

教材の動的視覚化

On the Dynamic Visualization of Teaching Materials

動視化技術研究所

浪平博人

< 抄録 >

意味の伝達を目的に論理的内容の教育（たとえば数学、工学等）を対象として、内容の核心部分の意味をコンピュータで視覚化し、論理の展開に従ってこれを視覚的に逐次追っていく（すなわち、動的に視覚化する）教育方法論を開発した。この方法により指導者は生徒に教える内容の核心を視覚的に着実に伝えることができる。その後、学習者自身による問題の自発的な設定から始まり解に向かっている方法が提供する視覚的な経過および途中での応答等により、学ぶものの興味を引き出す臨場感のある教育が可能となる。オンライン教育が抱える問題をかなり解決するであろう。具体的なコンテンツとしては、小学校の算数、中学・高校の数学のすべての領域、大学で扱う数学のほぼすべての領域および管理工学やコンピュータアルゴリズム等はずでに作成し、大学で活用し大きな成果を得た。

<キーワード>論理的内容の教育、動的視覚化、興味を引き出す教育、オンライン教育

1 はじめに

視覚化された情報は、他の手段に比べて情報量が非常に多いことは周知の事実である。百聞は一見にしかずともいう。しかもこれに動きを加えれば、要素個別の動的な状態の変化のみならず、要素間の相互作用・因果関係等をも感覚的に非常に納得できる形で伝えることができる。この統合された情報において学習者個々の視点から解釈されたものが個人にとっての意味であり、人はこの自分にとっての意味については自然に興味を持つのである。

ITの発展は人の処理能力をはるかに超えるものになり、脅威に近い。ITは人のこれまでの常識である時と所および速度に関する制限を取り払ってしまった。同じ時間に同じ場所に集まらなくても、情報が劣化することなく交換できる。ITの計算速度を使えば、人が手で行う事柄のケタ外れの量および質が準備できる。しかしながら、教育におけるITの活用はとて十分ではない。

本稿はITを活用して、教育において意味の伝達に重点を置く新しい教育方法論について述べるものである。

2 論理の動的視覚化について

ある論理的な内容(例えば数学)の教育を考える。論理とは、何者かを動かす駆動則と考えることができる。そして、対象となる何者とは、一般に状態として概念化することができる。すなわち、論理とは初期状態を最終状態に変えていく駆動則と捉えることができる。

ある任意の状態の表現を、その論理の意味がもっともよく分かるように要素を選び構成し、それをコンピュータ画面上に視覚化したとする。論理は与えられた状態を駆動して次々と状態を変えていく。状態が変化していく都度、その状態をコンピュータ画面上に視覚化する。これを動的視覚化と呼ぼう。状態の動的視覚化を適切に行えば、含まれる要素間の時間的・空間的な変化、因果の系列、相互関連等が連続的に一望の内に画面上に現れる。すなわち、われわれは論理の総合的な意味を、その動的視覚化により視覚的に悟性を通してほぼ瞬時に理解することができる。

具体例をあげよう。小学高学年での“比”についての勉強がある。そのなかで、縦横がある比で構成されている図形が、比が変われば図形の形・印象がどのように変わるかを示す場面がある。これを、次のように動的に

視覚化した。すなわち、図形を魚としてこの座標を規格化しておき、比を構成する別の箱を準備し、箱の縦横の比は自由に変えられるようにしておく。図形は、箱の変化に応じてその中に投影される。図1は、原型の縦横比を連続的に変えたときの図である。

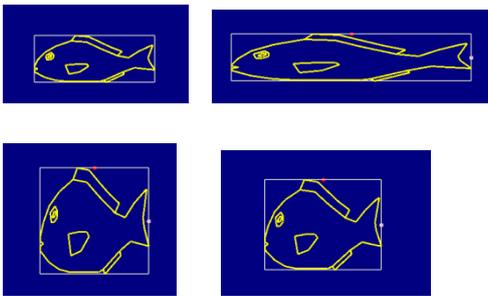


図1 比の変化による図形の変化

図2は、元の図の厳密な比例ではないが、前から後ろへ比が連続的に変わった場合の図の変化を示すものである。

枠である箱の変形は連続的にできるので、この操作を通して外枠の変化とともにいろいろな型の魚が一つの原型から発生することを示すことができる。これにより、原型というものの概念、およびいろいろな形が比の変化という共通の操作を通して発生するという概念を学生に伝えることができる。

