

[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り、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]

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

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 を支配するといひ、 $x \text{ dom } y$ 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。下記にコアの定義を示す。^{[51], [52]}

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

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^{[54], [55]}が成り立つゲームである。

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

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、

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

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \quad (14)$$

である。この最大化問題は、

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

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \quad (15)$$

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。

$$v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} \sum_{i \in S} u_i(x_i^1, \dots, x_i^m)$$

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+1 \quad (16)$$

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。

$$v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m) + \sum_{i \in S} x^{m+1} + \sum_{i \in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i \in S} q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \right\}$$

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \quad (22)$$

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。

$$v(S) = \max_{(x_i)_{i \in S}} \left\{ \sum_{i \in S} u_i(x^1, \dots, x^m) + \sum_{i \in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i \in S} q_i(x^{m+3}, \dots, x^{m+n}) \right\}$$

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \quad (23)$$

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。

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

$$s.t. \sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \dots, m+n \quad (24)$$

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。

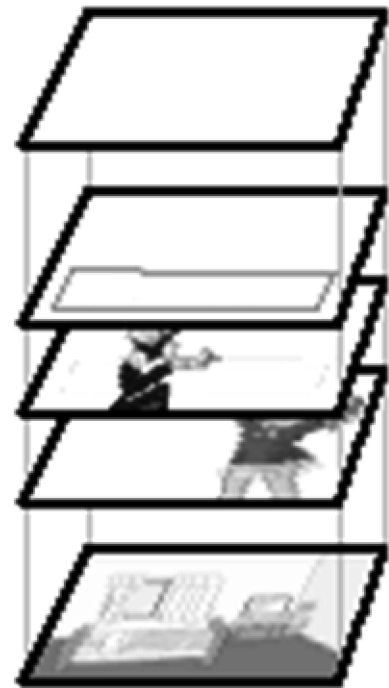


図 44 レイヤー

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。

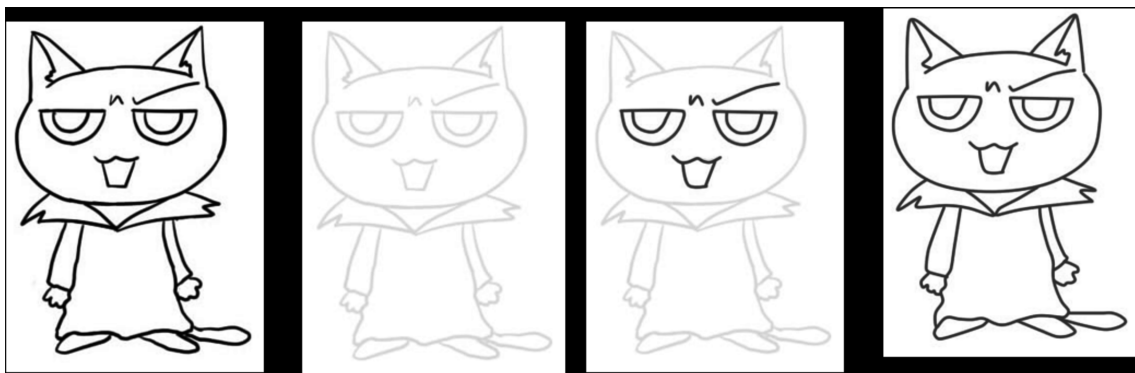


図 45 トレースの流れ

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。

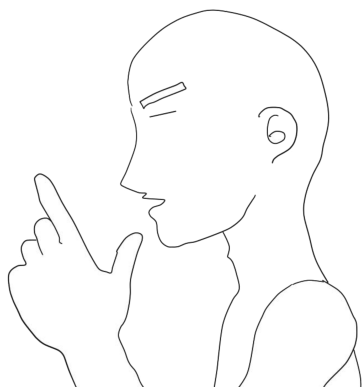


図 46 原画



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。
- などが挙げられる。^{[59], [60]}

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、^[61]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 次のベジエ曲線を表現すると以下のような式になる。

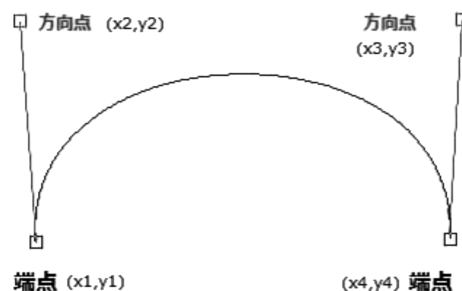


図 49 3 次のベジエ曲線

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

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

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

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エ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 本のベジエ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。

