

共同研究

非文字資料の効率的な検索と安全な流通

非文字資料の効率的な検索と安全な流通

木下宏揚 佐野賢治

能登正人 松澤和光 宮田純子

小松大介 鈴木一弘

KINOSHITA Hirosugu SANO Kenji

NOTO Masato MATSUZAWA Kazumitsu MIYATA Sumiko

KOMATSU Daisuke SUZUKI Kazuhiro

1 研究目的

本共同研究は、非文字資料を研究者間および専門家以外の人との間で情報の提供、共有などを行うために必要な基盤技術を構築し、実際の資料や研究者などを対象とした実証システムにより、その有効性を検証することを目的とする。

上記の目的達成に必要な基盤技術の提案を行い、その後、只見民具カードを対象に基本的なシステムを構築する。

具体的な研究目的は以下の項目からなる。

〔目的1〕 非文字資料に特化した Ontology を構築し精度の高い検索と新しい知見のマイニングを行うシステムを構築する。

〔目的2〕 非文字資料の Ontology 構築、検索などに適したユーザインタフェースを構築する。

〔目的3〕 非文字資料の検索、流通時に個人情報や機密情報を保護し、著作権の調停を自律的に行う流通システムを構築する。

〔目的4〕 非文字資料の資料の作成、データ処理、資料の流通などを円滑に行うために地域通貨的決済手法を提案する。

本稿では、主な研究成果のうち、以下の項目について報告する。

1. 只見町インターネット・エコミュージアムのキーワード検索の改善〔目的1〕

専門的な分野について情報検索する場合、専門的な知識を持たなければ関連性が深い項目を見逃すなど有効な情報検索が行えない。只見町インターネット・エコミュージアムでは、民具の公開を行っている。しかしながら、そこにある検索機能はユーザの意図した検索キーから正確な情報を出力しないという問題点がある。そこで、非文字資料の Ontology に Web Ontology 言語 OWL を用いることで、明示されていない関係を導出する。それにより、新たな関係を発見することができ、本当に必要

な情報を的確に検索することが可能となる。

2. 自己組織化可能な群知能を用いた情報リソースの管理 [目的 2]

ビッグデータやクラウドで知られている様々な情報データは、ファイルの持つ複数の属性により、管理が複雑になる。また、現在は木構造がファイル管理の主流であるが、直感的にファイルの位置を把握することが難しい。一方で、多数のファイルであっても、類似性の高いファイルごとに大きく分類されていれば、直観的にユーザがデータを扱えると考えられる。そこで本研究では、各データを、自己組織化可能な群知能データとみなし、それらの群知能データを制御することで、視覚的にデータを管理可能にする。提案管理手法は、データ管理の過程に応じて自己組織化する手法にも適用可能である。

3. ACO を用いた検索過程を重視した検索手法 [目的 2]

インターネットで検索をするときに、比較的簡単に一定レベルの検索結果は得ることができる。しかし、検索の質は常に十分とは限らない。もしその情報について更に深く理解しようとするれば、関連した情報についても調査する必要がある。そのとき、その分野に詳しい人の検索結果やその過程を参考にできれば、より詳細で多くの情報を検索過程から得ることができる。本稿では、検索過程の質を考慮した検索手法を提案する。群知能の ACO を用いた手法と「推薦システム」と呼ばれるシステムを用いた手法の二つを提案する。

4. 価値交換システムにおけるゲーム理論的解析 [目的 4]

近年、地域のコミュニティで物やサービスを循環させる目的で地域通貨が注目されているが、効率よく取引相手を発見したり、同じコミュニティ内でも価値観が異なると流通しない可能性がある。取引をもっと円滑にするために、地域通貨の「独自に価値を決める」という性質を活かし、多様な価値を表現可能な価値の交換システムを提案する。ここでいう価値とは、単なる金銭的な価値ではなく、地域通貨的に多様な価値を提案し、サービスに対して地域通貨的価値を付与した上で価値の交換システムを作ることを目的としている。これまでに、異なる価値観を持つ二者間の価値交換システムについて検討がなされてきた。しかし、これまで提案されてきた異なる価値観を持つ二者間の価値交換システムでは、各ユーザが満足する効用が得られるかどうかは未解決であり、複数人の場合にそのまま適用することができない。そこで、本稿ではゲーム理論を用いて特定の条件下で、 n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案する。

5. ベジェ曲線を用いた電子透かしの提案 [目的 3]

現在、パソコンおよびインターネットの普及、小型端末の登場により、ネットからダウンロードして、パソコンや携帯端末などで読むことのできる電子書籍の市場が広がり始めている。小説などの文章だけでなく、漫画コンテンツなども電子書籍化が始まっている。また、ネット上には様々な種類の画像投稿サイトも存在しており、アマチュアの絵描きも自由な投稿が行われている。それに付け加え、漫画を書く際にアナログではなく、パソコン上で原稿を作成する漫画家も増え始めた。しかし、デジタルデータは複写、保存、加工が容易に行えるという特徴を持っており、ペイントソフトを使えばトレースなども容易に行うことが出来る。そのために、デジタルデータのコンテンツが著作権者の意思に反して利用されることが起こりうる。このような問題を解決するために著作権保護技術として電子透かし等の技術が存在している。しかしトレース画像において主に使用されている二値の線画像

についての有効な手法はあまり検討されていない。漫画など主に二値の線により構成されている画像に対して、画素数に対する情報量が少ないので品質を保ったまま必要な情報を埋め込むことは困難である。また、画素値に情報を埋め込む手法ではトレース等の手書きコピーに対して、情報の復元をすることが出来ない。そこで本稿では、二値の線画像の著作権管理に関して、ベジェ曲線を用いて、画素値ではなく形に情報を埋め込む電子透かしの手法を提案する。

6. 群知能を適用したアクセス制御システム [目的 3]

情報創発の支援とともに、その「行為を守る」システムを提示することである。そのためにアクセス制御を「言語ゲーム」とみなす。そして、群れの概念と遺伝の概念によって変動する環境に適応する群知能を提案する。群知能の構成要素「エージェント」はアクセス行列の中で定義される行為の連鎖 (Path channel) である。Path channel オブジェクトが群れを作るとき、「似ている行為」という概念、即ち「家族的類似」という概念を導入する。提示するマルチエージェントシステムにより、自己の行為に近い群れが、群れ全体として創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持調和させる新たなシステムの可能性が期待される。

2 只見町インターネット・エコミュージアムのキーワード検索の改善

1. まえがき

コンピュータが Web などのネットワーク上に存在する情報を蓄積、表示、分類する際は、情報を単にデータとして扱うだけで、情報の意味の理解を要するような処理をすることは困難である。このような高次元の処理を行うために、情報が表す内容を知識として扱う必要性が高まってきている。^[1]

神奈川大学 21 世紀 COE プログラム「人類文化研究のための非文字資料の体系化」では、民俗学研究資料の情報共有・情報流通を目指していた。^{[4], [8]} 非文字資料とは、文字媒体として記録されることなく受け継がれてきた民俗文化を対象とする民俗学研究資料である。今までの文化研究では文字に記録された事象に専ら関心が集中してきた。しかし、文字に表現されない人間の観念・知識・行為ははるかに幅広く、質量ともに大きい。それは文字で表現された事象とは比較にならない。

神奈川大学 21 世紀 COE プログラム「人類文化研究のための非文字資料の体系化」は、これらの中から (1) 図像、(2) 身体技法、(3) 環境・景観の 3 つに絞って、それぞれの事象について資料化する方法を開発し、その結果として資料を蓄積し、蓄積した資料を分析して発信することを目的としていた。本研究資料は、民俗文化をベースとしていることから、同じものを指し示す場合でも、地域や年代によって相違が生じる。そのため、非文字資料の情報共有・情報流通には情報資源に関する情報、すなわち、メタデータを用いた意味情報検索が求められる。現在の Web では、Web 上に散在している情報資源を表現するメタデータを利用した高度な処理を行うことはできない。

一方、Semantic Web では、情報資源間の関係を構造的に表現したメタデータから、意味的な検索や推論・演算といった知的な処理を提供することができる。したがって意味情報検索を主体とする非文字資料の情報共有・情報流通に適すると考える。

神奈川大学 21 世紀 COE プログラム「人類文化研究のための非文字資料の体系化」では、福島県只見町に古くから伝わる民具についての情報が実測されて記載された民具資料カードについて研究を



図1 只見町インターネット・エコミュージアム



図2 検索の失敗例（服）



図3 検索の失敗例（仕事着）

行ってきた。この成果は福島県只見町において、図1に示すように Web 上で「只見町インターネット・エコミュージアム」として、一般ユーザーや民具の研究者を対象に公開されている。しかし、現在実装されている検索機能では、ユーザーの指定した検索キーから必ずしも意図した結果を出力しないという問題点がある。例えば、図2、図3に示すように「服」「仕事着」といった、一般的な検索キーワードを入力しても検索結果が得られないことがある。

本研究は、非文字資料研究センター第二期共同研究課題「非文字資料の効率的な検索と安全な流通」の一環として、非文字資料用に作成した Ontology に Web Ontology 言語 OWL を適用することで、只見町インターネット・エコミュージアムの「キーワード」検索を改善する。

近年、Ontology を用いた研究では次のようなことが行われている。総合モデルのソフトウェアによる実現の試み、総合モデリングツールと総合モデル閲覧ツールおよび OntoGearServer の試作を用いた SOFC システムの設計支援への応用の^[18]研究、Ontology 構築の「ロール」と「関係」に関する基礎的な考察から得た知見に基づいて設計・開発を行った Ontology 記述環境の研究、自

然言語解析とリンク構造解析を利用することで、キーワード検索でインターネット上の評価をもとに検索結果を出力する研究などが行われている。^[19]

しかし、非文字資料は個人的に管理・保管しているものが多く、また、特有の性質を持つ資料のため上記の研究内容では、民具の検索機能には活用できないと考えられる。

本研究では福島県只見町に古くから伝わる民具についての情報が実測されて記載された民具資料カードを用いた「Ontology を用いた民具のデータベース化」の研究で、非文字資料の Ontology を構築し、研究者に対し意義のある新たな知見の提示が可能なことを示した。そして、非文字資料の Ontology に Jena を用いた RDF の推論を導入することで、明示されていない関係を導出する。それにより、新たな関係を発見することができ非文字資料の Ontology の有意性を実証した。

しかし、先行研究では RDF データや推論のルールを手動で記述する必要があったため、構築時や修正時に時間と手間が掛かるなどの問題点があった。そこで、提案手法では Ontology エディタの法造を用いることにより、プログラムの自動構築による修正の手間の改善手法を提案する。

まず、民具を Ontology 化するプログラムの作成をする。次に、キーワードにシソーラスを用いる

プログラムの作成をする。そして、この二つのプログラムを用いた「キーワード」検索のプログラムを作ることを提案する。それにより、新たな関係を発見することができ、本当に必要な情報を的確に検索することが可能となる。

本研究では、民具の Ontology を生成するために、法造と OWL を用いて、民具間の関係を推論する。これにより明示されていない関係を導出し、柔軟な検索キーワードの指定が可能となる。

2. 基礎知識

1. 非文字資料と民具

本稿では、非文字資料の一例として民具を取り上げる。民具とは人々が生活の必要から製作し、工夫して編み出し使用してきた古風な器具や造形物の総称である。民具、民具同士の関連性を知ることにより当時の人間の営みや生活を知ることが可能になる。

2. 民具カード

民具カードとは、福島県只見町に残されている民具情報を記録したカードである。民具を実際に使用した人が直接カードに記録するという点で、学術的な研究対象としても評価が高く、「只見町方式」と呼ばれ国の有形文化財に指定されている。

多くの民具整理作業では、調査者が使用者から民具に関する情報を聞き取り、それをカード化して整理する手法が取られているが、この方法だと調査者の見解が含まれてしまい、その民具独特の情報が捨てられてしまう危険性がある。只見町では、使用者＝調査者になることで、細かい民具の情報までがカードに記入され、今まで研究者が着目してこなかった民具の情報が盛り込まれている。「只見町方式」によって整理された民具は 4417 点にのぼり、1992 年に『図説 会津只見の民具』（只見町史編さん委員会 1992）という報告書にまとめられている。

それ以降も継続して整理作業が進められ、現在では 8000 点以上の民具が収蔵・整理されている。そして、2005 年には、「会津只見の生産用具と仕事着コレクション」という形で、2333 点の民具が国指定重要有形民俗文化財に指定された（只見町教育委員会 2005）。「会津只見の生産用具と仕事着コレクション」では、只見町という山村に特化した民具である「ゼンマイ採り用具」、「水田稲作用具」、「畑作・焼畑用具」、「狩猟用具」、「漁撈用具」、「山樵用具」、「麻糸製造用具」、「マタタビ細工用具」、「屋根葺き用具」、「仕事着」という 10 分類の民具が選ばれている。神奈川大学 21 世紀 COE プログラム「人類文化研究のための非文字資料の体系化」では、只見町の民俗とともにこの民具をデータベース化し Web 公開する計画を立て製作を行った。このシステムは図 1 に示すように、「只見町インターネット・エコミュージアム」と名づけられ、只見町の俯瞰画像から只見町の民俗を提示し、また、只見町の山村生活を表したイメージ図から生業を理解することができるシステムになっており、^[10] 其中で、民具データベースは、各民俗や生業に関する民具を表示する形になっている。

民具カードは客観的に実測された記録であると同時に、使用者による主観的な情報も含んでおり、只見地方の民具資料として詳細に記述された貴重なデータである。また、経験や知恵を伝承していく上でも、資料価値の高い文化的価値を持つ。民具カードは表裏に記載されており、民具の用途などが書かれている。^[9] 図 4、図 5 に民具カードの一例を示す。

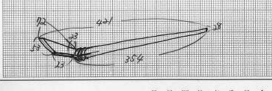
民俗資料調査カード		調査員	調査日	分類番号
		2336	28122-1	
資料名	ユリノハ	写真・形状・寸法等		
寄贈・借用年月日	昭和6年5月			
寄贈者	(住所) 只見町大字 大谷			
所有者	(氏名) 吉澤 巧			
材質	木と金			
使用年代	昭和時代			
使用目的	大工道具 湾曲の部を削る			
収蔵場所	朝日 (m)			
備考				
調査年月日	平成10年7月23日			
調査員	横山 哲夫			

図4 ユリノハの民具カード1

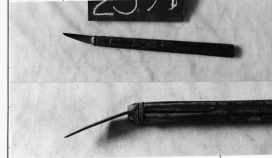
その他	
	
年	号
焼	印
場	番
年	号
等	

図5 ユリノハの民具カード2

3. Ontology

Ontology とは本来哲学用語であり、「存在に関する体系的な理論（存在論）」という意味である。情報工学の立場からは「概念化の明示的な記述」と定義される。

Ontology とは共通語彙（概念）を提供する体系化された辞書のようなものである。Ontology の最も基本的な利用法として、Ontology で定義された概念を、知識を表すための共通の語彙（概念）として利用するという形態がある。

知識を計算機に格納して知的な処理を行おうとする際には、単なる自然言語での記述ではなく、何らかの計算機が処理可能なフォーマットで表すことが重要である。

しかし、そこで知識の記述に用いられる語彙が統一されていないと、せっかく計算機に格納した知識を、共有し活用することができない。そこで知識を記述する際に用いる語彙を Ontology としてあらかじめ定義しておき、それらを知識記述の際に共通して利用することで、知識の共有・再利用性を向上させることが可能となる。

Semantic Web においては、Web 上でメタデータを記述する際の共通語彙を提供するために Ontology が用いられる。このような意味で、Ontology は辞書のような働きをするといえる。^[3]

今 Ontology は概念と意味を処理する Ontology 工学として、Semantic Web、人工知能、自然言語処理、人間工学などの情報科学を貫く原理として注目されている。^[6]

Ontology はコンピュータという道具を使い、人間の知識の構造を明らかにする。^[4]

例えば「ドーピング」という言葉はスポーツ界においては選手が薬物を用いる不正行為を指すが、材料分野では材料に添加物を加えて材料の特性を変えることを意味する。しかも同じ材料分野においても、このドーピングという言葉は金属やセラミックの領域と半導体分野などでは概念の捉え方が変わる。

このようにバックグラウンドにある暗黙的な情報の違いにより、語彙やそれによって記述された知識の意味が変わってくる。そのような暗黙情報を明確にすることが、Ontology の果たす役割でもある。そのため、Ontology では表面的にどのような語彙を用いるかというラベル（概念の名前）の問題よりも、その概念がどのような意味を持つか、という概念定義の問題を重視する。^[11]

その結果、Ontology に基づいて知識を記述することによって、その知識が表している内容が明確になり、Ontology は相互理解を助けることができる。これは知識を処理する複数の計算機システム

間でのやり取りにおいては知識の相互運用性の向上につながる。^{[3], [5]}

Ontology は対象世界を説明するのに必要な概念「概念クラス」と、それぞれの概念間の関係「意味リンク」から構成される。

- is-a 関係……下位概念 B と上位概念 A の間には「B is-a A」という関係が成立する。例えば「昆虫」と「害虫」の間には害虫 is-a 昆虫という関係が成立する。(図 6)

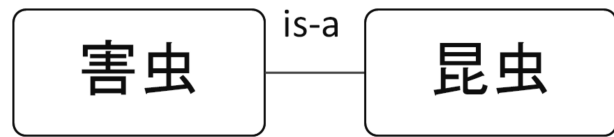


図 6 is-a 関係構造図

- part-of 関係……ある概念と、その概念を構成している部分に当たる概念との間の全体-部分関係を表す。例えば「トンボ」とその構成要素である「複眼」との間には複眼 part-of トンボという関係が成立する。(図 7)

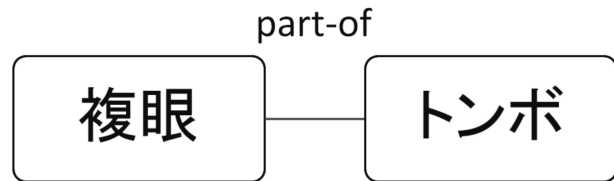


図 7 part-of 関係構造図

- attribute-of 関係……ある概念を構成している属性情報（色、形状等）を表す。例えば「トンボ」の構成要素である「複眼」の属性情報は丸い (is-an) attribute-of 複眼 (which is-a) part-of トンボという関係が成立する。(図 8)



図 8 attribute-of 関係構造図

- instance-of 関係……概念とその具体例との間の関係を表す。例えば「害虫」の instance である「蚊」は蚊 instance-of 害虫という関係が成立する。(図 9)

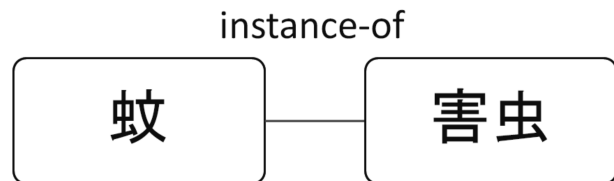


図 9 instance-of 関係構造図

図 10 に民具カードのデータの Ontology の一例を示す。

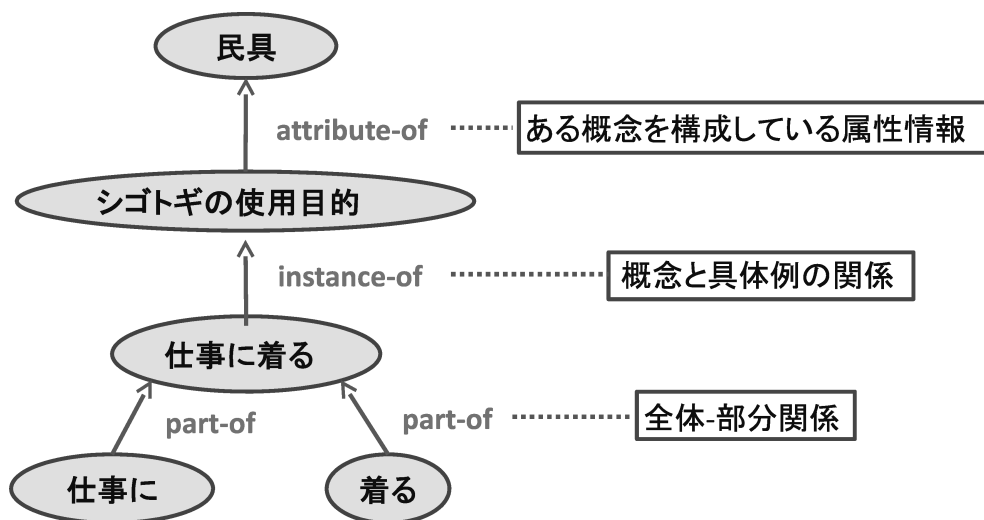


図 10 Ontology

4. 民具カードの基本項目の Ontology

民具カードは以下に示す三つの基本的な Context 情報から成立している。

- 民具の性質に関するもの（寸法）
- 分類・整理に関するもの（番号）
- 民具の用途に関するもの（目的・方法）

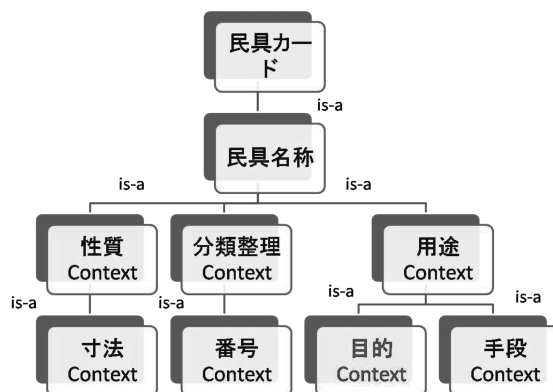


図 11 基本的な Context 情報

5. 法造 — Ontology エディタ

「法造 — Ontology エディタ」は、Ontology の基礎理論に関する考察に基づいて設計された Ontology 構成内容の閲覧・編集をする記述環境である。本ツールでは上記の機能に加えて、大規模 Ontology 開発に向けて複数の Ontology を扱うためのプロジェクト管理機能、および複数のユーザがネットワーク上で Ontology を共有するための Ontology 分散管理機能を実現した。「法造」は、Ontology (= “法”) を構築する (= “造”) ための計算機環境で、「Ontology エディタ」、「概念工房」(Ontology 構築ガイドシステム)、「Ontology サーバ」、そして「Ontology マネージャ」の四つのシステムから構成されている。^{[13], [14], [15]}

