

記号間の力学に基づく概念マップ生成システム SPRINGS†

田 村 淳††

本論文では、空間的知識表現とその生成方式、およびその実験システム SPRINGS (SPatial knowledge Representation generatING System) について述べる。従来研究されてきた知識表現手法のほとんどは、属性が既知であることを前提としているが、たとえば、分類作業の初期段階においては属性が未知であることが多く、これらの手法は適切であるとは言えない。SPRINGS は属性を用いずに非類似度（似ていないほど大きな値をとる非負の実数）に基づいて記号の配置、すなわち概念マップを生成する。SPRINGS はバネからなる力学系をモデルとしており、ユーザが類似概念を表す記号間にその非類似度に応じた自然長のバネをつなぐと、力学的エネルギーが極小となるような概念マップが生成される。この概念マップでは、類似概念を表す記号ほど近くに配置される。このように記号を空間的に表現することにより、言葉では表しにくい概念も表現することができる。また、分類作業の初期段階を支援することができる。SPRINGS は力学系をモデルにしているので、ユーザにとってなじみやすい。ユーザは非類似度の重要度や記号の初期位置の重要度を設定することもでき、これらはそれぞれバネ定数と動摩擦係数に対応している。また、ユーザが簡単に試行錯誤できるように設計されている。実際に、SPRINGS を用いて分類を試み、その有効性を検証した。

1. はじめに

本論文では、分類作業の初期段階を支援するための知識表現とその生成方式について述べる。

コンピュータ上で知識をどのようにして表現するかは人工知能の研究における重要な問題の一つであり、これまで、記号による知識表現という立場で精力的な研究^{1),2)}が行われ、表現対象の属性が整理されている場合には有効に利用されてきた。

しかしながら、従来の記号表現では、あらかじめ設定された属性を用いて概念を表現する必要があるため、言葉では表しにくい状態を表現することはむずかしい。たとえば、分類作業の初期段階で生じるような、複数の対象が互いに「何となく似ている」あるいは「何らかの関係がある」といった状態は表現しにくい。また、従来の記号表現では、個々の対象を表現することはできるが、対象の相互関係を大局的に把握することはむずかしい。さらに、従来の記号表現では、常に一定の表現に固定されているため、状況に応じて表現を動的に変更することはむずかしい。このように、従来の表現方法は、表現対象の属性が整理されている場合には有効であるが、分類作業の初期段階における表現として適切であるとはいえない。

一方、人間がシンボリックな情報処理だけでなく、視覚イメージによる情報処理も行っていることはよく

知られている³⁾。

本論文では、分類作業の初期段階で生じるような、未整理で属性の不明確な知識を表現するために、類似した概念を表す記号を空間的近傍に配置した空間的知識表現—いわば概念マップ—を生成することを考える。そして、この概念マップを生成するために、記号間の力学に基づいた新しい方式を提案する。さらに、この空間的知識表現生成システム SPRINGS (SPatial knowledge Representation generatING System) を実装し、分類支援システムに応用したので、これについても簡単に触れる。

2. 記号の空間的表現

分類作業として、たとえば、認知科学・人工知能に関連した分野を分類することを考える。このようなとき、全体を分類するための分類軸をはじめから設定することはむずかしい。しかしながら、二つの分野間に何らかの関係による類似性を見いだすことは比較的容易である。

このような状態を表現するために、ここでは、その一つの方法として、概念間の近さを空間的な近さにマッピングすることにより、概念を表す記号を空間的に配置することを考える。このようにすると、それぞれの記号が単独で意味をもつと同時に、その周辺領域が全体として何らかの意味をもったパタンにもなる。その結果、「点」としての記号だけでは表現しにくい概念も、「空間的パタン」、すなわち概念マップとして表現することができる。図1に認知科学・人工知能に関連した分野名とキーワードからなる概念マップを示

† SPRINGS: A System Which Generates Concept Map on Dynamics between Symbols by ATSUSHI TAMURA (C&C Information Technology Research Laboratories, NEC Corporation).

