

機関番号：32508

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500100

研究課題名（和文） 情報の基礎概念および処理過程の教材向け可視化の研究

研究課題名（英文） Visualization of Concepts and Procedures of Informatics
for Study Texts

研究代表者

川合 慧 (KAWAI SATORU)

放送大学・教養学部・教授

研究者番号：50011664

研究成果の概要（和文）：

情報に関する諸概念は本来抽象的なものであり、その基礎概念及び処理過程の理解のためには適切な可視化のプロセスを必要とする。本研究では各所各処理で長年断片的に行なわれてきている可視化の処理を、総合的な枠組みを設定することによって理解し、その基本系とでも呼べるもののいくつかを明らかにした。具体的な柱は2つである。その一つは、抽象概念を可視化する枠組みの確立であり、研究代表者の長年の研究成果を発展的に応用したものである。もう一つは、情報処理過程の動的可視化の分野における表示手法の確立である。

研究成果の概要（英文）：

Various concepts in the field of informatics are intrinsically abstract, which require some explicit visualization process in order for the learners to understand them. This research aims to set up an integrated framework of visualization for understanding informatics process. The two positive results of this research are, (1) the establishing a framework of visualization processes for abstract objects and relations, which is an extended research of my work, (2) the development of the visualization method for dynamic processing situations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：知的エージェント，可視化

1. 研究開始当初の背景

情報は本来抽象的な概念であり、その表現が具体物として現れる。したがって、ある概念や処理過程を説明する場合にも、通常自然科学のように具体的な現象の例示等によ

って説明することができず、何らかのメタファーを用いる説明が必要となる。たとえば、自然科学の学習における『実験』は、さまざまな条件設定に応じた様々な反応を実際に体験することによって、その現象を理解する

ために行われる。これに対して情報における『実験』は、自ら作成したシステムが、さまざまに設定した条件のもとでどのように振る舞うかを観察し、そのシステムが所定の機能を実現できているかどうかを検証するために行われる。後者の『実験』の理解のためには、情報概念の可視化が必須である。ところがこのための可視化の手法はほとんど確立されておらず、静止図、動画ともに、同じ概念の説明でも説明者によってやりかたが千差万別であり、しかも多くの例は非常に分かりにくい。

一般に、説明のための図については、その実用的な重要性から、多くの研究がなされてきている。たとえば、単純なグラフ、関連図、関係図、変化図などを集めた資料集的なものは数多く存在するし、その一部は表計算などのソフトウェアに取り入れられたりしている。しかしながら、これらを可視化過程としてとらえ、より大きな枠組みから整理・分析を行なった研究はほとんどない。研究代表者は以前にこの方向を目指す研究（参考文献参照）を行なったが、実際に多く利用されている図との関連づけの研究は未着手であった。

2. 研究の目的

本研究では理解のしやすさを基準として汎用的な可視化の枠組みを確立することをその目的としている。対象とする可視化は大きく分けて、静止的なもの（図）と動的なもの（アニメーション）に分けられる。静止的なものについては、可視化すべき概念の構造に着目した研究をこれまでも行ってきた。その大筋は、概念の構造と図の構造との間の写像と、その写像の記述方法の提案であった。本研究ではその取扱い対象の拡大を目的とした。動的なものについては、これまでもアルゴリズムアニメーションという形で研究されてきたが、単なる変数値の可視化（大きさや色による）と、配列要素としての並びの可視化に終わっているものが多い。

本研究では、アルゴリズムアニメーションを、アルゴリズムの中核となる概念、たとえばループ不変量の可視化を中心として構成する手法を迫及する。ループ不変量や各種の同値関係は、変数値よりも一段高階の概念であるが、これらを可視化することにより、アルゴリズムの理解が劇的に容易になることが期待された。

本研究の成果は、短期的には情報関連の教育に用いる教材、とくに動画を多用する講義に適用できる。「見せ方」にかける労力は非

常に大きいので、本研究の成果によって、教材製作負担の軽減と内容自体の高水準化に寄与できる。本研究の長期的な意義は、「見せ方」の高水準化による教育方法自体の改善・高度化に資することができる点である。

3. 研究の方法

本研究では、可視化全般の調査、アルゴリズムアニメーションの調査、組み込み可視化系に関する調査、抽象データ可視化の枠組みの再検討、教材における説明図や動画の調査、そして可視化プロトタイプの実験とその検討、という6項目を並行的に取り扱った。