1. 法造の使い方

メニューバーの「ファイル」—「新規作成…」を選択すると、メイン画面に新しい編集パネルが表示される。

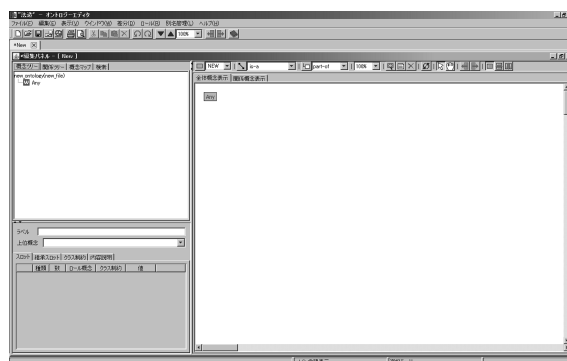


図 12 Ontology エディタ起動画面

概念を追加する。

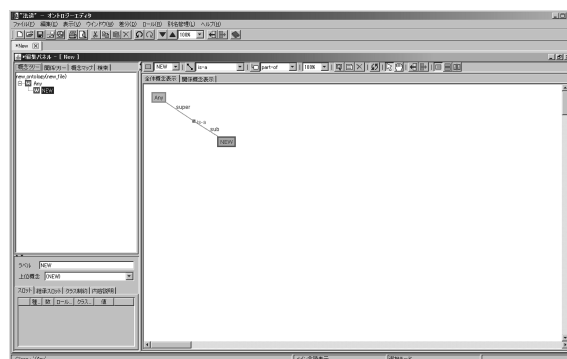


図 13 概念を追加

スロットを追加する。

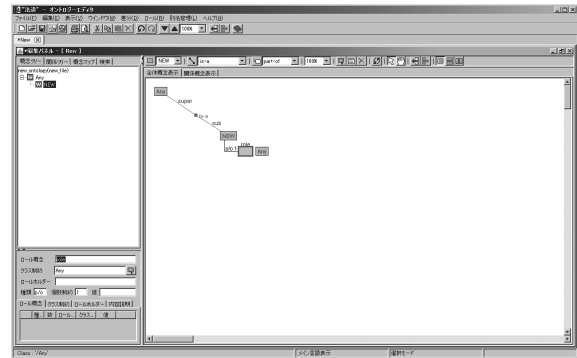


図 14 スロットを追加

クラス編成と Ontology が可視できる。

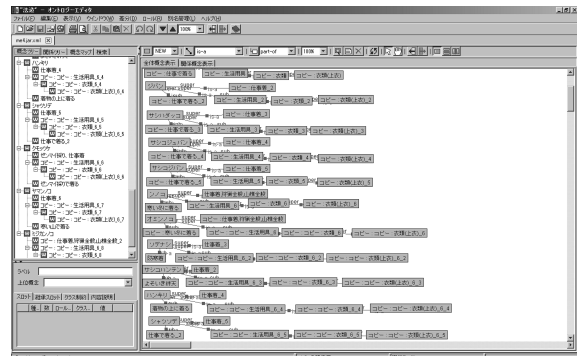


図 15 入力結果

法造で作成した Ontology を OWL に変換する。

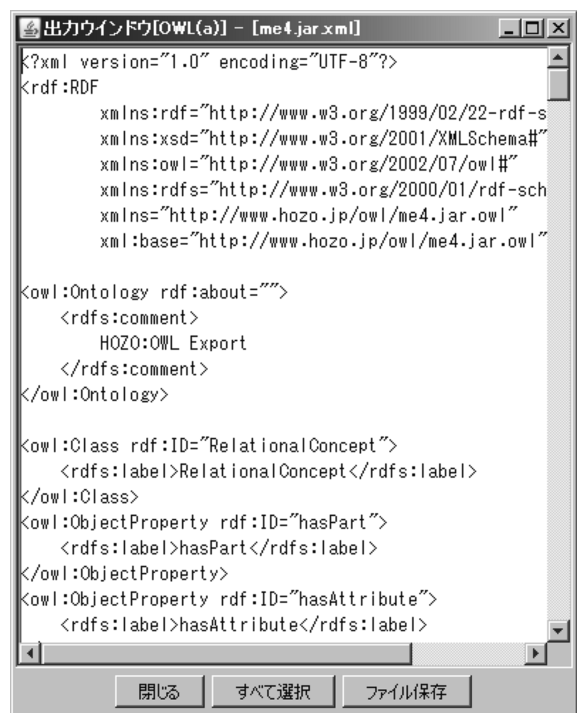


図 16 Ontology の OWL 化

6. Web Ontology 言語 OWL

OWL は W3C における Semantic Web 活動の一環として、Web Ontology 作業グループによって作成された Web Ontology 言語である。

OWL は Web Ontology 言語という名が示すように、Web での使用を前提としている。スタンドアロンでの使用ができないわけではないが、Web 上での使用により適した言語使用になっている。^{[2], [7]}

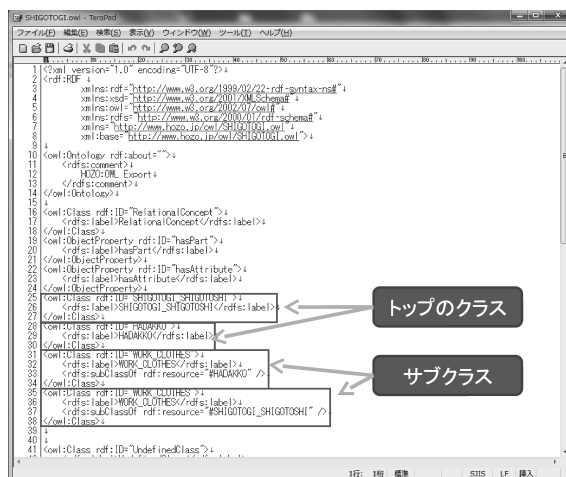


図 17 OWL

3. 提案手法

1. フレームワーク

提案手法のフレームワークを図 18 に示す。「只見町エコミュージアム Web インタフェース」は Ontology を可視化して Ontology の作成を容易にする。「Wikipedia Ontology」は Wikipedia が構築している日本語 Ontology で、アプリケーションプログラムから利用可能な API が用意されている。これを利用することで、民具の Ontology には記述されていない知識を補うことが可能となる。「OWL による記述」では、対象とするデータの詳細な分類や推論メカニズムを表現するためのツールとして動作する。「Jena と OWL-API を利用した解析エンジン」は推論規則を生成するための記述である。

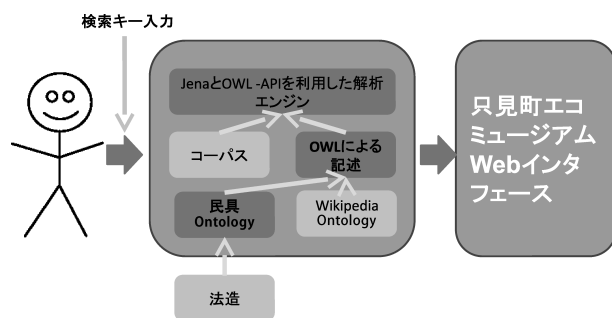


図 18 フレームワーク

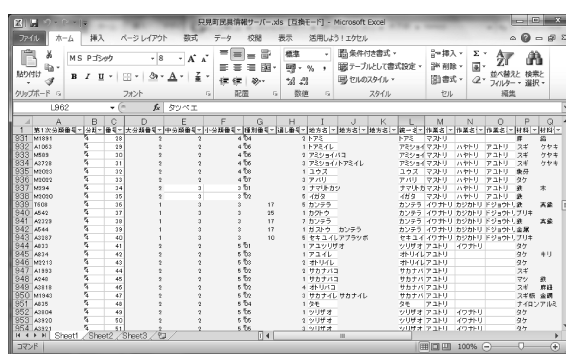


図 19 只見カード Relational Database

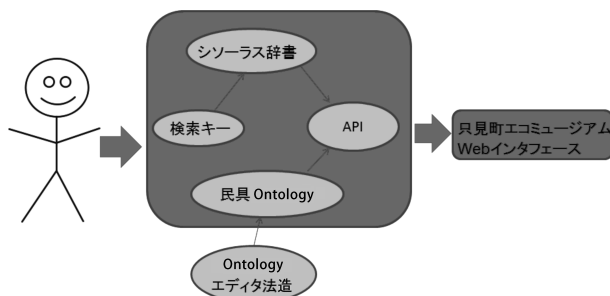


図 20 提案構造

2. OWL の機能を利用した推論

只見町インターネット・エコミュージアムの「キーワード」検索を改善するにあたって、まず、民具を Ontology 化するプログラムを作成する。これにより民具に新たな関係性とキーワードの増加を試みる。次に、キーワードにシソーラスを用いるプログラムの作成をする。これによりキーワードの柔軟性を試みる。そして、この二つのプログラムを用いた「キーワード」検索のプログラムを作ることを提案する。これにより必要な情報が検索可能になると考えられる。また、民具の Ontology に Wikipedia Ontology を用いることによって民具に不十分な情報を補うことができると考えられる^[12]。

本研究では、法造を用いて民具カードに記載されているデータを Ontolgy で表す。それを用いて推論に使用する OWL を作成する。これにより民具に新たな関係性とキーワードの増加を試みる。

図 21 は「SHIGOTOGI SHIGOTOSHI」および「WORK CLOTHES」が is-a 関係であり、「HADAKKO」および「WORK CLOTHES_2」も is-a 関係であることを示している。

図 22 は「WORK CLOTHES」および「CLOTHES」が is-a 関係で結ばれていることを示す。

図 23 は、推論に使用する OWL データの一つである。図 23 において、2 行目の rdf: RDF 要素で名前空間の定義を行う。また、10 行目の owl: Ontology 要素で、Ontology 文章内で情報を管理する「ヘッダ」としての役割を果たす。25 行目の owl: Class はある概念を抽象化して表現し、33 行目の rdfs: subClassOf はサブクラスを定義している。このことより、25 行目から 27 行目はトップのクラス「SHIGOTOGI_SHIGOTOSHI (シゴトギ、シゴトシ)」を定義している。28 行目から 30 行目はトップのクラス「HADAKKO (ハダッコ)」を定義してい

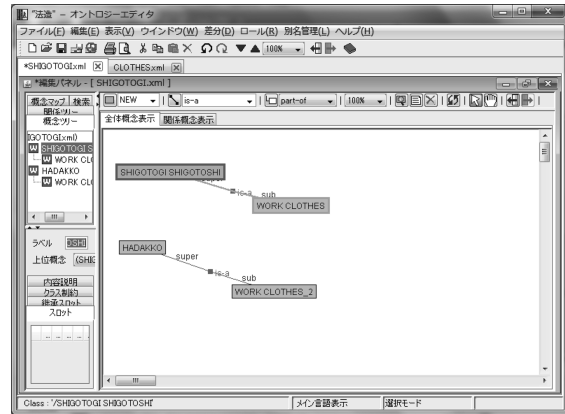


図 21 推論に使用する法造 1

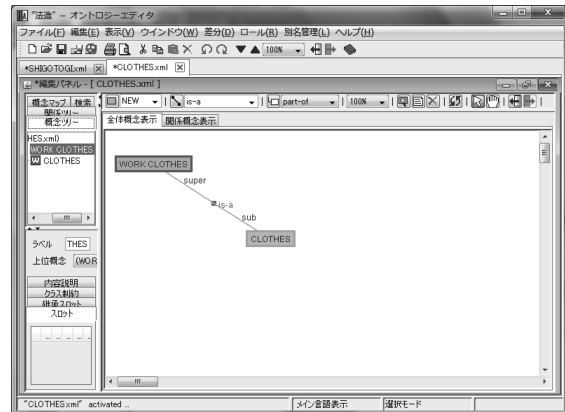


図 22 推論に使用する法造 2

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <owl:Ontology rdf:about="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
4   <owl:import href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
5   <owl:import href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
6   <owl:import href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
7   <owl:base href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
8
9
10  <owl:Class rdf:ID="RelationConcept">
11    <rdfs:label RelationConcept />
12  </owl:Class>
13
14  <owl:Class rdf:ID="HasPart">
15    <rdfs:label HasPart />
16  </owl:Class>
17
18  <owl:Class rdf:ID="HasAttribute">
19    <rdfs:label HasAttribute />
20  </owl:Class>
21
22  <owl:Class rdf:ID="SHIGOTOGI_SHIGOTOSHI">
23    <rdfs:label SHIGOTOGI_SHIGOTOSHI />
24  </owl:Class>
25
26  <owl:Class rdf:ID="HADAKKO">
27    <rdfs:label HADAKKO />
28  </owl:Class>
29
30  <owl:Class rdf:ID="WORK_CLOTHES">
31    <rdfs:label WORK_CLOTHES />
32  </owl:Class>
33
34  <owl:Class rdf:ID="CLOTHES">
35    <rdfs:label CLOTHES />
36    <rdfs:subClassOf href="#WORK_CLOTHES" />
37  </owl:Class>
38
39  <owl:Class rdf:ID="UndefinedClass">
40    <rdfs:label UndefinedClass />
41  </owl:Class>

```

図 23 推論に使用する OWL1

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <owl:Ontology rdf:about="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
4   <owl:import href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
5   <owl:import href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
6   <owl:import href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
7   <owl:base href="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
8
9
10  <owl:Class rdf:ID="RelationConcept">
11    <rdfs:label RelationConcept />
12  </owl:Class>
13
14  <owl:Class rdf:ID="HasPart">
15    <rdfs:label HasPart />
16  </owl:Class>
17
18  <owl:Class rdf:ID="HasAttribute">
19    <rdfs:label HasAttribute />
20  </owl:Class>
21
22  <owl:Class rdf:ID="SHIGOTOGI_SHIGOTOSHI">
23    <rdfs:label SHIGOTOGI_SHIGOTOSHI />
24  </owl:Class>
25
26  <owl:Class rdf:ID="HADAKKO">
27    <rdfs:label HADAKKO />
28  </owl:Class>
29
30  <owl:Class rdf:ID="WORK_CLOTHES">
31    <rdfs:label WORK_CLOTHES />
32  </owl:Class>
33
34  <owl:Class rdf:ID="CLOTHES">
35    <rdfs:label CLOTHES />
36    <rdfs:subClassOf href="#WORK_CLOTHES" />
37  </owl:Class>
38
39  <owl:Class rdf:ID="UndefinedClass">
40    <rdfs:label UndefinedClass />
41  </owl:Class>

```

図 24 推論に使用する OWL2

る。31 行目から 34 行目は「WORK_CLOTHES (仕事着)」が「HADAKKO (ハダッコ)」のサブクラスであることを定義している。35 行目から 38 行目は「WORK_CLOTHES (仕事着)」が「SHIGOTOGL_SHIGOTOSHI (シゴトギ、シゴトシ)」のサブクラスであることを定義している。

図 24 は推論に使用する OWL データの 1 つである。29 行目から 31 行目は、トップのクラス「WORK_CLOTHES (仕事着)」を定義している。また、25 行目から 28 行目は、「CLOTHES (服)」が「WORK_CLOTHES (仕事着)」のサブクラスであることを定義している。

図 25 は、推論を行うためのプログラムである。13、14 行目の `ReasonerRegistry. getRDFS SimpleReasoner ( )` メソッドにより必要な Reasoner を取得する。15、16 行目で Reasoner にスキーマのデータをバインドする。18、19 行目の `ModelFactory. createInfModel (reasoner, model)` メソッドにより `InfModel` オブジェクトを生成する。

図 26 に示すように、Jena の lib フォルダに入っている 13 個の jar ファイルをクラスパスに含むようにしてコンパイルする。

図 27 より、「WORK_CLOTHES (仕事着)」が「CLOTHES (服)」をサブクラスに持つことを表示する。

図 28 より、「WORK_CLOTHES (仕事着)」が「SHIGOTOGL_SHIGOTOSHI (シゴトギ、シゴトシ)」と「HADAKKO (ハダッコ)」をサブクラスに持つことを表示する。このタグは元の図 24 および図 25 の OWL に直接含まれていなかった情報である。このことから推論を行ったことでタグが自動的に追加されたことがわかる。

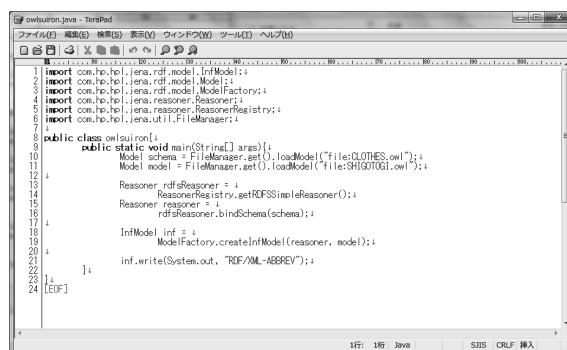


図 25 推論を行うためのプログラム

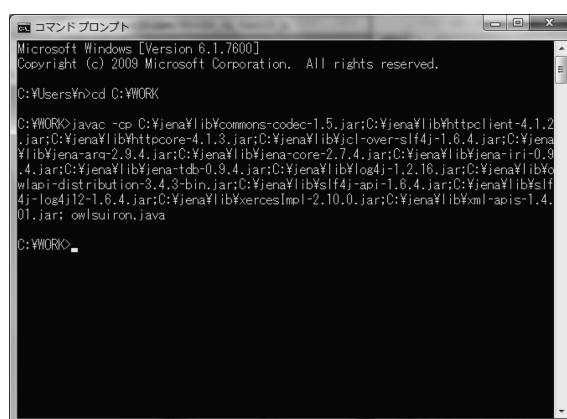


図 26 推論プログラムのコンパイル

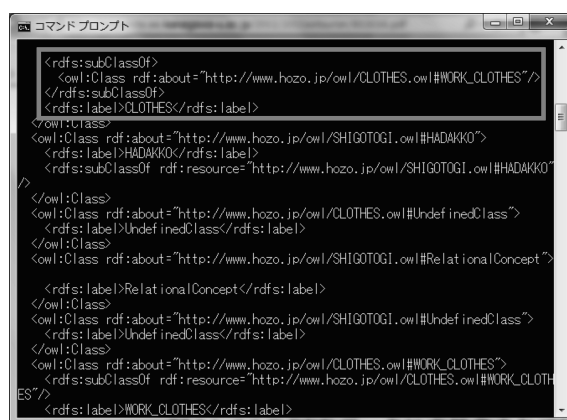


図 27 推論実行結果 1

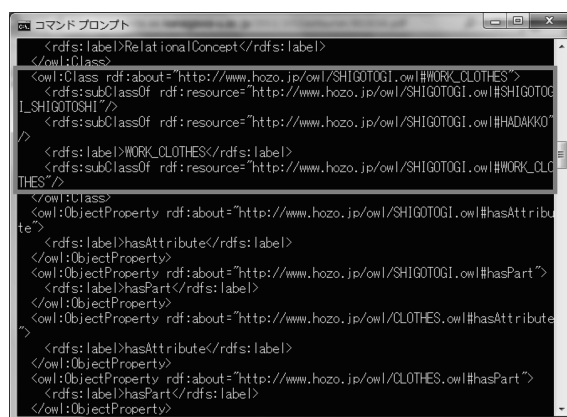


図 28 推論実行結果 2

4. むすび

本研究では、只見町インターネット・エコミュージアムの「キーワード」検索の改善のために「キーワード」の増加を行った。OWL を使用した推論システムの結果、コンピュータが民具カードに記載されていない情報を推論した。また、新たな関係性も示された。本研究により、キーワードの増加による「キーワード」検索の改善に近づいた。本研究において、法造を用いて OWL を自動的に作成可能であるが、細かな部分は手動で修正する必要があった。また、記述のミスがあった場合の修正に手間が掛かるなどの問題点があった。

今後の課題としては、Excel などに記述されている情報を利用できる Ontology 構築ツールの開発やキーワードにシソーラスを用いるシステムと、構築された Ontology を使用した検索システムの開発が挙げられる。

3 自己組織化可能な群知能を用いた情報リソースの管理

提案管理手法は、データ管理の過程に応じて自己組織化する手法にも適用可能である。

1. まえがき

近年、スマートフォン、タブレット端末、PC など個人の持つ電子端末の量が増えている。それに準じ、管理する情報やファイルの数も増^[37]てきている。フラッシュメモリや SD カードといったメモリーカードによる端末間でのファイルの移動、クラウドによる複数端末からのアクセスも増^[39]えている。これらによる複製、移動による作業で個々の端末に在るファイル数は増加の一途を辿る。ファイルの数が増えると管理の手間も増加し、ユーザが自らファイルを管理することは困難になると考えられる。また、現在、増加し続けているファイルは、木構造（階層構造）のディレクトリで管理されている。木構造の中のファイルは静的であり自ら移動することはない。すなわち、木構造のディレクトリのみで管理するという一つのルールのみで縛られ、多様な方向でのファイル管理をすることはできない。

