JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	コンセプトマップとその融合に関する研究
Author(s)	篠原，明日美
Citation	
Issue Date	2001-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/709
Rights	
Description	Supervisor:國藤 進，知識科学研究科，修士

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修 士 論 文

コンセプトマップとその融合に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

篠原 明日美

年 月

○

修 士 論 文

コンセプトマップとその融合に関する研究

指導教官　國藤 進 教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

篠原 明日美

審査委員　國藤 進 教授 主査
國藤 進 教授
藤波 努 助教授
西本 一志 助教授

年 月

○

要旨

本論文では、コンセプトマップの作成を支援し、複数のコンセプトマップの融合を自動的に行うシステムの研究について述べる。

目 次

目次

序論

本研究の動機と目的 . . . .

融合することによる効果 . . . .

本論文の構成 . . . .

コンセプトマップの作成と融合

コンセプトマップの作成 . . . .

コンセプトマップの融合 . . . .

天体の動き . . . .

銀河のモデル . . . .

二体問題 . . . .

制限三体問題 . . . .

回転系での運動方程式 . . . .

無次元化 . . . .

微分方程式の解法 . . . .

コンセプトマップと力学系の対応 . . . .

実験システムの構築

実験システムの構成 . . . .

実験システムの実行プロセス . . . .

コンセプトマップの作成 . . . .

融合コンセプトマップの作成 . . . .

評価実験

要素技術レベルの評価 . . . .

評価・考察 . . . .

思考レベルの評価 . . . .
評価実験１ . . . .
評価実験２ . . . .
全体の評価・考察 . . . .

関連研究との比較

結論

本研究の成果 . . . .
今後の課題について . . . .

謝辞

参考文献

図目次

コンセプトマップの例 . . . .

円板銀河のモデル . . . .
二つの座標系 . . . .

実験システムの構成 . . . .
始めの状態 . . . .
関連度の表示 . . . .
コンセプト間の関係の表示 . . . .
具体的な関係の表示 . . . .
コンセプトマップ . . . .
図 と図 の融合結果 . . . .
図 と図 の融合結果 . . . .

実験結果 . . . .
コンセプトマップによる分類 . . . .
「光について」被験者 のコンセプトマップ . . . .
「光について」被験者 のコンセプトマップ . . . .
融合コンセプトマップ（） . . . .
融合コンセプトマップ（） . . . .
融合コンセプトマップ（） . . . .
融合コンセプトマップ（） . . . .

表目次

オイラー法による計算 . . . .

被験者のコンセプトマッピングの経験度 . . . .
コンセプトマップに現れた単語数 . . . .
被験者のコンセプトマッピングの経験度 . . . .
コンセプトマップに現れた単語数 . . . .

第 章

序論

本論文では、個人の持っている情報の整理や個々人の持つ情報の比較をコンピュータで支援する研究について述べる。本研究では、まず、個人の持つ情報を視覚的に表現し整理するための手法を考察し、学校教育などで使用されている　　　　コンセプトマッピング（概念地図作り）を採用した。さらにそれらを融合して個人の思考空間を比較することを提案し、実験システムを構築した。

本章では、研究の背景と目的を明確にする。背景としてコンセプトマップの有用性について述べ、次にコンセプトマップを融合することによる効果について考察し、本研究の目的とアプローチを示す。

本研究の動機と目的

本研究の目的は個人の考え方を視覚的に表現し、それを用いて個々人の思考空間を比較することにある。

情報を抽象化する能力や親しみやすさといった図の特徴を利用し、情報に対する人間の理解をより早く深くするために、コンピュータによる情報視覚化（ ）の研究が数多く行われている 。また、文章やプレゼンテーションにおいて相手の理解を容易にするために頻繁に図解が用いられる 。

明確な形のない情報を表現するために様々な方法が用いられているが、本研究では、教育などの分野で発展し、近年ではナレッジマネジメントなどの分野でも注目されている、コンセプトマッピングを用いる。

一般に、知識に関する概念のコンセプトマップは、以下のようにに分類される 。

- （手順・手続き的概念）
- （過程・経緯の概念）
- （構造・構成・状態の概念）
- （分類・比較の概念）

図 コンセプトマップの例。

- （原則・定義・法則・方策などの陳述的概念）
- （事実）

ある概念を構成する要素概念、或いは下位概念の相互間の関係構造をその特性にかなった意味のある図表的な方法で表現したものがコンセプトマップである。そのコンセプトマップの要素概念の関係を構造的に図表化して表現する方法としては、要素間を結ぶ連結表現、複数の要素を部分的に集合化またはグルーピングした領域表現、および要素を対比して表した配列などが代表的である 。 が提案したのはある概念に関連する言葉を幾つか選び出し、配置し、線で結び、線の横にその言葉同士の関連を書きこんでゆくという、最も単純な方法といえる、連結表現である。

現在、様々な場面で用いられるコンセプトマップには種々の表現方法があり、使用目的や用途によって使い分けることが大切である。コンセプトマップとよく似た手法として、 によるマインドマップがある。マインドマップでは、イラストなどを用いて、直感的に判りやすく表現する。本研究では、マインドマップなどの手法も取り入れ、学習の支援だけでなく、発想支援や思考支援などに用いることができるようにしていきたいと考えている。（図 ）

このようなグラフなどの図解を用いるメリットとしては、以下のようなことが考えられる。

- 全体が人目で見渡せる。
- 相互の関係が明瞭。
- 直感的に理解しやすい。

このようなメリットと、コンセプトマップの特性として、作成した個人の考え方がコンセプトマップに

反映されることを考慮すると、コンセプトマップをコミュニケーションの手段として用いられることが考えられる。

融合することによる効果

コンセプトマップにおいては、作成者個人の考えや経験などがその作成過程を大きく左右すると考えられる。したがって、同じメインコンセプトからコンセプトマップを作成したり、同じテーマについてコンセプトマップを作成しても、個々人によって、まったく違ったコンセプトマップが出来上がることが予想される。

本研究では、そのようにして出来上がったコンセプトマップによって、個人の思考空間を可視化し、それを融合することで、個々人の思考空間を比較することを考えている。本研究の応用としては、あるグループで共通のテーマについて話し合わなくてはいけないとき、メンバーそれぞれの思考空間を可視化し、それを融合することでグループ内での共通の認識を得たり、協調作業を支援することなどが考えられる。また、個人の視点の中に他者の視点を取り入れることで、一人では気づかなかった事柄にも視線が向くように仕向けることができるのではないかと考えている。

