

E-Democracy におけるマルチエージェント計算

山川 宏[†]

Multi-Agent System and Social Model for E-Democracy

Hiroshi YAMAKAWA[†]

あらまし IT 技術を基盤とした E-Democracy(電子民主政)では、従来より柔軟な制度が実現可能となる。民主政の意思決定過程には有権者や政党などの複数エージェントが存在するため、これを実現する「E-Democracy 支援システム」としてマルチエージェント技術を用いることが有効である。一方で、上記システムの柔軟性を生かすためには、その運用において適切な制度設計の方法論が求められる。そこで、マルチエージェント計算による「E-Democracy 社会モデリング」による制度評価を行うことが有用であると考えられる。本論文では、まず多岐にわたる現在の代表民主政における問題から特に、民意反映の不足、政治活動資金の不足に着目する。そして、その解決には、現在より直接民主政に近く、意思決定コストの制御を考慮した制度が必要である主張する。そして、これを実現する「E-Democracy 支援システム」の一例を提案し、様々な民主政の形態と比較する。次に、E-Democracy 支援システム下における意思決定の振る舞いを人工社会としてマルチエージェントによりモデル化する「E-Democracy 社会モデリング」について、従来の人工社会や意思決定支援の研究との異なる特徴について述べる。続いて、E-Democracy 社会モデリングの一例として、投票による直接民主政による計算機実験を行った。各エージェントは、意思決定コストを考慮した強化学習により、投票と棄権のいずれの態度をとるかを学習する。すると、各エージェントが他者の受益を考慮する程度が高いほど、投票を棄権する確率が高くなることで、意思決定コストが低減され、平均的な受益を増大する。

キーワード 直接民主政, 人工社会, 意思決定, グループウェア, マルチエージェント, e-Japan

1. はじめに

民主的な政治システムの存在意義は、システム内の複数のエージェントが相互作用することで、全体および個々にとって、妥当な受益が得られる、創造的合意形成にある。しかし、現代日本の現実の国政を見てみると、「広場の共有感覚の欠如」「協働意識の希薄化」「言説の浮遊化」が進んでいる[4]。このために、多くの人が政治不信をもっているため、創造的合意には程遠い状況であるために構造的な改革が望まれる。

本論文では、このような問題が発生する主要な原因として、以下の二つに着目した。

民意反映の不足: 個々の有権者からみると、政策に対する操作可能性があまりにも小さいために、政治への興味が薄れてしまう。こ

のため、政治の監視も不十分になりがちである。

意思決定コスト制御の欠如: 政治活動に對する社会的評価が低いので、政治家は十分な政治活動資金が得られず、これを補うために特定営利団体との癒着せざるを得ない。[4]

一方、現在では、急速な IT 技術の進展により、多くの有権者による意見交換や投票が技術的に可能になり、E-Democracy(電子民主政)の可能性が開かれてきた。これをを利用することで、今までの民主政より直接民主政に近づけるなど、多様な民主政度を実現することが現実的に可能となってきた。

また、日本で進められている e-Japan においては、行政の効率化を目指しているのに対して、有権者が電子政府で期待することは「市民への情報開示が進み説明責任が強くなる」「情報入手が簡単になる」などである[5]。

しかし、上記のような問題を解決するために、透明性は前提として必要であるが、さらに直接民主政の導

[†] (株) 富士通研究所 ITコア研究所 グリッド&バイオ研究部, 千葉県 Grid Computing & Bioinformatics Lab. FUJITSU LABORATORIES LTD., 9-3, Nakase 1-Chome, Mihama-ku, Chiba City, Chiba, 261-8588 Japan

入などの、政策決定にかかわる制度の見直しも必要である。

たとえば、現実的な有権者の参加としては、アメリカ諸州における直接イニシアティブや、スイスにおける市民政策投票をはじめとして、国際的にも様々な試みがなされている[1]。また、国内の地方自治でも、次第に市民参加の機会を増やす方向に向かっている。

関連して、間接民主政における意思決定ルールを公共選択論の方法を用いての研究[13]や、政治システムというわけでないが、投票サイト[2]なども立ち上がっており、政治への市民参加の流れは次第に大きくなってきている。