他の問題として、複数端末で多くの情報を扱うため、管理が分散・複雑・煩雑化していることが挙げられる。例えば、複数端末間でファイル管理を行う際、端末間でデータが分散してしまうのに加えて、個々の端末内では、依然として、従来から用いられている木構造のファイルシステムを使用するため、特定のファイルを探すことが困難になると考えられる。^{[38], [20]}これは一つのファイルが、ディレクトリという一つの属性しか持たないために引き起こされる、いわゆる“こうもり問題”が存在しているためである。

例えば、一つの写真データ（画像データ）があったとする。昨今ではこの写真データには基本情報の他に Exif 情報と呼ばれるメタデータが付属されている。撮影日、タイトル、撮影場所、撮影者、画像サイズ、ファイルサイズ、拡張子、カメラの種類など、他にも数十種類の属性が付いている。このような写真データが大量にあった場合、任意の属性でファイルにまとめるのは一つまでであり、図 29 で示すように複数の属性を同時に管理するのは非常に難しい。

これらのデータはソートすることで検索すること自体は安易であるが、検索も一つの属性のみであ

り、問題の解決には至らない。また、視覚的な面で欲しいデータがどこにあるのか直感的に分かりにくく、検索をするにしても時間が掛かるため、個人や組織の活動を少なからず阻害している。

最近では、情報リソースの関係性を表すために、UI (User Interface) など視覚的な面の研究も盛んに行われている。^{[58], [59], [21], [22]} Microsoft が Windows Vista へ搭載するために、WinFS^[23] と呼ばれる統合ファイルシステムの開発を行った。また、Semantic ファイルシステム^[38] と呼ばれるタグの概念を用いたファイルシステムの研究も行われている。Semantic ファイルシステムでは複数の要素を一括で管理できるタグの概念が取り入れられており、関連性のファイルを探し出すことは容易になるが、目に見える形で整理はされておらず、瞬時に目的のファイルを見つけ出すのは困難である。

本研究では、上記に示したファイルシステムにおける問題と、新しいファイルシステムの問題点に対処すべく木構造の静的ファイル管理を脱した動的なファイル管理を提案する。大量のファイルや情報リソースを人間が扱いやすいシステムを作することを目的とする。

2. 関連研究

1. ファイルシステム

ファイルシステムは、コンピュータにおける情報リソースを管理するための、オペレーションシステムが持つ機能の一つである。^[24] 前述のとおり、現在ほとんどのコンピュータではディレクトリ、つまり階層構造を持つファイルシステムが採用されている。階層構造は、ディレクトリの中にファイルや他のディレクトリがあり、その中にもディレクトリが存在している。このような概念は、ファイルの整理をするという観点で優れている。一般的に、ファイルシステムが持つ機能として、ファイルの移動、ファイルの削除、ファイルのコピーがある。また、OS ごとに異なるファイルシステムが用いられている。Windows では、NTFS が、Mac OS では、HFS が用いられている。

近年では、増加するファイルに対し、スムーズにファイルを見つけるためのデスクトップファイル検索も多く研究がなされている。Google が研究開発を行った Google Desktop^[25] があり、これは HTML、文章ファイル、チャットの履歴などをあらかじめ残しておき、履歴内でファイル間の関係性を抽出し、検索を行っている。^[26] また、似たようなファイル検索として、Windows Desktop、Yahoo! Desktop^[27] がある。

プロパティ	値
撮影日	2013/10/10 12:34
撮影場所(GPS情報)	35.360496, 138.727284
製造元	Canon
機器名	Canon IXY 600F
解像度	3000 × 4000
撮影方向	
シャッタースピード	1/160
F値	2.6
サムネイル	—
⋮	

図 29 写真データの Exif 情報

2. 群知能

群知能（Swarm Intelligence）とは、昆虫や動物が採餌行動や防衛などのために行う生物の集団行動に着目し、最適化問題を解くために作られた人工知能である。魚の群れから着想を得た PSO（Particle Swarm Optimization）や、蟻の採餌行動から着想を得た ACO（Ant Colony Optimization）、ミツバチの群れから着想を得た ABC（Artificial Bee Colony Algorithm）^[28] など、様々な群知能が開発されている。群知能では一つ一つの個体（虫、魚、鳥）を particle（エージェント）として扱い、群れを形成させている。最近ではこれらの particle がさまざまな法則に従って群れをなすための研究がなされているが、この群れをなすその“ふるまい”に着想を得て、ファイルシステムと関連付けをさせている。ファイルシステムと群知能を組み合わせることで、より見やすく使いやすいファイルシステムの開発につながる。

3. boid

boid（bird android）とは 80 年代、アメリカで開発された鳥の群れを再現するためのアルゴリズムである。boid は Separation, Alignment, Cohesion で構成されている。Separation は particle 間での斥力、Alignment は並列的な動きをするための力、Cohesion は particle 間での引力である。これら三つの力の組み合わせで、boid は“鳥らしさ”を再現する。

本研究では、各ファイルの持つパラメータの値を照らし合わせ、似ているということを表示して、図 30 で示すように boid の三つの要素と組み合わせ、群れを形成させていく。

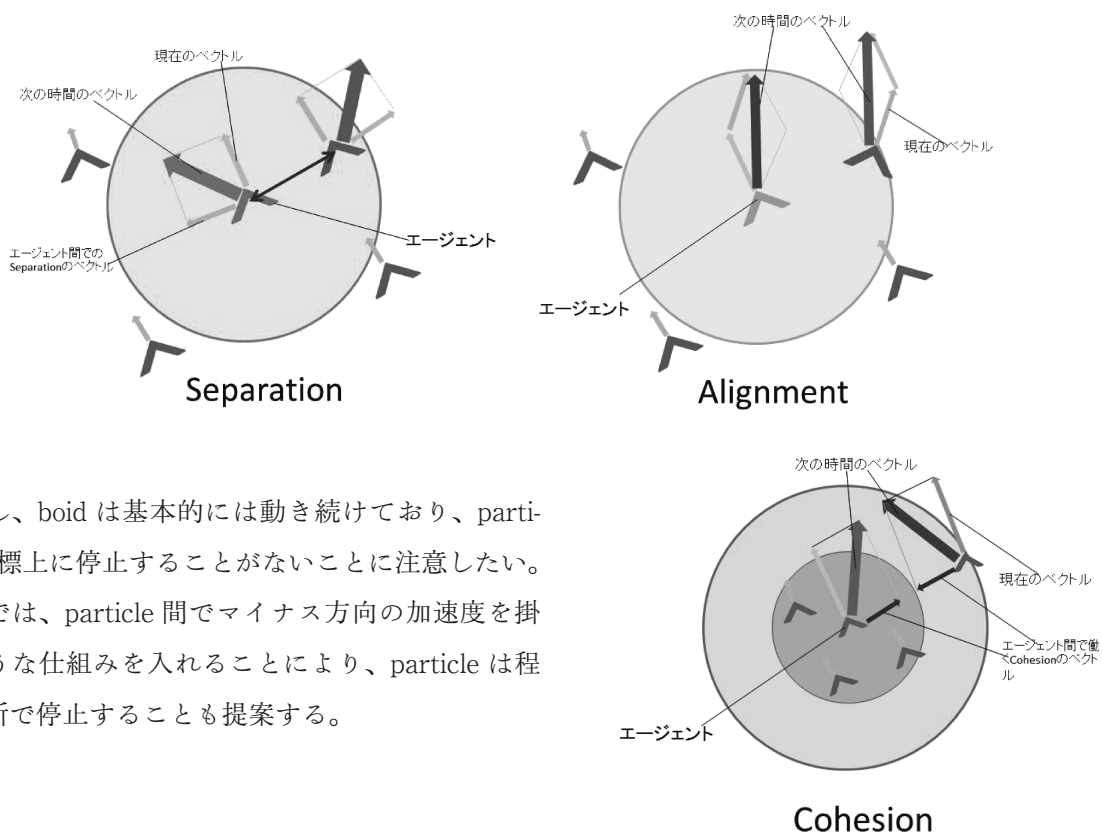


図 30 boid

ただし、boid は基本的には動き続けており、particle が座標上に停止することがないことに注意したい。本提案では、particle 間でマイナス方向の加速度を掛けるような仕組みを入れることにより、particle は程よい場所で停止することも提案する。

4. 非文字資料の検索

そもそも非文字資料とは、文字やデータ化、資料化されていない古い民俗道具のことである。ここでは「民具」と呼ぶ。民具の多くは、地方の農村で使われてきたものであり、古くは親から子へと使い方を伝えられてきたが、近年は機械化や少子高齢化などが進み完全に廃れてしまった。

民具の多くは近年では使われておらず、使い方、使用目的、使う時期などの保存が必要とされた。実際に民具を使っていた先人は、使い方などを記録した民具カードを

残し、鬼籍に入った。しかし、民具カードの非文字資料は大量であり、各民具には様々なパラメータ（目的、地域、使用者など）があるため検索や整理が困難である。

これらの民具カードをデジタル化し、インターネット上で検索できるようなシステムの開発が行われている（只見町インターネット・エコミュージアム）。しかし、デジタル化してもインターネット・エコミュージアムにある民具のデータの要素の種類は多量にあり、整理が非常に困難である。そこでデジタル化されたデータをファイルと同じように扱うことで、本研究の提案と同様に群れとして形成させることが可能となり、道具として似ているものは近くに集まるような仕組みが形成され、民具（非文字資料）の検索に応用ができると考えている。

[illegible]

図31 民具カード

3. 群れを形成するための仕組み

1. 提案手法の概略

提案手法では、様々な属性を反映させたファイル管理を行うことが可能な、多次元管理の手法を導入する。多次元管理には、大きく二つの機能が備わっている。一つは、ファイル及びそれを示すアイコンが群れる仕組みになっているということ。もう一つは、一視点ではなく複数の視点から切り替え閲覧することが可能となることである。これら二つの機能により、一つの視点では、離れていて一見無関係なファイル同士でも、視点を変えることにより同じ群の中におり、中身、振る舞い、ジャンルなどの似たファイルやデータが集まり群れを形成するため、関係性のあるファイルであることが瞬時に分かるようになる。様々な属性でファイルを同時に管理することができる多次元管理として提案している。この多次元管理は、関連性の強い物が中心になるため、自分だけにチューニングされたもの[31], [58]を作ることが可能である。そのため、個人にチューニングされた、あるいは特定の企業・コミュニティなどにチューニングすることが可能でもある。

本提案では、この多次元管理を実現する方法として、群知能を使用している。群れを形成しそれらを多次元から管理する仕組みを boid をベースに提案する。群知能は集まるということが目に見えるので、視覚的な観点から提案のベースとして取り入れている。また、群の階層化 particle は群をなすが、その群も大きな群をなす。階層のように、小さな群は他の小さな群れで集まり、より多くの群と

なる。各情報リソース (particle) が独自で自分の周りの検索をかけることで、自ら群れを組織することが可能である。小さな群れをとるため、現在一般的に使われているディレクトリの階層構造とは、隣り合う群が一目で分かる点で明確な差異がある。

2. particle の動きの定式化

particle が動き回る座標は、particle 間での相対的な距離のみに意味を持つアフィン空間であり、ユークリッド空間ではない。ここで i は particle の番号であり、 j は対象となる particle の番号である。 n は particle の数である。

$\vec{a}_i$ は、 i 番目の particle に掛かる加速度となる。 S は j の particle に対する近似度である。

$\vec{A}_i$ は合成ベクトルである。 t は単位時間、 $\vec{V}_i$ は i 番目の particle の速度、 $\vec{Po}_i$ は i 番目の particle の今の座標となる。ゆくゆくは particle 自ら対象の particle との距離を計算することになるが、現段階ではシステム全体が位置を把握するため直交座標を用いている。 $f_{\text{Similarity}}(P_i, P_j, e_k)$ を particle P_i, P_j 間の要素 e_k の類似度を表す関数とする。

w_k は各要素の重み付けとする。

$$\vec{a}_{ij} = S_{ij} = \sum_{k=1}^m w_k \cdot f_{\text{Similarity}}(P_i, P_j, e_k) \quad (1)$$

$$\vec{A}_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} \quad (2)$$

$$\vec{V}_i(t) = \vec{V}_i(t-1) + \vec{A}_i \quad (3)$$

$$\vec{Po}_i(t) = \vec{Po}_i(t-1) + \vec{V}_i \quad (4)$$

群を作る際、 i 番目の任意の particle における t 時の、 j 番目の particle に対する動き V と位置 Po の計算式である。近似度はお互いの属性がどれだけ一致したかによって変化する。近似度が高ければ高いほど、お互いは強く引かれ合い、結果、より早くそしてより近くへと向かう。つまり、似ているものほど、近くへ向かう。 Po は particle の座標のことである。一つ前の単位時間の座標位置から V を足し合わせる。

3. particle 同士が引き合う引力アルゴリズム

今回提案する一つの particle が引き合うためのアルゴリズムを以下の図 32 に示す。これは boid における Cohesion の部分に相当している。複数の particle が群を作る際、 i 番目の任意の particle (P) における次の単位時間後の描画処理のための計算式である。このアルゴリズムにおいて、 j は対象の particle の番号であり、 k は particle が持つ属性の番号である (m はファイルが持つ属性の数である)。 i 番目の particle と j 番目の particle の持つ属性が一致していればしているほど近似度 S が上がる。近似度 S の値が大きいほど、 i 番目と j 番目の particle は互いに引かれ合い、加速度 a に加算されていく。速度 v は、計算された加速度 a を常に加算し、速度を変化させていく。全ての計算の後、加速度を足し合わせ、合成ベクトル $\vec{A}_i$ とする。図は particle 同士の単位時間での 1 回の動きを示したものである。

4. particle 同士が離れる斥力アルゴリズム

図 32 では、particle は近づく一方で、少しでも似ていれば最終的にはそれらは全て重なってしまう。そこで各 particle にテリトリー (Territory) を持たせる。テリトリーは、個々の particle が自分を中心に円状に持つ。テリトリーの半径は particle も変わらないが、対象の particle によってその大きさが変化する。対象の particle に対して斥力を働かせる。お互いの近似値 S が大きいほど、テリトリーは狭くなる。結果として、似ているもの同士ほど、より近づくことが可能であるといえる。particle i と particle j のテリトリーはデフォルトのテリトリー Te を、近似値 S で割ったものである。図 33 の例では、particle j は particle i の持つテリトリー範囲内には入っていないため、お互いはまだ引か合っている。

また、図 34 の例では二つの particle はお互いのテリトリー内に入っている。テリトリー内に入った場合、引き合うアルゴリズムから離れるアルゴリズムに切り替わる。離れるアルゴリズムは、テリトリー内に入ってしまったら、斥力の加速度はどれも変わらないでいる。しかし、前述の通りテリトリーの範囲やテリトリー内に入ったときの速度及び方向が個々で違うため、結果として動きは particle

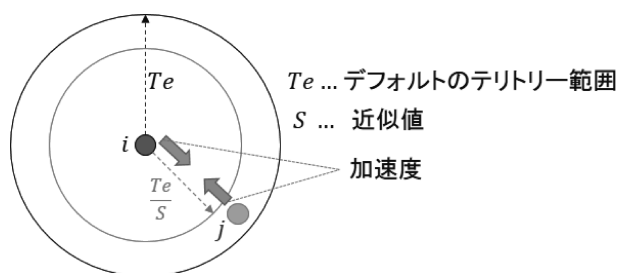


図 33 particle とテリトリー

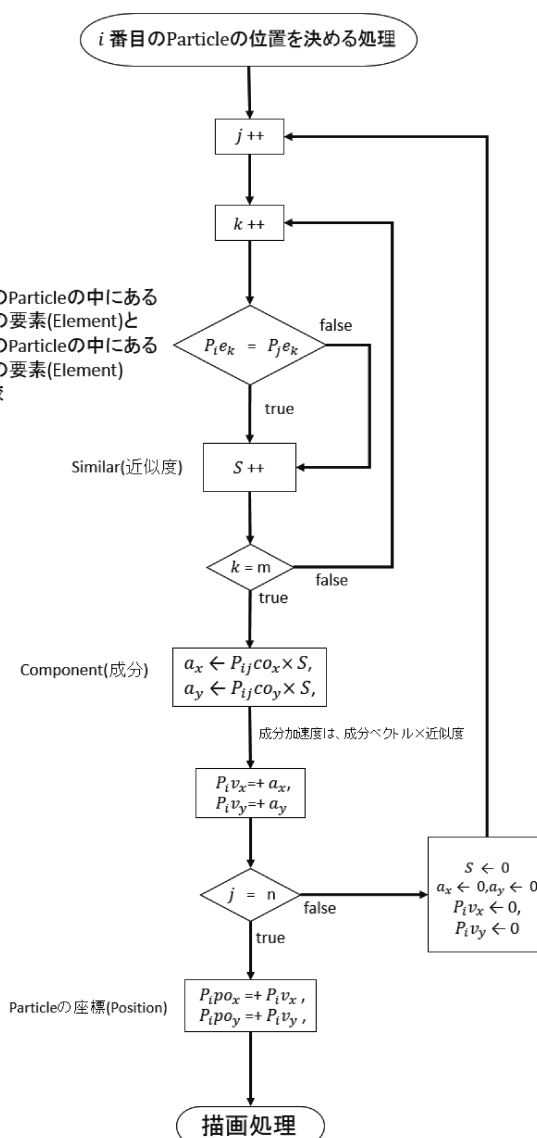


図 32 引力のアルゴリズム

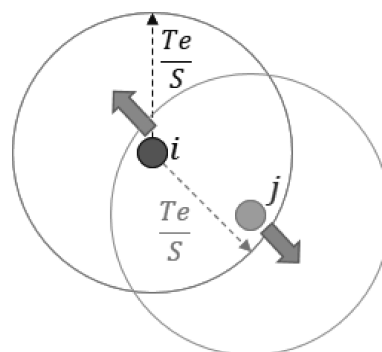


図 34 particle の斥力

によってまちまちである。また、加速度は互いに逆方向を向いていても実際に動いている方向は、互いに向き合っていることもあるので注意されたい。

引力のアルゴリズムに斥力のアルゴリズムを加えると以下に示した図 35 のようになる。

太線で示した部分が、斥力の計算式である。 D_{ij} は particle 間の距離である。テリトリー内では、逆方向の加速度を加える。この図では、マイナス加速度を近似値 S としているが、この加速度が近似値 S である必要はない。定数でも特に問題はない。

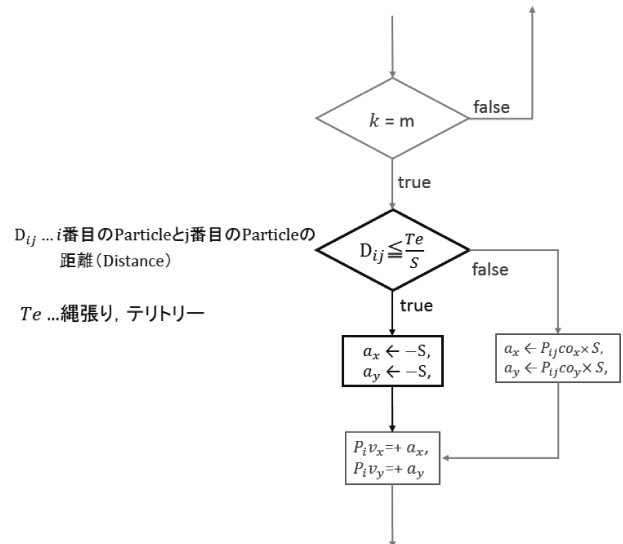


図 35 斥力のアルゴリズム

4. 非文字資料のデータへの適用

1. 引力システムの仕組み

実際に、非文字資料（民具）の検索で開発を行っている。民具の csv を表にまとめたものを、各種別にアイコンをつけ座標上に出力している。ここでは、服、道具、祭事道具等に番号をつけ分類をしている。プログラムの実行時は、各民具アイコンは座標上に間隔が空いた状態でランダムな位置に置かれる。各民具には分類番号の他に、地方名、統一名、作業名、材料、採掘地、寄贈者が書かれている（ここではそれらを要素と呼ぶ）。各民具は自分の要素を、任意の一つの民具の要素と照らし合わせ、一致しているものがないか探す。一致している要素があれば、民具はお互いに座標として 1 単位分近づく。

2. 実装

今回は android SDK（android シミュレータ）を使用し、実装を行った。android のバージョン及び API レベルは、android 4.0.3 API level 15 である。

実行直後 図 36 は、アプリケーションの実行直後のスクリーンショット画像である。民具アイコンが均等に並んでいるのがわかる。しかし、アイコンが集まっておらず、ランダムに並べてあるだけの状態である。各民具の各要素と一致がないか、すべての民具と総当たりで行い、ゆっくりと群れを形成させていく。

実行の数十分後 図 37 が、アプリケーション実行数分後のスクリーンショット画像である。民具アイコン同士が少しずつ集まってきているのが分かる。尚、このアイコンの位置はドラッグすることで、任意の位置に移動させることも可能である。これにより、システムによ



図 36 非文字資料の引力システム 1

て、集まった任意の民具アイコンを人間の意志によって変更させることができる。

民具アイコンの集合 図38は、図37の状態からさらに数十分経ったアプリケーションのスクリーンショット画像である。図39で示したように、アイコンの群れは衣類、生活道具・用具、家具、信仰・宗教用具の4種類で構成される。民具アイコンが画面のやや左に集合しているのがわかる。左に集まっている物ほど、互いに関連性が強い物である。逆に、右側にあるアイコンは要素のどこかで一致している物はあるものの、その種類が少ない民具である。そのため、左側に比べ、右側はややアイコンが疎らである。