本論文の構成

本論文は本章も含め、６章から構成される。

第２章では、本研究で採用したコンセプトマップとその融合の際に用いた計算について説明する。

第３章では、その方法論に基づいて実装した実験システムについて述べ、システムの特徴などを述べる。

第４章では、本システムの評価を行い、本システムの効果について考察する。

第５章では、類似する研究との比較を行い、本研究の位置付けを明確にする。

最後に、本論文の結果と課題を第６章で述べる。

第 章

コンセプトマップの作成と融合

本研究では、個人の持つ情報を視覚的に表現する方法としてコンセプトマップを用いる。

コンセプトマップを用いる研究は、教育の分野で学習者の理解を深めるために行われてきた 。それらの多くは主にコンセプトマップの作成を支援するものではなく、コンセプトマップを用いることで、学習者にどのような効果があるのかを検証するものである。本研究では、コンセプトマップが個人の考えを表現するのに適した方法であることに注目し、複数のコンセプトマップを融合することで、さらに有用な情報を得ることを試みる。

本章では、まず本研究での情報の表現方法として用いているコンセプトマップについて述べる。次に、複数のコンセプトマップを融合するために用いた、銀河のモデルについて述べる。

コンセプトマップの作成

コンセプトマップは、 年代に によって提案され、「理解の本質は関連付けである」ということを前提に主に教育の分野で開発されてきた 。教育の分野では、コンセプトマップの活用には次の二つの側面がある 。

- 教師の教材分析や授業の設計力などを高め、指導力を向上させるための活用
- 生徒の構造的思考を活性化し、学習内容の理解を深めさせるための活用

対象とする問題にどのような概念があり、それらがどのように関連しあい、どのような情報を持つのかを表したのが、コンセプトマップである。コンセプトマップを描くことで、以下のようなことが明らかになる。

- いま問題としているものがどのような概念から構成されていて
- それらがどのように関係するのか

つまり、コンセプトマッピングによって問題の概念的な構造を視覚化し、概念間の関係に注意を払うように差し向けることによって、自分がどのような知識を持っていたのか再認識させることができる。

コンセプトマッピングは、あるテーマ（メインコンセプト）に関して自分の持っている情報をコンセプトとして表現し、そのコンセプト間の関係に基づいて構造化を行うことで思考を整理する手法である。

コンセプトマップを作成するには前述したように様々な方法があるが、多くは以下のような方法で作成される。

- カード、紙、鉛筆、色ペン、チョーク、ホワイトボードなどを用いる。
- まずはじめに、注目している単語（メインコンセプト）を決めて、紙やホワイトボードの中心に置く。
- 次に、そのメインコンセプトに関連する単語（コンセプト）を線で結んで書いてゆく。
- コンセプトとコンセプトの関係を線の上に書く。

このようなプロセスを通じて思考を整理することで、コンセプトマップは例えば以下のような有用性を持つ。

- 既に持っている知識の間のつながりを理解する。
- 新しい知識を既に持っている知識と結びつけることで、知識を構造化するのを支援する。
- 作られたコンセプトマップは堅い構造ではないので、将来的に新しい知識を組み込むことができる。
- 知識が視覚的に表現されているので、一瞥しただけでそれらの知識を再確認することができる。

本研究では、コンセプトマッピングにより個人の思考が整理されることを期待すると共に、個人の思考がコンセプトマップに表現されることを期待している。コンセプトマッピングのプロセスでは、個人の主観に基づいてメインコンセプトからの関係のリンクを広げていく。したがって、同じメインコンセプトや同じテーマからコンセプトマップを作成していっても、個人の考え方や経験などからまったく違う関係を持つコンセプトマップが作成されることが予想される。そこで、本研究ではコンセプトマップを融合することで個々人の考え方の違いなどを見ることができると考えている。

コンセプトマップの融合

本研究では、１つのコンセプトマップを１つの銀河とみなしている。

コンセプトマップは１つのメインコンセプトを中心に、そのメインコンセプトに関連するコンセプトが集まっている。この状態は、あとで説明する円板状銀河の状態と非常によく似ている。そこで、本研究では、コンセプトマップを融合する際の計算方法として、銀河が衝突するときの惑星の動きを採用する。

以下の章では銀河のモデルについて天体力学の基本的な原理を、長沢　・藪下　に基づいて述べる。

天体の動き

太陽系の中では、地球・金星・木星などといった惑星、あるいはそれらの衛星などが太陽の周囲を運行している。そこには彗星・小惑星などの小天体もたくさん存在する。これらの天体は絶えず相互の位置を変え、ときには近づき、ときには離れ、またときには衝突をする。ところで、これらの運動はまったくばらばらで、それぞれの天体が勝手に動いているというようも見える。しかし決してそうではない。これらの運動は無秩序なものではなく、はっきりした物理法則に従ったものである。

太陽系内の天体の運動を支配する中心的な法則は「万有引力の法則」である。万有引力の法則とは、簡単にいうと、「あらゆる物体はお互いに他の物体を引き寄せようとする力を及ぼしあっている」という法則である。したがって、太陽系内の天体は例外なく他の天体を引き寄せようとする力を働かせている。太陽は地球を引き寄せようとし、同時に地球は太陽を引き寄せようとし、また地球と木星の間にも、火星と金星の間にもお互いを引き寄せようとする力が働いている。

その運動を定める運動方程式は比較的簡単に書くことができる。問題はその運動方程式をどうして解くかにある。

運動方程式は微分方程式の一種である。そして、微分方程式を解く方法は大きく分けて２通りある。ひとつは解析的な解き方であり、もうひとつは数値的に解く方法である。どちらの解き方にもそれぞれ一長一短があるり、単純にどちらがよいと決めることはできない。数値的に解く方法は一般に大量の計算を必要とするので、以前はほとんど実用にならなかった。しかし、コンピュータをたやすく利用できる現在では、どちらかというと、数値解法が主流になってきている。

銀河のモデル

銀河には大別して２つの種類がある。ひとつは楕円銀河といわれるもので、ほぼ回転楕円体に近い形をしている。もうひとつは円板状銀河で、薄い円板に似た形で中心部分に膨らんだ部分がある。円板状銀河では中心部分の膨らみのところに、銀河の質量のかなりの部分が集中している。

この円板状銀河をモデル化することを考える。質量のかなりの部分が中心のふくらみに集中しているとすれば、円板の部分の星は、このふくらみが作る重力場の中を運動していると考えてよい。要するに、太陽系を巨大化し、多数の星がまわっているようなものを想像すれば良い。（図 ）

それで簡単のために、銀河の全質量が、中心の膨らみ部分に集中していると仮定すれば、円板の部分の星はケプラー運動をしていることになる。したがって、中心からのキョリが a であれば、公転の角速度 n はケプラーの関係

$$n^2a^2 = GM$$

から定まる。ただし M は銀河の全質量である。そうすれば、銀河が他の銀河の影響を受けていないとき

図 円板銀河のモデル。（藪下　 より転載（一部加筆修正））

には、星の位置は

$$\left.\begin{aligned} x &= a\cos(nt+\chi) \\ y &= a\sin(nt+\chi) \\ z &= 0 \end{aligned}\right\}$$

によって与えられることになる。χ は星の $t=0$ における位相角である。銀河は円板状であるから、それは、同心リングの重なったものとみなせる。すなわち、軌道半径 a をもつ星が多数存在する。それは式 で χ の値を 0 から 2π までいろいろと変えることによって得られる。