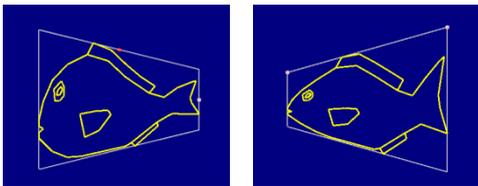


図2 比の変化が連続の場合

3. IOTの発展

IOTの近年のおよびこれからも速度を高めつつ続くであろう能力向上がある。これがもたらすものは、人しかできないと信じられていた判断の自動化であり、加えて人にとっては当然であった時と所の制約の除去である。これによりすべての人間の社会行動が影響を受けるであろう。教育界においても然りである。

遠く離れていても直接対面しているのと変わりなく、画面を通して情報を授受できる。また、同じことを一斉に伝えるのではなく、人に合わせて対応を見ながら内容を変えていくことも可能である。

社会の進歩は急に早くなり常時迅速な再教育が望まれる時代となるが、IOTによりこれが可能となる。

4. 動的視覚化の注意点

動的視覚化とは、論理的内容を対象とするIOTの活用を中心に置く新しい教育方法論である。動的視覚化法では論理的内容の展開を状態の推移とみて、論理とはその状態を駆動するもの、すなわち、初期状態を最終状態に変えていく駆動則と捉える。状態が変化していく都度、その状態をコンピュータ画面上に視覚化する。

その動的視覚化が有効に働くためにはいくつかの点に注意しなければならないことを指摘しておこう。

第1に、作ったソフトが有効に活用されるためには、入力が簡明であることが肝要である。そのためには、入力は1回のクリックでできるだけアナログ的に画面から指示できることが望ましい。数値をキーボードから入れるのは避けるべきである。また、すべての入力には、それを入れ忘れた場合に備えて、デフォルト値を背後に準備しておくことが望ましい。

第2に指摘しておきたいことは、意図する状態に合わせたデータの発生技術の開発が必要なことである。たとえば、統計の相関についてその内容を伝える場面を想定しよう。通常の統計のテキストでは、初めにデータが与えられたとしてそれからその相関係数を算出する手順が述べられている。ところが、視覚的に相関の内容を伝えたいときには、人が思い浮かぶのは相関係数なのである。そこで、この視覚化においては、まず相関係数を指定してこれに合わせてデータを発生させてこれを示すという流れになる。

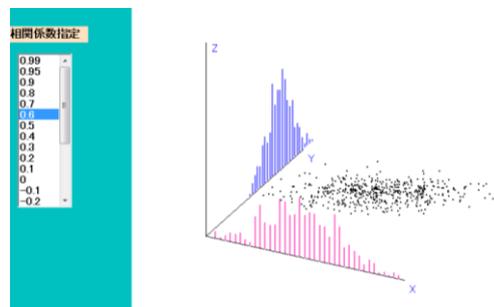


図3 相関係数0.6のデータ表示

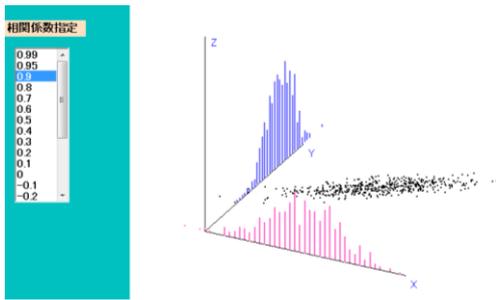


図4 相関係数0.9のデータ表示

すなわち、従来と逆のプロセスである。このような技術の開発の必要性が、多くの場面で潜んでいることが指摘できる。

第1と第2の2つの要件を満たしてはじめて、内容の展開に都合のよい初期状態を、任意にかつ自然な形で発生させることができるようになる。そしてこのことは、ソフトの使い勝手の良さの維持に欠かせない事柄である。

第3の指摘として、物事を分かりやすく伝えるとは、その経過を連続的に示すことであることを強調しておこう。与えられた初期状態に論理の駆動則を働かせた最終結果としての状態をいきなり示すのでは、論理の自然な理解には飛躍が大きすぎるのである。

例として、小学校4年生算数で3角形の内角の和が180度であることを教えるいくつかの方法の中で、3つの角を切り取って直接合せることにより示す方法の動的視覚化を示そう。