また、各民具は必ず一つ以上の民具と一致する要素が存在している。このアプリケーションでは、他の民具と要素が一つでも一致しているものがあれば、その一致する要素の数に関わらず、決まった1単位分近づく。さらに、このアプリケーションでは、斥力のアルゴリズム及びテリトリーの概念は存在していない。そのため、時間が無限に近づくにつれ、一点に収束をしてしまう。



図37 非文字資料における引力システム2



図38 非文字資料における引力システム3



図39 非文字資料のアイコンの種類

5. 教育への応用

日本の地方で古くより伝わっている民具の多くは、現代の機械化や少子高齢化により後世に伝えられていない。日本の歴史の中で先人がどう生活をしてきたのか、どう食べ物を作ってきたかを後世に残していく教育は非常に重要なことであると考えている。古いものをただそのまま伝えるというだけでなく、その時代に適合した教育方法に合わせながら古い資料を伝承していくということが未来へ長く残していくために必要であると考えている。非文字資料をデジタル化し残すことにより、現代人や教育を受ける子供たちは古い資料を扱いやすくそして触れやすくなる。

本研究では、座標上でデータを管理しているので、パソコンやデジタルが苦手な人でも視覚的かつ直感的に資料を取り出せ扱えるというのも、多くの人に受け入れられやすい仕組みとなっている。古いアナログの資料と新しいデジタルの仕組みを組み合わせることで、日本の教育のためのツールの一つとして貢献できる。

6. むすび

本研究では、群知能を利用した新しいファイルシステムが群れるためのアルゴリズムを提案した。この提案の特徴としては、単純に集まるだけでなく、テリトリーという概念を持ち、斥力が働くという部分である。また、非文字資料における引力システムにおいては、開発段階ではあるが群れを形成させることができた。今後の取り組みとしては、今回提案した引き合う引力アルゴリズム及び離れる斥力アルゴリズムと、非文字資料検索の引力システムを組み合わせ、より実用的なシステムを作りあげていく。特に、近似度 S は今回の場合、1 か 0 のみであるため、少しでも似ている particle 同士は引かれ合ってしまう、最終的には収束してしまう。そのため、釣り合う前の遷移段階では、群れを形成しているが、釣り合ってしまうと、群れは形成されない。また、テリトリーや斥力の概念が存在しないことも収束してしまう原因の一つである。斥力がうまく働いたとしても振動してしまう可能性も否定できない。任意の particle 間での近似度の差別化及び、斥力を組み込むことが今後の課題といえる。

4 ACO を用いた検索過程を重視した検索手法

1. まえがき

近年、インターネットを利用してさまざまな情報を調べることができる。また、現代の企業活動において企業間や顧客とのクラウドを介した情報のやり取りが増えてきている。調べたいものを検索すればすぐに欲しい情報は手に入るであろう。しかし、欲しい情報の一般的なものだけがわかり、その情報についての詳しい内容まではわからない場合が多い。そこで、調べたいものに対して有益となる情報を多く取得しながら検索を行うことで、より理解を深めることができるのではないかと考えた。

例えば、数学の問題を調べるとした場合、その問題を検索したら答えは簡単に求めることができる。しかし、答えだけがわかり、その答えがどのように導かれて解かれたかわからない場合が多い。だが、問題を調べるとき、その問題に使われている公式、定理の存在を知り、公式の使い方を知り解き方を理解して問題の答えがわかると、その問題に対して有益な情報を知ることができ、より理解が深まる。また、検索するにあたって他者が行った検索を参考にするすることで、その人が問題に対してどのような情報を得て理解したかを自分の検索に影響させることによって、その人の得た有益な情報を自分にも取り入れることができるのではないかと考えられる。

検索の手助けをしてくれるシステムとしては「推薦システム (Recommender System)」が提案されている。^{[34], [35]} 推薦システムというのは、インターネットソフトウェアツールでオンラインショップなどに対してユーザが調べたいことを見つける手助けをするものである。個人の好みのアイテムや製品を推奨したり、提案したりする。これらのシステムは、多くの場合顧客が購入する可能性がある製品を提示することによって収入を増やすためのマーケティングツールとして、電子商取引のウェブサイトで使用されている。ユーザの個人的な好みを学習し、ユーザに合った推薦を提供するためのシステムである。

「他者の行った検索を参考にする」という機能を実現するために、推薦システムを拡張し、群知能の一種のアントコロニー最適化アルゴリズムを組み込むことで検索過程を推薦する機能を実現する。

多くの工学設計問題では、準最適解で十分な場合が多いので、群知能では厳密解（大域的最適解）ではなく、解に近いものを探索するのに用いられるメタヒューリスティック手法の一つである。群知能にはさまざまな種類があり、「巡回セールスマン問題」など、多くの最適解を求めるものではアントコロニー最適化（ACO）や粒子群最適化（PSO）が用いられている。また、一つの^[32]大域的最適解ではなく、許容できる複数解を効率的に求めることを目的とした改良法が提案されており、とくに検索手法を求める用途には適している。また、一般に群知能は最適解を求めるために用いられるが、本研究では最適解に至るまでの過程を重要視する。おおよその経路を、有益になる情報を得るような経路、評価の良いものを探り、理解を深められるような検索方法を提案する。

推薦システムは群知能の一つである PSO を組み込み、推薦システムに改良を加えた。ユーザーの好みを選択する際に PSO のアルゴリズムを適応させることにより、ユーザーの個人的な好みをより正確に予測して、ユーザーに対する推薦を改善している。^[35]

この推薦システムでは PSO のみを使用している。また、個人の好みといった「個人」のデータを利用している。ここにさらに「他者」のデータを加えることで、自分のデータと他者のデータを組み合わせ、より良いものを探すことができるのではないかと考えた。この他者のデータを利用する際に ACO を用いることで表現できるか試みる。

たとえば、CiNii のようなさまざまな論文を検索するツールの場合、その検索に関係する論文が新しいものから順に出てくる。ここに他者がその検索でどのような論文を見たかを自分の検索に取り入れることで、他者が参考になった論文を自分も見ることができ、理解がさらに深まる。

また、メタ検索手順に Pheromone を付加させて、他社の検索の意図を自分の検索に取り入れられるか検討する。

たとえば、学生が研究を進めていく上で、学生は研究についてさまざまなものを調べることになる。調べるものがある程度わかっていたとしても、検索するときに数多くの情報を一つ一つ見ていくことになる。こうなってしまうと調べものにたくさんの時間を費やしてしまう。その時に、教授がどんな論文を読んだか、どのようなやり方で検索を行っているかといった、どのように情報を集めているかという教授の意図を自分の検索に取り入れる。こうすることによって、学生が検索を行う際に、教授の考えを取り入れた検索となり、教授が参考になったものや教授が優先するもの（情報が新しいものなど）を出してくれる検索となり、学生の検索の手助けになるのではないかと考えた。このような教授の知識をメタ検索手順と定義し、この手順に Pheromone を付加させ、学生もこの手順で検索を行うようにする考えである。

一般に群知能は最適解を求めるために用いられるが、本研究では最適解に至るまでの過程を重要視する。おおよその経路を、有益になる情報を得るような経路、評価の良いものを探り、理解を深められるような検索方法を提案する。^{[32], [33]}

2. 群知能

1. 一般的な群知能

群知能は、メタヒューリスティック手法の一つで、厳密解（大域的最適解）ではなく解に近いものを探索するのに用いられる。それらは個々の行動が単純で、なおかつ群全体の行動を導くような管理

者がいないにもかかわらず、群全体の高度に統制されたかのようにふるまう。群知能はこのふるまいを応用し現実社会の困難な問題を解決するために用いられる。

困難な問題の一つに組み合わせ最適化問題というものがあり、有限個の解集合の中から各々の解に対応した評価値が最も良い解を求めるものである。この問題に対して現実的な計算時間内に最適解ではなくても十分許容可能な精度の解を求める手法としてメタヒューリスティックが使われる。群知能にはさまざまな種類がある。

2. ACO

アントコロニー最適化 (Ant Colony Optimization) とは、群知能の一つで、現実のアリの採餌活動からヒントを得た組み合わせ最適化問題に対するメタヒューリスティック手法の一つである。^{[33], [36]}アリは採餌活動の際に、他のアリとの情報交換の手段として Pheromone と呼ばれる芳香性の物質を地表に分泌することが観察されている。各個体は、餌を探索する際や巣に持ち帰る際に、他の個体が過去に分泌した Pheromone の分布にしたがって確率的な経路選択を行い、その意思決定

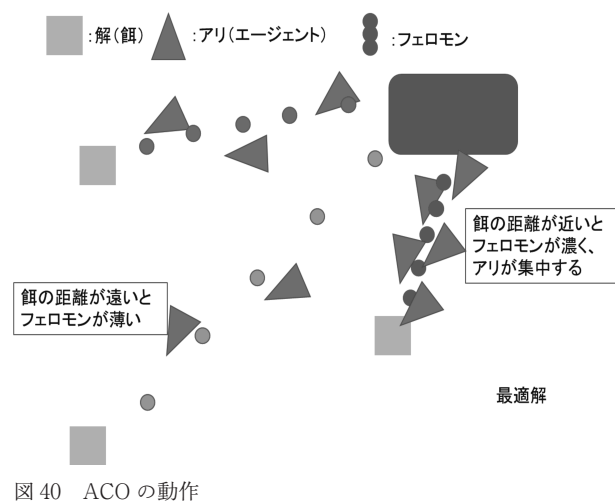


図 40 ACO の動作

の結果を再び Pheromone として地表に分泌する。その結果、多くのアリが選択した経路には多くの Pheromone が分泌され、さらに多くのアリをその経路に誘引するという正のフィードバック効果をもたらされる。このアリの群行動を組み合わせ最適化問題の解の探索に応用した最適化手法 ACO が提案されている。図 40 は ACO の動き方を示している。アリが餌を見つけると Pheromone を残しながら巣に戻る。しかし時間とともに Pheromone の痕跡は蒸発しはじめ、その吸引力がなくなっていく。その経路が長いほど Pheromone は蒸発しやすい。それに対し、経路が短ければ行進にも時間がかからず、Pheromone が蒸発するよりも早く補強されるため、Pheromone 濃度は高いまま保たれる。

ACO が適用される問題は「巡回セールスマン問題」であることが多い。複数の都市を各々一度だけ訪問して出発都市に戻ってくる際に移動距離が最短となる訪問順序を求める問題である。

この問題に適用させた AntSystem というものがある。^[36]AntSystem とは、アリが餌を巣に運ぶ行動とその際に分泌される Pheromone をモデル化したもので、探索エージェントはヒューリスティックな情報である都市間の距離情報と Pheromone 情報をもとに探索を行う。AntSystem の特徴はエージェントの探索にヒューリスティック値と呼ばれる探索領域への静的な評価値と、Pheromone と呼ばれる探索領域への動的な評価値を組み合わせたところにある。エージェント k が時点 t において都市 i から次に訪問できる都市集合 N_k の未訪問都市 l の中で、都市 j への移動確率 $P_{ij}^k(t)$ は次式で与えられる。

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{l \in N^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}(t)]^\beta} \quad (5)$$

ここで $\tau_{ij}(t)$ は都市 i から都市 j の間に蓄積されたフェロモン量 $\eta_{ij}(t)$ はヒューリスティックな情報で、都市間の距離の逆数として与えられ、 α と β は Pheromone 情報と距離情報の重みを定義するパラメータである。^[33]

図 41 は巡回セールスマン問題における ACO の動き方である。アリは距離が短いと Pheromone を濃く残すので、距離が短いルートを選ぶ。

Pheromone 情報は蓄積と蒸発を繰り返し、Pheromone が多いほどエージェントに対する誘因性が高まる。それにより、さらなるエージェントが都市間を移動して Pheromone

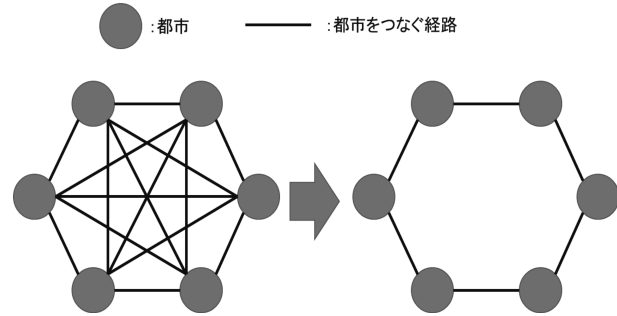


図 41 巡回セールスマン問題における ACO を用いた手法

を分泌することで、他のエージェントがその都市間を移動する確率が高まるのが基本的な原理である。Pheromone はいわば過去の探索情報の蓄積であり、この Pheromone のコントロールが AntSystem の探索性能を決定する。^[36]

また、ACO にはさまざまな拡張手法がある。階層的クラスタリングのためのアリの自己組織化モデルというものがある。^[40] アリはあるサポートと呼ばれるスタート地点から出発する。アリはこのサポートへつながり始め、つながったアリにさらにつながっていく。あるアリがつながったとき、それは組織の一部となり、他のアリがこのアリを超えて移動する。もしくはそのアリとさらにつながる。この組織は、アリによって行われる局所的な行動に従い、時間経過とともに成長していく。移動中のアリは局所的な組織や視覚的に惹きつけられる（たとえば目的地の影響を受ける）。

このモデルはアリがその他のアリを探す際、似ているものを探す。その時、データベースでアルゴリズムを検証する際、このような類似度計算を行っている。

$$Sim(i, j) = 1 - \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (v_{ik} - v_{jk})^2} \quad (6)$$

M は属性の数。 v_{ik} はデータ v_i における第 k 番目の属性値である。^[51]

3. PSO

粒子群最適化（Particle Swarm Optimization）は粒子群により解を探索するもので、連続問題に優れた解探索性能を持ち、メタ戦略の中の GA（遺伝的アルゴリズム）などと異なる手法として注目されている。

これは多次元空間において位置と速度を持つ粒子群でモデル化される。これらの粒子は空間を飛びまわり、最善な位置を探す。位置の評価は適応度関数で行う。群れの粒子は良い位置について情報交換し、それに基づいて自身の位置と速度を調整する。

PSO は群れ上の粒子（エージェント）が情報を共有しながら多次元空間内を探索する群知能アルゴリズムである。各粒子は位置ベクトル (x_i) と速度ベクトル (v_i) で特徴づけられる。ここで下付

$i(i=1, \dots, N)$ は粒子番号を表す。各粒子は自身が探索の過程で発見した最良解 $[pbest_i]$ 、および群れ全体で共有する（全粒子中の）最良解 $[gbest]$ を用いて、探索の終了条件が満たされるまで、群を構築する全粒子でより良い解を探索し続ける。具体的には一つ前の速度ベクトル (v_i^k) 、自身が探索の過程で発見した最良解 $[pbest_i^k]$ 、群れ全体で共用している最良解 $[gbest^k]$ の線形結合として新たな速度ベクトル (v_i^{k+1}) を生成し、新たな探索点 (x_i^{k+1}) まで移動する。こ

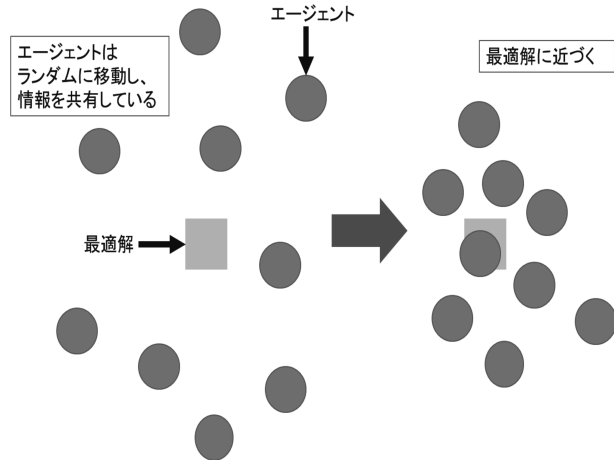


図42 PSOの動作

こで上付 k は探索回数を表し、 $k+1$ 回目を探索における粒子 i の速度ベクトル (v_i^{k+1}) と位置ベクトル (x_i^{k+1}) は次式によって生成および更新される。

$$v_i^{k+1} = \omega \cdot v_i^k + C_1 \cdot r_1 \cdot (pbest_i^k - x_i^k) + C_2 \cdot r_2 \cdot (gbest^k - x_i^k) \quad (7)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (8)$$

ここで、 r_1, r_2 は $[0, 1]$ の一様乱数、 ω は粒子の慣性力係数、 C_1, C_2 は学習係数であり、それぞれ^[32]の項に対する重みの係数として機能する。

図42はPSOの動き方である。各エージェントがランダムに動き、最終的に最適解の位置に動く。

3. 推薦システム

推薦システムとは、その人の好みに基づいて顧客に商品や製品を推奨したり提案するシステムを指す。これらのシステムは、多くの場合顧客が購入する可能性があるものを提示するマーケティングツールとして、電子商取引のウェブサイトで使用される。このようなウェブサイト中で、推薦システムを用いることで、顧客ごとのニーズを取得することができる。

参考文献[41]では、Movie-Lensというウェブサイトを用いて推薦システムの提案を行っている。この推薦システムにおいては、あらかじめ各ユーザごとに年齢や映画の好みなどのプロフィールを作成し、各ユーザの映画の履歴情報を蓄積することで、同様のプロフィールを持つユーザに対して、適切な映画を推薦することを可能としている。プロフィールが似ているユーザは、類似度を用いて判断される。

さらに、この推薦システムでは、映画を particle としてとらえ、PSOを用いて、最も良い映画を提供することができる。

4. 提案推薦システム

1. 教育現場において必要な検索とは

例えば、大学の研究室において、学生が研究を始める際のことを考えてみる。研究に配属になった学生が研究を始める際、まずは自分の研究の動向を調べるために、情報収集を行うだろう。しかし、ほとんどの学生がその研究についての知識は浅いものである。たとえば、論文の検索を行うときには

一つのキーワードのみで検索を行って情報収集を行うだろう。そのキーワードの関連した情報は出てくるが、どの情報から手を付ければいいのかはそのキーワードにおいての知識がある程度ないと分からないものであり、手当たり次第に探すことになる。さらに情報を見ていくうちにそのキーワードと関連のあるキーワードの出現により、本来の研究とは方向性が違ったキーワードも出てくる可能性がある。そうなってしまうとさらに情報収集に時間を費やしてしまい、情報の整理もままならず、研究がうまくいかなくなる恐れがある。

そこで、本研究では、検索をする際に、他者の検索履歴を参考にする検索方法を考える。たとえば、「他者」をその研究室の教授とし、学生が研究の参考文献を調べる際に、教授が文献を調べた際の検索履歴を参考にすることを考える。一般に、教授は知識が豊富で、数多くの学会を知っている。教授は、信頼性があり本研究室の分野に近いであろう学会や国際会議から、論文や国際会議原稿などを集めることができるだろう。一方で、学生は、学会や国際会議の情報を知らないまま、キーワードからヒットした多数の論文の中から、関連する文献を探すこととなる。この場合、仮に原稿の種類（論文誌、国外会議原稿、国内研究会原稿）や、学会や国際会議の種類をタグ付けし、そのタグの推移で検索を行うことができれば、学生が参考文献を調べた際にも関連のある論文を効率よく探すことができる可能性がある。

2. 提案手法

群知能を用いた検索および探索において、最短距離や解への速さなどを求めているのではなく、解に至るまでのおよその経路を探るために群知能を用いる。およその経路について、有益となる情報が得られるような経路を探るような検索方法を、群知能を使って提案する。「有益となる情報を得るような経路」を探る上で、このような経路を「他者が通った経路」と考えた。他者が理解した検索を自分の検索に影響を与えることによって、自分も理解が深まると考える。

「他者が通った」という表現に ACO の Pheromone を用いる。他者が行った検索に Pheromone を残し、そして、自分が検索を行う際に、自分の検索と他者の検索の類似度を計算し、似ているものを提供する。その提供するものの中で、他者の Pheromone が強いものを提供させるようにする。

そうすることによって、他者が有益になった情報を自分に取り入れることができると考えた。

また、他者が行った検索に対し他者がどのような「意図」で検索を行ったかについてを視野に入れる。たとえば、他者が検索を行う際、まず新しい情報から調べ、そこから順に古いものを調べていくという探索を行ったとする。そこに検索したものと更新日時の新しいデータに Pheromone をつける。そして自分が検索を行うときに、同じ検索なら他者の検索したものが順に出てくるが、その他の検索に対しては他者の「新しいものから順に探索する」という考え方を自分にも反映した検索を行う。

このような他者の意図を自分の検索に取り入れようと考えている。対象物（URI）に Pheromone をつけることによって他者の検索で優先にしているものを自分の検索に影響を与えることができる。

本研究では推薦システムを用いた検索と ACO の検索の二つの要素を用いた方法を提案する。

3. 推薦システムを用いた検索ベース

今回の検索手法に推薦システムを用いたものを提案する。推薦システムは各ユーザごとに年齢や映画の好みなどのプロフィールを作成し、各ユーザの映画の履歴情報を蓄積することで、同様のプロフィールを持つユーザに対して、適切な映画を推薦することを可能としている。

まず、利用者の属性、対象物の属性、利用者の対象物に対する評価のデータベース化を行う。ここで、教授などの信頼できる人が集合に多く含まれるように設定する。候補決定のための利用者間の類似度に基づく評価式の解析を PSO の評価関数で行う。

次に利用者の過去の評価のデータ集合の利用者と対象物の属性および評価から、利用者の価値観の予測を行う。PSO で価値観を反映するための各要素の最適な重みの組み合わせを決定する。

そして、着目した利用者以外の利用者のデータ集合に予測した価値観を適用して推薦結果を提示する。推薦する対象物の候補に評価式を適用し推薦対象物を決定する。

プロフィールについて、利用者の属性、対象物 (URI) の属性、利用者の対象物に対する評価 (検索時の選択順序、検索の過程での適合度など)、ACO で求めた対象物 (URI) 探索履歴などの属性を決める。この属性をプロフィールとして行う。