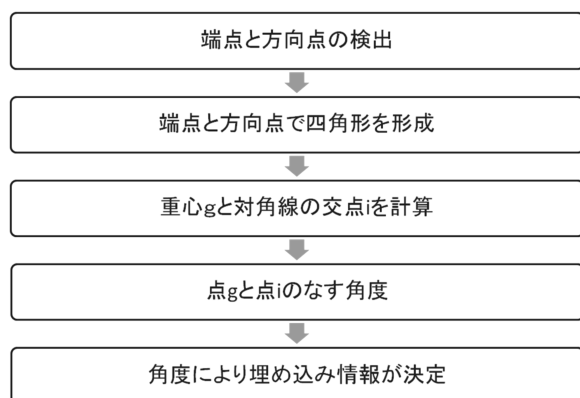


図 50 提案手法の流れ



図 51 ベジエ曲線で描かれた線画像

1. ベジエ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、ベジエ曲線の端点と方向点の 4 点を利用する。まずベジエ曲線の 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。

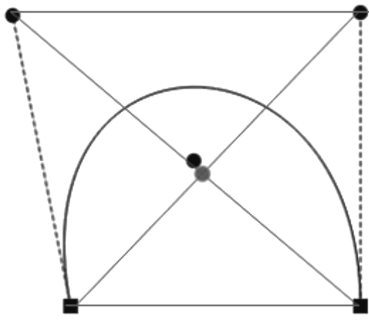


図 52 4点からなる四角形

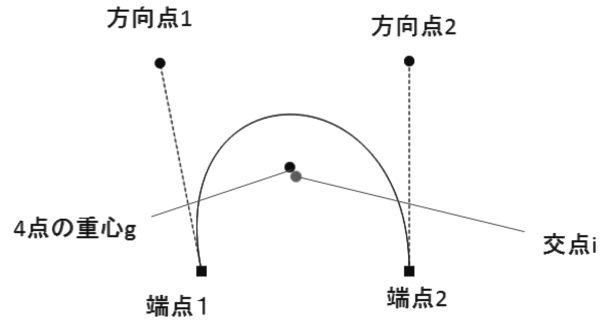


図 53 各点の名称

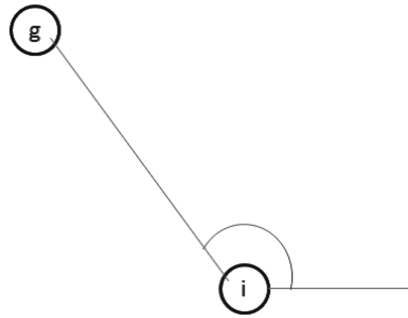


図 54 交点と重心のなす角

- 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を操作する。

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。

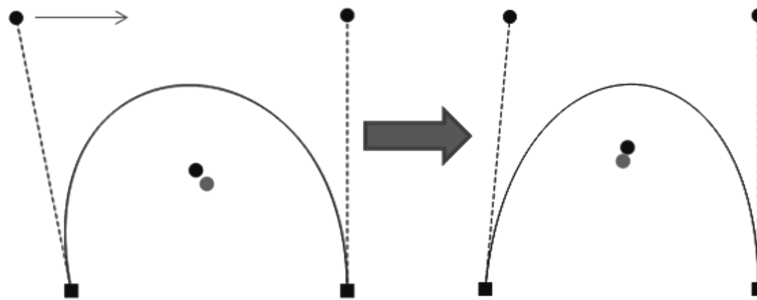


図 55 方向点の操作

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も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。

