

人間中心型インターフェイスとオントロジー技術

Human Centered Type Interface and Ontology technology

山 口 亭*

Toru YAMAGUCHI

1. ナチュラルインターフェイスと人間中心型インターフェイス

情報インフラストラクチャの整備が進められつつあり、一般家庭にまで、ネットワークと情報システムが浸透しつつある。一方、一般家庭の利用者側からこれらのネットワーク情報システムを見る限りでは、ネットワークにより形成された空間に居住する利用者でありながら、形成している空間システムが有効に利用者に作用して人間を支援しているとは言いがたいのが現状である。この解決の鍵となる点は、話や身振りを利用したナチュラルインターフェイス、さらに、ネットワークに連携機能を付加し利用者との相互作用により賢くなる人間中心型の知的ネットワークシステムの構築である。すなわち、ネットワークで結ばれている利用者の意図までも含めたスムーズなコラボレーションを、相互作用により形成する知的ネットワークシステムの構築である。このことにより、現状のインターネット技術ではスムーズとは言えないサイバー都市における生産者・消費者の協調モデルであるコテージラボや、サイバーユニバーシティにおける協調型遠隔教育などが容易に実現できる。この人間中心型の知的ネットワークシステムの構築においては、ネットワーク構築のためのIT（情報技術）と人間中心型へ対応するためのソフトコンピューティング技術（ファジィ、ニューラルネットワーク、カオスなどの柔らかい情報処理技術）を融合する新たな情報システム技術に関し調査し体系化することがもっとも重要な第一歩である。本稿では、関連するいくつかの事例を取り上げ、解説する。

2 ソフトコンピューティングとオントロジー技術

文化・言葉の異なる人間同士の情報交換において、地球の別な場所や異なる環境で育った人間同士でもジェスチャーなどである程度のコミュニケーションが可能である。脳

内の色相マップなど、人間の持つ共通のハードウェアにより脳へ形成されている人間共通の抽象的マップがあり、これらの延長線上に「オントロジー」がある。本来オントロジーとは哲学の用語であり、「存在に関する体系的な理論（存在論）」という意味を持っており、世の中に存在するすべての物を系統立てて説明することを目指している。コンピュータ内にあるモデルを作ろうとする時には、必ず対象となる物を概念化し、その概念を特徴付け、他と区別する属性を明確にする。そして、それらの概念を記述する。概念のなかには、オブジェクト（名詞に対応）だけではなく、活動を表す動詞的なものもある。そして、活動が対象とするオブジェクトとそれらに関係付ける制約がある。これら全てを体系化したものがオントロジーの工学的モデルの研究である。^{1,2,3)} これらのオントロジー研究ではトップダウンにより概念形成を与える物が主流であった。

さらに、ボトムアップ的にオントロジーの工学モデルを形成する技術の重要性が叫ばれているが十分な研究成果が得られていない、本稿では学習によるオントロジーの形成についても簡単に紹介する。この手法では、事前に最小のオントロジーを形成しておき、学習によりボトムアップ的に形成する手法である。

前述のようなオントロジーの自動形成を考えると、人間の行動パターンなど人間共通の抽象的マップであるオントロジーによりある程度の共感が得られることは理解できる。さらにその延長として、ハードウェアや環境の異なるコンピュータシステム同士の情報交換、さらに、まったくハードの異なる人間とロボットの情報交換が最も障害となることは明らかである。

そこで、本研究においては、個別ハードからのオントロジーではなく、共通の抽象概念としてのオントロジーの工学モデルを形成することを考える。コンピュータやロボットは、常に利用者である人間を観察する。このため、利用者に対するオントロジーに関しては、複数のコンピュータやロボットの内部に共通の構造が形成されることが期待で

*東京都立科学技術大学
科学技術振興事業団さきがけ研究 21

きる。人間が、ロボットやコンピュータを扱うために必要な抽象的な概念構造、すなわち、ロボットやコンピュータ側から見た「人間のオントロジー」の工学的モデルは、複数の異なる人間中心システムから形成できる。具体的には、図1に示すロボット（お年寄りの歩行などを支援する福祉支援ロボット）群システム、屋外におけるITS（高度道路交通システム）⁴⁾と連携するヒューマンビークルシステムがある。⁵⁾