これらを踏まえて、2.章では、民意を政治に反映させる機会を広げることで参加意欲を向上させ、意思決定コストを制御するために、公正かつ建設的な政治活動に対して資金面から十分にバックアップしうる、E-Democracy 支援システムの可能性について議論する。3.章では、E-Democracy 社会モデリングを、意思決定における人口社会として位置付け、関連技術との関係について述べる。4.章では、E-Democracy 社会モデリングの簡単な一例を示す。5.章では、まとめを行う。

2. E-Democracy 支援システム - 電子化による民主政の拡張 -

今後、ますます発展すると予想される、E-Democracy(電子民主政)システムを用いれば、従来に比べて柔軟な制度構造を用いることが可能である。

しばしば指摘されているように、前章で指摘した「民意反映の不足」に対しては、E-Democracy の下では、技術的には既に可能となっている直接民主政の採用が、回答となる。次に「意思決定コストの制御の欠如」については、政治活動に対する適正な評価に基づく政治活動資金が与えられる、E-Democracy 支援システムを設計する必要があると考えられる。以下で、これらについて詳しく述べる。

2.1 直接民主政の導入

現在の代表民主政は間接民主政であり、一般の有権者は選挙によって議員を選ぶことでしか政治を操作することができない。しかも選挙は数年に一度しか行われず、政策ごとの民意を反映することもできないので、民意は必ずしも十分に政治に反映されない。これに対しては、従来より直接民主政に近づいたほうが、

よいという議論が様々な場面でなされている。

また、それぞれの一個人である有権者もヒトである以上、自身による操作の影響が、観察できない対象に対して興味を失うのは自然であり、健全な民主政のためには、有権者が自然と政治への関心を高め積極的に参加するような制度作りが必要である。

2.1.1 直接民主政に対する主要な批判

バッジ[14]によれば、直接民主政はすでに技術的に可能になったため、現在のこれに対する大きな批判として、特に以下がある。

無定見な多数派の専制: 媒介制度(政党、議会、政府)がなくては、一貫した政策が生まれない。不安定と無秩序、民主政の崩壊が起きる。直接民主政は、政党を含めた媒介制度の基礎を掘り崩す。

一般市民の能力: 一般の市民は、教育、関心、時間、専門知識などの良い政策決定に必要な資質をもっていない。

2.1.2 批判への対応

バッジ[14]は、このような批判は、素朴に直接民主政を適用した場合に、顕著に表れるのであって、政党などの媒介制度を適切に取り入れることにより、問題の一部は解決できる可能性が大きいとしている。さらに、高度に文明化された現代社会では、有権者は政策判断に関する情報を収集することが容易になったために、一般市民を政治に参画させる機会を増やせば政策を判断する資質が養えるとも主張している。

2.2 意思決定コストの制御

- 投票と意思決定コストのリンク -

政治活動は、本来はシステム全体の意思決定であるから、純粋に意思を決定するためのコストがあればよいのだが、実際には、政治家は有権者の支持を得る必要があるために、有権者達とコミュニケーションを図るためのコストが非常に大きい。これらは、本来区別して扱うべきかも知れないが、現段階ではこれらを含めた必要なコストを意思決定コストとする。いずれにしても、これらのコストのために政治家は大きな資金がなければ、特定営利団体との癒着せざるを得ない。

一方、前節で述べた直接民主政では、受益者である有権者が、原理的にすべての政策に対して、各個人が直接の判断をすべきである。しかし、政策判断にはコストを要するので、すべての政策について、全ての有権者が判断を行うのは現実的には不可能であり、この

ため従来は代表民主政が有効であった。

以上の議論から、どのような制度をとるにしても、意思決定は分業せざるをえず、個々の政策の判断における個人や政策集団に対する委託が必要である。そのため、有権者からみて適切な判断を行う個人や政策集団に対しては、判断の委託に伴って意思決定コストについての適正な対価を支払うべきである。そのために、E-Democracy 支援システムにおける、意思決定コストの制御方法の一案として、投票権と意思決定コストを密に連携させるのがよいと考える。これについては次節で説明する。