二体問題

二体問題とは、太陽と地球であるとか、ただ 2 つの天体が存在する場合は、その 2 つの天体がどのように運動するかを考える問題である。通常、その 2 つの天体の大きさを無視して、それぞれただ一点にその天体の質量が集中している「質点」として扱う。

いま、質量 M の天体と質量 m の天体がある。（同時に、M, m は天体自身を示す記号とする。）ここで作用する力はこの 2 つの天体同士の万有引力だけである。ここでは、M は原点 $o(0,0)$ に固定しているものとし、M に相対的な m の運動を考える。このとき、$m(x,y)$ の運動方程式は、

$$\dot{x}(t) = -\mu\frac{x(t)}{r^3}$$

$$\dot{y}(t) = -\mu\frac{y(t)}{r^3}$$

と書くことができる。ただし、

$$r^2 = x(t)^2 + y(t)^2$$

$$\mu = G(M+m)$$

であり、G は万有引力定数である。

式 、式 を数値的に解くために、 階の微分方程式に直す。

まず、式 について、新しい従属変数 $u(t)$ を

$$u(t) = \dot{x}(t)$$

とする。この両辺を t で微分すると、

$$\dot{u}(t) = \ddot{x}(t)$$

の関係が得られる。式 、式 の関係を使うと、式 は、

$$\dot{u}(t) = -\mu \frac{x(t)}{r^3}$$

$$\dot{x}(t) = u(t)$$

の形に書きなおすことができる。つまり、新しい変数 u を導入することで、式 は 階の微分方程式に直すことができたことになる。

式 も同様に新しい従属変数 $v(t)$ を

$$v(t) = \dot{y}(t)$$

を導入して、

$$\dot{v}(t) = -\mu \frac{y(t)}{r^3}$$

$$\dot{y}(t) = v(t)$$

となる。これで、２つの２階連立微分方程式は、４つの１階連立微分方程式に書きなおすことができた。

ここで導入した u, v はそれぞれ x, y 方向の速度を表すものである。しかし、問題を解くためには、特に物理的な意味を考える必要はない。

以上によって、

$$\dot{x} = u$$

$$\dot{y} = v$$

$$\dot{u} = -\mu \frac{x}{r^3}$$

$$\dot{v} = -\mu \frac{y}{r^3}$$

と、x, y, u, v を従属変数とする４つの１階微分方程式に変形できた。

制限三体問題

２つの天体が、ニュートン引力のもとに、円運動しているとする。すなわち、二つの質点の重心の周りに、それぞれが円運動をする。そこに、第３の微小な質点を加える。この微小質点は、質量が非常に小さ

いために、最初の２つの質点の円運動に何ら影響をも与えない。そして、第３の質点と、最初の２つの質点の間には、ニュートン引力が作用しているとする。たとえば、彗星のように、非常に質量の小さな天体が、太陽系内を運動するときには、ほぼこの条件が成り立っている。現実の惑星の運動は完全な円ではなく、楕円であるから、その点が異なる。また現実の太陽系では、１つの巨大な惑星のほかに、惑星が存在する。このため、完全な意味での三体問題であるとはいいがたい。それでも、問題を理想化することは、ある程度の知識を提供するのに役立つ。

回転系での運動方程式

制限三体問題とは、最も狭い意味では、二つの円運動をしている質点の重力場の中での、第３の微小質点の運動を定めるという問題であった。この問題を数学的に扱うには、まず適当な座標系での運動方程式を導くことから、始めなければいけない。

２つの質点の質量を M_1, M_2 とし、それら質点間の距離を d とすると、ケプラーの法則により、

$$G(M_1 + M_2) = n^2 d^3$$

が成り立つ。ただし、n は２つの質点の円運動の角速度である。２つの質点（P_1, P_2）の重心 G は、慣性系に対して静止している。その重心を座標の原点にとる。

回転していない座標系（O, XYZ）での、第３の質点 P の座標を（X, Y, Z）とする。そうすると、P の運動方程式はニュートンの法則によって、

$$m\ddot{X} = F_X \quad , \quad m\ddot{Y} = F_Y \quad , \quad m\ddot{Z} = F_Z$$

と書ける。ただし、t は時間を表す。（F_X, F_Y, F_Z）は力の（X, Y, Z）成分である。

単位質量の質点に働くニュートン引力を（f_x, f_y, f_z）としたとき、質量 m の質点に働く力は、それの m 倍に等しい。したがって、式（）は、

$$\ddot{x} = f_x \quad , \quad \ddot{y} = f_y \quad , \quad \ddot{z} = f_z$$

とも書ける。作用している力がニュートン引力である限り、式（）と式（）は同じなのである。そこで、これからは式（）を基本にとり、それを変形していく。

（X, Y）平面内にあって、しかも角速度が n で回転している座標系を（O, xyz）とし、その座標系での質点 P の座標を（x, y, z）とする。もちろん、$Z = z$ である。

図（）から、（x, y）と（X, Y）の関係を求めると、

$$X = x\cos nt - y\sin nt$$

$$X = x\cos nt + y\sin nt$$

図 二つの座標系。（藪下　　より転載（一部加筆修正））

である。この関係と、式（）から、(x, y) についての方程式を導く。そのためには、まず X, Y の微分を計算する。

まず X を微分すると、

$$\dot{X} = \dot{x}\cos nt - n\sin ntx - \dot{y}\sin nt - yn\cos nt$$

もう一度微分すると、

$$\ddot{X} = \ddot{x}\cos nt - 2n\dot{x}\sin nt - xn^2\cos nt - \ddot{y}\sin nt - 2n\dot{y}\cos nt + yn^2\sin nt$$

同じようにして、

$$\ddot{Y} = \ddot{x}\sin nt + 2n\dot{x}\cos nt - xn^2\sin nt + \ddot{y}\cos nt - 2n\dot{y}\sin nt - yn^2\cos nt$$

よって、

$$\ddot{X}\cos nt + \ddot{Y}\sin nt = \ddot{x} - n^2 x - 2n\dot{y}$$

$$\ddot{Y}\cos nt - \ddot{X}\sin nt = \ddot{y} - n^2 y + 2n\dot{x}$$

を得る。この関係を式（）に代入すると、次のようになる。

$$\ddot{x} - n^2 x - 2n\dot{y} = f_X\cos nt + f_Y\sin nt$$

$$\ddot{y} - n^2 y + 2n\dot{x} = -f_X\sin nt + f_Y\cos nt$$

ここで、右辺の表式について考える。(f_X, f_Y) は座標系 (O, XYZ) での力の成分であるが、これを回転系の (O, xyz) での成分で表現しなくてはならない。一般に、ベクトル量は、座標変換にあたって、位置ベクトルと同じ変換に従う。したがって、式（）、式（）により、

$$f_X = f_x\cos nt - f_y\sin nt$$

$$f_Y = f_x \sin nt + f_y \cos nt$$

ただし、（f_x, f_y, f_z）は座標系（O, xyz）での、力 f の成分である。上式を（f_x, f_y）について解くと、

$$f_x = f_X \cos nt + f_Y \sin nt$$

$$f_y = -f_X \sin nt + f_Y \cos nt$$

したがって、回転座標系での運動方程式は

$$\left.\begin{array}{rcl} \ddot{x} - 2n\dot{y} - n^2 x & = & f_x \\ \ddot{y} + 2n\dot{x} - n^2 y & = & -f_y \\ \ddot{z} & = & f_z \end{array}\right\}$$