本題目にある「人間中心型インターフェイス」⁶⁾とは、情報技術（特に、ネットワーク技術）と人間支援のためのソフトコンピューティング技術（ニューラルネットワークやファジィ信号処理^{7,8)}などの人間が行う意図・思考・感性機能へ対応可能な柔軟な情報処理技術）を融合し、ネットワーク空間全体が先に説明したオントロジーを基礎とする知能機構を持つことで、コンピュータのシステム側で利用者である人間の「意図」を把握し、利用者をダイナミックに協調し支援する空間上のネットワーク型知能システムを実現することを目的としている。特に、ネットワーク型知能システムにおける断片的事例からの多様化する工学的オントロジーの形成手法やその進化学習手法⁹⁾を目的とする。

2.1 人間の動作原理とソフトコンピューティング技術

(1) 知的エージェントと群知能

実施例として、図2、3に示すような各エージェントが学習によって得た画像入力データによるコマンド認識機構を持っているものとし、各々の群知能を共有するシステムを取り上げる

このエージェントモデルは、知的システムを実現するための階層的な知識モデルとして知られる J.Rasmussen¹⁰⁾の知的階層モデルを拡張し、連想メモリを基礎とする直感処理、すなわちボトムアップ処理とトップダウン処理を付加したモデルである。

群知能の中に人間のオントロジーが形成されており、あ

る動作と状況を知的エージェントが認識し、対応する抽象化されたオントロジーの中から導きだし、上位層の連想推論に入力し具体的なデータとし人間の意図するコマンドを抽出するシステムである。

(2) ニューラルネットワークやファジィ連想推論による実施例

ナチュラルインターフェイスの一実施例である動作からのコマンド認識の例を示す。実施例として手の動きを入力情報として用いる。動きを検出するには、CCDカメラから得た画像の色情報を用いて、手の色を検出し、手が動いた座標値を図4のような時系列のデータとしてとり、その