なお、本論文では議論しないが、政治家から有権者への、コミュニケーションコストを減らすことも E-Democracy における重要な課題である。

2.3 E-Democracy 支援システムの構築

民主政では、有権者や政党などの複数エージェントが参加による意思決定がおこなわれ、決定された政策からの受益はエージェント（有権者）ごとに異なる。そこで、これを支援する「E-Democracy 支援システム」を、マルチエージェントを用いて構築する。また、前節の議論から、直接民主政に近づいた、意思決定コストを考慮したシステムの構築を行う。

2.3.1 議案と政策決定のサイクル

E-Democracy 支援システムは、議案毎に政策決定を行う。各議案は、図 1 に示すように、公示されたあと E-Democracy 支援システムによる政策決定過程を経て決議にいたる。なお、一般的には議案ごとに許される、政策決定過程の期間は異なる。

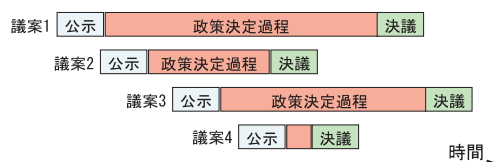


図 1 議案の政策決定のサイクル

2.3.2 エージェント毎の行動と通信

提案する E-Democracy 支援システムは、以下の 2 種類のエージェントにより構成される。この際に「原理的な直接民主政」と「意思決定コスト」のバランスをとる必要がある。

有権者エージェント：有権者個人の代理エージェント。すべての有権者エージェン

トは、一定の基本投票権を持っている。本エージェントは、自らの投票権と外部から受託された投票権を加算した投票権に関して、参加 / 委託 / 棄権のうちのいずれかの行動選択を行う。ただし、有権者エージェントならば行動派は、政策の実行となる。行動選択は、ユーザ自身による判断そのものでも、エージェント内に記述したプログラムでもよい。

会議エージェント：会議エージェントは、複数のエージェントを召集して合意形成を行う。なお、外部から受託を行うこともできる。

召集および受託を加算した投票権が、合意形成の結果としての参加 / 委託 / 棄権いずれかの行動となる。ただし、会議エージェントならば行動は、政策の実行となる。

また、会議エージェントが、定常的に存在する場合には、政党などの政策集団となる。

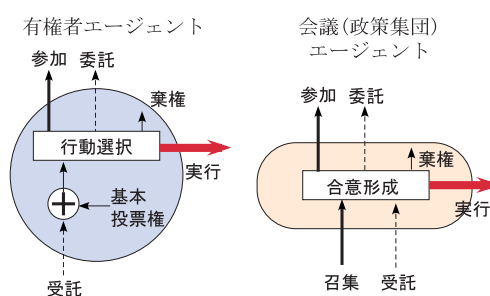


図 2 2 種類のエージェント

エージェントの行動のうち以下の二つはエージェント間の通信を伴う。

委託と受託：エージェントは、エージェントを選んで投票権を委託する。受託したエージェントの行動に、この投票権が加算される。

参加と召集：エージェントは、会議エージェントを選んで参加し、参加したらそこでの合意形成の規則に基づいて行動する。

2.3.3 意思決定コストへの対価

エージェントの行動における、意思決定コストに対する対価を決定する必要がある。これは、エージェントの出力する行動と、召集または受託により収集した投票権に依存する。

意思決定コストを $C_D()$ とした場合に、一つ目の要素である出力した行動の種類に関するコストの評価としては、少なくとも以下のような関係がある。

$$\begin{aligned} C_D(\text{実行}) &\geq C_D(\text{参加}) \\ &> C_D(\text{委任}) > C_D(\text{棄権}) \end{aligned} \quad (1)$$

一方、召集または受託により収集した投票権に関しては、単純には

$$C_D() \propto (\text{召集数} + \text{受託数}) \quad (2)$$

とする。

こうすることで、エージェント間の通信は意思決定と決定コストの制御の両面に同時に関係することになる。

2.3.4 システムの運用

a) 通信の木構造

システム全体として意思決定を行う性質のため、委託および参加の通信構造は唯一の最上位エージェントをもつ木構造であり、途中でループすることには問題がある。これを避ける方法としては、例えば、最上位レベルからの深さを定義しながら、通信構造を生成する方法などがある。