となる。

最後に、力 f の成分（f_x, f_y, f_z）を求める。座標系（O, xyz）での質点の位置 P_1, P_2 はそれぞれ、

$$P_1 \quad , \quad y = 0 \quad , \quad z = 0 \quad , \quad x = \frac{dM_2}{M_1 + M_2}$$

$$P_2 \quad , \quad y = 0 \quad , \quad z = 0 \quad , \quad x = -\frac{dM_1}{M_1 + M_2}$$

である。というのも、原点 O は P_1 と P_2 の重心にとってあるから、したがって、第 3 の質点と、P_1, P_2 との距離は、

$$\overline{PP_1}^2 = \left(x - \frac{dM_2}{M_1 + M_2}\right)^2 + y^2 + z^2$$

$$\overline{PP_2}^2 = \left(x + \frac{dM_2}{M_1 + M_2}\right)^2 + y^2 + z^2$$

となる。一方、力 f は保存力でポテンシャル V から導かれる。

$$f_x = \frac{\partial V}{\partial x} \quad , \quad f_y = \frac{\partial V}{\partial y} \quad , \quad f_z = \frac{\partial V}{\partial z} \quad ,$$

$$V = \frac{GM_1}{\overline{PP_1}^2} + \frac{GM_2}{\overline{PP_2}^2}$$

実際に計算をしてみると、次のようになる。

$$\left.\begin{array}{rcl} f_x & = & -\dfrac{GM_1\left(x - \dfrac{dM_2}{M_1 + M_2}\right)}{\overline{PP_1}^3} - \dfrac{GM_2\left(x + \dfrac{dM_1}{M_1 + M_2}\right)}{\overline{PP_2}^3} \\ f_y & = & -\dfrac{GM_1 y}{\overline{PP_1}^3} - \dfrac{GM_2 y}{\overline{PP_2}^3} \\ f_z & = & -\dfrac{GM_1 z}{\overline{PP_1}^3} - \dfrac{GM_2 z}{\overline{PP_2}^3} \end{array}\right\}$$

これらの表式を式（）に代入したものが、制限三体問題の運動方程式である。

無次元化

実際の計算のために、前項で導いた制限三体問題の運動方程式をより見やすい形にする。

ここでは、万有引力定数 G の値が になるように単位を定める。同じく、2つの質点間の距離 d も になるようにし、2つの質点 P_1, P_2 の質量の和 $M_1 + M_2$ も になるようにする。

一般に、角速度の次元の量を $[T^{-1}]$、長さの次元の量を $[L]$、質量の次元の量を $[M]$ とかく。$G = 1$、$d = 1$、$M_1 + M_2 = 1$ となるように単位をとるということは、長さの単位として d、質量の単位として（$M_1 + M_2$）、時間の単位として $\frac{1}{n}$ をとるということである。すると、運動方程式は無次元化されて、以下の形になる。

$$\left.\begin{aligned} \ddot{x} - 2\dot{y} - x &= f_x \\ \ddot{y} + 2\dot{x} - y &= f_y \\ \ddot{z} &= f_z \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} f_x &= -\frac{m_1(x - m_2)}{\overline{PP_1}^3} - \frac{m_2(x + m_1)}{\overline{PP_2}^3} \\ f_y &= -\frac{m_1 y}{\overline{PP_1}^3} - \frac{m_2 y}{\overline{PP_2}^3} \\ f_z &= -\frac{m_1 z}{\overline{PP_1}^3} - \frac{m_2 z}{\overline{PP_2}^3} \end{aligned}\right\}$$

$$\begin{aligned} \overline{PP_1}^2 &= (x - m_2)^2 + y^2 + z^2 \\ \overline{PP_2}^2 &= (x + m_2)^2 + y^2 + z^2 \end{aligned}$$

これらの式に現れる量はすべて、無次元の量である。

微分方程式の解法

１階の常微分方程式になおす

前節で制限三体問題の運動方程式を導いた。微分方程式を数値的に解くためには、方程式の系を、1階の常微分方程式の系に直さなければいけない。

そのために、次のようにする。

$$\left.\begin{aligned} y_1 = x \quad &, \quad y_2 = y \\ y_3 = \dot{x} \quad &, \quad y_4 = \dot{y} \\ z = 0 \quad &, \quad \dot{z} = 0 \end{aligned}\right\}$$

ここで、$z = 0, \dot{z} = 0$ としたのは、平面上での三体問題を考えているからである。

新しい変数（y_1, y_2, y_3, y_4）では、方程式は次のようになる。

$$\left.\begin{array}{rcl} \dfrac{dy_3}{dt} &=& 2y_4 + y_1 + f_x \\ \dfrac{dy_4}{dt} &=& -2y_3 + y_2 + f_y \\ \dfrac{dy_1}{dt} &=& y_3 \\ \dfrac{dy_2}{dt} &=& y_4 \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{rcl} f_x &=& -m_1 \dfrac{y_1 - m_2}{\overline{PP_1}^3} - m_2 \dfrac{y_1 - m_1}{\overline{PP_2}^3} \\ f_y &=& -m_1 \dfrac{y_2}{\overline{PP_1}^3} - m_2 \dfrac{y_2}{\overline{PP_2}^3} \\ \overline{PP_1}^2 &=& (y_1 - m_2)^2 + y_2^2 \\ \overline{PP_2}^2 &=& (y_1 - m_2)^2 + y_2^2 \end{array}\right\}$$

初期条件の設定

常微分方程式の解は、初期条件によって一意的に定まる。ここでは、そのうちでも最も簡単なものから始める。

ここで考えるのは、x 軸を横切るときに、x 軸に垂直となるような軌道である。x 軸を横切るときの時刻を、$t = 0$ ととることにする。そうすると、x 軸を垂直に横切る軌道については、つきの条件が課される。

$$y = 0 \quad , \quad \dot{x} = 0$$

この条件は、新しい変数を使うと、

$$y_2(0) = 0 \quad , \quad y_3(0) = 0$$

となる。

オイラー法

微分方程式を数値的に解くには、オイラー法やルンゲ・クッタ法、テイラー展開を利用した方法などがある。オイラー法は、計算は簡単だが誤差が大きくなると言う欠点がある。オイラー法を少し発展させたテイラー展開を利用した方法は、微分方程式がごく簡単な場合を除いて、高次の微分が非常に困難な作業になってしまう。現在、一般的に微分方程式の数値解法として用いられているのは、ルンゲ・クッタ法である。ルンゲ・クッタ法は t のきざみ幅や誤差の見積もりなどに気を配れば、十分実用になる。