図5の(2)は左端の角を右端に連続的に移動している途中の図である。(3)は移動し終わった状態である。

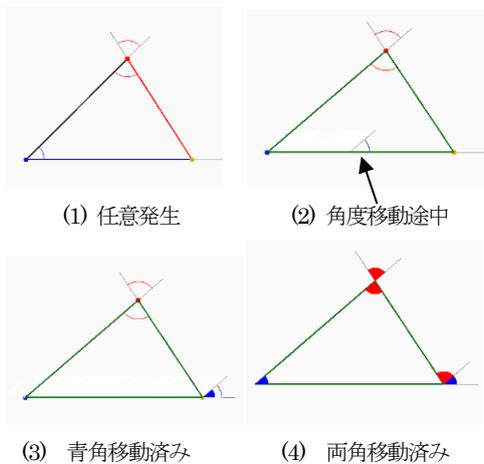


図5 角の移動の視覚化

(4)は同様に両端の角を移動し終わったときの図である。これ

らの角の移動は連続的であるので、角を集めた結果が180度になることは極めて自然に納得できる。結果に至るすべての変化のプロセスを視覚的に連続的に丁寧に示してこそ、学習者は深い理解に至る。そして、これこそITを活用した新しい教育方法論のエッセンスとなるのである。

第4の指摘として、扱う論理の背後に隠れていて通常は意識されない事柄を明示的に表現し、説明したい内容を印象的に浮き上がらせることである。例として、中学校数学で“2点を結ぶ最短は直線”の動的視覚化について述べよう。

2点の最短が直線とは、当然ながら2点を結ぶ最短でない曲線がいくらでもあることを背後に含んでおり、これをまず示す。その後、最短が直線であることを示す。これにより、最短の意味が直観的に理解される。

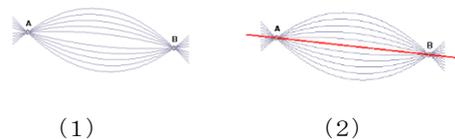


図6 直線の意味の視覚化

図6の(1)は、任意の2点が与えられたときそれを結ぶ曲線はいくらでもあることを示す図である。(2)は、最短は直線であることを示しその意味の直観的な理解を翁長宇ものである。

第5の指摘として、シミュレーションの有効性をあげておこう。クリック一つでいろいろな条件での論理の展開を連続的に視覚的に追うことができれば、深い理解に役立つ。例として、高等学校数学の軌跡の動的視覚化をあげておく。

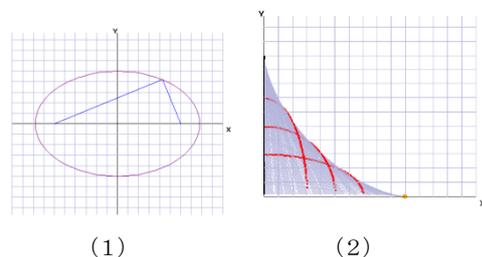


図7 シミュレーションの動的視覚化

図7の(1)は、楕円のシミュレーションである。(2)は、垂直にたてた棒の床の点が床に沿って動くときの棒上の点の軌跡のシミュレーションである。

5. 動的視覚化コンテンツ例

現在、小学校の算数、中学・高校の数学、大学における統計・確率・線形代数・複素関数・管理工学・アルゴリズム等の分野はほぼ完全に視覚化を終えている。統計やアルゴリズムあるいは管理工学のコンテンツは大学において既に活用し、非常に効果を挙げている。基礎力が必ずしも十分でない学習者に対して、まずこれから学ぶ内容を視覚的に示して授業の初めに全体的な意味を俯瞰的に把握させている。これによって、学ぶ側と教える側との間に教育空間とでもいうべき意味を共有する場が出来上がる。その後、続く詳細な展開については、学ぶ側は説明のそれぞれが全体の中のどのような意味を構成しているかが分かり、理解が容易となる。

以下、コンテンツのいくつかの例を示そう。次のものは、中学1年の立体の作成および展開図の学習例を動的視覚化したものである。どの局面でも、条件を自由に指定でき、システムはただちに応答する。