通信の木構造は、政策ごとに変化することが可能であるが、通常はある程度の時間維持するものと考えられる。なぜなら、各エージェントが常に熟考しているとは、意思決定コストが大きくなるので、現実的にはエージェントごとにデフォルトの行動を設定することになるためである。現状の制度で、選挙を行うまで、この構造が変化しないのはその一例と考えられる。

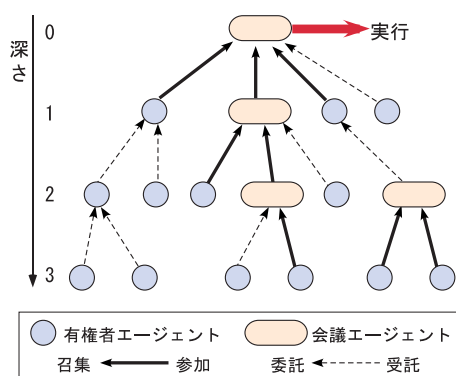


図3 通信の木構造

b) 決議行動と投票権の保存

政策決定過程では、システム全体による意思決定がおこなわれる。これは、有権者エージェントでの行動選択及び会議エージェントでの合意形成の積み重ねである。

深さ方向に会議エージェントが存在する場合には、一般的には下位の合意形成が、決定しないと上位の合意形成を行うことができないと思われる。しかし、システム内の全ての合意形成方式が、多数決などによる場合などには、政策決定過程内における任意の時点での各エージェントの行動が変化を許すような運用も可能となりうる。

ここで提案しているシステムでは、2種類のエージェントの処理においては「投票権の保存」が成り立っている。このため、棄権した有権者以外の投票数が最上位の会議エージェントにおいても、反映され、一票の格差が発生しない。

仮に、この保存規則を導入しないと、通信における木構造に柔軟性があるために、一票の格差は容易に増大してしまう。

2.3.5 E-Democracy 支援システムと他の民主政

提案した、E-Democracy 支援システムは、図4に示すように、よく知られている民主政の形を含んでいる。ここで、選挙による議院の選択を、個人に対する委託であると考えられる。

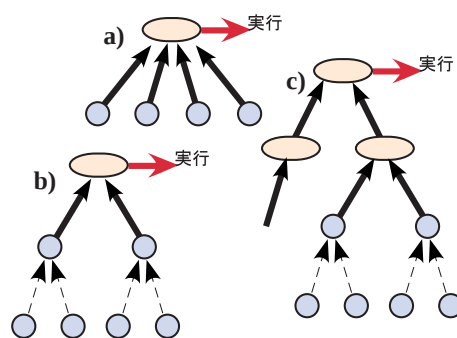


図4 様々な民主政

a) 素朴な直接民主政, b) 議院民主政,
c) 政党を中心とした議院民主政 [日本の現状]

a) は素朴な直接民主政で b) は議院民主政で、c) が政党を中心とした議院民主政で、現状をあらわしている。ただし、b), c) では、投票権が保持されないもので、しばしば、一票の格差が大きくなる。

2.3.6 提案システムについての議論

階層の中間で現れる、会議エージェントの存在意義には、a) 会議エージェントは反対票を取り込めるので個々の投票よりも多くの投票権を収集できる、b) システム全体として一貫した政策セットを作り出すのに役立つ、の二面がある。

本システムの提案には、まだ多くの議論すべき点などがあるが、ここでは列挙するにとどめる。

- 1) 透明性と匿名性(プライバシー)のバランス
- 2) エージェント毎のデフォルト行動の設定(「教育」分野は〇〇氏に委託、「経済」分野は××氏に委託など)
- 3) 有権者でないエージェントによる意思決定のアウトソーシングの可能性

2.4 応用分野

E-Democracy 支援システムは、多数の有権者(受益者)により、システム全体として何らかの意思決定を行うが、そのコストを削減したい場合に適用できる。

よって、国家や地方などの行政のみでなく、学会や学校の PTA の運営などにも適用しうる。

3. E-Democracy 社会モデリング - 意思決定における人口社会 -

E-Democracy 支援システムにおけるエージェントの振る舞いを、マルチエージェント計算の実験により推定するアプローチを E-Democracy 社会モデリングと呼ぶことにする。