しかし、本研究では、計算量の問題からオイラー法を微分方程式の数値解法として用いることにする。以下では、オイラー法について簡単に説明する。

オイラー法の考え方は次のとおりである。

表 オイラー法による計算。（長沢　 より転載）

t	$\dot{x}$	x	x真値

考慮している t の区間をいくつもの短い区間に分割する。

それぞれの区間の境界のところで、曲線の傾き $\dot{x}$ を計算しなおす。

それぞれの区間内では、曲線は傾きが一定の直線で近似する。

分割した t の一つの区間の幅を「きざみ幅」という。原理的にきざみ幅はいくらでも良いし、等分割でなくても良い。

実際の計算では、以下のように解く。

$\dfrac{dx}{dt} = f(x,t)$ を $x|_{t=0} = 0$ に対して解く。微分を有限の差分として近似する。

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} \approx \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} &= f(x(t),t) \\ x(t+\Delta t) &= x(t) + f(x(t),t)\Delta t \end{aligned}$$

$x(t) = x_n, x(t+\Delta t) = x_{n+1}$ として、

$$x_{n+1} = x_n + f(x_n, t)\Delta t$$

ここで、このようにして計算された結果がどの程度正確なのかを見てみる。

いま、

$$\frac{dx}{dt} = x^2 - t^2 - 2t + 2 \quad , \quad x(0) = 0$$

を式 にしたがって解いてみる。

t を $0 \leq t \geq$、きざみ幅を とすると、計算結果は表 のようになる。

式 の解は、

$$x(t) = t + 1 - \frac{1}{t+1}$$

となる。表 の x の真値はこの式から計算した。真値と比べてみると、オイラー法で求めた $x(1)$ の値は 割程度大きい。この計算を続けていくと、

$$t = 2 \quad \text{で} \quad x(2) = 9.6934888\,, \qquad \text{真値}\ \ 2.6666667$$
$$t = 3 \quad \text{で} \quad x(3) = 9.67 \times 10^{63}\,, \quad \text{真値}\ \ 3.75$$

になり、真値とははるかにかけ離れた値になる。つまり、オイラー法で近似ができるのは、t の初期値に近い、ごく狭いだけだといえる。

コンセプトマップと力学系の対応

銀河の質量

本研究では、1つのコンセプトマップを1つの銀河としている。銀河の質量はそこに含まれる惑星の質量の総和と考えられるが、コンセプトマップでは、コンセプトマップに含まれるコンセプトの数をコンセプトマップの質量（銀河の質量）とした。

さらに、前項で説明したとおり、計算式の簡単化のため $M_1 + M_2 = 1$ にする必要がある。そこで、コンセプトマップの質量の比を取ってそれを改めてコンセプトマップの質量とした。

銀河の中心

円板銀河のモデルでは、銀河の中心の周りに多数の星が運動している。ここで、メインコンセプトを銀河の中心、周りの星をそのほかのコンセプトとして計算をした。

銀河の運動

メインコンセプトには2対問題を適用した。つまり、メインコンセプトはお互いの影響のみを受けて動いており、そのほかのコンセプトの影響は受けないこととした。

そのほかのコンセプトは、あるひとつのコンセプトはメインコンセプトに比べて十分小さいと考え、制限3対問題を適用した。さらに、コンセプト同士の影響を計算するため、任意の つのコンセプトに対して、2体問題を適用した。つまり、あるひとつのコンセプトは2つのメインコンセプトの影響と、そのほかのコンセプトからの影響を受けて動いている。

また、運動方程式の解がたまたま周期解になり楕円軌道を動く場合以外は、質点の運動は放物線か双曲線の軌道になってしまう。つまり、そのまま計算をしつづけると、条件が偶然そろって楕円軌道にならない限り、そのうちどこかへいってしまう。

そこで、実験システムでは、適当な時間で止められるようにした。そのあとは、そのときの距離を保つように計算する。

第　章

実験システムの構築

以上で提案してきたようなアプローチ方法論を用いて、コンセプトマップの作成を支援するための実験システムを構築した。

実験システムの構成

本システムはコンセプトマップ作成支援部分と融合コンセプトマップ作成支援部分からなる。（図 ）

コンセプトマップの作成支援部分は、個人によるコンセプトマップの作成を支援するモジュールであり、融合コンセプトマップ作成支援部分は、個々人によって作られたコンセプトマップを用いて融合コンセプトマップの作成を支援するモジュールである。

実験システムの実行プロセス

ここでは、実験システムを利用する手順にしたがって、システムを概観していく。

コンセプト マップの作成

まず、コンセプトマップを作成する。はじめの状態は図 のようになっている。

左側に入力パネルがあり、コンセプトとそのコンセプト間の関係を入力されると、左側に表示される。コンセプト間の関係は

- 単純な関係
- 相互依存の関係
- 一方が一方に依存している関係

図　実験システムの構成。

図 はじめの状態。

- 反対の関係

から選択する。具体的な関係は自由に書きこむことができる。

その下には、関連度・コンセプト間の関係・具体的な関係のチェックボックスがある。それぞれチェックすると、右側のコンセプトマップにそれらの値が表示される。（図 、図 、図 ）

融合コンセプトマップの作成

コンセプトマップの作成後、保存しておくと、コンセプトの位置とコンセプト間の関係に関する情報が保存される。融合コンセプトマップでは、選択された２つのコンセプトマップのそれぞれから、コンセプトの位置とコンセプト間の関係に関する情報を読み込み、融合の計算をする。図 と図 を融合したマップは図 である。

先に入力されたファイルについては、ノード、リンク、関連度、コンセプト間の関係、具体的な関係は全て黄色で描かれる。後に入力されたファイルについては、ノード、リンク、関連度、コンセプト間の関係、具体的な関係は全て青色で描かれる。両方に所属するノード、リンクは緑色で描かれる。これは、共通するノードやリンクをわかりやすくし、コンセプト間の関係について、２つのマップの比較をしやすくするためである。

また、コンセプトマップの作成の際に入力した、関連度・コンセプト間の関係・具体的な関係は保存さ

図　関連度の表示。

図　コンセプト間の関係の表示。

図 具体的な関係の表示。

図

れているので、融合した際にも表示することができる（図 ）。

この際、コンセプトの位置は変えることができる。

図

第 章

評価実験

本章の目的は、実験システムの評価を行うことである。本研究では、要素技術レベルでの評価と、被験者による思考レベルの評価をを行った。

要素技術レベルの評価

要素技術レベルの評価では、システムを構成する機能に対して、プログラムの実行速度といった技術的観点から評価を行う。

ここでは、「実際にユーザがコマンドを入力してから、結果が返されるまでの実時間」をプログラムの実行速度としてとりあげ、それによって本システムの要素技術レベルの評価を行う。