†† 日本電気(株) C&C 情報研究所

す。なお、SPRINGS の画面上では、文字列だけでなく点の位置も表示することができるが、各点の厳密な位置は重要ではなく、また、点と文字列とをあわせてハードコピーすると紙面上では見づらくなるので、図1では文字列のみを示した。

ここで、表現の構成単位が一つだけで意味をもつ情報を「記号」とよび、構成単位間の関係が意味をもつ情報を「パタン」とよぶことにすると、概念マップは、表現の構成単位が一つだけでも意味をもち、かつ構成単位間の関係も意味をもつ情報である。言い換えれば、記号としての性質もパタンとしての性質も兼ね備えた表現である。

このようなパタンの記号による表現については、意味の空間的表現の研究^{4),5)}が行われており、文献4)では局所的な非計量多次元尺度法⁶⁾が用いられているが、本論文では、新たに力学系をモデルにした方式を提案している点で大きく異なる。

3. 記号の空間的表現の生成メカニズム

概念の近さを空間的な近さにマッピングするため、本論文では、概念間の非類似度という部分的関係から、その概念を表す記号の全体的な空間的配置パターンを生成するためのメカニズムについて考える。ここで、非類似度とは、類似していないほど大きな値をとる非負の実数である。

一対比較データという部分的関係から全体的な関係を構成するための手法としては、統計学的手法の一つである数量化理論 IV 類⁷⁾や、意思決定支援手法の一つである AHP (Analytic Hierarchy Process; 階層分析法)⁸⁾などがある。これらの手法では、行列計算によって固有値や固有ベクトルを求めるので、原則としてすべての一対比較が必要である。

一方、力学系に基づいた配置手法については、CAD における部品の配置問題⁹⁾や、グラフの描画¹⁰⁾などの研究がある。また、具体物の位置関係を推定するために、空間的概念をポテンシャルモデルを用いて表現することが提案されている¹¹⁾。

これらの研究に対して、本研究では、知識表現、とくに表現対象の属性が明確にとらえきれていない段階における知識表現をも含めて取り扱っている。このような局面における知識表現に対して、これまで、力学系に基づいた配置手法が用いられたことはほとんどな

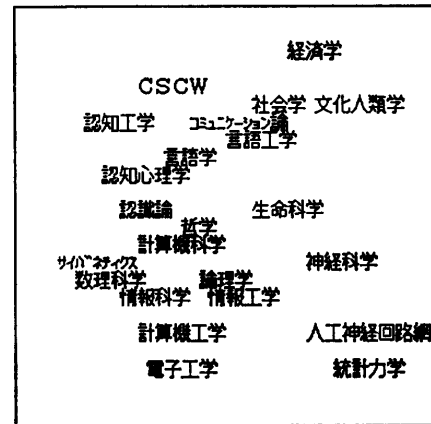


図1 認知科学・人工知能の概念マップ例

Fig. 1 Example of a concept map for cognitive science and artificial intelligence.

い。また、力学系との対応関係が詳細に考察されたこともあまりない。

さて、このような局面における知識表現を生成するときには、次のような柔軟性があることが望ましい。

- (a) すべての概念の対についてその非類似度を考慮することは困難なので、一部の二対比較データからでも計算ができること。
- (b) 概念間の非類似度の値は、どれも同程度の信頼性をもって設定できるとは限らないので、その信頼度あるいは重要度を設定できること。
- (c) 記号間の相対的な関係だけでなく、絶対的な位置を指定できること。しかもその絶対的な位置の重要度も指定できること。

以上の点を考慮して、問題を次のように定式化する。記号、すなわち、 n 個の点 $P_1, P_2, \dots, P_n$ を空間的に配置する問題は、点の対 (P_i, P_j) に対して非類似度 d_{ij} という制約をできるだけ満たしつつ、式(1)に示す目的関数 E_d を極小化する、弱い意味での制約満足化問題である。「弱い意味」とは、制約条件が完全に満たされる保証がないということである。

$$E_d(\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots, \vec{p}_n) = \frac{1}{2} \sum_{i < j} k_{ij} (|\vec{p}_j - \vec{p}_i| - d_{ij})^2. \quad (1)$$

すなわち、目的関数 E_d は、理想値 d_{ij} と実際値 $|\vec{p}_j - \vec{p}_i|$ の誤差の自乗に k_{ij} で重みづけをした総和を表している。 $\vec{p}_i$ は、点 P_i の位置ベクトルである。なお、 d_{ij} はすべての点の対に対して与えられる必要はなく、制約条件 d_{ij} が与えられないときは、 $k_{ij} = 0$ とすればよい。

非類似度 d_{ij} には, 対称性, すなわち,

$$d_{ij}=d_{ji}$$

が成立すると仮定する. また,

$$d_{ii}=0$$

とする. なお, 与えられた非類似度の間には, 三角不等式

$$d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$$

が成立するとは限らないので, 非類似度は数学的な意味での距離とはいえない.