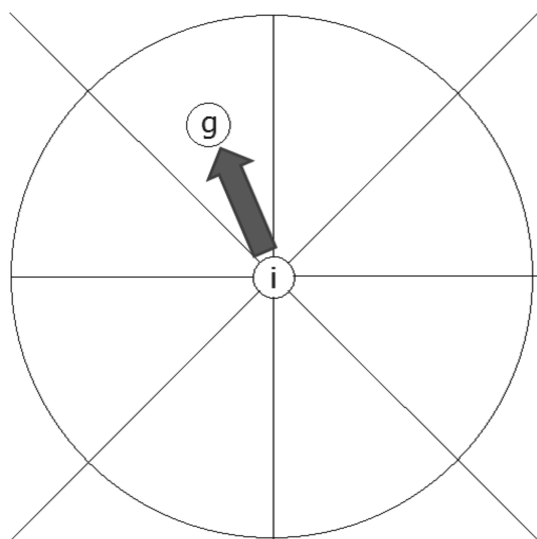


図 56 交点 i からみた重心 g



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、

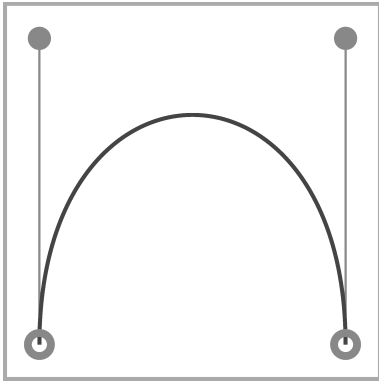


図 58 埋め込み前のベジェ曲線

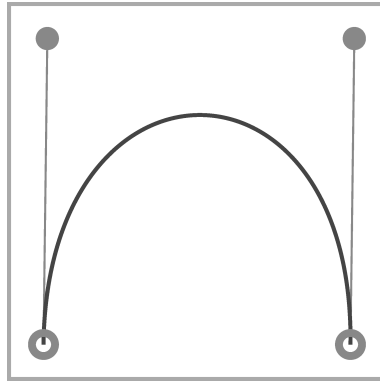


図 59 領域 0

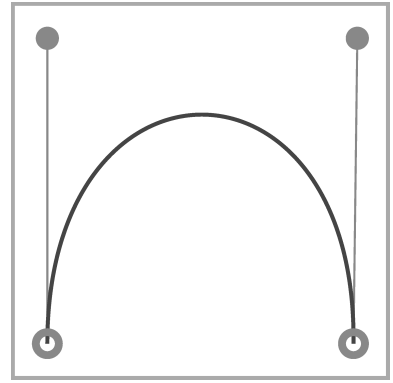


図 60 領域 1

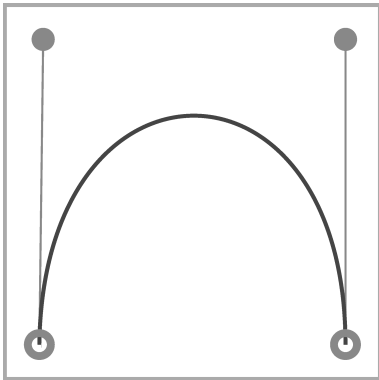


図 61 領域 2

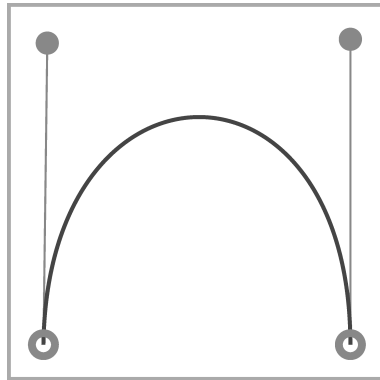


図 62 領域 3

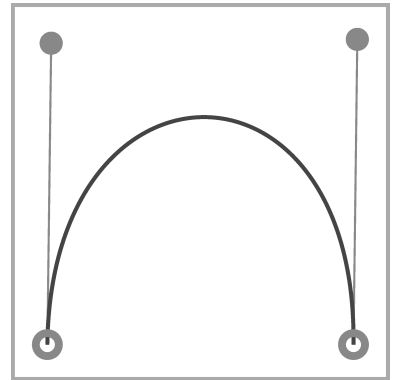


図 63 領域 4

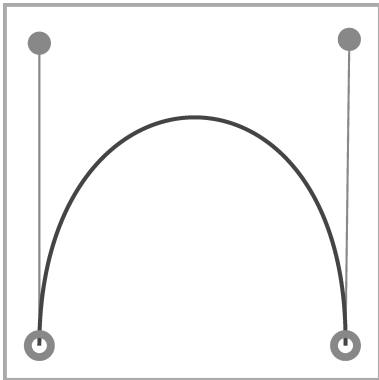


図 64 領域 5

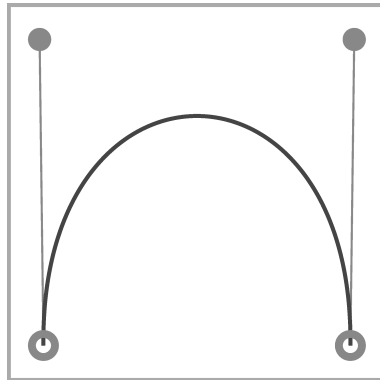


図 65 領域 6

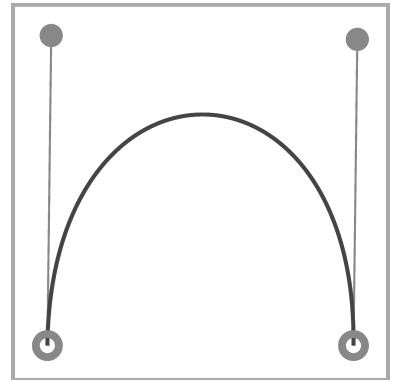


図 66 領域 7

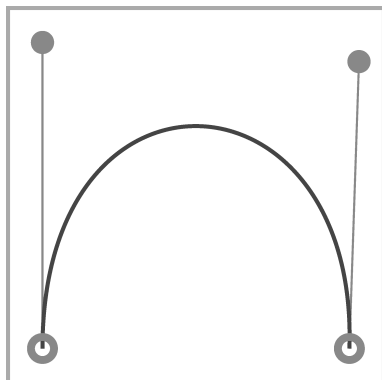


図 67 強度を上げたベジェ曲線

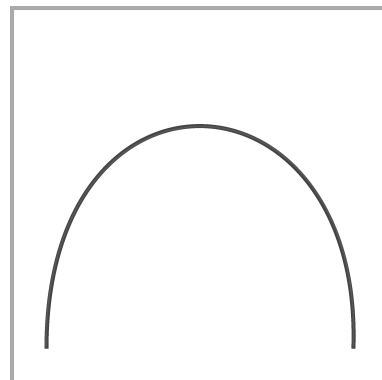


図 68 トレースしたベジェ曲線

- 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つ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。

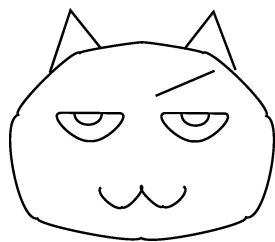


図 69 ベジェ曲線で描かれた線画像

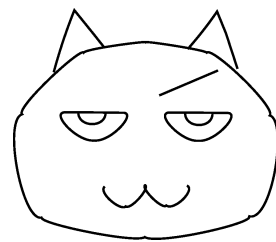


図 70 情報を埋め込んだ画像

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性がある。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∧W 権限、Φ は ¬R∧¬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。

SubjectSi (i=1.2....)、Sj (i=1.2....)、但し i≠j

ObjectOn (n=1.2....)、Sm (m=1.2....)、但し n≠m

PermissionPR, W, RW, ¬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。

| | 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 | R | Φ | R | 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 | R | RW | R | Φ | RW | Φ | R | R |