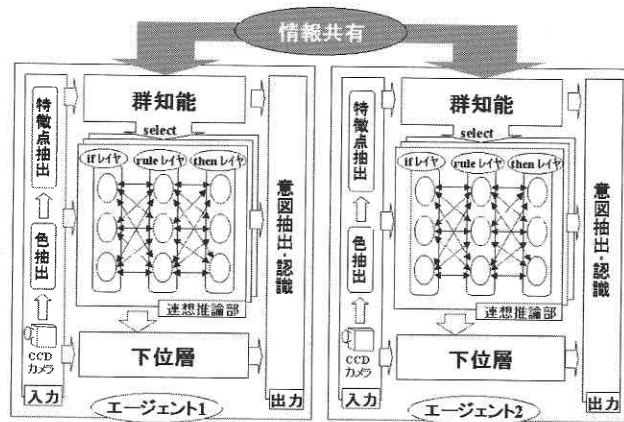


図2 エージェントシステムの構成

知的システムモデルとネットワーク型知能の成長

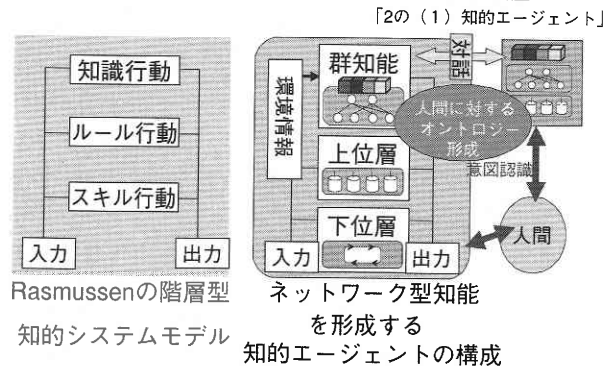


図3 知的システムモデル

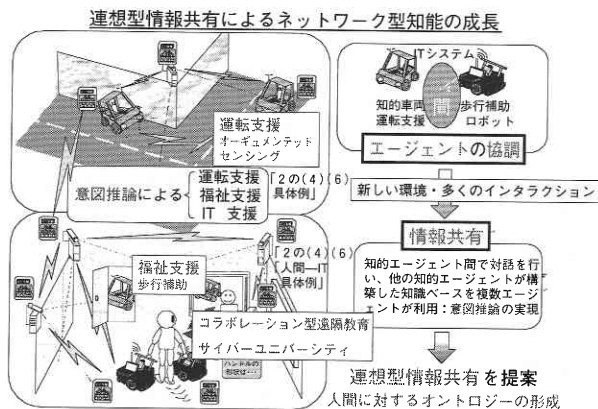


図1 人間中心型ネットワーク

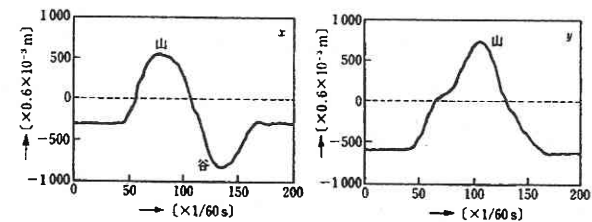


図4 座標値の時系列データ

極値を特徴点とする。実際に運転している状況を想定し、色情報を用いてトラッキングしている様子を図5に示す。

具体的には、一つの部位につき、X方向・Y方向の二つのデータを持つことになる。人の動作は速さや大きさが一定ではないので、コマンド認識には、不安定なノイズに対してロバスト性のあるファジィ連想推論を用いる。

メンバシップ関数によって特徴点にファジィラベルを割り当て、ルールに基づき双方向連想記憶 (BAM) で構成されたネットワークにおいて伝播処理を行う。そして、ルールの活性値の最大のもが一定の値を超えたものが検出されたコマンドとなる。図6に簡単なファジィルールの例を示す。

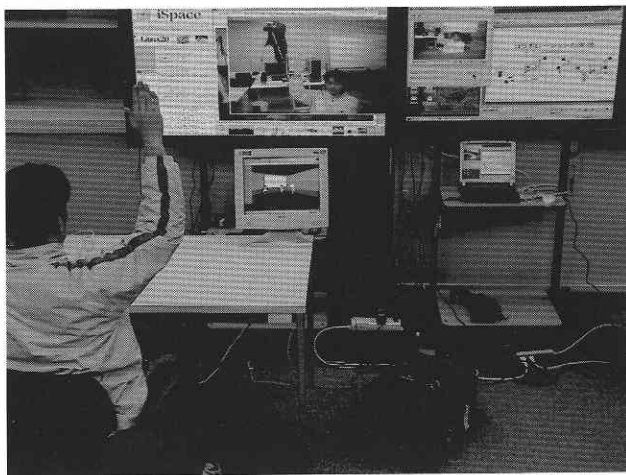


図5 動作の検出

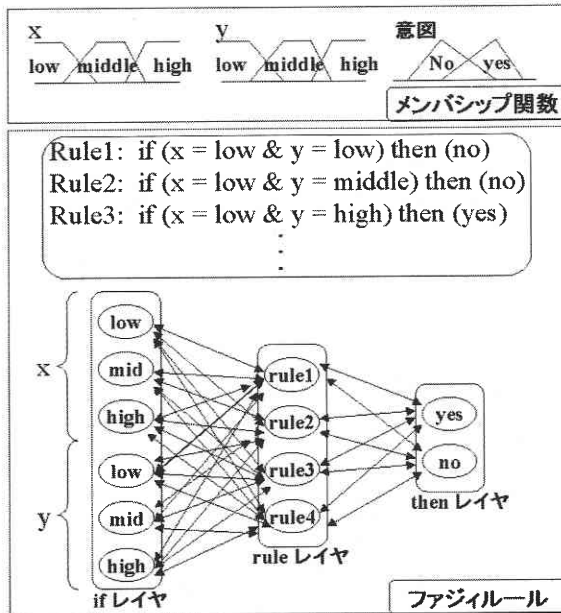


図6 ファジィ連想推論

各エージェントは、学習によって得た入出力 (if-then) のメンバシップ関数とルールを記述したデータを持っている。情報の共有は、他のエージェントの持っているルールデータを共有することで行う。他のエージェントのルールを用いるかどうかの判断は、活性値の大きさと判断する。これは、ファジィ連想推論において、伝播処理の回数 (連想ステップ数) を変えることで、あいまいさを制御できることから有効であると考えられる。