4. 力学系との対応

この方法は, 二つの対象間の相互作用ととらえれば, 力学系に自然に対応づけることができる. すなわち, n 個の記号の空間配置を求める問題において, それぞれの記号を質量 m_i の質点と考え, 点 P_i と点 P_j とが, バネ定数 k_{ij} , 自然長 d_{ij} (非類似度) のバネでつながれていると考え, 各質点には, その速度に比例した摩擦力がはたらくものと仮定する.

バネからなる力学系を考えることにより, 非類似度を考慮することができる対だけにバネをつなげばよいことになり, 一部の対比較データから計算をすることができる.

4.1 運動方程式

点 P_i の時刻 t における位置ベクトルを $\vec{p}_i(t)$ とする. 各点 P_i は速度 $d\vec{p}_i(t)/dt$ で動き出すが, そのときこの速度に比例した摩擦力 $-\mu_i d\vec{p}_i(t)/dt$ がはたらくと考える. ここで, μ_i は動摩擦係数である. このときの運動方程式は,

$$m_i \frac{d^2 \vec{p}_i(t)}{dt^2} = \sum_{j \neq i} k_{ij} (|\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)| - d_{ij}) \vec{e}_{ij}(t) - \mu_i \frac{d\vec{p}_i(t)}{dt}$$

より,

$$m_i \frac{d^2 \vec{p}_i(t)}{dt^2} + \mu_i \frac{d\vec{p}_i(t)}{dt} + \sum_{j \neq i} k_{ij} (d_{ij} - r_{ij}(t)) \vec{e}_{ij}(t) = \vec{0}$$

と書くことができる. ここで,

$$\vec{e}_{ij}(t) = \frac{\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)}{|\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)|}$$

は点 P_i から点 P_j へ向かう単位ベクトルである. また, $r_{ij}(t)$ は点 P_i と点 P_j の間の距離で,

$$r_{ij}(t) = |\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)|$$

で表される.

このようなバネの組み合わせからなる系全体の時刻 t における力学的エネルギー $E(t)$ は, 弾性エネル

表 1 SPRINGS と力学系との対応関係
Table 1 Correspondence of SPRINGS to mechanical systems.

SPRINGS		力学系
P_i	記号	質点
d_{ij}	非類似度	バネの自然長
k_{ij}	非類似度の重要度	点 P_i と点 P_j の間のバネのバネ定数
μ_i	初期位置の重要度	点 P_i の動摩擦係数

ギーと運動エネルギーの和から,

$$E(t) = \frac{1}{2} \sum_{i < j} k_{ij} (|\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)| - d_{ij})^2 + \frac{1}{2} \sum_i m_i \left(\frac{d\vec{p}_i(t)}{dt} \right)^2$$

である. この系の力学的エネルギーは, 時刻 t が進むにつれて, 摩擦力による熱エネルギーの分だけ減少してゆく. そして, 最終的には, すべての質点の速度は 0 となるので, 右辺第 2 項の運動エネルギーの値は 0 となり, 力学的エネルギーは右辺第 1 項の弾性エネルギーの分だけになる. このとき, 力学的エネルギー, すなわち, 式(1)で与えた目的関数 E_d の極小値が得られている. そして, 記号間の空間的な近さは, なんらかの意味的な近さを表現することになる.

4.2 概念間の非類似度の重要度

点 P_i と点 P_j との間のバネのバネ定数 k_{ij} の値が相対的に大きいほど, その 2 点間の距離は非類似度 d_{ij} に近づきやすくなる. したがって, k_{ij} は, 制約条件である非類似度 d_{ij} の重要度を表している. なお, 2 点間にバネがないとき, すなわち, $k_{ij}=0$ のときは, 制約が与えられない場合に対応する.

4.3 記号の初期位置の重要度

点 P_i の動摩擦係数 μ_i の値が大きいほど, 点 P_i は動きにくくなる. したがって, 動摩擦係数 μ_i は, 記号 P_i の初期位置の重要度を表していることになる.

以上の力学系との対応関係をまとめると, 表 1 のようになる.

以下では, 質量 m_i を 0 に限りなく近づけた極限について考える. これは, 物理的には減衰振動を起こさないということであり, 1 階の微分方程式で表現することができる.