対象としたのは、コンセプトマップを融合するために費やされる時間である。融合の方法論として、銀河のモデルを用いているので、計算量が大きくなるのが考えられる 。

実験は、以下の場合について行った。

- 融合するコンセプトマップは２枚。
- コンセプトの数が、 個から 個まで、 個きざみでそれぞれ測定する。

測定法は以下のとおり。

- の メソッドを使ってプログラムの実行速度を測定した。
- 計算機の負荷を考慮して、 回測定を行い、その平均を実行時間として採用した。
- 動作環境は 。

また、実験時には本システム以外に 資源を消費するプロセスをできる限り排除した。したがって、実行プロセスの切り替わりによって起こる遅延による計測時間の誤差は微小であると考える。

実験結果は図 にあるとおりである。

図 実験結果。

評価・考察

この評価実験で計測したのは、メインコンセプトの位置、コンセプトの位置について計算し、それに基づいてコンセプトの位置を変更した時の時間である。図 を見ると、コンセプトの数が増えるにつれて、指数関数的に増えていくのが分かる。かりに、コンセプトが 個の時、$t = 0$ から $t = 10$ まで、きざみ幅 0.1 で計算したとすると、 秒かかることになる。

本システムでは、任意の時間にユーザからの指定で計算を停止できる。また、コンセプトマップを融合しているときにもコンセプトの位置をユーザ側で動かすことができるので、運動方程式にしたがって動くコンセプトマップを見ながら自分自身の考えに合うように変えてゆくことができる。

思考レベルの評価

次に、実験システムの思考レベルでの評価を行う。この評価で確認することはいかの つである。

- コンセプトマップによって、個人の特徴を表現することができるか？
- 紙の上で作成するコンセプトマップと実験システムで作成するコンセプトマップで差異はあるか？
- 実験システムが提示する融合機能は、個々人の思考の比較に効果があるか？

今回は、以上のことを確認するために つの評価実験を行った。評価実験 1 では、ある特定の単語を提示し、それらに関する知識を正しく持っているかを見る。評価実験 2 では、ある 1 つの詩に関して、どのようなイメージを持つかを表現し、他人の持つイメージと比較する。

表 被験者のコンセプトマッピングの経験度

	見たことも聞いたこともない	聞いたことはある	見たことはある	使ったことがある
グループ	名	名	名	名
グループ	名	名	名	名

評価実験１

評価実験１では、紙の上で作成するコンセプトマップと実験システムで作成するコンセプトマップについて、同じ内容でそれぞれ評価実験を行った。被験者は北陸先端科学技術大学院大学の学生 人で、紙の上で作成するコンセプトマップと実験システムで作成するコンセプトマップについて、それぞれ 人の被験者に行った。

実験概要

紙の上でコンセプトマップを作成するグループをグループ 、実験システムでコンセプトマップを作成するグループをグループ とする。

まず、被験者のコンセプトマッピングの経験度（表 ）を考慮して、コンセプトマップについて簡単に説明した。

被験者に提示した実験内容は以下のとおりである。

「光について」というテーマでコンセプトマップを作ってください.

メインコンセプトは「光」してください.

マップには「波」「猫」「速度」「粒子」「ブラックホール」「確率」「シュバルツシルト」という単語を使ってください. ただし、自分で必要ないと判断した場合には、使わなくても構いません.

その他に自分で考えた（連想した）単語を書いてください.

実験後のアンケートでは以下の項目で質問をした。

量子力学について（１つ選択）

- 自分の専門分野
- 学部の授業で勉強した
- 一般向けの本を読んだことがある

表 コンセプトマップに現れた単語数

	平均値	最大値	最小値
グループ			
グループ			

- そういうものがあると言うことは知っている

光の二重性について

- 知っている
- 知らない

シュバルツシルト半径について

- 知っている
- 知らない

全体的な感想など

この実験では、光についてというテーマを提示したが、その他にキーワードとして幾つかの単語を提示した。キーワードを与えるときは、キーワードとしてどんな単語を選択するかが重要である 。ここでは、量子力学についての入門的な知識を持てば比較的連想しやすい単語を選択した。

評価・考察

まず、紙の上でコンセプトマップを作成した場合（グループ ）と実験システムでコンセプトマップを作成した場合（グループ ）を比較する。それぞれのグループのコンセプトマップに現れた単語数の平均（表 ）がほとんど変わらないことから、実験システムを用いることは思考活動にあまり影響がないことが考えられる。

しかし、グループ については実験中に、コンセプト間の関係（単純な関係・相互に依存する関係・一方から一方への関係・反対の関係）を選択するのが難しいという声がほぼ全員から聞かれた。この部分はグループ では自分で自由に矢印などを用いることで表現した。このことから、コンセプト間の関係をもっと細かく分類するか、自由に線を引けるようにシステムを改良する必要があると考えられる。

また、実験システムでは、コンセプト間の関係によって距離を決定し、システム側で自動的に配置していったので、あまり思い通りに配置できないという声も聞かれた。しかし、逆にひとつのコンセプトを動

図 コンセプトマップによる分類

かすとそれに関係するコンセプトも自動的に動くので良い、という声もあったので、十分考察した上で改良する必要がある。

次に、コンセプトマップによって個人の持つ知識がどのように表現されるのかを、被験者 のコンセプトマップ（図 ）と被験者 のコンセプトマップ（図 ）を比較することによって見てみる。（被験者 はグループ に、被験者 はグループ に属する。）

被験者 は光と粒子を性質という関係で結んでいるが、被験者 は光と粒子、光と波動を本質という関係で結んでいる。このマップから、被験者 は光の二重性について理解していると考えられ、被験者 は光の二重性については理解していないと考えられる。実験後のアンケートで、被験者 は量子力学については「そういうものがあるということだけ知っている」と回答し、被験者 は「自分の専門である」と回答している。

さらに、コンセプトマップを用いて被験者を分類してみる。この実験では、「光について」というテーマで行ったが、キーワードとして量子力学に関連する単語を挙げたので、量子力学に対する理解度についての分類を試みた（図 ）。

軸に提示した単語をいくつ使っているか、 軸に提示した単語について正しい関係が書かれているかをとった。ただし、単語についての“ 正しい ”関係の判別が難しいので、被験者 の用いた関係に近い・類似している関係を便宜的に“ 正しい ”関係とした。ここでは、関係にはコンセプトマップを作成するときに入力された「具体的な関係」をもちいた。

表 を見てみると、被験者 ・被験者 は挙げられたキーワードについて考えてはみたが、その関係はわからなかったのだろうと考えられる。また、被験者 は挙げられたキーワードが分からなかった

表 被験者のコンセプトマッピングの経験度

見たことも聞いたこともない	聞いたことはある	見たことはある	使ったことがある
名	名	名	名

ので、まったく使わなかったことが分かる。

評価実験２

評価実験２では、実験システムを用いてコンセプトマップの融合がどのような影響を与えるかについて評価を行った。被験者は北陸先端科学技術大学院大学の学生 人である。

実験概要

まず、被験者のコンセプトマッピングの経験度（表 ）を考慮して、コンセプトマップについて簡単に説明した。

被験者に提示した実験内容は以下のとおりである。

「春望」（別紙）を読んでコンセプトマップを作ってください.