E-Democracy 支援システムでは、必要に応じて複雑に作る必要があるが、E-Democracy 社会モデリングにおいては、KISS 原理 (Keep It Simple, Stupid) [3] の考えに沿って、できるだけ単純かつ貧弱なモデルの構築を志向する。

E-Democracy 社会モデリングを用いることで設計した制度における、システム全体および個々のエージェントの受益を評価できる。そこで、与える制度を変化させて(構造変革アプローチ)、エージェントの活動が間接的に制御されることを観察し、制度設計に役立てることができる。

E-Democracy 社会モデリングは、意思決定における人口社会であると位置付けられる。そこで、背景となる技術を概観し、それとの関係について述べる。

3.1 人口社会

人口社会は、マルチエージェントによるボトムアップな計算機実験であり、以前より複雑系として注目

を集めている[8]。ここでは、寺野ら[17]による、人口社会モデルの分類から、E-Democracy の位置付けについて、組織の観点から考えてみる。すると E-Democracy という課題は、組織発生というよりは組織構造を与えてそのパフォーマンスを測定する組織設計に重点を置いた、制度設計のアプローチであるといえる。

研究例としては、与えられた制度的構造の下でエージェントの活動が制度的条件を動かすことで大きく変化することの再現や[7]、”The Lake”として知られている社会的ジレンマを解消する方法[18]や、公共分配規範のフリーライダーからの影響の社会構造に差異の明確化[10]などがある。

多くの人口社会の研究において、エージェントは個々に具体的な行動を行うのに対して、E-Democracy 社会モデリングでは全体としての意思決定を行う点が特徴である。

3.2 意思決定支援システム

一方、意思決定に関しては、既にグループウェアの分野において研究および開発が進んでいる。グループウェアは、共通の仕事や目的をもって働くユーザグループを支援し、協同作業環境へのインタフェースを提供するコンピュータベースのシステムであり、この中で特に、意思決定支援システムでは、討論や投票をリアルタイムで行うことなどにより、合意形成の過程を支援する。

マルチエージェントによる合意形成の研究は、グループおよび個々のエージェントにとってより、好ましい合意を得ることが研究の主眼であり、グループとして好ましい政策選択を行うための、プロトコルやユーザインタフェースなどを中心とした研究が中心である。

研究例としては、ユーザ毎のエージェントで決定した代替案の重要度に基づいて交渉することで、グループとして最も好ましい代替案を一つ得る[6]。投票方式と交渉方式を比較や[16]、プロトコルの研究や[15]、合意形成プロセスを重視したグループ意思決定支援システムの開発や[11]、異なる評価構造を持つ参加者間の合意形成支援法の提案と実装[12]などがある。

3.3 意思決定システムの人口社会による設計

高橋らによる研究[9]では、多様な選考を持つエージェント集団における、合意形成のために個人の合理性を緩和する機構を導入すると、やがて少数の選考に集約されることなどが示されており、意思決定過程

を社会として扱っている．E-Democracy 社会モデリングでも，意思決定の人口社会を扱うが，ここでは制度設計を目的とする点が，上記の研究とは異なってくる．

そして，E-Democracy 支援システムの設計では，前節で述べたように市民の情報処理能力の不足や（エージェントの能力），政策選択にかけられる時間的なコスト（意思決定コスト）などに着目する点に特徴がある．

以上より，E-Democracy 社会モデリングという課題は，マルチエージェント計算の分野において，従来と異なる新たな研究課題となりうる．

4. E-Democracy 社会モデリングの計算機実験

- 制度設計を目指して -

多数決投票による直接民主政によるにおいて，意思決定コストとエージェントの人徳を考慮した，E-Democracy 社会モデリングを行った．具体的には， $n_A (= 10)$ 個の有権者エージェントと，一つの会議エージェントを用いた．