5. アルゴリズム

5.1 概念間の非類似度の設定

概念間の非類似度を制約条件として与える. 非類似度は, 必要なところのみ与えればよい. このとき,

必要であれば、その制約条件の重要度 k_{ij} も入力する。とくに設定しない場合は、 $k_{ij}=1$ とする。

5.2 記号の初期位置の設定

記号群を空間的に配置する際には、まず、点としての各記号をユークリッド空間中のある初期位置にそれぞれ配置する。初期位置は、あらかじめ記号間に何らかの関係がわかっているならば、その情報を利用して定める。このとき、必要であれば、その初期位置の重要度 μ_i も入力する。重要度をとくに設定しない場合は、 $\mu_i=1$ とする。初期位置について事前に何もわからない場合にはランダムに配置する。

5.3 オイラー法による解法

距離の制約が与えられたときには、 n 本の連立 1 階微分方程式

$$\mu_i \frac{d\vec{p}_i(t)}{dt} + \sum_{j \neq i} k_{ij}(d_{ij} - r_{ij}(t))\vec{e}_{ij}(t) = \vec{0}$$

に対して前進型オイラー公式を適用し、その近似解を求める。

まず、微分をきざみ幅 Δt で 1 次近似すると、

$$\mu_i \frac{\vec{p}_i(t + \Delta t) - \vec{p}_i(t)}{\Delta t} + \sum_{j \neq i} k_{ij}(d_{ij} - r_{ij}(t))\vec{e}_{ij}(t) = \vec{0}$$

となる。この式から、

$$\vec{p}_i(t + \Delta t) = \vec{p}_i(t) + \frac{\Delta t}{\mu_i} \sum_{j \neq i} k_{ij}(r_{ij}(t) - d_{ij})\vec{e}_{ij}(t) \quad (2)$$

が得られる。

この Δt 時間刻みの処理を繰り返し、すべての i に対して、式(2)の右辺第 2 項で示される補正ベクトルの大きさが、ある小さな正定数 ϵ よりも小さくなれば、収束したものと同みなして処理を終了する。このとき、準最適解が得られている。なお、いうまでもなく、 $k_{ij}=0$ や $\mu_i \rightarrow \infty$ に対応する部分は、計算の対象外としたほうが効率がよい。

式(2)において、 k_{ij}/μ_i を a_{ij} とおけば、 a_{ij} は、点 P_i に関して、その点の位置の重要度に対する、点 P_j 方向への動きの重要度の比を表している。式(2)では、 a_{ij} で、 $(r_{ij}(t) - d_{ij})$ を重みづけすることによって、 Δt 時間後の点 P_i の位置を求める形になっている。

6. SPRINGS による実験例

前章で述べたアルゴリズムに基づいて、概念マップ生成システム SPRINGS をワークステーション Sun 上の C、およびパーソナルコンピュータ PC-9801 上の BASIC によって実装し、

実験を行った。なお、以下に示す例はすべて 2 次元平面上のものであるが、本方式は 2 次元に限らず適用することができる。

6.1 非類似度が一様な場合

まず、本方式の性質を調べるために、すべての 2 点間に非類似度 d_{ij} を与え、かつその値をすべて等しくした場合、すなわち、

$$d_{ij} = d \quad (1 \leq i < j \leq n)$$

とした場合について、ワークステーション Sun 上で実験した。なお、各種パラメータはデフォルト値に設定されている。その結果、記号が同心円上の「軌道」に等間隔に配置されることがわかった¹²⁾。その一例を図 2 に示す。

一般に、2 次元平面上では、3 点までならば各点を等距離に配置することができるが、4 点以上になるとすべての 2 点間を等距離にすることはできない。しかしながら、本方式では、この例のように、制約 d_{ij} を完全に満たして(1)式の目的関数 E_d の値を 0 にすることが論理的に不可能な場合においても、 E_d が極小となる準最適解を求めることができる。

6.2 分類支援・発想支援

分類作業の初期段階では、ある分類対象どうしが互いに関連することはわかっていても、どのような観点で関連しているかが不明確なことがある。本方式による概念マップは、このような状態を視覚化して、分類支援のために利用することができる。

この場合、あらかじめ与えられているデータから概念マップを生成するだけでなく、記号や非類似度などの設定、変更、削除がインタラクティブに行える必要

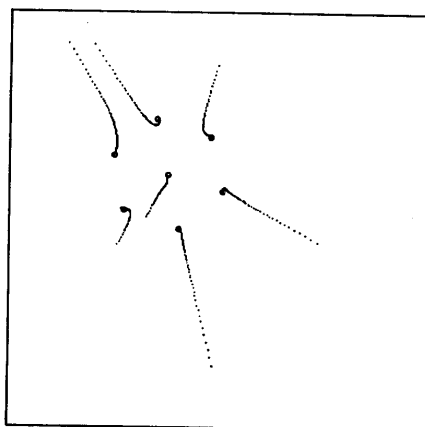


図 2 非類似度が一様な場合の収束パターン例 (軌跡を含む)
Fig. 2 Example of a convergent pattern when all dissimilarities are equal (with tracks).