そして、自分のプロフィールと似ているものを探す際に類似度計算を行う。ユークリッド距離に近い利用者を評価の対象とする。

そして、同じような研究をしている研究者の検索履歴を使ってメタ検索の方法 (メタ検索の戦略) を推薦する。この推薦された対象物 (URI) の戦略を、自分の検索に取り入れることでより効率のよい検索を行うことができる。

あるプロフィールを持ったユーザが、検索に対してある戦略をとった回数に応じてレーティングが自動的につくようにすることで、どの戦略が良いかがわかり、良い戦略が選ばれる。

4. ACO を用いた検索ベース

今回の検索手法にもう一つ、ACO を用いたものを提案する。ACO の Pheromone を用いて、検索経路を探す。ACO の座標系に URL を使用する。こうすることにより、細かい位置を決めることができる。Pheromone は他者の通った道筋を自分もその道筋をたどっていくために使用している。Pheromone は他者の見たデータの URL に付加される。そして他者の検索で通った URL の推移を自分の検索においてその URL の推移で検索を行うことができるのではないかと考えた。

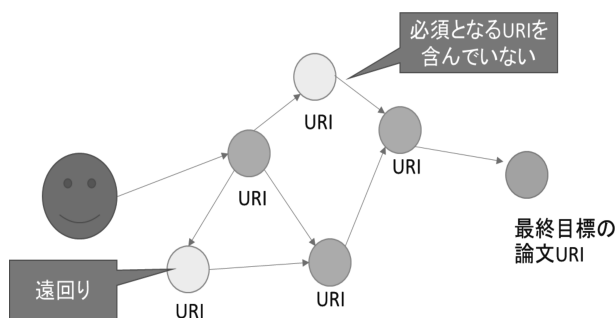


図 43 ACO による探索経路

検索した URI に Pheromone を分泌させ、利用者ごとの最適な URI の検索履歴情報を取得する。

推薦する対象物を URI とし、必須となる関連研究や基礎知識の URI を通る検索が必要になるので、この必須となる URI を通るような URI の探索経路を ACO を用いて最適化する。

ACO で見つけた解から戦略が生成される。

5. むすび

検索に不慣れな人でも、インターネットに偏在する情報リソースを有効活用し、検索目的以外の有用な情報リソースを参照可能な方式について考察した。ポイントは、「他者が参照した情報リソースの軌跡」を有効に利用すること、そして「情報リソースの軌跡を残した『他者のプロフィール』」を利用することである。

Ant Colony Optimization は、個々の情報リソースまで至る軌跡を追跡可能である。しかし、他者のプロフィールを反映させる概念は Pheromone に想定されていない。

一方、推薦システムはユーザのプロフィールを利用し、個々の情報リソースが推薦される群知能の仕組みを持つ。しかし、推薦される対象は個々の情報リソースであって、参照された情報リソースの軌跡を得る仕組みはない。

今回は ACO と推薦システムという二つの群知能システムを融合する「検索推薦システム」の概念を提案した。

今後、「検索推薦システム」概念をさらに研究し、その効用を明らかにする。

5 価値交換システムにおけるゲーム理論的解析

多様な価値を表現可能にする価値の交換システムを提案する。ここでいう価値とは、単なる金銭的な価値ではなく、地域通貨的に多様な価値を提案し、サービスに対して地域通貨的価値を付与した上で価値の交換システムを作ることを目としている。これまでに、異なる価値観を持つ二者間の価値交換システムについて検討がなされてきた。しかし、これまで提案されてきた異なる価値観を持つ二者間の価値交換システムでは、各ユーザが満足する効用が得られるかどうかは未解決であり、複数人の場合にそのまま適用することができない。そこで、本稿ではゲーム理論を用いて特定の条件下で、 n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案する。

1. まえがき

今日、ほとんどのものが法定通貨で取引が行われている。しかし、法定通貨だけだと特定のコミュニティの価値が反映されずうまく流通しない^[41]。例えば、大型商店街と小型商店街があった場合、大型商店街にお金集中してしまい、小型商店街では情報やサービスが流通しない可能性がある。そこで、近年地域通貨が導入され、小型商店街だけで使える地域通貨により、コミュニティで共通の価値観を反映させることで、流通しやすくなってきた^{[42], [43], [44]}。

また、別の例を挙げると、例えば「高齢者を大切にしよう」というコミュニティがあり、そのコミュニティ内で高齢者の話し相手になるとポイントが付く制度があったとする。中にはポイントは要らず、純粹に高齢者の話し相手になってあげたいという人もいれば、ポイントが付くとしても高齢者の人とは話しにくいという人もいるかもしれない。この様に同じコミュニティでも価値間が異なると流通しない可能性がある。そこで、本稿では、コミュニティ内での異なる価値を考慮し、情報を流通させたときの変化について考察する。ここでいう価値とは単なる金銭的な価値ではなく、地域通貨的に多様な価値を意味している。これまでに、異なる価値観を持つ二者間の価値交換システムについて検

^{[45], [46]}
討がなされてきた。

この価値交換システムにおいては、異なる価値を持つユーザ同士がお互いの価値を交換する。ここで、価値を交換することは、お互いにサービス（行動）を他者のために行い、そのサービスに対しての謝礼によって、実現されることとする。

また、異なる価値観を持つ二つのコミュニティ間で価値の交換を行うための方式が提案されてきた。^[47] 一般に、各コミュニティにおいて、様々な価値を持つ人が複数存在するため、これまでに提案されてきた二者間での価値交換システムは、コミュニティ間での価値の交換にそのまま適用することは困難である。そこで、この従来の研究では、取引をする際、信頼できる代表者が居る場合と居ない場合を考えることで、交換手順を複雑にすることなく、各コミュニティの価値と情報リソースを適切に交換可能であることが明らかとなっている。しかし、これまでに提案されてきた価値観を持つ二者間での価値交換システムでは、各ユーザが満足する効用が得られるかどうかは未解決である。そこで、ゲーム理論を用いて特定の条件下で、 n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案する。ゲーム理論の市場ゲームを用いることで、誰一人不満のない財の交換が存在することが証明できる。よって、財の交換が行われ、交換経済が成立する。このモデルは、コミュニティ内で二者間だけでなく、 n 人間での価値交換が可能となる。

本稿の構成は以下の通りである。2 節にて、ゲーム理論の基礎概念を述べ、3 節では市場ゲームを拡張した価値交換モデルを提案し、最後に 4 節ではまとめ、今後の課題を述べる。

2. ゲーム理論

1. ゲームの基礎概念

本稿では、ゲーム理論の市場ゲームを拡張することにより、価値交換システムをモデル化する。そのために必要な基礎知識をこの節で述べる。

ゲーム理論とは、複数の当事者（プレイヤー）が存在し、それぞれの行動が影響し合う状況（ゲーム）において、各人の利益（効用）に基づいて相手の行動を予測し意思決定を行う考え方のことである。^[48]

ゲームの最も重要な要素は、意思決定し行動する主体であり、これをプレイヤーという。プレイヤーの例は、分析する状況に応じて、消費者や投資家のような個人から、企業、団体、クラブ、政党などのようなさまざまな組織など、多種多様である。^[49]

ゲームにおいて、プレイヤーはそれぞれに明確な目的を持ち、可能な限り自分の目的を達成するように行動を選択することが前提である。ゲームをプレイするために必要な行動の計画を一般に戦略といい、すべてのプレイヤーがそれぞれの戦略に従ってゲームをプレイすることで、それに応じて各人の得る利益が定まる。ゲーム理論ではこれを利得、または効用と呼ぶ。

ゲーム理論は非協力ゲームの理論と協力ゲームの理論に大別できる。非協力ゲームは、ゲームに登場するプレイヤーの合意的意思決定による帰結を研究する理論であり、そのためには、相互依存関係のある状況を数理モデルとして定式化し、そこにおける個々人の合理的な意思決定について分析を行う。

一方、協力ゲームは、プレイヤー間の協力達成とその結果として生じる利益の分配の問題を考察す

る。協力ゲームにおいて、ある共同行動をとるために形成されるプレイヤーの集合を、提携または結託という。全員が協力して利益を得るためには、全員が協調して戦略の選択を調整することが必要であり、その結果として得られた利益を全員でどのように分配するかという最低限の合意が必要である。このとき、個人やさまざまなグループの形成を想定し、それらの獲得可能利益や影響力を基にして、全員による協力の利益の分配問題を分析するのが協力ゲームの目的である。

本稿では、協力ゲームである提携型ゲームの市場ゲームを拡張し、特定の条件下で、 n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案する。

2. 提携型ゲーム

提携型ゲームとは、ゲームに参加するプレイヤーの間で協力を目的として集団を形成し、提携した際に得た利得の合計（提携値）をどのように分配するかを考えるゲームである。

譲渡可能な効用を持つ提携型ゲームは (N, v) で表現される。ここで、 $N = \{1, \dots, n\}$ はプレイヤーの集合である。 v は、 N の提携全体乗の実数値関数である。関数 v は、 N の任意の提携 S に対して提携 S のメンバーが得ることのできる総効用 $v(S)$ を対応させ、関数 v をゲームの特性関数という。

提携型ゲームでは、まず、全体提携が形成された場合の各プレイヤーの得る利得を記述する必要がある。そのような利得分配の記述は、各成分がそれぞれのプレイヤーに対応する利得ベクトルで表す必要がある。ゲーム (N, v) の利得ベクトル $x = (x_1, \dots, x_n)$ が配分であるとは、次の二つの条件が成り立つことである。

$$(i) \quad \sum_{i=1}^n x_i = v(N)$$

$$(ii) \quad \text{すべての } i \in N \text{ に対し, } x_i \geq v(\{i\})$$

ここで、(i) の条件を全体合理性と呼ぶ。全体合理性とは、すべてのプレイヤーの利得の和が全体提携値となることであり、全体提携で獲得した値を全員で分けることを意味している。

(ii) の条件を個人合理性と呼び、各プレイヤーの利得が個人提携値であることを意味している。

全体合理性と個人合理性を満たす利得ベクトルの集合を配分と呼び、配分の集合 I は以下の式で表される。^[50]

$$I = \left\{ x \in \mathbb{R}^n \left| \sum_{i=1}^n x_i = v(N), x_i \geq v(\{i\}), i = 1, 2, \dots, n \right. \right\} \quad (9)$$

また、二つの配分 x と y があり、次の二つの条件が成り立つとき、提携 S を通して配分 y を支配するという。

$$(i) \quad x_i > y_i \quad \forall i \in S$$

$$(ii) \quad \sum_{i \in S} x_i \leq v(S)$$

このとき、 x は y を支配するといい、 $x \text{ dom } y$ と書く。この配分の支配関係を用いて、定義される最も基本的な解の概念がコアである。コアとは、他のいかなる配分にも支配されない配分の集合のことである。すなわち、プレイヤーがどのような提携を形成しても、誰一人配分に不満がない解のことである。^{[51], [52]} 下記にコアの定義を示す。

$$C(v) = \left\{ x \in \mathbb{R}^n \mid \sum_{i \in S} x_i \geq v(S) \quad \forall S \subseteq N \right\} \quad (10)$$

ここで、条件 $\sum_{i \in S} x_i \geq v(S) \quad \forall S \subseteq N$ を提携合理性という。もし、全員に提案されている配分に対し、ある提携によってそれを支配する配分があれば、提案された配分をその提携が拒否することができるとする。このとき、その提案された配分がコアに属していればそれを拒否することができない。このような意味で、コアに属する利得配分は、どの提携にも拒否されず、最終的な分配案となり得る安定的な利得配分ということができる。

3. コアの存在条件

コアは常に存在するとは限らない。コアが空でないための条件は、以下に示すゲームが平衡となること^{[52], [53]}をいう。

N の非空な真部分集合の族 β が平衡集合族であるとき、各 $S \in \beta$ に対して次のような正の重み δ_S が存在することをいう。

$$\sum_{S \in \beta, S \ni i} \delta_S = 1 \quad \forall i \in N$$

ここで、平衡集合族とは、各プレイヤー i が δ_S の割合で提携 S に属していることを記述している。ゲームが平衡であるとは、任意の平衡集合族 β に対して

$$\sum_{S \in \beta} \delta_S v(S) \leq v(N)$$

となることである。平衡ゲームとは、各プレイヤーが δ_S の重みに従って提携 S に属して行動することにより創出される $\delta_S v(S)$ 価値の総和が $v(N)$ 以下であるようなゲームである。

このように、ゲームが平衡ゲームであるとき、コアが存在することが証明されている。

4. 市場ゲーム

提携型ゲームの代表的なモデルに市場ゲームがある。市場ゲームとは、プレイヤー同士が提携を形成し、そのメンバー間で、自分の初期保有財を交換し、効用の和を最大化するゲームであり、交換経済が成り立つゲーム^{[54], [55]}である。

市場ゲームにおいて、効用関数 u_i が次の凹性と単調性を満たすとし、二つの財ベクトル $x = (x^1, x^2, \dots, x^m)$ と $y = (y^1, y^2, \dots, y^m)$ に対して

凹性：任意の $\lambda (0 \leq \lambda \leq 1)$ に対し、

$$u_i(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq \lambda u_i(x) + (1-\lambda)u_i(y)$$

単調性： $x^k \geq y^k (k = 1, 2, \dots, m)$ ならば $u_i(x) \geq u_i(y)$ である。

ここで、単調性とは提携に参加したメンバーたちの利得の純増分が、メンバーの増加にともなって大きくなること^{[56], [57]}である。このとき、市場ゲームは平衡ゲームなので、コアが存在する。経済学において、コアは解として用いられる概念の呼称であるが、市場ゲームにおいては、プレイヤーがどのような提携を形成しても誰一人配分に不満がない解が存在することを意味する。つまり、市場ゲームはプレイヤー同士が提携することにより、そのメンバー間で自分の初期保有する財を交換することがで

き、効用の和を最大化するゲームである。

5. 市場ゲームの定式化

次に一般的な市場ゲームのモデルを示す。^[48]

従来の市場ゲームでは、貨幣と財のみで財の交換を行っている。

ここで、貨幣の場合（例えば法定通貨）は、1000 円である本を一冊買えるとするとき、1000 円あれば誰でも本を一冊買うことができる。つまり、貨幣の場合は個人の価値観によって決まらず、ユーザの価値観に依存しないことがわかる。

また、財（たとえば苺など）は、たとえば苺が大好きな人がいたとする。その人は苺はもの凄く価値が高いと思う人もいるだろう。しかし、苺がそこまで好きではなく、苺に対してそこまで価値を感じない人もいる。このように財の価値観は個人ごとにそれぞれ異なるので、ユーザが持つ価値観に依存する。

次に、下記に示すような交換経済を考える。使用するパラメータは以下のとおりである。

$i \in N$: プレイヤー

$N = (1, \dots, n)$: プレイヤーの集合

$w_i = (w_i^1, \dots, w_i^m, w_i^{m+1})$: プレイヤー i の財の初期保有ベクトル

$x = (x^1, \dots, x^m, x^{m+1})$: 譲渡可能な財ベクトル

n 人のプレイヤーが、 $m+1$ 種類の財の交換を行う。以下では、 $m+1$ 番目の財を貨幣と呼び、任意に分割可能な財とする。

財ベクトル $x = (x^1, \dots, x^m, x^{m+1})$ に対するプレイヤー i の効用関数 $U_i(x)$ は次のようにかけるとする。

$$U_i(x^1, \dots, x^m, x^{m+1}) = u_i(x^1, \dots, x^m) + x^{m+1} \quad (11)$$

式 (11) は、プレイヤー i は貨幣に関して線形な効用関数を持つことを意味する。 u_i はプレイヤーに依存し、 x^{m+1} はプレイヤーに依存しない。ここで、プレイヤーの提携 S が形成され、 S のメンバーの間で財が交換されるとする。このとき、 S のすべてのメンバー i にとって実現可能な財ベクトル $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^m, x_i^{m+1})$ は、

$$\sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \quad (12)$$

を満たさなければならない。提携 S のメンバーの総効用は、

$$\sum_{i \in S} U_i(x_i) = \sum_{i \in S} u_i(x_i^1, \dots, x_i^m) + \sum_{i \in S} x_i^{m+1} \quad (13)$$

である。財の交換によって実現可能な提携 S のメンバーの総効用の最大値を提携 S の特性関数 $v(S)$ とすると、

$$\begin{aligned} v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} & \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x_i^1, \dots, x_i^m) + \sum_{i \in S} x_i^{m+1} \right\} \\ \text{s.t. } & \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \end{aligned} \quad (14)$$

である。この最大化問題は、

$$\begin{aligned} v(S) &= \max_{(x_i)_{i \in S}} \sum_{i \in S} u_i(x_i^1, \dots, x_i^m) + \sum_{i \in S} x_i^{m+1} \\ \text{s.t. } \sum_{i \in S} x_i^j &\leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \end{aligned} \quad (15)$$

とかけることに注意し、これより、式 (15) で定義される特性関数 $v(S)$ は、次の関数と戦略的同等である。

$$\begin{aligned} v(S) &= \max_{(x_i)_{i \in S}} \sum_{i \in S} u_i(x_i^1, \dots, x_i^m) \\ \text{s.t. } \sum_{i \in S} x_i^j &\leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \end{aligned} \quad (16)$$

戦略的同等とは、二つのゲーム $(N, v), (N, v')$ があったとして、特性関数 v, v' の間に以下の条件が成り立つとき、二つのゲームは同値なゲームであると考え、戦略的同等であるという。ある正の数 α , 実数 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ が存在して、すべての $S \subseteq N$ に対し、

$$v'(S) = \alpha v(S) + \sum_{i \in S} \beta_i$$

ここで、正数倍のパラメータ α は、全員共通であるが、これは譲渡可能効用の仮定と整合的にするためである。

このようにして、市場ゲームとして定式化できる。

3. 市場ゲームを拡張した価値交換モデル

本研究では、ゲーム理論の市場ゲームを拡張することによって、提案価値交換システムをモデル化する。これにより、誰一人不満のない財の交換が存在することが証明される。今回拡張するのは、従来の貨幣だけでなく、新たに地域通貨と多様な価値観を反映させた上でモデル化する。提案するコアの意味は、提携 S のすべてのメンバーの利得の和が提携 S にとって実現可能な総利得以上であり、配分に不満がないことを意味する。

まず、市場ゲームを拡張した価値交換モデルを示す。従来の市場ゲームでは貨幣と財のみを交換していたが、さらに拡張し、地域通貨と多様な価値観を反映させたので、価値交換の流れが増えていることがわかる。

ここで、地域通貨の場合、例えばあるコミュニティ A では老人の話し相手になると 100 ポイント貰える制度があるとする。そのコミュニティ内では誰でも老人の話し相手になると 100 ポイント貰えるので、ユーザの価値観に依存しないのがわかる。

また、別のコミュニティ B では犬の散歩を手伝うと 200 ポイント貰える制度があるとする。このコミュニティもコミュニティ内なら誰でも犬の散歩を手伝えば 200 ポイント貰えるので、ユーザの価値観に依存しない。しかし、コミュニティ A とコミュニティ B の間で見たとき、それぞれコミュニティごとに価値観が異なる。つまりコミュニティ単位で考えたときは、コミュニティの価値観に依存するのがわかる。

一方、多様な価値観の場合は、同じコミュニティ内でも気持ちや感情といった価値観は個人によってそれぞれ異なるので、ユーザが持つ価値観に依存する。

次に、下記に示す交換経済を考える。使用するパラメータは以下のとおりである。

$i \in N$: プレイヤー

$N = (1, \dots, n)$: プレイヤーの集合

$w_i = (w_i^1, \dots, w_i^{m+n})$: プレイヤー i の財の初期保有ベクトル

$x = (x_i^1, \dots, x_i^{m+n})$: 譲渡可能な財ベクトル

$x' = (x_i^{m+3}, \dots, x_i^{m+n})$: 多様な価値ベクトル

n 人のプレイヤーが、 $m+n$ 種類の財の交換を行う。財とは相手に提供できそうな価値のあるもので、 $m+1$ 番目の財を貨幣、 $m+2$ 番目を地域通貨、 $(m+3, \dots, m+n)$ 番目を多様な価値観とする。多様な価値観の例として、例えば $m+3$ 番目に嬉しさや期待といった感情、 $m+4$ 番目に何かお手伝いしてあげたい、といったボランティア精神などがある。これらは、分割可能な財とする。ここで、財ベクトル x に対するプレイヤー i の効用関数 U_i を以下のように定義する。

$$U_i(x^1, \dots, x^{m+n}) = u_i(x^1, \dots, x^{m+n}) + x^{m+1} + p_i(x^{m+2}) + q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \quad (17)$$

ここで、式 (17) 中のパラメータの意味は以下のとおりである。

U_i : プレイヤー i の効用関数

u_i : プレイヤー i の財の効用関数

p_i : プレイヤー i の地域通貨の効用関数

q_i : プレイヤー i の多様な価値の効用関数

式 (17) より、ユーザ i の効用とは、商品やサービスなどの譲渡可能な財ベクトルと貨幣、地域通貨と多様な価値観で表される。

ここで、本モデルにおいては、あるコミュニティ内で、財を交換すると仮定する。地域通貨の効用関数を表すため、コミュニティ内で考えた場合、コミュニティ内のユーザ同士は地域通貨に関しては同じ価値を持つと仮定できる。さらに、一般的な地域通貨においては、地域通貨が増加した際の効用の増分が一定であると仮定できる。また、地域通貨における効用は、貨幣における効用とは異なる効用を持つと考えられる。以上より、以下の式 (18) を仮定する。

$$p(x^{m+2}) = \lambda x^{m+2} \quad (18)$$

しかし、コミュニティ内でもプレイヤーごとに異なる価値観を持つと仮定できる。気持ちや感情といった効用が高くなるほどユーザの効用が高くなると仮定する。貨幣と地域通貨における効用と異なる効用を持つため、以下の式 (19) を仮定する。

$$q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) = \mu x'^T \quad (19)$$