4.1 実験での処理手順

最初に，各エージェントの持つ財産を $F_i(t)$ (i はエージェントの ID) を 0 に初期化した ($F_i(0) = 0$) ．

図 5 に示すように，議案ごとに，公示，政策決定過程，議決さらにエージェントの受益がの 4 動作を一まとめとし，これが繰り返した．

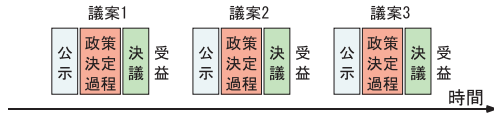


図 5 2 種類のエージェント

4.1.1 議案の生成

すべての議案の選択肢の数は $n_C = 3$ とした．議案 t における i 番目のエージェントの選択肢 c に対する受益を $b_{i,c}(t)$ は， $[-9, 9]$ の整数値の一樣乱数により決定する．この受益 $b_{i,c}(t)$ は議案毎に，エージェントに還元される．

4.1.2 政策決定過程

- 有権者エージェントの行動決定 -

エージェントは各議案毎に，強化学習により態度 a (投票 / 棄権) を決定し．さらに，投票する場合には議案の政策選択肢からひとつを選ぶ．

a) 態度 a の決定

Q 値の更新は $r_Q = 0.01$ として，次式による．

$$Q(a(t)) = r_Q(F(t) - F(t-1)) + (1.0 - r_Q)Q(a(t-1)) \quad (3)$$

そして態度 a は，次式のように， $r = 0.95$ の確率で Q 値によるボルツマン分布を採用し，それ以外は一樣乱数とする．

$$P(a) = r \frac{\exp(Q(a)/T)}{\sum_{a'} \exp(Q(a')/T)} + (1-r) \frac{1}{2} \quad (4)$$

このとき，温度 $T = 0.3$ とした．

b) 投票行動

態度として投票を選んだら，投票行動のために政策選択肢から政策をひとつを選ぶ．

選択肢から，選択政策 $s_i(t)$ の決定するため，議案 t に対する，受益 $b_{i,c}(t)$ を調べ，これに要する一定値のコスト $C_D (= 1)$ を意思決定コストとみなす．これに伴い，財産 $F_i(t)$ が，更新される．

$$F_i(t) = F_i(t-1) - C_D \quad (5)$$

次に，受益 $b_{i,c}(t)$ のエージェントに関する平均値を $\tilde{b}_c(t)$ とする．

$$\tilde{b}_c(t) = \frac{\sum_i b_{i,c}(t)}{n_A} \quad (6)$$

そして，エージェントの性質を決める定数として人徳 v ($0 \leq v \leq 1$) を導入し，次式によりエージェント i の選択政策 s_i を決定する．

$$s_i(t) = \arg \max_c \left(v \tilde{b}_c(t) + (1.0 - v) b_{i,c}(t) \right) \quad (7)$$

つまり，人徳が大きいほど，全エージェントの平均的な受益を考慮し，逆に人徳 $v = 0$ の場合には，完全に利己的である．

4.1.3 会議エージェントによる議決

今回は，単純な直接民主政における多数決をとしたので，議案 t の各選択肢に対する得票数を $g_c(t)$ は，

$$g_c(t) = \sum_i \delta(s_i(t) = c) \quad (8)$$

であり，総得票数 $G(t)$ は，

$$G(t) = \sum_c g_c(t) \quad (9)$$

である．そして，議案 t に対する議決政策 S は，次式に従う．

$$S(t) = \arg \max_c g_c(t) \quad (10)$$

なお，まったく投票がなされなかった場合 ($\forall cg(c) = 0$) には，政策はランダムに選ばれるものとした．

4.1.4 受益の獲得

各エージェントは受益 $b_{i,S}(t)$ を受け取り，自身の財産を $F_i(t)$ を更新する

$$F_i(t) = F_i(t-1) + b_{i,S}(t) \quad (11)$$

このあと，次の新たな議案が生成される．

4.2 実験結果

今回の実験では，人徳 v の値を， $[0.0, 1.0]$ の区間の区間で 0.1 刻みに変化させて，有権者エージェントが，強化学習により行動を変化させる様子を調べた．

まず，図 6 に，決議回数 t に対する財産 $F_i(t)$ をエージェントについて平均した $F(t) (= \sum_i F_i(t)/n_A)$ を示す．人徳 v が高いほど，平均財産が大きく増加することを示している．