エージェントは、始めに自分のルールを用いて、連想推論を行い、命題の活性値の最大が、ある一定値より低ければコマンドは認識されず、別の一定値より高ければその命題がコマンドとして認識される。両者の中間の値を取ったときに、コマンド表現の個人差による誤差だと判断し、他のエージェントの同じ命題による活性値を求め、始めと同様の判断を行う。図7に、以上のフローチャートを示す。

手話動作の状況認識において、認識率は96%であった。¹¹⁾ さらに図8に示す右上の車のドライバーの追い越しの意図認識の実験を行った結果を以下に述べる。

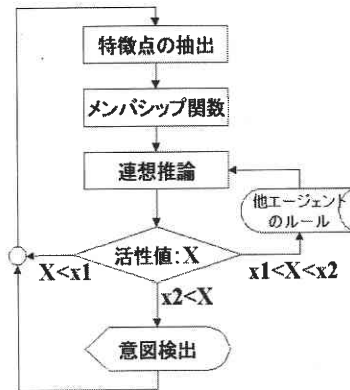


図7 情報共有の流れ

ヒューマンビークル実験：1) 情報再構成・2) 意図認識

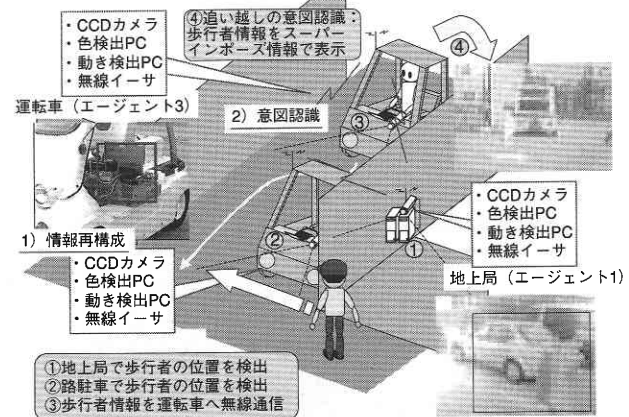


図8 追い越しの意図認識実験

道幅の狭い道路での前方の停止車両の追い越しを想定している。推論された運転者の意図と、実験の被験者の意図を比較した結果、意図認識精度は83.3%であった。

2.2 情報共有とオントロジー技術

(1) リカレントニューラルネットワークと概念の形成

人間や外界との相互作用で、意図する「ラベル」と場の「状況」のエネルギーパターンを獲得できるリカレントニューラルネットワークの研究がある。^{12,13)} これらのニューラルネットワークによる概念の形成は、人間におけるオントロジー、すなわち、人間の共通的な基礎概念の形成に関連すると思われる。

文化・言葉の異なる人間同士の情報交換では、この人間共通の抽象的マップであるオントロジーによりある程度の共感が得られる。このように考えると、ハードウェアや環境の異なるコンピュータシステム同士の情報交換、さらに、まったくハードの異なる人間とロボットの情報交換が最も障害となることは明らかである。そこで、本研究においては、個別ハードからのオントロジーではなく、共通の抽象概念としてのオントロジーの工学モデルの形成を行う。コンピュータやロボットは、常に利用者である人間を観察している。このため、利用者に対するオントロジーに関しては、複数のコンピュータやロボットの内部に共通の構造が

形成されることが期待できる。

人間が、ロボットやコンピュータを扱うために必要な抽象的な概念構造、すなわち、「人間のオントロジー」の工学的モデルは、複数の異なる人間中心システムから形成できる。このようなオントロジーを工学的に形成し、知的エージェントへ組み込み、エージェント間の情報共有を実現することで、前述のような人間とマクロに対話しコラボレーションを可能とする知的ネットワークシステムを構築できる。

(2) 概念ファジー集合とオントロジー for ヒューマン

人工知能の分野で、工学的な概念記述としてのオントロジーの研究が活発化している。一方、ソフトコンピューティング分野においても、相互結合ニューラルネットワークによる概念ファジー集合(CFS)を用いてオントロジーをインプリメントし、人間や外界との相互作用により意図する「ラベル」と場の「状況」を表現する研究がある。¹⁴⁾ これらの研究では、人間との相互作用により抽象的な表現から、具体的な事例を、逆に、具体例から抽象表現を相補的に形成することが可能であり、ある種の連想データベースを構築している。このような概念記述や概念形成の手法を知的エージェント間の対話へ拡張し利用することも可能となっている。そして、各エージェントのもつデータベースを、形成された概念のマッチングにより共有することが可能となる。図9に概念ファジー集合の概要を示す。