| 013 | Φ | Φ | R | Φ | Φ | R | Φ | Φ | RW | R | Φ | R | 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 | R | 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

【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】

SubjectSi (i=1.2....)、Sj (i=1.2....)、但し i≠j

ObjectOn (n=1.2....)、Sm (m=1.2....)、但し n≠m

PermissionP{R, W, RW, 1RW}

アクセストリプル (Si, On, P) とするとき、

If (Si, On, 1R),

ANDif (Sj, On, R) ∧ (Sj, Om, W) ∧ (Si, Om, R),

Then Covertchannel(Si, Sj, Om(Om)).

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。

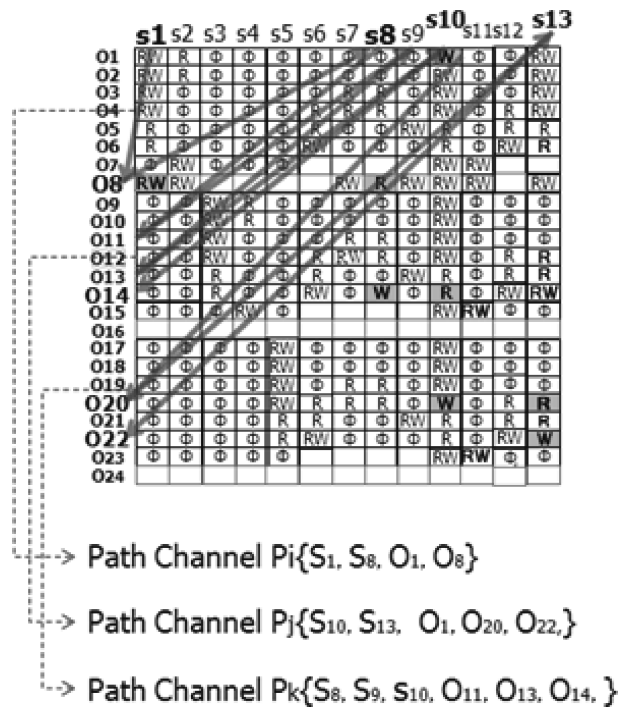


図 72 群知能の Particle

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。

$$PathM(i) = \{|S_i|, |O_i|\}, PathM(j) = \{|S_j|, |O_j|\}$$

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

Aij 中の PathC (i) から PathC (j) への全ての Covert channel 数を ηij 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、

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

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

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。

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

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

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。

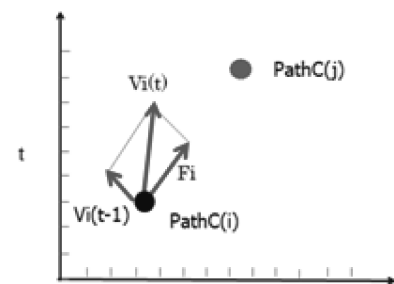


図 73 一つの Particle の群れる力

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) に衝突状態が起こると、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.hatena.ne.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.ei.sanken.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。