで、彼の最も有名な実験が1983年に報告された管の流れについての層流から乱流への観察実験である。レイノルズは Fig. 7 のような装置を用いて実験を行い、平均流速 v 、ガラス管内径 d 、水の密度 ρ および粘度 μ の値がどのようであっても、無次元数 ($\rho v d / \mu$) の値が2300付近になると、層流から乱流に移ることを発見した。後に、レイノルズの功績を記念してこの無次元数を『レイノルズ数』と呼ぶ事になった。

3.3 超音速流れを目で見せたマッハ

マッハはオーストリアの物理学者・哲学者である。彼は Fig. 8 に示す装置を用いて、グラーツ大学で見事なシュリーレン写真の撮影に成功した。

マッハは音速 a に関しての流速 u の重要性に着目し、 u/a が1以下から1以上に変化することによって、流れ場に不連続な目立った変化が生ずることを指摘した。後

(a) Flow around an obstacle

(b) Vortices of divergent flow and behind body

(c) Streamline shape

Leonardo da Vinci
(1452-1519)

Fig. 6 Many kinds of flow (Leonardo da Vinci's notes)

Osborne Reynolds
(1842-1912)

Fig. 7 Pipe flow experiments of Reynolds

にマッハの業績を記念して流れの速さと音速の比 u/a は『マッハ数』と呼ばれるようになった。

3.4 境界層を考え出したプラントル

プラントルはドイツに生まれた。彼は固体周辺の流れは摩擦抵抗によって流れの運動が支配される表面に近い領域すなわち境界層と、それより外の摩擦を無視できる領域すなわち主流にわけられるという境界層理論を提唱し、“近代流体力学の父”と呼ばれている。Fig. 9 に用いた実験装置とその可視化結果を示す。プラントルとその指導を受けた研究者達により、流体力学は飛躍的に進歩した。

3.5 カルマン渦を解明したカルマン

カルマンは王立ブダペスト工科大学で学び、ゲッチンゲン大学、アーヘン工科大学、カリフォルニア工科大学で教職についた。カルマン渦列として知られる円柱後流の渦の研究で Fig. 10 の下図に示すような非対称的な配列だけが安定であることを発見した。そのほか、物体の抗力、乱流の理論、超音速空気力学に関する理論など多くの流体力学の業績を残した。カルマン著、谷一郎訳「飛行の理論」岩波書店がある。

Ernst Mach
(1838-1916)

Fig. 8 Schlieren apparatus using a delay circuit and a Schlieren photograph using this apparatus

Wake of a cylinder

Boundary layer movement by suction from a slot

Ludwig Prandtl
(1875-1953)

Fig. 9 Water channel and visualized results

3.6 乱流の実体に迫ったクライン

アメリカに生まれ、スタンフォード大学の教授となったクラインはその協力者と豊富な可視化実験により、Fig. 11 に示すように、乱流境界層内の物体表面近くでは層流低層に不安定が生じ、壁に接して早く流れる部分と遅く流れる部分と隣あって縞状にならび、遅い部分が下流に向かって巻き上がり、安定を失い、激しく振動した後乱流の小さな塊となって噴出し、入れ替わりに高速の流体が流れ込むことを明らかにした。この現象をバーストと呼び、乱流発生メカニズムの研究に大きな貢献を

Fig. 10 Vortex street

Fig. 11 Boundary layer on a flat plate

した。

この他にも多くの研究者によって可視化は発展した。

4. 可視化が繋いだ世界の輪

4.1 学会誌可視化情報

このように、可視化は、遠く縄文時代から自然に行われていたのが150年くらい前から積極的に利用され始めてきたテクニックであるが、30年余り前から特に活発になってきた。そのきっかけが1973年に東大宇宙航空研究所で開催された流れの可視化シンポジウムで、その後毎年7月に東京で開催されている。

Fig. 12 に第1回シンポジウム論文集の表紙を示す。表紙をめくると Fig. 13 に示すような浅沼強教授（東大宇宙航研）の巻頭言の記述がある。これが学会の精神である。