図9上では“guppy”と“cat”を刺激すると“pet”という抽象化されたコンテキスト(あるいは状況)が発火する。同様に、“guppy”と“tuna”を刺激すると“fish”という抽象化されたコンテキスト(あるいは状況)が発火する。このような「テキスト」と「コンテキスト」(あるいは「ラベル」と「状況」)のペア表現が可能となり、オントロジーの形成に利用できると考えられる。

3. コラボレーションとオントロジー

図10に示す遠方者とのITコラボレーションシステムを例に用いることにする。本図で、遠方の人間の様子と共通

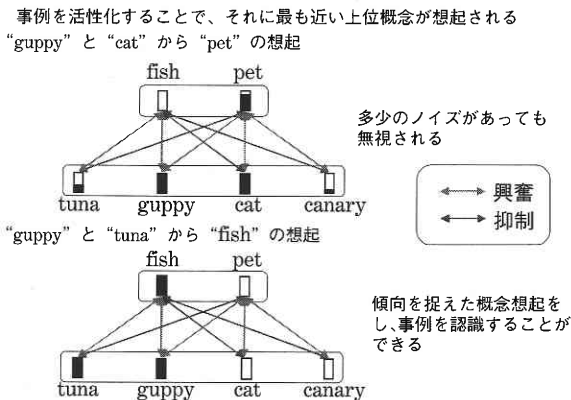


図9 概念ファジー集合(抽象概念の想起)

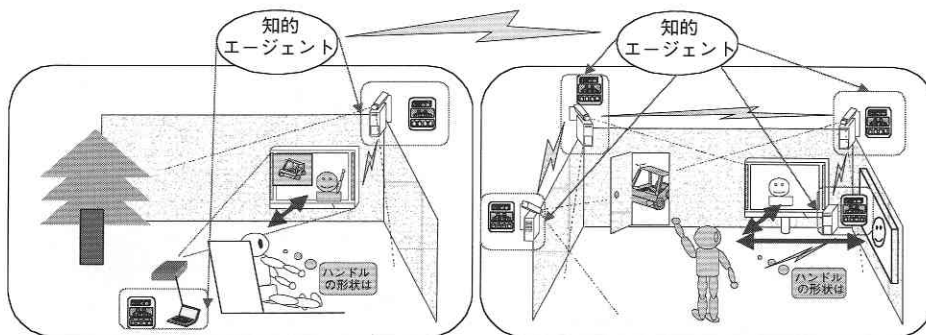


図10 知的ネットワークシステムとコラボレーション

情報の検討図が表示されている。ここでは、インターネット上のサイバー都市における生産者・消費者の協調モデルであるコテージラボを示している。図左の知的エージェントは、足の不自由な方の身振りから、電動カーの設計におけるコマンド「ラベル」とその「状況」を理解し、図右の知的エージェントと情報交換を実施する。右の設計者は、知的エージェント間のコマンド「ラベル」と「状況」による対話と支援により左の消費者と共同して電動カーを設計する。すなわち、「人間-コンピュータ (LAN) -コンピュータ-人間」システムにおいて、中間に入るコンピュータ群が人間の意図を理解し共有することで円滑なコラボレーションを実現している。^{15,16)} 人間の意図と状況をコンピュータが持つ抽象的な人間のオントロジーの中から導き出しその情報をネットワークで接続されたコンピュータに送信し、共有されたオントロジーの中からコマンドを抽出するシステムである。知的エージェントが人間の動作（手や顔の動き）を観測し人間の操作におけるオントロジーを形成する。この工学的オントロジーにより、複数のコンピュータ（やロボット）が人間とナチュラルに連携することや、異なる機構のコンピュータ（やロボット）同士の間で、共通の抽象的基盤のうえで情報交換することが可能となる。さらに、学習することにより、コンピュータはより多くのオントロジーを形成し、そのオントロジーを他のコンピュータと共有することにより一人のユーザーのオントロジーではなく人間のオントロジーを形成することが可能である。¹⁷⁾