ただし、 x'^T は、 x' の転置ベクトルとする。

ここで、プレイヤー同士が提携することを考える。提携 S とは、 N の部分集合 $S \subseteq N$ を意味する。市場ゲームにおいては、プレイヤーの提携 S が形成され、提携 S のメンバー間で財を交換する。このとき、 S のすべてのプレイヤー i にとって実現可能な財ベクトル $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^{m+n})$ は、以下の不等式を満たす必要がある。

$$\sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \quad (20)$$

ここで、 $\sum_{i \in S} x_i^j < \sum_{i \in S} w_i^j$ は、交換した際に財を消費、または破棄することを意味し、 $\sum_{i \in S} x_i^j = \sum_{i \in S} w_i^j$ は等価交換を意味する。そして、提携 S のプレイヤーの総効用は、式 (20) で表される。提携 S のメンバーの総効用は、分割不可能な物やサービスの総効用、貨幣の総効用、地域通貨の総効用、多様な価値の総効用の足し合わせである。

$$\sum_{i \in S} U_i(x^1, \dots, x^{m+n}) = \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m) + \sum_{i \in S} x^{m+1} + \sum_{i \in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i \in S} q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \quad (21)$$

ここで、財の交換によって実現可能な提携 S のプレイヤーの総効用の最大値を、提携 S の特性関数値 $v(S)$ とする。

$$\begin{aligned} v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} & \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m) + \sum_{i \in S} x^{m+1} + \sum_{i \in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i \in S} q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \right\} \\ \text{s.t. } & \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (22)$$

ここで、貨幣に着目すると、式 (22) の特性関数は、戦略的同等性より以下の特性関数となる。

$$\begin{aligned} v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} & \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m) + \sum_{i \in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i \in S} q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \right\} \\ \text{s.t. } & \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (23)$$

また、地域通貨に着目すると、式 (18) より、式 (23) の特性関数は、戦略的同等性より以下の特性関数となる。

$$\begin{aligned} v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} & \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m) + \sum_{i \in S} q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \right\} \\ \text{s.t. } & \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \end{aligned} \quad (24)$$

以上より、地域通貨およびプレイヤーごとの価値を考慮した交換経済を提携形ゲームの市場ゲームとして定式化できる。

一方、一般的な市場ゲームは、任意に分割可能な財は貨幣のみを仮定しているため、戦略的同等により、式 (16) が市場ゲームの特性関数として定義される。

この一般的な市場ゲームではコアが存在すると証明されている。しかし、今回定義した特性関数 $v(S)$ は提携 S のメンバーの提携 S に対する多様な価値の総効用が異なるため、コアが存在するかは不明である。よって、コアが存在する条件を別途考察する必要がある。

ここで、プレイヤーごとの価値の財も、プレイヤー i の財の効用関数 u_i に含まれると仮定すると、以下ようになる。

$$v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m, x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \right\}$$

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \quad (25)$$

式(25)を仮定した場合、一般的な市場ゲームの式(16)と同等に定式化できるので、コアが存在する。よって、提携 S のすべてのメンバーの利得の和が提携 S にとって実現可能な総利得以上であり、配分に誰一人不満を持たないような財の交換が存在する。つまり、貨幣だけでなく、地域通貨、多様な価値観を反映させた場合でも従来の市場ゲームと同等に財の交換を行える。

4. むすび

本稿では、ゲーム理論を用いて特定の条件下で、 n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案した。このモデルは、既存の二者間だけでなく、 n 人間での価値交換が可能となる。しかし、今回提案したモデルでは、コミュニティ内のみでの価値交換で、コミュニティ間での価値交換には対応していない。

また、今回提案したモデルは、コミュニティ内の価値交換ではメンバーごとの地域通貨に対する効用は等しいと仮定している。この条件のときのみ市場ゲームと同等に定式化できると証明されたが、実際はコミュニティ内でもメンバーごとに地域通貨に対する効用が異なる可能性がある。

今後の課題として、上記の問題を考察する必要がある、さらに、今回提案したモデルをコミュニティ間で適用可能か検討する必要がある。

6 ベジェ曲線を用いた電子透かしの提案

1. まえがき

現在パソコン、およびインターネットの普及、小型端末の登場により、ネットからダウンロードして、パソコンや携帯端末などで読むことのできる電子書籍の市場が広がり始めている。小説などの文章だけでなく、漫画コンテンツなども電子書籍化が始まっている。また、ネット上には様々な種類の画像投稿サイトも存在しており、アマチュアの絵描きも自由な投稿が行われている。しかし、デジタルデータは複写、保存、加工が容易に行えるという特徴を持っており、ペイントソフトを使えばトレースなども容易に行うことができる。イラストの不正利用者はオリジナルの画像をそのまま使うのではなく、様々な処理によって改変を加えたり、線画部分をトレースして使用したり、線画を元に全く別の着色をすることで、自分の作品として用いることが多い。

実際にプロの漫画家が他の人の漫画作品から人物や背景をトレースするという事件も発生した。^[58] 画像投稿サイトからイラスト画集が発売されたが、その中にも他の人の作品からトレースしたと思われる画像が使用されるといった事件が起きている。画像が電子書籍のようなデジタルデータになればトレースなどが容易になり、このようなことが今後も発生する可能性は十分にあると考えられる。

このような問題を解決するために著作権保護技術として特徴量を用いた画像検索技術や、電子透かし等の技術が存在している。しかしトレース画像において主に使用されている二値の線画像についての有効な手法はあまり検討されていない。特徴量による画像検索などは、二値の線画像の情報量が多くないため、特徴量のデータベースの情報量が画像の情報量を上回ってしまう。また、二値の線画像

の場合は誤検出も多い。

上記の理由により、特徴量による画像検索よりも、電子透かしによる著作権保護が有効であると考えた。しかし、漫画など主に二値の線により構成されている画像に対して、画素数に対する情報量が少ないので品質を保ったまま必要な情報を埋め込むことは困難である。また、画素値に情報を埋め込む手法ではトレース等の手書きコピーに対して、情報の復元をすることができない。

そこで本稿では、二値の線画像の著作権管理に関して、ベジェ曲線を用いて、画素値ではなく形に情報を埋め込む電子透かしの手法を提案する。

2. トレース画像

トレースとは、原画の上から紙に透かし、下の絵を写すことを指す。同じ様な技術に模写というものがあるが、これは原画を見て絵を真似ることを指す。アナログ環境でトレースをする際には、一般的には、トレース台と呼ばれるものを使用し、紙を二枚重ねて使う。

パソコン環境でトレースをする場合には、いくつかのペイントソフトに使用されている、レイヤー機能と呼ばれるものを使用することで簡単に手書きでのコピーが可能となっている。レイヤー機能は図 44 で示す通り、透明な紙を何枚も重ねることができる。最終的にでき上がる絵には透明な紙の層がなくなり、一枚の絵となる。例えばキャラクターと背景を別々のレイヤーで描くことによって、キャラクターと背景でそれぞれに影響なく修正を行ったりすることが可能となる。この機能を利用し、図 45 のように、下に原画を置き、違うレイヤーを使いながら、最後に原画を消去することで簡単にトレースすることが可能となっている。

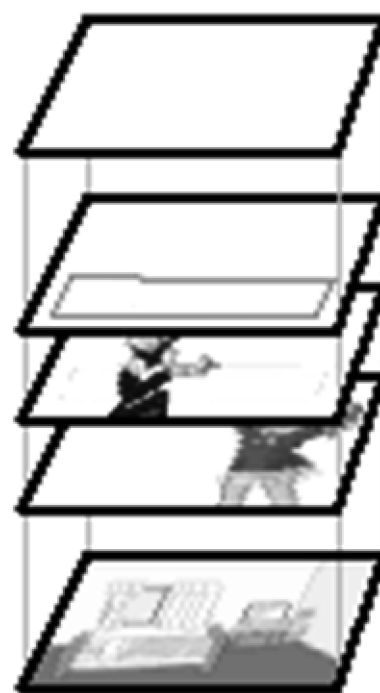


図 44 レイヤー

以降本論文では、原画をトレースし、完成した絵、つまり盗作された絵のことをトレース画像と呼ぶ。

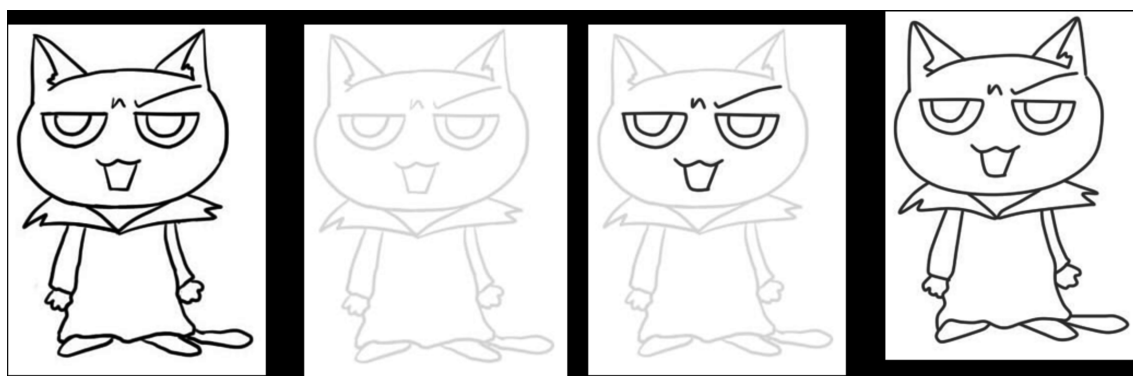


図 45 トレースの流れ

トレース画像の特徴として絵の全体をトレースすることはあまりない。例えば図 47 は図 46 の顔以外をトレースしている。このようにトレースは全体ではなくパーツの一部を使ったコラージュに近いような形で行われることが多い。そのため、絵全体で透かし情報を埋め込むのではなく、絵のパーツごとに埋め込むことが求められる。

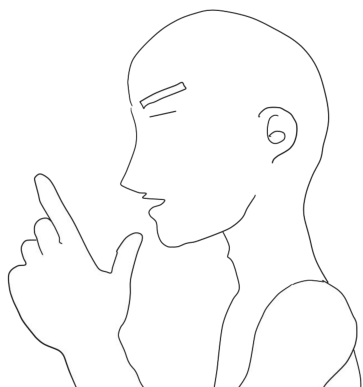


図 46 原画



図 47 トレース画像

3. 電子透かし

電子透かしとは、コンテンツ本体に人の知覚では分からない形で情報を埋め込む技術のことをいう。静止画だけでなく、音楽や動画にも透かし技術は使われている。専用の電子透かし検出ソフトに読み込ませると、作者名やコピー回数などの埋め込まれた情報が表示される。これにより、不正コピーやデータの改竄などを防ぐことが可能となる。さらにデータ改竄されたという事実だけではなく、改竄された箇所も具体的に特定できるようにすることも可能である。電子透かしに求められる主な条件として

- ・コンテンツ自体への埋め込み：コンテンツとの分離可能な部分ではなく、コンテンツ本体に埋め込むこと。
 - ・耐性：様々な編集、例えば拡大縮小、圧縮などを行っても透かし情報が失われずに抽出できること。
 - ・品質：コンテンツの価値を損なうような劣化が起こらないようにする必要がある。
 - ・情報容量：多くの情報を埋め込むことができることが好ましい。
- ^{[59], [60]}などが挙げられる。

中でも耐性に関しては全ての攻撃に対応可能な理想的な耐性を持つ電子透かしを作成するのは、困難である。そのため、自然画や文書、漫画画像など、画像の種類によっても攻撃の種類が変わるため、どのタイプの画像にどのような耐性を持つ電子透かしが向いているのか、ということを考慮することが重要であるといえる。

例えばアニメーション画像などは切り貼りなどの加工をされることが多く、自然画などはボカシを入れるなどの加工が行われやすい。他にも JPEG 画像などの圧縮に耐性を持つものなど様々なものが存在する。^[62]また、耐性を強化するためにいくつかの電子透かしを補助的に埋め込むことで耐性を上げる研究なども行われている。^[63]

現在では埋め込み方法よりも埋め込む場所に着目した画質に対しての研究や 3D 画像に対する研究が多く行われており、例えば特徴量などを利用し、人の知覚に影響を与えにくい領域を選び出すなど様々な方法が提案されている。

今回対象とする二値の線画像の場合、冗長性が少なく、情報を埋め込むのが難しい。また、トレースが行われることによって画素値が完全に变化してしまうため、トレース画像のような手書きコピーに対する電子透かしは現在、存在しない。二値の線画像に対する埋め込み手法として、フォントの間隔など画像構造に着目したものと輪郭部分に埋め込むものが挙げられる。前者は文書画像に対する手法として、行間や文字間の距離、文字の回転角などに情報を持たせることにより情報の埋め込みを実現させる方法が存在している。しかし、文章を想定したものであり、イラスト画像にこの手法を使用することはできない。



図 48 線画像の例

今回の研究の目的である二値の線画像とは図 48 のようなものとなる。図 48 のようにアウトラインのみの画像であり、本来であればこれに着色などの加工を行う。

トレースする場合は線画像部分のみをなぞることになる。また、トレースが行われる際に使用されるのは基本的にこの線画像部分のみであり、それは二値の漫画であっても多値の漫画イラストであっても変わらない。

そのため今回は二値の線画像を対象とした。

4. ベジエ曲線

前述のとおり線画像部分をなぞるというトレースの特性上、画素値による埋め込み手法は使用できない。そこで線の形に着目し、画素空間以外を利用する方式を考えた。本提案方式では、3 次のベジエ曲線を使用する。様々なドローソフトに使用されており、なおかつ実際に漫画家がベジエ曲線により線画像を作成することもあるからである。まずは今回使用するベジエ曲線について簡単に補足をする。ベジエ曲線は PostScript フォントなどで採用されている曲線で、特に多く 3 次のベジエ曲線が使われている。

制御点を $B_0, B_1, \dots, B_{n-1}$ とすると

$$P(t) = \sum_{i=0}^{N-1} B_i J_{(N-1)i}(t) \quad (26)$$

と表現される。ここで $J_{ni}(t)$ はバーンスタイン基底関数のブレンディング関数である。

$$J_{ni}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (27)$$

t は 0 から 1 まで変化する時、 B_0 と B_{N-1} を両端とするベジエ曲線が得られる。一般的には両端以外の制御点は通らない。

3 次のベジエ曲線の場合は図 49 で示すように、一つのベジエ曲線は四つの制御点で構成され、両

端の制御点は端点、間の二点は方向点と呼ばれている。

図 49 では端点から方向点へ線が引かれているが、これは方向線と呼ばれ視覚的に操作するために描写されているだけであり、方向点は画像としては描写はされない。数式で 3 次のベジェ曲線を表現すると以下のような式になる。

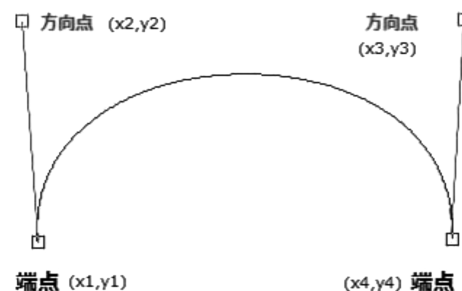


図 49 3 次のベジェ曲線

$$x = (1-t)^3x_1 + 3(1-t)^2tx_2 + 3(1-t)t^2x_3 + t^3x_4 \quad (28)$$

$$y = (1-t)^3y_1 + 3(1-t)^2ty_2 + 3(1-t)t^2y_3 + t^3y_4 \quad (29)$$

$$0 \leq t \leq 1 \quad (30)$$

5. 提案手法

今回は図 50 の内の埋め込みを行う。

今回の実験では対象とする画像は複数のベジェ曲線で構成された二値の線画像であるとする。また各曲線の方向点と端点は分かるものとする。

図 51 は 19 本のベジェ曲線で描かれた線画像である。この 19 本の曲線それぞれに対して情報を埋め込む。曲線一本につき 3 bit の情報を埋め込むことが出来るので、図 51 には 8 byte の情報を埋め込むことができる。

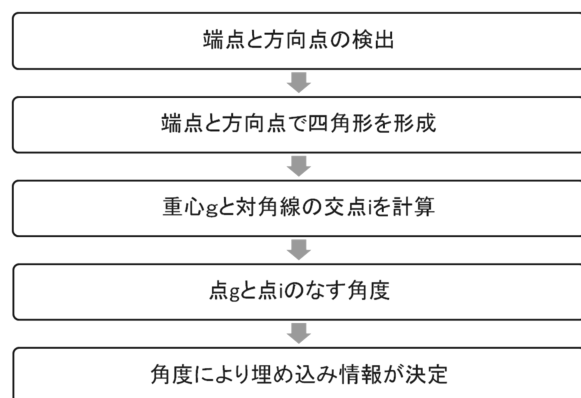


図 50 提案手法の流れ



図 51 ベジェ曲線で描かれた線画像

1. ベジェ曲線を利用した埋め込み

- 端点と方向点で四角形を形成

提案手法では、ベジェ曲線の端点と方向点の 4 点を利用する。まずベジェ曲線の 4 点から図 52 のように四角形を形成し、その重心 g と、交点 i を計算する。

- 重心 g と対角線の交点 i を計算

次に、図 54 のように交点 i と重心 g の角度を計算する。交点 i を原点とし、重心 g をベクトルとしてなす角を求める。

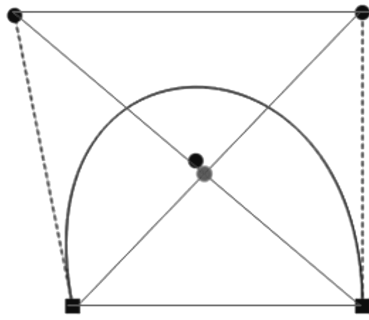


図 52 4点からなる四角形

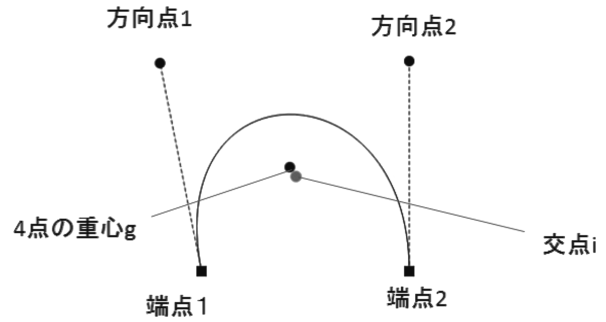


図 53 各点の名称

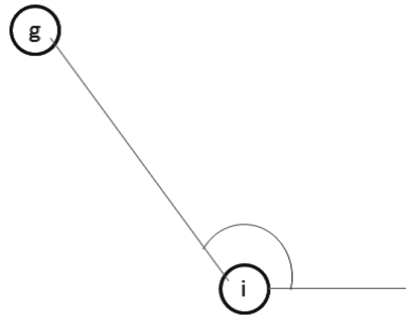


図 54 交点と重心のなす角

- 角度により埋め込み情報が決定

先ほど求めた角度によって図 57 のどの領域に含まれるか決定される。

図 57 の領域は 45 度刻みで設定されている。図 52 では二点のなす角が 210 度なので領域 5 となる。

次に情報を任意の位置に埋め込むために方向点进行操作する。

図 55 は方向点 1 を移動させることで領域 5 から領域 4 へと交点 i と重心 g の位置を移動させている。

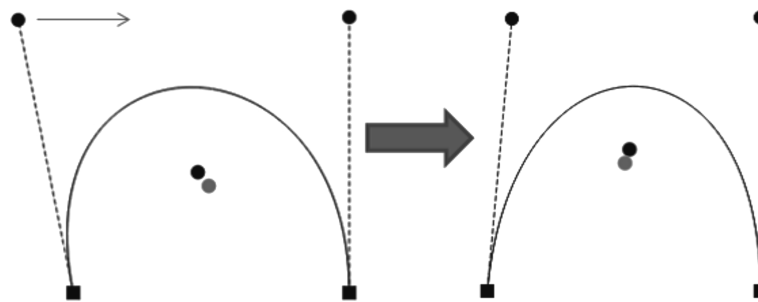


図 55 方向点の操作

この位置関係の範囲に幅を持たせることにより、トレース画像に対して同じ情報が抽出できるのではないかと考えた。例えば領域 3 ならば、端点と方向点の位置がずれたとしても 0 度から 45 度の範囲に収まっていれば同じ情報を抽出することができる。

また、交点と重心を利用するという特性上、交点と重心の位置ができるだけ近い位置にくるようにベジェ曲線を設定することで、情報を埋め込む際に画像の歪みを小さくすることができる。具体的には端点と方向点により形成される四角形が平行四辺形となるように設定し、それを基準に方向点を動かし、重心と交点の位置を調整する。

図 57 のように、領域を 8 つに分け、これにより一つの曲線につき 3 bit の情報を埋め込むことを可能にした。図 56 では領域 5 の位置に重心 g が存在するので 2 進数の情報にすれば (100) の情報が埋め込まれた状態になる。