メインコンセプトはこの詩に最もふさわしいと思う単語を選んでください.

その他に自分で考えた（連想した）単語を書いてください.

ただし、思考が発散しないように、テーマ（春望）に関連する単語でコンセプトマップをまとめてください。

最後の項目は、評価実験１で発散的思考に陥ってしまったために、最終的にメインコンセプトの「光」にまったく関連しない単語が出てしまったことから、追加した。

実験後のアンケートでは、「他の人のコンセプトマップと比較してどう思うか」を自由記述式で回答してもらった。

評価・考察

評価実験２では、「春望」に対するイメージをコンセプトマップに表現してもらった。コンセプトマップを融合することで、個々人の「春望」に対するイメージを比較してみる。

図　「光について」被験者 のコンセプトマップ

図　「光について」被験者 のコンセプトマップ

春望

杜甫

國破山河在
城春草木深
感時花濺涙
恨別鳥驚心
烽火連三月
家書抵万金
白頭掻更短
渾欲不勝簪

春望　杜甫

國破れて山河在り
城春にして草木深し
時に感じて花にも涙を濺ぎ
別れを恨んでは鳥にも心を驚かす
烽火 三月に連なり
家書 万金に抵る
白頭 掻けば更に短く
渾て簪に勝えざらんと欲す

國：首都。唐の首都は長安。国家ではない。
城：城市。ここでは長安を指す。中華の都市は、おおむね外周を城壁で囲む。「城」といえば都市を意味する。
連三月：三ヶ月続く。一説には、去年の３月から今年の３月、つまり１年を意味するという。
簪：かんざし。当時、男性も髪を結い、仕官しているものは冠をかんざしで髪にとめていた。

長安の都は破壊され、かつての面影を留めているのは山河だけ。
城内にも春がきて、草木が生い茂っている。
ここ最近のことを思うと花を見ても涙がこぼれ、
親しい人との別れを嘆き怖れ、鳥の声にも驚かされる。
戦を告げる狼煙は三ヶ月も立ち昇り、
家族からの手紙は万金の値がある。
白い頭の白髪は、掻けば掻くほど短くなり、
もうかんざしも挿せなくなりそうだ。

図　融合コンセプトマップ（）

図　融合コンセプトマップ（）

図　融合コンセプトマップ（）

図 融合コンセプトマップ（）

表 コンセプトマップに現れた単語数

平均値	最大値	最小値

コンセプトマップに現れる単語数の平均（表 ）は、始めに発散的にならないように条件をつけたので、それほど分散しなかった。

被験者 と被験者 のコンセプトマップを融合してみると（図 ）、共通の単語が多いことに気づく。しかしそれはすべて詩の中に出てくる単語なので、あまり不思議ではない。対して、被験者 と被験者 のコンセプトマップを融合してみると（図 ）、共通する単語は少ないが、詩の中に出てこない「無力」という単語が共通していることが分かる。

コンセプト間の関係に注目して、被験者 と被験者 の融合コンセプトマップをみてみると（図 ）、共通する単語は多いが、それらの単語から出ている関係はあまり近くないことがわかる。また、被験者 と被験者 の融合コンセプトマップをみてみると（図 ）、「白髪」という単語に対して、被験者 は登場人物の具体的特徴としての関係を書いているが、被験者 は白髪になってしまった原因としての関係を書いている。

実験後のアンケートをまとめると、以下のようになる。

- コンセプトマップを用いて詩を表現してみて

  コンセプトマップを書くことによって、詩を読んだだけでは気づかなかったことに気づいた。

- 融合コンセプトマップをみて

  共通コンセプトの発見によって、互いの思考過程の違いが見えるのが面白い。

  物語からのコンセプト抽出において、主眼点の違いが視覚的に把握できる。

  他人との思考の違いが分かる。例えば、私は詩人の感情に注目して考えたが、物語性をそのままマップとして表現した人もいた。

  同じ単語が出てきても、関係性が違うので意見が合わないと思う。

  自分のコンセプトマップが偏っているように感じた。

- 融合コンセプトマップの応用性について

メインコンセプトから離れたところにあるほどメインコンセプトとの関連が低くなってしまうのは、コンセプトマップの特徴である。コンセプトマップを発想支援などに用いるときは有効かもしれないが、今回の実験の目的に合わせて制限をした。

一緒にいない人と詩の話ができるので、コンセプトマップを用いてコミュニケーションがとれると思う。

共通した単語が少ない場合は、そこからコンセプトマップを二人で作ってゆくと面白いと思う。

話をする機械の少ない人と意見があったりするので、コンセプトマップを用いて個人の経験や考え方の原点をたどることができそう。

「融合」の視点は小学生や中学生位のほうが喜びそうな内容なので、そのぐらいの年齢の子供がやってみたら面白いと思う。

- システムの機能について

修正ができないので、気を使って作ったのでつかれた。

ゆらゆらゆれるのが心地よかった。

関係を決めるのが難しかった。

関係を決めるのが難しかったが、具体的な関係に細かい記述をすることができたのであまり気にならなくなった。

コンセプトが自動的に配置されるのが楽しかった。

コンセプトがそれほど多くなかったので見やすかったが、コンセプトが多くなると見にくくなると思う。

- システムに必要だと思われる機能について

共通コンセプトからの距離を計算して、どれくらいの類似度があるのかを表示できると面白い。

全体の評価・考察

実験システムでは、融合した際に運動方程式にしたがって動いていたが、動きが非常にゆっくりなため、あまり効果がなかったように思える。評価実験 の単語数の平均（表 ）から、特定のテーマにがぎった場合は から 程度のコンセプトで表現できると考えられる。そこで、近似計算として、ルンゲ・クッタ法などを用いてきざみ幅を大きくすれば、もうすこし動きが見れて、思考活動にも影響してくるのではないかと思われる。また、システムの操作性が悪いために被験者に負担がかかっているので、システムの操作性についても改良する必要がある。

しかし、コンセプトマップを融合して比較することについては、ほとんどの被験者が面白いと評価しているので、今後、類似度の計算などの機能を追加すれば、グループでの協調作業などにも有効であると思われる。

第　章

関連研究との比較

本研究では、コンセプトマップを作成し、それを融合することによって、思考空間を可視化することを考えた。

　ここでは、本システムと関連するシステムを取り上げて、本研究との比較評価を行う。まず、本システムで用いたコンセプトマップに関するシステムを取り上げ、 法図解の差異や共通部を可視化するシステム、テキストデータを空間配置することによる思考支援システムを取り上げる。