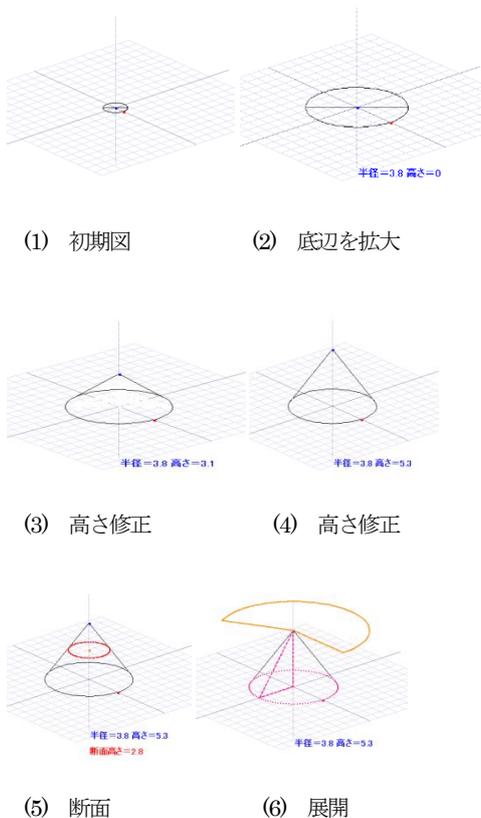


図8 立体展開図

図8は、円錐の展開図である。(1)は初期画面で底辺に基本の円が描かれている。(2)は、基本となる底円を任意の径に引き延ばしたものである。(3)は、高さを任意に操作する途中の図である。(4)は、高さを決めた図である。(5)は、任意の高さの断面を表示したものである。(6)は、断面の展開図である。

次のものは、小学校5年での円周率の出し方を動的に視覚化したものである。

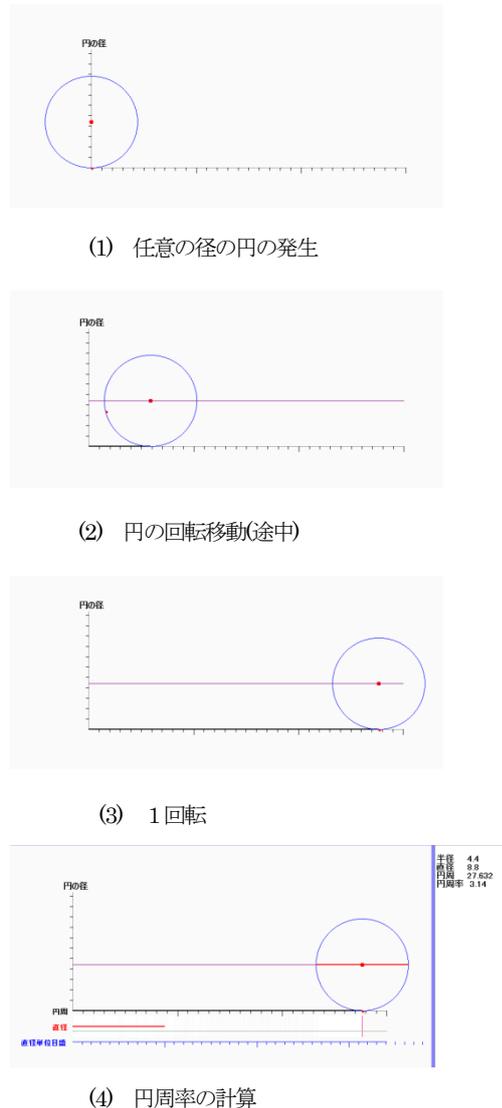


図9 円周率説明

図9の(1)は、任意の径の円の発生である。(2)は、その円を1回転させる途中の図である。(3)は、1回転した結果の図である。(4)は、1回転した長さが直径の何倍であるかを測る場面

の図である。この計測の結果が常に同じ値(3.14)であることを確かめることができる。

図10は、高校数学における2次曲線の断面と3次元空間での交線角度の視覚化の例である。

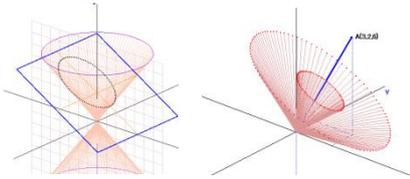


図10 立体表示

図11は、線形代数における2次形式の視覚化例である。

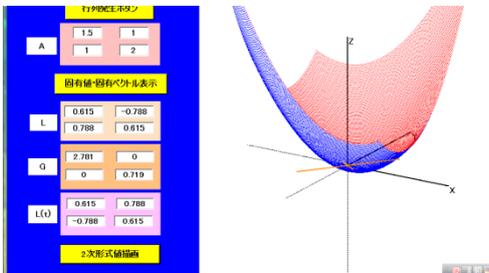
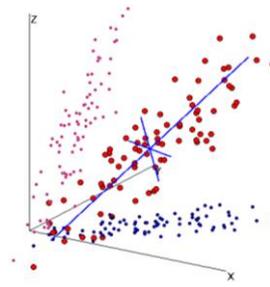