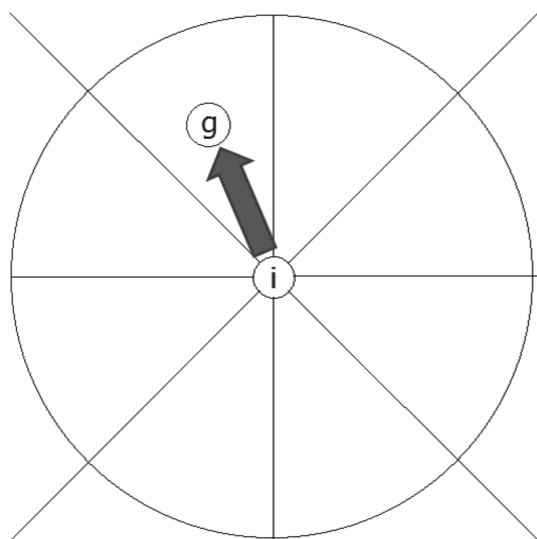


図 56 交点 i からみた重心 g



図 57 埋め込み領域の設定

6. 実験

1. 領域の確認

実際にプログラムを作成し、 100×100 のキャンバスにベジェ曲線を作成した。図 58 は端点と方向点の座標を以下のように設定した。

- 始点 (10, 90)
- 終点 (90, 90)
- 方向点 1 (10, 10)
- 方向点 2 (90, 10)

この時の交点と重心の座標は共に (50, 50) となる。つまり、交点と重心は重なった状態となっている。交点と重心が重なっているので小さな方向点の変化でも、領域を簡単に変えることができる。

この図 58 のベジェ曲線の方向点 1 と方向点 2 の座標を実際に操作し、図 57 の各領域に重心が当てはまるように移動させた結果を図 59 から図 66 に示す。

今回は方向点の移動パターンを x 座標に $-1, 0, +1$ 、 y 座標に $-1, 0, +1$ のいずれかを加える、合計 81 パターンで実験を行った。実験の結果、8 方向全てが存在することを確認した。また、重心と交点が一致した場合、つまり平行四辺形を描いた場合を埋め込み情報なしとしたとき、各領域にほぼ均一のパターン数が現れる結果となった。これにより端点を動かさなくても、方向点の変化だけで任意の領域に変化させることを確認した。

2. 方向点の変化量による強度の変化

次に図 59 から図 66 のように方向点の座標を ± 1 の範囲で変化させるのではなく、

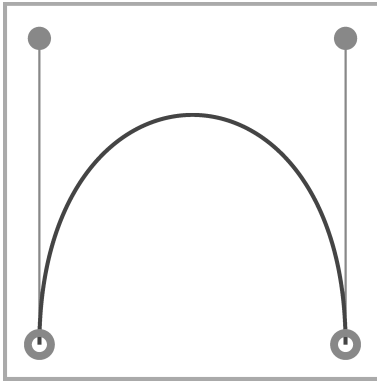


図 58 埋め込み前のベジェ曲線

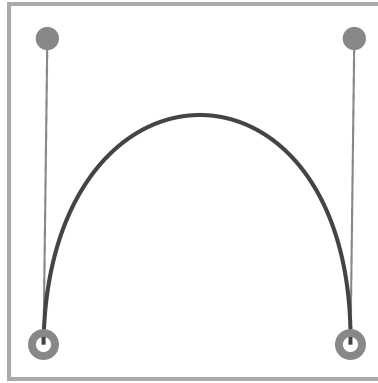


図 59 領域 0

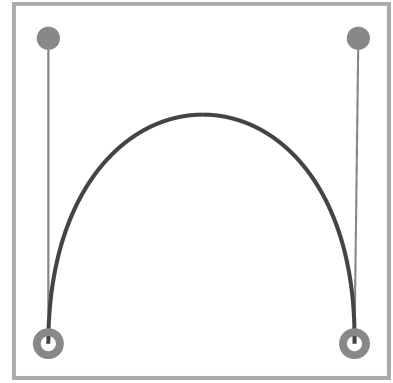


図 60 領域 1

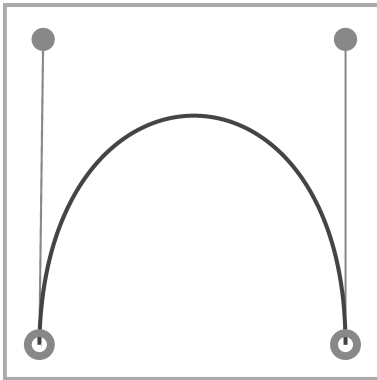


図 61 領域 2

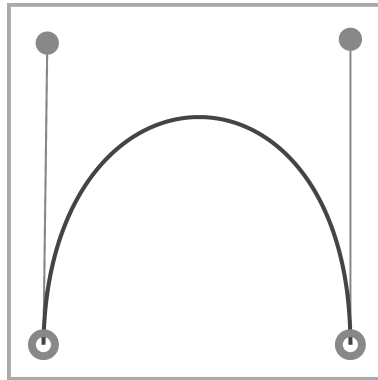


図 62 領域 3

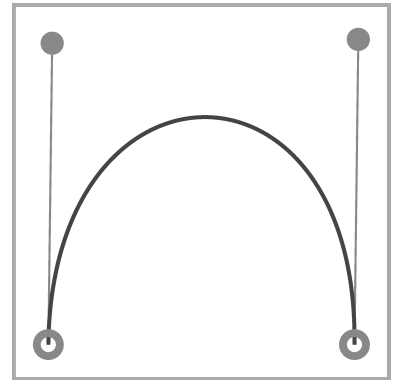


図 63 領域 4

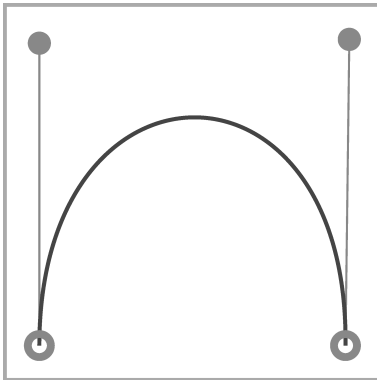


図 64 領域 5

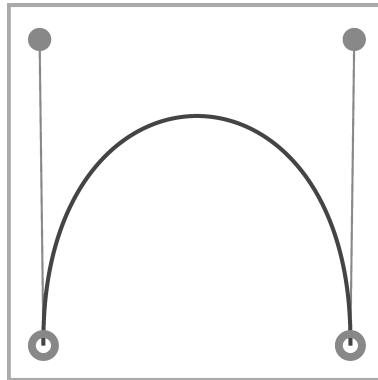


図 65 領域 6

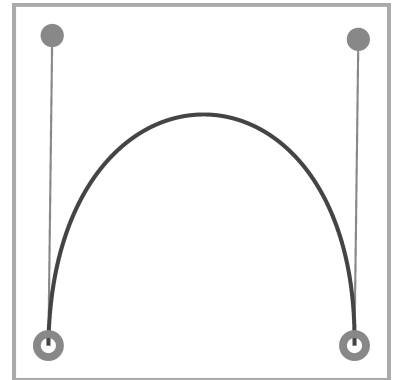


図 66 領域 7

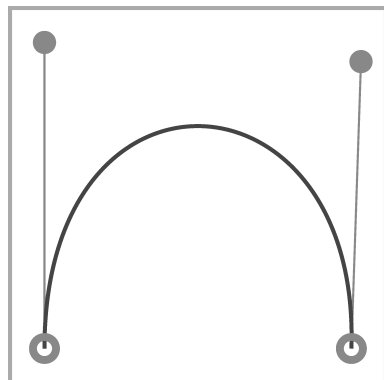


図 67 強度を上げたベジェ曲線

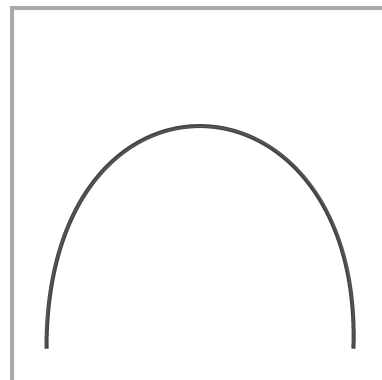


図 68 トレースしたベジェ曲線

- 始点 (10, 90)
- 終点 (90, 90)
- 方向点 1 (10, 10)
- 方向点 2 (93, 15)

のように変化量を大きくさせ、図 67 を作成した。すると図 59 から図 66 のように変化量の小さなものよりも、方向点の数値の変化に強くなるということが分かった。つまり、方向点の座標を上記から変更しても、同じ領域が検出されるようになる。

また、領域を現在は 45 度の区切りで分けているが、交点と重心のなす角度がその中心、領域 3 のように 0 から 45 度の領域への埋め込みならば、22.5 度に近づくように方向点を移動させることでも、数値の変化に強くなることが実験より分かった。

3. トレースに対する耐性

トレース画像に対する耐性を評価するために、実際に図 67 をペイントソフトのベジェ曲線を使いなぞり、図 68 を作成した。その領域を調べたところ、トレース画像である図 68 の端点と方向点は、図 67 とは違う数値を示したが、図 67 と同じ領域が検出された。これによりトレース画像に対する耐性が確認された。

また、同じ領域である図 63 でも同様の処理を施したが、こちらは違う領域が検出された。これは先ほどの結果が示すように端点と方向点の位置が変化したため、変化量の小さな図 63 の曲線では、トレースの際の変化に耐えることができなかったためと考えられる。

4. 画像への埋め込み

復号をする際には今回は端点と方向点が予め分かっているため、それぞれの端点と方向点から交点と重心を計算することで復号することができる。実際に情報を埋め込んだ画像を図 70 に示す。

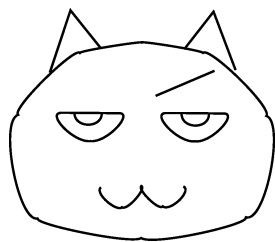


図 69 ベジェ曲線で描かれた線画像

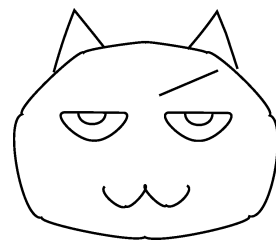


図 70 情報を埋め込んだ画像

7. むすび

実際にベジェ曲線でイラストを作成し、情報の埋め込みが可能なことを確認した。また、変化量を増やし、角度を考慮することで強度が上がるということが判明した。

ベジェ曲線に情報を埋め込む際の問題点として、直線に情報を埋め込むことが非常に難しいという点が挙げられる。情報を埋め込むだけならば、直線を微小にカーブさせることで情報を埋め込むことができる。しかし、トレースが行われた場合、人の目に分からないカーブであるなら、直線としてな

ぞられる可能性が高い。これにより情報が消えてしまう恐れがある。このことから、人物のようなほとんど直線が存在しない画像ならば問題はないが、建物などの背景のような直線によって描かれる画像には、情報を埋め込むことが難しい。

更に複雑な画像へ埋め込む場合には2章で記述した通り、パーツごとに分ける必要がある。例えば人であれば、顔、体、手、足、髪、など多くのパーツに分けることができる。それぞれのパーツごとに情報を埋め込むことで部分的なトレースにも対応することが可能だと考えられる。今後の課題として、

- 強度を上げる際にどの程度の画像の劣化まで許容されるか
- 平行四辺形を元にした線画像のベジェ曲線での近似法

が挙げられる。

7 群知能を適用したアクセス制御システム

1. はじめに

我々は、“変動的秩序”の中に公私の価値の循環を実現するクラウドシステムの考察の中で、“アクセス行列要素の連鎖”^{[71], [72]}の振舞いに着目し、概念的研究と実用研究を行ってきた。本稿では、“アクセス行列要素の連鎖”をひとまとまりとし、それを群知能の一員 particle とみなすシステムの実用的なシステムの可能性を考察する。

一連の研究に当たり、その問題意識は以下の通りである。インターネットのアドレス解決はドメインネームシステムである。そして現在、IP アドレスに対応したコンピュータリソースの“名前”が、仮想的なシステムの中に分離する“クラウド”へと変貌している。しかしその変化は、システム、サービス、ネットワークアーキテクチャからの要請のみに基づいている。しかしこの変化が更に進むとき、クラウドの情報セキュリティが、人々の社会的な活動を護る半面、それがかえって人の創発活動を硬直化させる問題を益々増加させることになることが懸念される。なぜなら、リソースの“名前”を指示しアクセスするという振舞いは、クラウドに限ったことではなく、極めて日常的な言語世界の現象だからである。即ちクラウドは、社会の日常的な言語的システムそのものになっていくだろう。インターネットをインフラとする現代社会にとって、創発活動の硬直化は社会の中の競争原理を阻む原因となる。したがってクラウドの理念とビジョンをあらためて考え、それを具体化しよう、ということである。

そこで本稿では“アクセス行列要素の連鎖”という行為の particle が群れるとき、その振舞いの記述に着目する。その上でウィトゲンシュタインの言語ゲームに着目し、“アクセス行列要素の連鎖”の振舞いに言語ゲーム的な振舞いを持たせることを試みる。アクセス行列の中で規定される行為の particle を群れとする群知能の“集まる力”の源としては、言語ゲームにおける類別の概念、“家族的類似”の適用を試みる。また、遺伝の概念によって変動するアクセス行列の環境に適応する群知能についても考察する。群知能の構成要素「エージェント」はアクセス行列の中で定義される行為の連鎖 (Path channel) である。そして、群れの中で Path channel が自律分散的に相互作用し群れが制御される。アクセス制御で問題となる Covert channel は Path channel オブジェクトの一部分であると

解釈する。Path channel オブジェクトが群れを作るとき、「互いに少しずつ似ている振舞い」という概念、即ち「家族的類似」という概念によって集まる。本研究では、「家族的類似」を Tanimoto 係数によって実現することを試みる。Tanimoto 係数は二つの集合の差異の指標である。提示するマルチエージェントシステムにより、自己の行為に近い群れが、群れ全体として創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持調和させる新たなシステムの可能性が期待される。

2. 振舞いを護るシステム

1. 諸定義

【アクセス行列】

Subject、Object、Permission からなるアクセストリプルの集合をアクセス行列とする。

Subject：人の名前

Object：情報リソースの名前

Permission：Subject が Object を Read、Write する権限とする。ここで R は Read 権限、W は Write 権限、RW は $R \wedge W$ 権限、 Φ は $\neg R \wedge \neg W$ 権限、空欄は権限が不確定を意味する。

【Path channel】

アクセス行列内の Capability の連鎖を Path channel と呼ぶ。Path channel は自己と他者の行為の連鎖を表す。

【Path channel 表記の定義】

PathC (i) を Path channel の名前とする。

アクセス行列上での、PathC (i) の行為を、 $PathM(i) = \{Si, Oi\}$ と表す。

Subject $Si(i=1.2....)$ 、Sj($i=1.2....$)、但し $i \neq j$

ObjectOn($n=1.2....$)、Sm($m=1.2....$)、但し $n \neq m$

PermissionPR, W, RW, $\neg RW$ とするとき、

$If(Si, On, R) \wedge (Si, Om, W) \wedge (Sj, Om, R)$

$Then PathM(i) \{Si, Sj, On, Om\}$

と定義される。

図 71 の矢印はアクセス行列上の行為の連鎖を表している。その行為の連鎖を Path channel として表す。

【Covert channel】

アクセス行列において、アクセス禁止の Permission に矛盾する情報フローを Covert channel と呼ぶ。

【Covert channel の定義】

Subject $Si(i=1.2....)$ 、Sj($i=1.2....$)、但し $i \neq j$

ObjectOn($n=1.2....$)、Sm($m=1.2....$)、但し $n \neq m$

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13
01	RW	R	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	RW
02	RW	R	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	RW
03	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	R	R	Φ	RW	Φ	Φ	RW
04	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	R	R	R	Φ	RW	Φ	R	RW
05	R	Φ	Φ	Φ	Φ	R	Φ	Φ	Φ	RW	R	Φ	R
06	R	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	R	Φ	RW	R
07	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	RW	Φ	Φ
08	RW	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	R	RW	RW	RW	Φ	RW
09	Φ	Φ	RW	R	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ
010	Φ	Φ	RW	R	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ
011	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	R	R	Φ	RW	Φ	Φ	Φ
012	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	R	RW	R	Φ	RW	Φ	R
013	Φ	Φ	R	Φ	Φ	R	Φ	Φ	Φ	RW	R	Φ	R
014	Φ	Φ	R	Φ	Φ	RW	Φ	W	Φ	R	Φ	RW	RW
015	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	RW	Φ	Φ
016	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ
017	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ
018	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	Φ	Φ
019	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	Φ	R	R	Φ	RW	Φ	Φ	Φ
020	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	R	R	R	Φ	W	Φ	Φ	R
021	Φ	Φ	Φ	Φ	R	R	Φ	Φ	RW	R	Φ	R	R
022	Φ	Φ	Φ	Φ	R	RW	Φ	Φ	Φ	R	Φ	RW	W
023	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	RW	RW	Φ	Φ
024	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ

図 71 アクセス行列と Path channel

PermissionP{R, W, RW, $\neg$ RW}

アクセストリプル (S_i, O_n, P) とするとき、

If ($S_i, O_n, \neg R$),

ANDif (S_j, O_n, R) $\wedge$ (S_j, O_m, W) $\wedge$ (S_i, O_m, R),

Then Covertchannel($S_i, S_j, O_m(O_m)$).

と定義する。

Covert channel はアクセス行列の行為の連鎖の中にある。つまり、Path channel の部分集合である。

2. 群知能の言語ゲーム的振舞い

【アクセス行列の中の言語ゲーム】

アクセス行列上に表現される行為の連鎖である Path channel を、群知能の Particle とする。図 72 でアクセス行列と Path channel の関係を表す。

【群知能】

群知能 8384 は単純なエージェントの個体群から構成される。個々のエージェントには単純なルールが与えられ、そのようなエージェント間の局所相互作用により、個々のエージェントが全体としてどう動くべきか制御しているわけではないにもかかわらず、全体として複雑な群れ行動が創発される。この群れとしての知能を群知能と呼ぶ。

Path channel の群れる力には、自分の近傍に向かう力と群れの目標に向かう力がある。一つ一つの Particle に群れる力が働くことによって、全体として群れが作られる。

【変動的秩序】

Path channel や群れは常に変動している。変動している Path channel 同士が群れを作るとき、Covert channel が発生する可能性がある。Covert channel を制御し、Covert channel をなくすことも大切ではあるが、類似したもの同士群れ、情報を共有したいといった欲求もある。そこで、やみくもに Covert channel を制御するのではなく、Covert channel を一定に保ち、かつ似たもの同士で群れるということが必要になる。Covert channel を許容できる場合は群れを保ち、許容できない Path channel に対しては群れから引き離される力が働く。

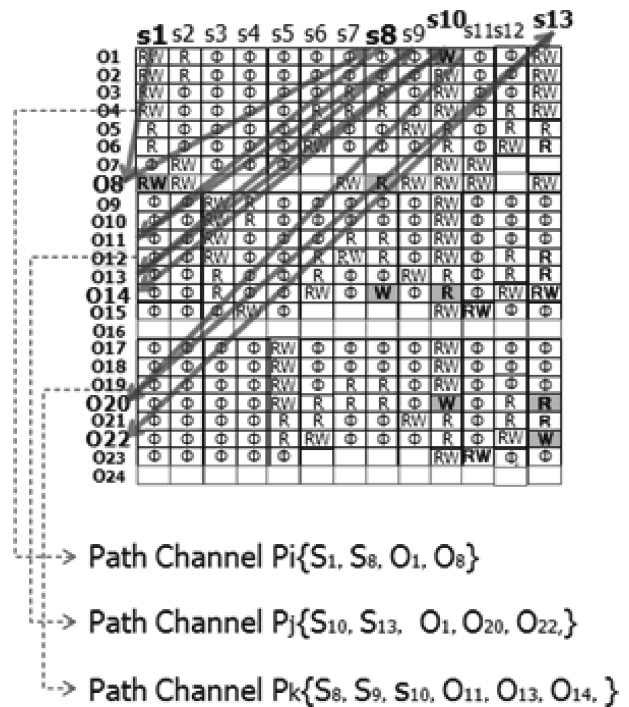


図 72 群知能の Particle

3. 家族的類似に基づく particle の振舞い

1. 一つの Particle の振舞い

一つ一つの Particle はそれぞれの視点、規則を持ち、自律分散的に動いている。一つ一つの Particle はそれぞれ Alignment、Cohesion、Separation から群れる力を求める。

【Alignment】

Alignment は近傍の Particle と群れようとする力のこととする。

- (1) 一つ一つの Particle が、任意の半径を Neighbor として定める。
- (2) Neighbor の Path channel の要素とアクセス行列を得る。
- (3) Neighbor 内のそれぞれの Particle に対して、群れる正の力、群れる負の力の計算を行いベクトルを求める。
- (4) Neighbor 内のそれぞれの Particle に対しての群れる力のベクトルを足し合わせたものが Alignment である。

【Cohesion】

Cohesion は群れの Particle と群れようとする力のこととする。

- (1) 一つ一つの Particle が、任意の半径を Group として定める。
- (2) Group の Path channel の要素とアクセス行列を得る。
- (3) Group 内のそれぞれの Particle に対して、群れる正の力、群れる負の力の計算を行いベクトルを求める。
- (4) Group 内のそれぞれの Particle に対しての群れる力のベクトルを足し合わせたものに、Group 内の Particle に対する係数をかけたものが Cohesion である。

【Separation】

Separation は群れる負の力のこととする。

- (1) 一つ一つの Particle が任意のしきい値を定める。
- (2) しきい値をもとに、群れる正の力が働くか、群れる負の力が働くかが決まる。

2. Tanimoto 係数による家族的類似の実現

本稿では、群れる力を家族的類似によって表す。家族的類似とは、行為の類似である。行為の連鎖である Path channel の類似度を求めることで、家族的類似を求める。「家族的類似」は同値という概念とは異なり、アクセス制御のシステムを「言語ゲーム」とみなすとき必要になる概念である。家族的類似を Tanimoto 係数^[3]によって求める。