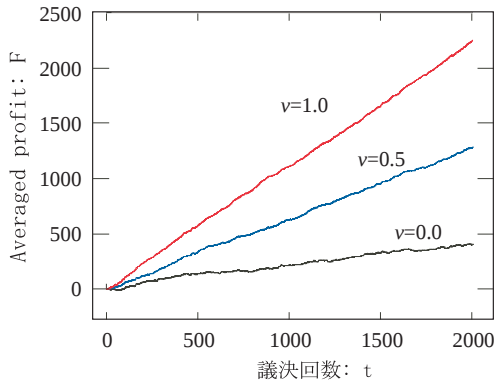


図 6 財産の時間変化

このときのエージェントが強化学習によって獲得する，態度 a_i の平均的な振る舞いを見るために，決議回数 t に対する総投票数 $G(t)$ の移動平均 (30 回) の変化を図 7 でみる．すると，人徳が大きいほど総投票数が小さくなり，このために，システム全体としての意思決定コストが削減されることがわかる．

つぎに，決議回数 $t = 5000$ における，人徳と平均受益の関係を図 8 に示した．すると，人徳 v が増えるほど，平均受益 F も増えることがわかる．

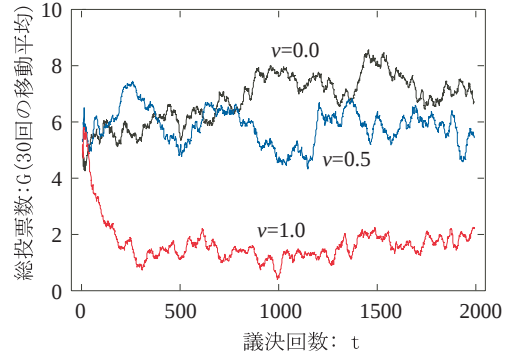


図 7 投票数の時間変化

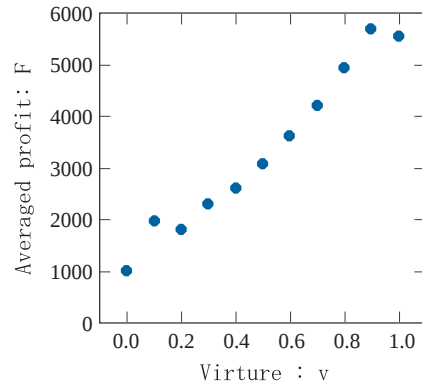


図 8 人徳と平均受益の関係 (決議回数 $t = 5000$)

以上より，計算機実験により，エージェントの人徳が高いほど，エージェントが強化学習により，投票を棄権する確率が高くなることで，システム全体として，議案ごとの平均的な受益を増大させ，結果として財産を増加させている．

今回の計算機実験では，人徳 v が大きいほうがよいという結論は得られる．しかし，人徳 v はエージェント内のパラメータであり，これを制度設計によって操作することはできないので，残念ながら，制度設計のレベルには到達していない．

5. まとめ

本論文では，民意反映の不足，政治活動資金の不足に着目し，その解決には，現在より直接民主政に近く，意思決定コストの制御を考慮した制度が必要であると考えた．これらの要請を考慮した，柔軟性の高い E-Democracy 支援システムを提案し，従来の民主政と比較した．次に，人工社会や意思決定支援などの

従来技術から見て、E-Democracy という課題がマルチエージェント技術においても興味深いことを述べた。最後に、実際に意思決定コストを考慮した複数の強化学習による有権者エージェントによる、直接民主政の計算機実験をおこなった。すると、人徳が高いほど投票を棄権する確率が高くなることで、意思決定コストが低減され、平均的な受益を増大することを示した。

以上のように、本論文では、E-Democracy に対する、マルチエージェント技術の適用について、E-Democracy 支援システムと E-Democracy 社会モデリングの2つの面からアプローチすることで、E-Democracy におけるマルチエージェント技術の可能性を示すことを試みた。個々の議論には不十分な点もあり、計算機実験ではまだ制度設計になっていないが、読者の役に立てば幸いである。