4. 今後の展望

ネットワーク技術と知的エージェントの支援による遠隔にいる人間同士のスムーズなコラボレーション技術の構築や、人間と知的エージェントのコラボレーション技術の構築を目的に、近年、いくつかの研究プロジェクトがスタートしている。電気学会を中心に、C部門の調査専門委員会、D部門の協同研究委員会、科学技術庁を中心に「さきがけ21」「相互作用と賢さ」研究プロジェクトなどがあげられる。人間をつつみこむ機械が人間のオントロジーを形成し人間をサポートする日が近い将来完成するであろう。

本原稿に関しては、科学技術振興事業団さきがけ21「相互作用と賢さ領域」の支援プロジェクトです。

(2001年2月26日受理)

文 献

- 1) 溝口理一郎：池田満：オントロジー工学序説—内容思向研究の基盤技術と理論の確立を目指して—, 人工知能学会誌, Vol. 12, No. 4, pp. 559-569, 1997.

- 2) 溝口理一郎。「知識の共有と再利用研究の現状と動向」, 人工知能学会論文誌, pp. 3-9. Jan 1994.
- 3) 溝口理一郎「タスクオントロジーとオントロジー工学」新工学知1, 東京大学出版会, pp. 107-125, 1997.
- 4) T. Yamaguchi, H. Nitta, K. Hirayama, H. Hashimoto, T. Takagi: Human Center ITS. Proc. Of The Fifth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 5 th00), Oita, Japan, Vol. 1, pp. 80-83 (2000. 1).
- 5) Tomomi Hashimoto, Toru Yamaguchi: life A proposed Emotion-drive Alife Model for Robot Assisted Activity Artificial 7 workshop Proceedings pp. 177-180 (2000. 8).
- 6) Hirohide Ushida, Toru Yamaguchi, Tomohiro Takagi: Fuzzy Associative Memory Based Knowledge Construction with an Application to a Human-Machine Interface, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 46, No. 4, pp. 851-860 (1999. 10).
- 7) 萩原将文, 山口亨: 「ニューラルネットワークとファジィ信号処理」, コロナ社, 1998
- 8) T. Yamaguchi, T. Takagi and T. Mita Self-organizing control using fuzzy neural networks, Int. J. CONTROL Vol. 56, No. 2, pp. 415-439 (1992).
- 9) C. J. C. H. Watkins.: Q-Learning, —Machine Learning. Vol. 8 pp. 279-292 (1992).
- 10) J. Rasumussen: Skill, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performed models” IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC-13 3, pp. 257-266 (May/June 1983).
- 11) 山口 亨, 吉原道宏, 石川欽彦, 古俣寿之: 連想記憶を用いたインタラクティブ手話インターフェイスの試作, 日本ファジィ学会誌, 8巻 5号, pp. 901-907 (1996).
- 12) Jun Tani, Naohiro Fukumura.: 「Embedding Task -Based Behavior into Internal Sensory-Based Attractor Dynamics in Navigation of a Mobil Robot」, Technical Reports 1994 Sony Computer Science Laboratory Inc.
- 13) Tetsuo Sawaragi, Takahiro Kudoh.: 「Self-Reflective Learning of Invariants in Human-Artifact Interactions Using Recurrent Neural Network」, IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 2000.
- 14) Tomohiro Takagi, Shinichi Kasuya, Masao Mukaidono, Toru Yamaguchi: 「Conceptual Matching and its Applications to Selection TV Programs and BGMs」, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1999.
- 15) T-Hashimoto, T. Yamaguchi: Emotion-oriented Man-machine Interface for Welfare Intelligent Robot, Proc. The 7 th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication Vol. 2, pp. 581-587 (1998).
- 16) M. sato, T. Yamaguchi, T. Takagi, H. Hashimoto Cooperative Works for Welfare Agent Robot and Human, Proc. The 7 th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication Vol. 1, pp. 238-243 (1998).
- 17) T. Arai, T. Yamaguchi, H. Hashimoto: Gestural Recognition Oriented Interactive Interface and Learning Algorithm Proc. The second Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution And Learning (SEAL'98), Vol. 2, posters, pp. 45-52 (1998).