お分かりのように、論文も含めて、当時は総て手書きであった。また、発表にはスライドが使われていた。発表内容も可視化手法の開発や定性的な可視化を主とする内容のものが多く見られる。

第3回シンポジウムの案内をみると、スライド、8 mm、16 mm となっており、OHP はまだ姿を見せていない。

Fig. 12 The First Symposium Proceedings

流れの可視化の技術並びにその応用については、すでに古くから広い分野にわたり研究されており、その手法や技術なども日進月歩の感があります。従って、本シンポジウムは、まずこれらの最新の技術に関してお互いに情報交換を活発にするための場を提供するものになりたい。また現在可視化の技術を利用している研究者は、ひとり工学系のみならず、理学系、医学系など多方面にわたっておりますが、このシンポジウムの機会を利用して、国内における研究者相互の親睦を深めたい。これら2つが本シンポジウムを計画した主な動機であります。

Fig. 13 Preface of the First Symposium Proceedings (Prof. Asanuma)

会議開催案内や議事録などもほとんど青焼きで、今昔の感に打たれる。この時、始めて国外から、イギリス・リーズ大学の B. W. Imrie 博士の参加があった。

また、このシンポジウムが母体となって、1981年に世界で初めての流れの可視化学会が誕生した。従来の流れの可視化シンポジウムを引き継ぎ、第9回流れの可視化シンポジウムとして開催された。国外からイギリス・サウサンプトン大学 Peter Davies 教授、台湾中正理工学院廖清照教授の参加があり、Davies 教授には“乱流のコヒーレント構造”という題で特別講演をしてもらった。

また、“乱流境界層構造の可視化研究”と題するイギリス・ケンブリッジ大学 M. R. Head 博士の、綺麗な 16 mm 映画が上映された。

流れの可視化学会が設立されたので、学会誌を年4回、1月、4月、7月、10月に発行することになり、創刊号が1981年4月に発行された。Fig. 14 に表紙を示す。なお、シンポジウム講演論文集を会誌特集号として、7月号を兼ねて全会員に配布することになった。

1982年はシンポジウムを初めて丁度10年になり、記念すべきシンポジウムなので、Semi-Internationalなシンポジウムにすべく準備を進め、海外から7編の論文が寄せられ、アメリカ・ミシガン大学 Wen-Jei Yang 教授、韓国慶北大学姜昌寿教授、パキスタン・ラホール工科大学 M. Ikram Khan 教授の参加もあり、大変盛況であった。

内容は注入トレーサ法が一番多く、43%を占め、次は電気制御法で19%となっている。なお、Computer-aided Visualization が盛んになってきたことも第10回シンポジウムの特色であった。

1982年初めての地方講演会（1999年より全国講演会

と改称）として長崎地方講演会が開催され、その論文集を増刊号として加え、爾後年5回発行とした。

1986年可視化学会設立5周年を記念して、学会誌の表紙が Fig. 15 のようにイメージチェンジされた。

1987年1月法人化推進特別委員会が設置され、運動が進められ、1990年2月1日付けで石橋一弥文部大臣より法人設立許可書を頂き、可視化情報学会が設立された。1990年4月号（Vol.10, No.37）から学会誌名が可視化情報に変わり、1991年4月号（Vol.11, No.41）より表紙全体のデザインが新しくなった（Fig. 16）。以来、この丸い模様の色を毎年変えて発行されている。

会誌は発刊以来1996年10月号（No.63）まで精機通信社で印刷していたが、1997年1月号（No.64）より、ニッセイエプロに変更し、大きさもB5版から1999年A4版に移り、2006年1月号でNo.100を数えることになる。

発表の手段として、1994年頃までは専らスライドが使われていたが、1996年頃からOHPに変わり、2001年頃からパワーポイントに移ってきた。

近年コンピュータ利用可視化法の発達、レーザ光線の利用の拡大と相まって可視化の領域も広がり、熱、音、電磁気、化学変化などの領域から可視化情報の処理にまで及んできた。特にPIVの発展は著しく2次元速度分布の定量的な測定から、3次元や過渡現象の計測にまで及び、学術面、実用面で大きな貢献をしている。