今後の E-Democracy 社会モデリングのシミュレーションでは、意思決定コストの制御や、会議エージェントの合意形成方法などの制度を変化が、システム全体の受益に与える影響を調べて制度設計に発展させたい。さらに将来的には、企業などの利益集団もエージェントとしモデル化することで、政治不信の大きな原因となっている政治献金などのメカニズムを解析し、制度設計の段階でそれらの問題に対処できる、より有用な技術として発展することを期待している。

文 献

- [1] RMIT BUSINESS. Electronic democracy resources. http://www.bf.rmit.edu.au/kgeiselhart/e-democracy_resources.htm.
- [2] <http://www.vote.co.jp/>.
- [3] Michael Masuch and Massimo Warglien, editors. *Artificial Intelligence in Organization and Management Theory: models of distributed activity*. Elsevier North-Holland, Amsterdam, 1992.
- [4] 吉光論史. 民主主義における社会的意思決定 - 現代政治の力ネと創造的合意形成の関係 -. <http://www.sfc.keio.ac.jp/s97031sy/98ReportAutum/IssueFinal.htm>, 1998.
- [5] 株式会社 NTT データ. 電子政府と民主主義に関するアンケート - 電子政府による e-democracy の可能性 -. <http://www.nttdata.co.jp/release/2001/122500.html>, 2001.
- [6] 伊藤孝行, 新谷虎松. グループ代替案選択支援システムにおけるエージェント間の説得機構について. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No. 10, pp. 2780-2789, 1997.
- [7] 出口弘. 多主体複雑系と間接制御. システム/制御/情報, Vol. 43, No. 5, pp. 227-235, 1999.
- [8] 有馬淳. 複雑系としてのエージェント社会. 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 1, pp. 5-6, 1998.

- [9] 高橋正浩, 生田目章. 個々の非合理性に基づくマルチエージェントの合意形成法. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J82-D-I, No. 8, pp. 1093-1101, 1999.
- [10] 倉橋節也, 寺野隆雄. エージェントシミュレーションによる共同分配規範モデル. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D1, No. 8, pp. 1160-1168, 2001.
- [11] 加藤直孝, 中條雅庸, 國藤進. 合意形成プロセスを重視したグループ意思決定支援システムの開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 12, pp. 2629-2639, 1997.
- [12] 加藤直孝, 國藤進. 異なる評価構造を持つ参加者間の合意形成支援法の提案と実装. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 10, pp. 2927-2936, 1998.
- [13] 朝尾直太. 間接民主制(代議制民主主義)の意思決定ルール - 公共選択論からのアプローチ -. <http://kappazaka.com/keikakusho/keikakusho-asao.htm>, 2000.
- [14] イアン・バッジ著 杉田敦〔ほか〕訳. 直接民主政の挑戦 - 電子ネットワークが政治を変える -. 新曜社, 2000.
- [15] 北村泰彦, 横尾真桑原和宏. マルチエージェント合意形成のための回覧板プロトコル. 電子情報通信学会人工知能と知識処理研究会資料, 第 AI95-19 巻, 1995.
- [16] 柳澤洋, 村上国男. マルチエージェントシステムの合意形成方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 6, pp. 1387-1395, 1995.
- [17] 寺野隆雄, 倉橋節也. エージェントシミュレーションと人工社会・人工経済. 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 6, pp. 966-973, 2000.
- [18] 山下倫央, 鈴木恵二, 大内東. Iterated multiple lake game における社会的ジレンマに対するプレイヤー群の挙動に関する考察. 計測自動制御学会論文集, Vol. 36, No. 2, pp. 195-203, 2000.

(平成14年8月30日受付)

山 川 宏 (正員)

昭 62 東京理科大学・理・物理卒。平 1 東大・理・物理修士課程修了。平 4 東大・工・電子博士課程修了。同年に(株)富士通研究所入社。強化学習、ニューラルネットワーク、認知アーキテクチャ、データ分析などの情報処理分野の研究に従事。現在、(株)富士通研究所 IT コア研究所グリッド&バイオ研究部、電子情報通信学会、日本神経回路学会、日本ロボット学会会、人工知能学会員。