がある。SPRINGS では、分類軸の不明確な対象群を配置しなおしてゆく過程で、類似概念を示す記号どうしにバネを接続して近接するように制約 d_{ij} を与えたり、大まかに位置が決まった記号に対して位置の重要度（動摩擦係数） μ_i を変更したりすることができる。そして、対象とする記号の追加・削除や記号間の関係の変更などがあった場合には、その条件のもとで適切な表現が生成される。SPRINGS は、このようにインタラクティブに空間的表現を生成することにより、分類や発想を支援することができる。

たとえば、図1を作成する過程では、「言語学」と「言語工学」、「コミュニケーション論」、「認知心理学」などとの間にバネが接続されている。また、分類作業が進み、「社会学」などを右上に置くことがほぼ決まった段階で、その位置の重要度 μ_i が大きな値に変更されている。

また、分類対象があらかじめ限定されておらず、利用者が関連事象を追加していく場合には、SPRINGS は発想を支援している。

6.3 論文空間の生成

前節では属性が不明確な対象を扱ったが、本節では非類似度があらかじめ与えられている場合について述べる。その一例として、論文が作る概念空間を本方式によって生成することを試みる¹³⁾。ここでは、文献間の非類似度を表す尺度として、共引用度の逆数を用いる。非引用度と計量書誌学 (bibliometrics) における引用分析 (citation analysis) で提案されているもので、文献 i と文献 j の共引用度は、

$$N(C_i \cap C_j) / N(C_i \cup C_j)$$

で与えられる¹⁴⁾。ここで、 C_i , C_j はそれぞれ文献 i , j が引用している文献の集合である。共引用度を用いれば、引用情報だけから記号の空間的表現を生成できる。情報処理学会第 38 回全国大会におけるニューラルネットワーク関係の論文¹⁵⁾を本方式によって表現した例を図3に示す。

図3中、ボルツマンマシン関係の論文 (“BMnクイン”, “BMパズル”) が左上に、バックプロパゲーション関係の論文 (“BPhidden”, “T&L”) が中央上部に、その下にシミュレータの論文 (“SM22”, “SONNET”) が配置されている。ホップフィールドネットワークの考察 (“Hopf”) やそのハードウェア化についての論文 (“AN1a”~“AN1d”, “Hp ハード”) が

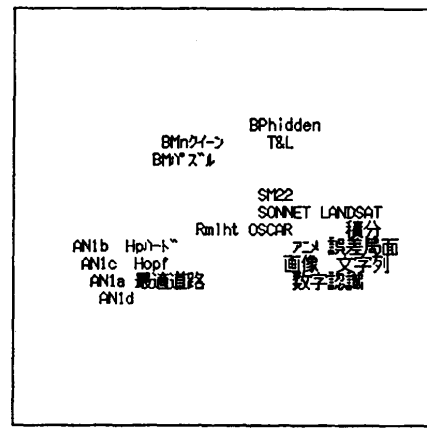


図3 論文空間の生成例
Fig. 3 Example of a paper map.

左下に、それぞれ固まっていることがわかる。また、その他の応用などが右側に集まっている。

7. 評価

記号を空間的に配置した概念マップでは、図1に示すように、言葉だけでは表しにくい概念も空間的領域として表現することができ、また、概念の相互関係を大局的にとらえることができる。この特性を活かして、SPRINGS が作る概念マップは、分類支援あるいは発想支援システムとして利用できる。

図1では、類似する分野間にバネをつなげて分類作業を進めていくうちに、一つの分類軸として「ミクロ-マクロ」が考えられることが示されている。図1においては、マクロな現象を対象とする分野ほど上方に配置される傾向がある。

また、図3に示す論文空間の表現では、似たテーマを論じた論文が近くに配置されている。本方式では、従来、キーワードや分類項目名などの言葉では表現しにくかった概念も空間中の位置として柔軟に表現することができるので、情報検索のユーザ・インタフェースとして利用することができる。さらに、論文空間の空白部分から新しい研究テーマを発想することも可能である。

SPRINGS では、記号や非類似度などの設定、変更、削除をユーザが行うと、それに応じてインタラクティブに適切な概念マップを生成することができる。とくに、バネからなる力学系をモデルにしているため、配置メカニズムが利用者にとってわかりやすく、スムーズに分類や発想が行えるとの評価を得た。