(1) 可視化に関する調査

可視化研究は歴史的には説明図作成の必要性から始められた。物理的な形状を可視化するのとは違い、抽象的な事物を可視化する場合はその自由度が大きすぎて最適なものを選択あるいは考案することが難しい。そこで可視化系をいくつかの要素に分割して、それぞれについての理論的考察を行なうのが可視化研究である。説明図のパターン等についてはいくつかの研究があり、実際に応用されているものもある。研究代表者も以前同種の研究を行なったが、ここではまず、これらの可視化研究をレビューし、それらが扱っている要素を精査することによって、可視化の基本とでも呼べるものを明らかにする。

(2) アルゴリズムアニメーションに関する調査

情報処理では様々なアルゴリズムが使用されるが、その働きを理解させる説明図の作成は困難を極める。その主な理由は、そのアルゴリズムを既に知っている作成者が、知らない人がもつメンタルモデルを良く理解していないことである。この、モデルギャップとでも呼べる差を埋める手段としてアニメーション（動画）があり、古くからアルゴリズムアニメーションとして一研究分野となっている。本研究ではまずこの分野の先行研究を調査し、アドホックな手法ではないものについてその内容を明らかにする。次にそれらを統一的に比較検討することによって、アルゴリズムを対象とした場合に必要なアニメーションの基本要素を洗い出す。

(3) 組み込み可視化系に関する調査

一般にシステム開発のために使用されるソフトウェアでは、やる内容が定型的なものではないので、開発中のシステムの状態を使

用者がよく把握しておく必要がある。そのために、様々な図式や可視化サブシステムが開発されてきた。古くは流れ図に始まり、ブロックダイアグラム、システム関連図、プログラムチャートといった、いわゆるソフトウェア工学的な手法がその一例である。また、複雑な構造をもつデータの変化の様子を時々刻々図示したり、データベースの内容を要約した図を作成することもある。

これらのサブシステムは、システム開発という限定した場面ではあるが、説明のための可視化という本研究の内容と密接に関係した処理を行なっている。ここでは、実際にこれらのサブシステムを含む開発システムを実際に使用することによって、その可視化方法を調査する。

(4) 抽象データ可視化の枠組の再検討

研究代表者が先に行なった可視化研究(参考文献参照)では、抽象データの可視化過程を、抽象データの要素と可視化図形の要素、および抽象データ要素の間の関係と可視化図形間の関係の、それぞれの対応関係としてとらえ、それらを指定する一種の言語を開発した。この研究は一定の成果を上げることができたが、言語の記述水準が低いことと、より高度な言語要素、たとえば反復等への対応が不十分であること、などの問題点は残していた。

本研究では、“要素の対応と要素関係の対応”という前研究の枠組そのものを見直すとともに、一般的なプログラム言語の機能の取り入れの可能性について検討する。

(5) 教材における説明図や動画の調査

教材における説明図についての組織的かつ系統的な調査・研究はほとんどされていない。研究代表者は放送大学所属であり、計画的に多数の放送授業を調査することが可能である。この調査を精密に行なう。

(6) 可視化プロトタイプ作成の検討

前項までの調査と分析とを基にして、教材に的を絞った可視化システムのプロトタイプ作成に向けての検討を行なう。そのためには、教材に求められる“学習者のモデル”も考えに入れた枠組が必要であり、プロトタイプ向けの枠組の策定が必要となる。

4. 研究成果

(1) 可視化に関する調査

主に説明図のパターン等を扱う研究

について、それらを抽象的な事物の可視化システムとしてレビューし、可視化の基本系とでも呼べるものを構成する見通しを明確にできた。その要点は、プログラム言語さらには抽象的な数学で伝統的に用いられている数学構造の再確認である。集合、関係、順序集合、階層的構造、といった抽象概念は、プログラム言語の中に必然的に具現されている。プログラムの作成に当たっては、これらの構造が陽にあるいは陰に意識されているので、それを頼りとした可視化が結果としてプログラムの理解に有用であることが明らかとなった訳である。この際重要となる人間の認知に関わる事項については、その範囲が極めて広いため、さらなる調査・研究を必要とする段階まで留まった。今後の課題として重要な項目である。

(2) アルゴリズムアニメーションに関する調査・研究

研究分野としての研究分野としてのアルゴリズムアニメーションの先行研究についての調査から、アニメーションが実際のプログラムの動き(手続き的表現)に則しているものが多く、アルゴリズムの本質(意味的表現)を表現することが非常に難しいことが明らかとなった。