【Tanimoto 係数】

PathC (i) と PathC (j) の Tanimoto 係数を T_{ij} とする。

$$PathM(i) = \{|Si|, |Oi|\}, PathM(j) = \{|Sj|, |Oj|\}$$

とし、PathM (i) と PathM (j) の要素の数をそれぞれ $|pathM(i)|, |pathM(j)|$ と表し、式 (1) で Tanimoto 係数を求める。

$$T_{ij} = \frac{(|pathM(i) \cap pathM(j)|)}{(|pathM(i)| + |pathM(j)| - |pathM(i) \cap pathM(j)|)} \quad (1)$$

Tanimoto 係数は 0.0～1.0 の間の値をとり、1.0 に近いほど要素が類似しているといえる。アクセスの軌跡、行動に近い Path channel 程、Tanimoto 係数の値が大きくなり、家族的に類似しているといえる。

4. Pheromone

Pheromone は群れる力の一部である。Pheromone が濃ければ濃いほど群れる正の力が働く。ここで用いる Pheromone は、ACO で使われるような Particle の通った経路に Pheromone を落とすといった使い方をするわけではない。Path channel に対するアクセスに応じて Pheromone を加え、時間によって揮発するといった使い方をする。PathC (i) の Pheromone を phero (i) とする。PathC (i) にアクセスした回数を N、PathC (i) に対する一回のアクセスで加える Pheromone の量を p、時間あたりに蒸発する phero (i) の割合を fe とし、phero (i) (t) を式 (2) によって求める。

$$phero(i)(t) = (pN(t-1) + phero(i)(t-1)) \cdot fe \quad (2)$$

5. Covert channel 容量

Covert channel を制御することは大切であるが、Covert channel の制御は、創発活動の邪魔をしてしまう可能性がある。自己の行為に近い群れが、群れ全体として創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持調和させる新たなシステムのために、Covert channel 容量の計算を行う。

PathC (i) から PathC (j) への Covert channel 容量を Cij とする。

PathC (i) が把握する PathC (j) を含むアクセス行列を Aij とする。

Aij の中の PathC (i) から PathC (j) への全ての Channel 数を Nij とする。

Aij の中の PathC (i) から PathC (j) への全ての Covert channel 数を η_{ij} とすると、PathC (i) から PathC (j) への Covert channel 容量 Cij を式 (3) で求める。

$$C_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{N_{ij}} \log \frac{\eta_{ij}}{N_{ij}} \quad (3)$$

6. Path channel オブジェクトの振舞い

家族的類似と Pheromone と Covert channel 容量から、Path channel オブジェクトの群れる力を求める。家族的類似、Pheromone、Covert channel 容量に対して各自が係数を調整する。群れる正の力だけでなく負の力も考慮するために各自がしきい値を定める。しきい値を定めることで、行為の似ていない Path channel や Covert channel 発生の確率の高い Path channel から遠ざかる、群れる負の力を表現する。

PathC (i) の Tij に対するしきい値を Tit とする。

PathC (i) の Cij に対するしきい値を Cit とする。

PathC (i) の PathC (j) に群れる力を faij とすると、faij を式 (4) によって求める。

$$||faij|| = C_{1i} \cdot (T_{ij} - T_{it}) + C_{2i} \cdot phero(j) + C_{3i} \cdot (C_{ij} - C_{it}) \quad (4)$$

C1i、C2i、C3i は各自が定める Tij、phero (i)、Cij にかかる係数である。

PathC (i) の座標を $(PathC(i)_{(x)}, PathC(i)_{(y)})$ とし、PathC (j) の座標を $(PathC(j)_{(x)}, PathC(j)_{(y)})$ とする。

PathC (i) から PathC (j) の方向ベクトル $PathC(ij)(PathC(ij)_{(x)}, PathC(ij)_{(y)})$ を、

$$PathC(ij)_{(x)} = PathC(j)_{(x)} - PathC(i)_{(x)}$$

$$PathC(ij)_{(y)} = PathC(j)_{(y)} - PathC(i)_{(y)}$$

とし、次に PathC (ij) の長さを求める。

$$l = \sqrt{PathC(ij)_{(x)}^2 + PathC(ij)_{(y)}^2}$$

また、X 軸、Y 軸に働く力を $f_{ij}(x)$ 、 $f_{ij}(y)$ とし、 $f_{ij}(x)$ と $f_{ij}(y)$ を式 (5)、(6) で求める。

$$f_{ij(x)} = ||f_{ij}|| \frac{PathC(ij)_{(x)}}{l} \quad (5)$$

$$f_{ij(y)} = ||f_{ij}|| \frac{PathC(ij)_{(y)}}{l} \quad (6)$$

Neighbor、Group 内のすべてのベクトルに対し、同様の計算を行い、ベクトルの総和をとること
で、Alignment と Cohesion のベクトルを求める。PathC (i) の Neighbor 内のすべてのベクトルの
数を n とし、Neighbor 内のすべてのベクトルの総和を Ali とすると、Ali を式 (7) から求める。

$$Ali = \sum_{k=1}^n f_{aik} \quad (7)$$

PathC (i) の Group 内のすべてのベクトルの数を g とし、Group 内のすべてのベクトルの総和を
Coh とすると、Coh を式 (8) から求める。但し G は係数である。

$$Coh = G \sum_{k=1}^n f_{aik} \quad (8)$$

PathC (i) の群れる力 F_i を求める。

$$F_i = Ali + Coh \quad (9)$$

群れる力 F_i を求める計算は時間 t から毎行われる。群れる
力を求める計算の結果から各 Particle の次の速度ベクトルを式
(10) から求める。

$$V_i(t) = V_i(t-1) + F_i(t-1)\Delta t \quad (10)$$

但し $V_i(0) = 0$ とする。図 73 は一つの Particle の動きを図に
したものである。

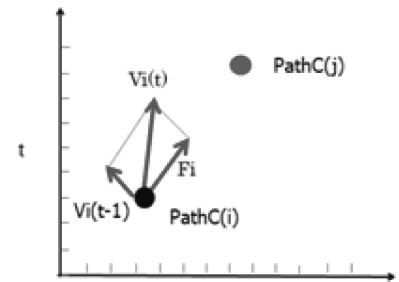


図 73 一つの Particle の群れる力

7. 家族的類似に基づく群れの振舞い

1. 群れの規則

一つ一つの Particle が群れを作るとき、群れの規則が存在する。

群れの規則：

- (1) n 次元の群れを作る。
- (2) いつまでも群れを維持する。

群れを維持するためのパラメータは各自が設定することで発見する。

- (3) 衝突状態で反発力が働く。

Particle が重なってしまうと、Particle の群れを観察することができない。反発力を働かせることで観察を可能にする。衝突した Path channel を PathC (i) と PathC (j) とする。

PathC (i) のベクトルを $V_i(t)$ 、衝突の際の係数を Co_i 、

PathC (j) のベクトルを $V_j(t)$ 、衝突の際の係数を Co_j とし、PathC (i) と PathC (j) に衝突状態が起これば、それぞれ式 (11)、(12) の反発力が働く。

$$V_i(t) = V_i(t-1) - Co_i V_i(t-1) \quad (11)$$

$$V_j(t) = V_j(t-1) - Co_j V_j(t-1) \quad (12)$$

(4)群れる正の力で集まり、群れる負の力で離される。

群れる正の力で集まることで、Path channel が類似している、つまりアクセスの軌跡の類似したものが集まることになる。また群れる負の力で離すことで、Path channel が類似していても許容できない Covert channel 容量の Path channel を群れから追い出すことになる。群れの規則の目的は、群れを観ることである。つまり観るための規則である。群れを観察するために、どこにどんな Particle があるか知ることが前提である。各 Particle の群れとは、距離が近い状態の Particle の集まりである。パラメータとして、各自が Alignment 半径と Group 半径を決め、観察によってパラメータを調整する。

2. 群れの振舞い

一つ一つの Particle が群れを作るとき、群れがどのように振舞うか次に示す。

- (1)各 Particle の集まりに対しても同様に、3.5 節で行われた計算を行う。
- (2)全ての Particle のベクトルは計算結果に従い決定される。
- (3)Particle は計算結果に従い座標上を動く。
- (4)座標上に Particle の群れができ上がる。
- (5)行為の似た者同士の群れとして機能しているか、必要以上に Covert channel が発生していないか等の群知能の調和は、群知能のパラメータによる。観察することでパラメータの調整を行い、群れの調和を目指す。

3. 群れの進化

Path channel や群れは常に変動し進化する。Path channel や群れは下記に示す (1)、(2)、(3) により進化する。

- (1)Path channel 同士の交叉：他の Path channel の要素を加えること。
- (2)Path channel の突然変異：要素を新たに加えること。要素の削除を行うこと。
- (3)Path channel の淘汰：Path channel を群れから追い出すこと。

観察を行うことで Path channel の変化に対応できるパラメータを調整し、許容できる Covert channel 量の群れを維持する。

8. まとめ

アクセス行列の中の振舞いを Path channel で表現し、この振舞いを群れの構成要因とする。群れ

る力を家族的類似、Pheromone に求めることで、アクセス行列の中の振舞いが似ている Path channel 同士で群れることを可能にした。家族的類似度は集合の差異を評価する Tanimoto 係数によって求めた。Covert channel の計算を行い、Covert channel 容量の計算を行うことで、全ての covert channel を切断するのではなく、Covert channel の容量を定義して、その容量を一定に保つシステムを提示した。また、Tanimoto 係数、Pheromone、Covert channel 容量にしきい値を与えることで、家族的に類似していない、アクセスの少ない、Covert channel の発生確率が高い、といった Path channel は群れから離れるシステムを提示した。

以上により、自己の振舞いに類似する群れが創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持し、そのことを以て調和を形成する新たなシステムの可能性を示した。今後マルチエージェントシミュレータ (MASON) により、群知能パラメータを求めるシステムを実装する。

参考文献

- [1] 木下慶子、村上敦志、稲積泰宏、木下宏揚、森住哲也：“Context 間の関連性を表現するメタ Ontology — 民俗学研究のための情報発信 —” 情報処理学会研究報告、じんもんこん研究会、pp.1-6、(2006-1)。
- [2] 神埼正英：“セマンティック・ウェブのための RDF/OWL 入門”、森北出版、2005。
- [3] 溝口理一郎：オントロジー構築入門、オーム社、2006。
- [4] 斉藤孝：意味論からの情報システム、中央大学出版部、2006。
- [5] 溝口理一郎：知の科学オントロジー工学、オーム社、2005。
- [6] 斉藤孝：社会科学情報のオントロジー、中央大学出版部、2009。
- [7] AIDOS：セマンティック技術シリーズ オントロジー技術入門——ウェブオントロジーと OWL、東京電機大学出版局、2005。
- [8] 神奈川大学 21 世紀 COE プログラム人類文化研究のための非文字資料の体系化
<http://www.himoji.jp/>
- [9] 福島県只見町公式ホームページ
<http://www.tadami.gr.jp/>
- [10] 福島県南会津郡只見町の民具のデータベース化とその問題点
<http://www.himoji.jp/jp/publication/pdf/seika/401/02-033-040.pdf>
- [11] 第 6 章オントロジーの復習
http://lifesciencedb.g.hatenane.jp/nakao_mitsuteru/20091116/chap6
- [12] 自然言語処理とリンク構造解析を利用した Wikipedia からの Web オントロジー自動構築に関する一手法
<http://www.ieice.org/~de/DEWS/DEWS2008/proceedings/files/a3/a3-2.pdf>
- [13] 法造——オントロジーエディタ（分散開発対応版）操作マニュアル
http://www.hozo.jp/doc/oe5_manual_jp.pdf
- [14] 法造——モデルエディタ 操作マニュアル
http://www.hozo.jp/doc/me4_manual_jp.html
- [15] オントロジーエディタ——操作マニュアル
http://www.hozo.jp/doc/manual_jp.html
- [16] Importing owl files using owl api
<http://answers.semanticweb.com/questions/1018/importing-owl-files-using-owl-api>
- [17] 「ルール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジー記述環境の開発
http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/kozaki/jsai2002kozaki_oe.pdf

- [18] オントロジー工学に基づく技術知識総合管理システムの発展とビジネス展開
<http://www.eisanken.osaka-u.ac.jp/pub/documents/takaj-jsai11.pdf>
- [19] 立石健二、石黒義英、福島俊一、“インターネットからの評判情報検索、” 情報処理学会研究報告、自然言語処理研究会報告 2001、vol. 69、pp. 75-82、2001 年 7 月。
- [20] 石川憲一、森嶋厚行、田島敬史、“大規模ドキュメント空間管理のための意味ファイルシステムの構築”、信学技法 DE、データ工学、vol. 106、pp. 139-144、Jan. 2006。
- [21] 堀井秀之、“社会問題解決のための知の構造化、” 情報処理、vol. 48、no. 8、pp. 819-823、Aug. 2007。
- [22] 大崎史裕 “データベースに対するインタフェースとしてのファイルシステムの実装、” 高知工科大学情報システム工学科学士学位論文、Mar. 2008。
- [23] T. Rizzo, “Introducing the New Windows File System”
<http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/dnwinfs/html/winfs03112004-3-11>
 Microsoft Corp., 17 Mar. 2004.
- [24] 星野隆義、シマンテックセールスエンジニアリング本部、“ファイルシステムの基礎知識、”
<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1208/24/news135.html> Aug. 2012.
- [25] “Google Desktop” <http://desktop.google.com/>.
- [26] “Windows desktop search,” <http://desktop.msn.com/>.
- [27] “Yahoo! desktop search,” <http://desktop.yahoo.com/>.
- [28] D. Karaboga, “On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm” vol. 8, no. 1, pp. 687-697, Jan. 2008.
- [29] “只見町インターネット・エコミュージアム”
<http://www.himoji.jp/tadami-item/>
- [30] 佐野賢治、木下宏揚、フレデリック・ルシーニユ、小松大介、佐藤俊輔、鈴木一弘、松澤和光、“只見町インターネット・エコミュージアムの可能性——「民具」の国際標準化に焦点をあてて——、” 非文字資料研究、vol. 7、pp. 77-99、Mar. 2011。
- [31] 渡部徹太郎、小林隆志、横田治夫、“ファイル検索におけるアクセスログから抽出した関連度の利用、” 電子情報通信学会技術研究報告、データ工学、vol. 107、no. 131、pp. 503-508、Jun. 2007。
- [32] 宇谷明秀、山本尚生、“複数の許容解を探索する Particle Swarm Optimization とその複数シンク無線センサネットワークにおけるシンクノード配置問題への適用”、電子情報通信学会論文誌・D、vol. J93-D、no. 5、pp. 555-567、May. 2010。
- [33] 崔志傑、松本直文、“巡回セールスマン問題に対する PSO——ACO ハイブリッド手法の提案、” 足利工業大学研究集録、vol. 42、pp. 53-60、Mar. 2008。
- [34] Supiya Ujjin, Peter J. Bentley, “Learning User Preferences Using Evolution,” In proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning, singapore 2002.
- [35] Supiya Ujjin, Peter J. Bentley, “Particle Swarm Optimization Recommender System” Proceedings Of The IEEE Swarm Intelligence Symposium, pp. 124-133, 2003.
- [36] 梁賢徳、松井丈弥、能登正人、“フェロモン調節による ACO アルゴリズムの改良、” 情報科学技術フォーラム講演論文集、vol. 9、no. 2、pp. 499-500、Aug. 2010。
- [37] T. M. Blackwell, P. J. Bentley, “Particle Swarm Optimization: Developments, Applications and Resources,” In Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 81-86, 2001.
- [38] 北山哲士、山崎光悦、“多目的 Particle Swarm Optimization の現状と課題について、” 日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集、vol. 17、no. 2、pp. 248-251、2007。
- [39] Leonora Bianchi, Luca Maria Gambardella, Marco Dorigo, “An Ant Colony Optimization Approach to the Probabilistic Traveling Salesman Problem”, PPSN VII Proceedings of the 7th International Conference on

- Parallel Problem Solving from Nature, pp. 883-892, 2002.
- [40] E. B. Fowlkes, C. L. Mallows, "A Method for Comparing Two Hierarchical Clusterings," J. American Statistical Association, vol. 78, pp. 553-569, 1983.
- [41] 小西英行: "ポイント経済と電子マネー、地域通貨に関する考察"、富山国際大学地域学部紀要、Vol. 7、pp. 103-107、2007。
- [42] 三浦一輝: "地域通貨制度の経済学的位置づけ"、法政大学大学院紀要、Vol. 60、pp. 57-68、2008。
- [43] 加藤敏春: "エコマネー —— ビッグバンから人間に優しい世界へ"、日本経済評論社、1998。
- [44] ベルナルド・リエター: "マネー崩壊 —— 新しいコミュニティ通貨の誕生"、日本経済評論社、2000。
- [45] K. Hirotsugu, T. Yoshiaki et. al, "A Local Currency System Reflecting Variety of Values with a Swarm Intelligence", Proc. IEEE/IPSJ SAINT 2012, pp. 251-255, July. 2012.
- [46] K. Hirotsugu, T. Yoshiaki et. al, "A Local Currency System Reflecting Variety of Values", Proc. IEEE/IPSJ SAINT 2011, pp. 562-567, July. 2011.
- [47] 田島佳明、宮田純子、森住哲也、木下宏揚、"地域通貨の価値を利用した価値の交換システム、" 信学技報、vol. 112、no. 343、SITE2012-43、pp. 1-6、2012 年 12 月。
- [48] 岡田章: "ゲーム理論 [新版]"、有斐閣、2011。
- [49] 船木由喜彦: "ゲーム理論講義"、新世社、2012。
- [50] 船木由喜彦: "演習ゲーム理論"、新世社、2004。
- [51] Lucas, William F. "The Proof That a Game May Not Have a Solution", 1969.
- [52] 中山幹夫: "協力ゲームの基礎と応用"、勁草書房、2012。
- [53] 武藤滋夫: "ゲーム理論入門"、日本経済新聞出版社、2001。
- [54] 鈴木光男: "新ゲーム理論入門"、勁草書房、1994。
- [55] 渡辺隆裕: "ゼミナール ゲーム理論入門"、日本経済新聞出版社、2008。
- [56] 鈴木光男・武藤滋夫: "協力ゲームの理論"、東京大学出版会、1985。
- [57] 武藤滋夫: "ゲーム理論入門"、日本経済新聞出版社、2001。
- [58] メガバカ盗作検証画像庫 @ ウィキ
<http://www33.atwiki.jp/megabaka/>
- [59] 電子透かし技術の種類と利用法
<http://dev.sbins.co.jp/watermark/usage.html>
- [60] 松井甲子雄、"電子透かしの基礎 —— マルチメディアのニュープロテクト技術"、森北出版株式会社、1998。
- [61] 高橋由泰、木村徹、加藤弘之、日高宗一郎、青木輝勝、"切り取り耐性を考慮した電子透かしの方式の実現"、電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2001 年。情報・システムソサイエティ大会講演論文集、pp. 188、2001-08-29。
- [62] 伊藤慎也、坪川宏、"マスキング効果を利用した JPEG 圧縮に耐性ある電子透かし"、電子情報通信学会論文誌。D-II、情報・システム、II-パターン処理 J85-D-II (11)、pp. 1664-1671、2002。
- [63] 西垣正勝、黒田圭一、"非対称型電子透かしの実現に対する一提案 —— 複数の透かしの相補的に埋め込むことはできないか ——"、電子情報通信学会。暗号と情報セキュリティシンポジウム、3F3-2 (2006.1)。
- [64] 三宅哲平、栗山繁、"図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋込"、電子情報通信学会論文誌 A、基礎・境界 J93-A (2)、pp. 73-81、2010。
- [65] 大平倫宏、大原衛、山口隆志、"3D モデルにおける電子透かし方法の開発"、東京都立産業技術研究センター研究報告第 6 号、pp. 2-5、2011。
- [66] 室谷浩平、杉原厚吉、"SSA アルゴリズムを用いた 3 次元多角形メッシュへの電子透かしの埋め込み"、情報処理学会研究報告。グラフィクスと CAD 研究会報告 2003 (86)、pp. 19-24、2003。

- [67] 大淵竜太郎、高橋成雄、宮澤貴彦、向山明夫、“スペクトル分解を用いた3次元メッシュへの電子透かしの埋め込み”、情報処理学会研究報告。グラフィクスとCAD 研究会報告 2000 (78)、pp. 7-12、2000。
- [68] 藤井康広、中野和典、越前功、吉浦裕、手塚悟、“局所特徴量を用いた二値画像用電子透かしの画質維持方式”、情報処理学会論文誌 44 (8)、pp. 1872-1883、2003。
- [69] 小堀紀子、岩切宗利、松井甲子雄、“画素分布による2値漫画への電子透かしの一方式”、情報処理学会論文誌 42 (3)、pp. 595-604、2001。
- [70] 阿部悌、井上浩一、“2値画像への電子透かし”、Ricoh Technical Report 第26巻第2000号、2000。
- [71] 森住哲也、久保直也、鈴木一弘、木下宏揚：“クラウドの変動的秩序概念について——コミュニティ・プロビジョニングの提案”、電子情報通信学会、技術と社会・倫理研究会、pp. 13-18、2010、10月。
- [72] 久保直也、森住哲也、鈴木一弘、木下宏揚：“変動する秩序の中でパーソナリティを区別するマルチエージェントシステム”、1F1-1、2011年暗号と情報セキュリティシンポジウム SCIS2011、2011。