なお、図3では論文名の略号を用いて表現しているが、これは論文名が重ならないようにするためである。この点については改良の余地があり、今後の課題である。

8. おわりに

本論文では、分類作業の初期段階を支援するために、似た概念を表す記号を空間的近傍に配置する方式として、バネからなる力学系に基づく方式を新たに提案した。そして、非類似度がバネの自然長に、非類似度の重要度がバネ定数に、記号の初期位置の重要度が摩擦係数に、それぞれ対応することを示した。

このように記号を空間的に配置すると、言葉だけでは表しにくい概念も表現することができ、また、概念の相互関係を大局的にとらえることができる。さらに、条件が変化したときには、その条件に応じた表現を生成することができる。これらの特徴を実験システム SPRINGS により確認した。

なお、現在のところ、SPRINGS で扱う概念マップは2次元である。3次元空間のシミュレーションも理論的には可能であり、また、力学系としては、より自然である。しかしながら、3次元空間を表示する場合、記号間の位置関係により、記号が他の記号の背後に隠れることが頻繁に生じる。一覧性を損なうと、本来の目的である記号の配置パターン全体を把握することができなくなってしまう。こうしたユーザ・インタフェース上の理由により、3次元版はインプリメントされていない。

今後は、概念の階層ごとに空間を用意して、上位/下位概念に対応できるようにし、記号数が増えたときにも効率的な処理が行えるようにしなければならない。

謝辞 本研究を進めるにあたり、慶応義塾大学理工学部安西祐一郎教授、東京大学先端科学技術研究センター堀浩一助教授、ならびに日本電気(株)研究開発グループの皆様から、適切なご助言と暖かい励ましをいただきました。ここに深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge, Winston, P.H. (ed.), *The Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill (1975).
- 2) Quillian, M.R.: Word Concepts: A Theory and Simulation of Some Basic Semantic Capabilities, *Behavioral Science*, Vol. 12, pp. 410-

430 (1967).

- 3) Shepard, R.N. and Metzler, J.: Mental Rotation of Three-Dimensional Objects, *Science*, Vol. 171, No. 3972, pp. 701-703 (1971).
- 4) 堀 浩一: 単語の意味の学習について, コンピュータソフトウェア, Vol. 3, No. 4, pp. 65-72 (1986).
- 5) Hori, K. and Ohsuga, S.: Assisting the Articulation of the Mental World, *Proc. of the 1st Japanese Knowledge-Based Systems Workshop*, pp. 289-300 (1990).
- 6) Kakusho, O. and Mizoguchi, R.: A New Algorithm for Non-linear Mapping with Applications to Dimension and Cluster Analyses, *Pattern Recogn.*, Vol. 16, No. 1, pp. 109-117 (1983).
- 7) 林知己夫: 数量化の方法, 東洋経済新報社 (1974).
- 8) Saaty, T.L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill (1980).
- 9) Quinn, N.R., Jr. and Breuer, M.A.: A Force Directed Component Placement Procedure for Printed Circuit Boards, *IEEE Trans. Circuits & Syst.*, Vol. CAS-26, No. 6, pp. 377-388 (1979).
- 10) Eades, P.: A Heuristic for Graph Drawing, *Congressus Numerantium*, Vol. 42, pp. 149-160 (1984).
- 11) 山田 篤, 西田豊明, 堂下修司: 2次元平面におけるポテンシャルモデルを用いた位置関係の推定, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 9, pp. 824-834 (1988).
- 12) 田村 淳: 記号の空間的表現について, 情報処理学会研究報告, 89-AI-67 (1989).
- 13) 田村 淳: 記号の空間的表現について, 第39回情報処理学会全国大会論文集(II), pp. 251-252 (1989).
- 14) Garfield, E.: ABCs of Cluster Mapping; Part 1. Most Active Fields in the Life Sciences in 1978, *Current Contents*, No. 40, pp. 5-12 (1980).
- 15) 第38回情報処理学会全国大会論文集(I), (II), (III) (1989).

(平成3年8月12日受付)

(平成4年1月17日採録)

田村 淳 (正会員)



1960年生。1984年慶応義塾大学工学部管理工学科卒業。1986年同大学院工学研究科管理工学専攻修士課程修了。同年日本電気(株)入社。現在、同社C&C情報研究所情報基礎研究部勤務。1987年度本会論文賞受賞。知識表現、データベース設計などの研究に従事。人工知能学会、日本認知科学会各会員。