この点について、実際に放送大学の番組制作の中で、再帰(recursion)の説明図を動的かつ再帰的に構成する実験を行った。これについては一応の評価を行ったが、厳密な対照実験等をおこなう時間的余裕がなく、研究としては未完の項目として終わっている。

(3) 組み込み可視化系に関する調査

各種のシステム開発の支援系で使われている可視化サブシステムの調査によって、特定の構成要素の可視化については、ウインドシステムなどのOSの機能の利用が有用であることが明らかとなった。ただし、一概念一ウインドウといったナイーブな利用法では、概念理解にとって助けにならないばかりか、かえって理解の妨げになる場合も多いことを明らかとした。この成果は具体的な方向性を示すところまでは到達していないが、今後の研究によって、OS自体のインタフェース研究に寄与する可能性を秘めているものと信じられる。

(4) 抽象データ可視化の枠組の再検討

研究代表者の先行研究では、抽象データの要素と可視化図形の要素、および抽象データ要素間の関係と可視化図形間の関係の、それぞれの対応関係を記述する言語の機能の貧弱さが弱点として包含されていた。この点、すなわち言語の記述水準の低さを改善するために、主に反復に機能の実現を目標とした。

反復については、固定回反復というもっとも原始的かつ単純な反復については一応の実現を見たが、それでも「ある図形構造を10個並べたものを別の図形（拘束図形）の中にぴったりと収める」といった比較的単純な可視化の実現に困難さが存在することが明らかとなった。

“要素の対応と要素関係の対応”という前研究の枠組そのものの見直しが必要であることを明らかとしたことで、前研究の限界を明確にした。これも本研究の一つの成果といえる。

(5) 教材における説明図や動画の調査

研究代表者が所属している放送大学では極めて多数のテキスト（印刷教材）が作成されており、その系統的な分析によってさまざまな事項が明らかにできる可能性がある。本研究でもこれに着手したが、分析の軸が極めて多様であり、可視化という観点からの主要軸を明らかとする段階には至らなかった。今後の研究課題である。

(6) 可視化プロトタイプ作成の検討

このプロトタイプは前項までの調査・研究項目の遂行の上に実現されるものであったが、これまでに述べたとおり当初の目標を「プロトタイプ実現レベル」まで達成した項目が少なかったため、統合的なシステムの実現は断念し、各項目の分析と検討に注力した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

金子知適, 田中哲朗, 山口和紀, 川合慧 : 新規節点で固定深さの探索を行うdf-pnの拡張, 情報処理学会論文誌Vol. 51, No. 11, pp. 2040-2047, 査読有, 2010.

川合慧: 生涯教育を視野に入れた情報教育, メディア教育研究, Vol. 6, 査読有, 2010.

秋光淳生 : 放送大学における遠隔研究指導, メディア教育研究, Vol. 7, pp. 19-27, 査読有, 2010.

〔学会発表〕（計0件）

〔図書〕（計2件）

1. 川合慧 : 情報の世界, 放送大学教育振興会, pp. 233, 2010.
2. 秋光淳生・川合慧 : 情報ネットワークとセキュリティ, 放送大学教育振興会, pp. 235, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合慧 (KAWAI SATORU)
放送大学・教養学部・教授
研究者番号 : 50011664

(2) 研究分担者

秋光淳生 (AKIMITSU TOSHIO)
放送大学・教養学部・准教授
研究者番号 : 60334348

参考文献

- [1] Kamada, T., Kawai, S. : A Simple Method for Computing General Position in Displaying Three-Dimensional Objects, *Computer Vision Graphics and Image Processing*, Vol.41, No.1, 1988, pp.43-56.
- [2] Kamada, T., Kawai, S. : Advanced Graphics for Visualization of Shielding Relations, *Computer Vision Graphics and Image Processing*, Vol.43, No.3, 1988, pp.249-312.
- [3] Kamada, T., Kawai, S. : An Algorithms for Drawing General Undirected Graphs, *Information Processing Letters*, Vol.31, No.1, 1989, pp.7-15.
- [4] Kamada, T., Kawai, S. : A General

Framework for Visualizing Abstract
Objects and Relations, *ACM Trans. Graphics*
Vol.10, No.1, 1991, pp.1-39.

[5] Sakai, E., Yamaguchi, K., Kawai, S. :
Visualization Model of Hierarchical Sets
Based on Perception Distance (p-Distance)
of Graphical Objects, *Proc. COMPUGRAPHICS*
'97, 1997, pp.397-407.

以上