図11 2次形式の視覚化

図12は、多変量解析の代表的な手法である主成分分析の視覚化例である。



(2) 主成分の意味表示

図12 主成分分析の視覚化

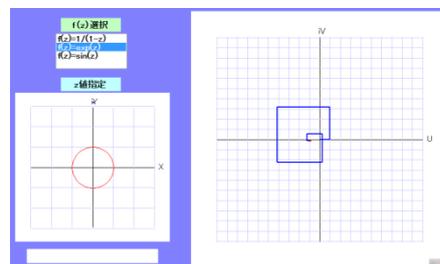
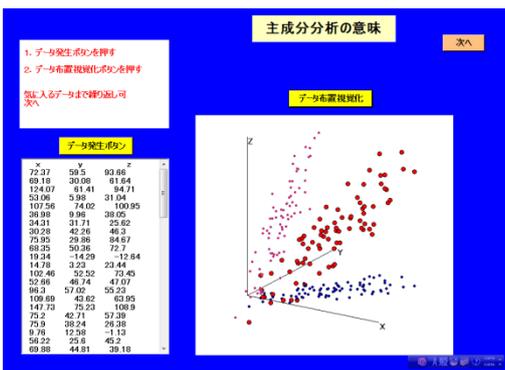


図13 複素テーラー展開

図13は、複素関数論におけるテーラー展開の視覚化である。数値例として、 $e^{i\pi} = -1$ が視覚化されている。

図14は、確率過程論における制限付きブラウン過程の視覚化である。



(1) 入力データ表示

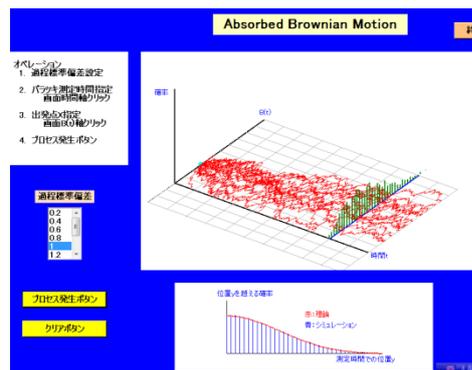


図14 ウィーナープロセスの視覚化

図15は、確率論における分岐過程の様子を視覚化したものである。

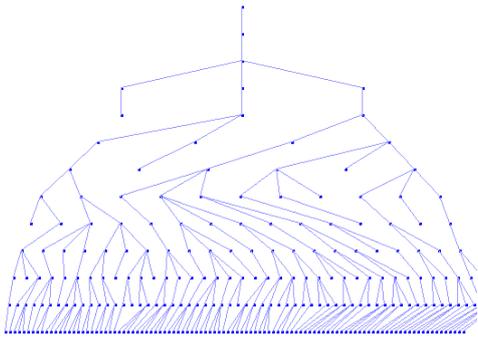


図 15 分岐過程の視覚化

6 まとめと考察

IOTは我々の社会常識である時と所の制限を取り払った。これによる教育環境の激変に伴い新しい IOT の機能を活用した臨場感のある授業の構築が必要である。それを支える新しいプログラミング技術として、論理の進展過程の任意の時点での応答を表現する動的視覚化技術を創り出しその具体的コンテンツをいくつか示した。加えて、動的視覚化を行うときの要点を5つに分けて示した。

一般的に、教育技術は属人的なものである。ある人が構築した教育技術を他の人に伝え根付かしていくのは難しい。しかしながら本稿で提案する技術では、いろいろな教育技術を誰でも使えるシステムとして形に組み込んで後世に残していける。この教育技術が継承可能になるという点は、非常に大きな意味をもつものであることを指摘しておきたい。

参考文献

1. 浪平博人、動的視覚化法：論理的内容の教育における新しい技法、パーソナルコンピュータユーザ利用技術協会、Vol.16 No.2 2005
2. 浪平博人、動的視覚化による統計学入門、日科技連、2005.2.25

参考資料

次に掲げるのは、開発した動的視覚化コンテンツの一部についてその操作を Youtube に流したものである。

小学3年 隠れ図 <https://youtu.be/xPYZxrUEmiw>

小学5年 円と面積

<https://www.youtube.com/watch?v=XEA1ubJ5PD0&t=29s>

小学6年 立体

<https://www.youtube.com/watch?v=-czHrAg4Tb4>

中学2年 平面図 直線

<https://www.youtube.com/watch?v=gtzMa80Fqhl>

高校 2次式

<https://www.youtube.com/watch?v=9cCr39IYU8Q>

ウィーナー過程

<https://www.youtube.com/watch?v=HKncjJ3bCIE&t=9s>

再帰2分木

<https://youtu.be/QuEC5Anv8tl>