4.2 オンラインジャーナルの発行

2001年4月から毎月1回J-Stageを通してオンラインジャーナルとしてインターネット上で発行し、それを集めて印刷し、論文集会本として年2回出版している。

4.3 英文論文集

英文論文誌としてAtlas of Visualization I (1993), II

Fig. 14 Journal of the Flow Visualization Society of Japan, Vol. 1 No. 1

Fig. 15 Journal of the Flow Visualization Society of Japan, Vol. 6 No. 23

Fig. 16 Journal of the Visualization Society of Japan, Vol. 11 No. 41

Fig. 17 Journal of Visualization, Vol. 1 No. 1

(1996), III (1997) が刊行された。その後、英文論文誌 Journal of Visualization の定期刊行を企画、1998 年に Vol.1 No.1 をオーム社と IOS Press の協力を得て刊行した (Fig. 17)。本誌は可視化情報のカラー表現の重要性を考え、全ページフルカラー印刷である。Vol.6 No.1 より印刷を Hyosung (Korea) に移し、現在 Vol.8 に至っている。Vol.10 からの E-Journal 化に向けて検討が進んでいる。

4.4 国際会議

国際的なつながりとしては、1977 年に流れの可視化国際シンポジウム (ISFV) が東京で開催され、爾来世界を廻り 2004 年第 11 回シンポジウムがノートルダムで開催された。

流体の計測・制御と可視化に関する国際シンポジウム (FLUCOME) は 1985 年東京で開催され、爾来世界を廻り、2005 年第 8 回シンポジウムが成都で開催された。

中日流れの可視化シンポジウムが 1988 年北京において開催され、第 3 回からアジア可視化情報シンポジウム (ASV) に発展し、爾来アジアの主要な国々を廻り、2005 年チェンマイで開催された。いずれも 2 年毎の開催である。

このほか、PIV 国際ワークショップ (隔年)、光応用技術 VSP-SPIE 98 国際会議、4th World Congress on Industrial Tomography 2005、6th International Symposium on PIV などの国際会議が開かれている。

4.5 出版図書

1977 年に流れの可視化ハンドブックが 1986 年に新版流れの可視化ハンドブックと共に朝倉書店より出版された。可視化情報ライブラリー全 6 巻が 1993 年から 2004 年にかけて朝倉書店より出版された。また流れのファンタジーが 1986 年に講談社より、その英文版として Fantasy of Flow が 1993 年にオーム社・IOS Press より、PIV ハンドブックが 2002 年に森北出版(株)より出版された。

5. おわりに

以上可視化情報の長い歴史を考えてみた。歴史は長いけれども、積極的に利用されだしたのは 150 年くらいである。可視化情報学会は他の学会が縦の繋がりに対して横の繋がりが特長である。従って、その守備範囲も科学の発展と共にますます広がってきている。これから先益々発展することを信じてこの報告を終わる。

参考文献

- 1) 可視化情報学会編：流れの可視化 今・昔、可視化情報学会 (1993) pp.10-61.
- 2) 大島裕子：可視化情報学会 この 10 年の歩み、可視化情報、Vol.22, Suppl. No.2 (2002) pp.85-92.
- 3) Nakayama, Y. et al.: Jomon Pottery Observed from the Point of View of Fluid Mechanics, Journal of Visualization, Vol. 7, No.4 (2004) pp.349-356.
- 4) 中山泰喜他 4 名：流体力学から見た「火焰土器」、情報考古学、Vol.10, No.1 (2004) pp.1-8.
- 5) 可視化情報学会編：流れの可視化入門、可視化情報ライブラリー 1、朝倉書店 (1996) pp.1-26.
- 6) 流れの可視化学会編：流れのファンタジー、講談社 (1986) p.13.