再構成型コンセプトマップ作成ソフトウェアとの比較

　稲垣ら　は、学習者が自己の思考過程をコンセプトマップとして表現することについて，特にリフレクションの観点から支援する研究を行っている。このシステムの特徴としては、以下のように述べられている。

- ソフトウェアがコンセプトマップの作成過程を全て記録しているので，学習者がコンセプトマップを作成する全過程を再生することがでる。
- 無限のアンドゥ機能を実装しているので，再生の途中からでも，そのコンセプトマップを修正することができる。

　この特徴をみて分かるように、本研究では、複数のコンセプトマップを融合することに注意を向けていることに対して、稲垣らは、ひとつのコンセプトマップを作成する過程で、それを再生することに注意を向けている。つまり、本研究が複数のコンセプトマップの融合によってグループ内の個人の視点の明確化を図っているのに対して、稲垣らはあくまで個人のコンセプトマップの作成を支援しているのみである。

法図解の差異や共通部を可視化するシステムとの比較

法は人間の収束的な思考活動を支援する手法で、発想法などと呼ばれる手法である　。女部田は、この 法によって作成された図解に注目し、そこからグループでの思考活動に有意義な情報を抽出しようと試みている。

本研究では、複数のコンセプトマップを融合し複数の視点を可視化することを提案し、そのことによって、お互いの思考空間を見たり、個人の考え方が全体の中でどのように位置するのかを意識することで、グループでの協調作業に有用であると考えられる。

女部田は単に複数の図解を合わせるだけでなく、それらの間の差異や共通部を、ファジイ理論を用いて抽出した。

テキストデータを空間配置することによる思考支援システムとの比較

多次元尺度法や双対尺度法などの統計的手法を用いて空間表示をするシステムも数多く研究されている　。こうしたシステムは、多次元尺度構成法などを用いてオブジェクト（テキストデータ）を２次元空間上にマッピングし、その結果を通じてユーザの思考活動に刺激を与えようとするものである。

また、スプリングモデルを用いて、類似度を直接距離に反映するシステムの研究も行われている　。

本研究と異なる点は、それらの手法はその類似度としてキーワードベクトルを用いている点である。本研究では、コンセプト テキストデータ の入力としてコンセプトマップの作成を行っているので、背後にデータベースが存在しない。

第　章

結論

ここでは、本研究の成果をまとめると共に、今後に課題について述べる。

本研究の成果

本研究では、コンセプトマップをもちいて、それを作成した人の思考空間を可視化し、さらに、複数のコンセプトマップを融合することで、複数の視点を可視化することを提案した。そのことによって、お互いの思考空間を見ることができ、グループのほかのメンバーが共通の問題に対してどのような認識でいるのかを見たり、個人の考え方が全体の中でどのように位置するのかを意識することで、グループでの協調作業が有効に行われると考えられる。コンセプトマッピングは従来的な方法（紙と鉛筆と用いて）で学校教育などにとり入れられてきた。海外では、教育やナレッジマネージメントなどの分野で注目されており、コンピュータでの支援　　　もあるが、日本ではまだ少ない。

今後の課題について

数値解法としてオイラー法を採用したので、時間がたてばたつほど誤差が大きくなってしまう。他の解法を用いることも考えられるが、そうすると計算量が大きくなってしまうので、今後模索していく必要がある。

また、運動方程式を使ってコンセプトの位置を動かしていったので、理想状態というものをもとめて、そこで静止させることができないという問題がある。

思考レベルの評価は定性的な要素が多く、評価実験の数も少なかったので、評価実験を繰り返して、問題点をシステムに反映していく必要がある。

謝辞

指導教官である國藤進教授には、本研究を進めるにあたって適切な助言をいただいただけでなく、さまざまな研究活動のチャンスをいただいたこと、および日ごろの研究生活全般に関するご指導をいただき、深く感謝しています。

國藤研究室の方々には、研究面に限らず、私生活の面においても大変お世話になりました。特に、同級生の皆さんには感謝の気持ちが絶えません。

また、長時間の評価実験にご協力いただき、様々な助言をいただいた皆様に感謝します。

最後に、私事ですが、これまで大学院生活をさまざまな面から支えてくれた家族、友人に感謝したいと思います。

２００１年2月１３日

篠原明日美

参考文献

出原栄一 吉田武夫 渥美浩弁 図の体系 日科技連

稲垣成哲 山口悦司 理科授業のエスノグラフィー： リソースに媒介された教師ー子どもの関係性の会話分析的検討 日本理化教育学会研究紀要

稲垣成哲 山口悦司 再構成型コンセプトマップ作成ソフトウェア あんどう君

女部田武史 複数の 法図解の差異や共通部を可視化するグループ思考支援システムの研究 北陸先端科学技術大学院大学 修士論文

川喜田次郎 発想法 中公新書

川喜田次郎 続・発想法 中公新書

小池秀樹 ビジュアライゼーション 別冊ビジュアルインタフェースーポスト を目指してー

久恒啓一 コミュニケーションのための図解の技術 日本実業出版社

佐藤隆博 赤堀侃司 倉田政彦 教育情報工学の応用 コロナ社

佐藤隆博 斎藤昇 長谷川勝久 マルチメディア時代・教師のための情報教育 中学数学科の教材開発 コンセプトマップ・授業設計・達成度評価問題 明治図書

杉本雅則 複数他者の視点を可視化するシステムとその知的活動支援への応用に関する研究 東京大学

角康之 西本一志 間瀬健二 共同発想と情報共有を促進する対話支援環境における情報の個人化 電気情報通信学会誌

高杉耕一 スプリングモデルを用いたアイディア触発のための思考支援システムの構築 北陸先端科学技術大学院大学 修士論文

田中泰成 宮脇亮介 コンセプトマッピングによる中学生の地層概念に関する研究 日本理化教育学会研究紀要

中山迅 稲垣成哲 編著 理化授業で使う思考と表現の道具 概念地図法と描画法入門 明治図書

長沢工 桧山澄子 パソコンで見る天体の動き 地人書館

福岡敏行 植田千賀子 概念地図作り（ の学習効果に関する一考察 ーペーパーテスト法による有効性の確認ー 日本理化教育学会研究紀要

福岡敏行 笠井恵 理科学習における概念地図作り（ＣＯＮＣＥＰＴ　ＭＡＰ）の有効性に関する一考察 ６年生児童の「水溶液の性質」概念の形成において 日本理化教育学会研究紀要

藪下信 現代の数理科学シリーズ　計算物理（　） 地人書館

山口悦司 稲垣成哲 野上智行 理科授業におけるインタラクションに関する研究 コンセプトマップを表現のリソースとして使用した協同的な学習を事例にして 日本理化教育学会研究紀要

著、川喜田二郎監修日本ブリタニカ訳編 頭脳開発９９パーセントへの挑戦 ブリタニカ出版