

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 29 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282088

研究課題名(和文) 社会的選択理論の情報学的展開

研究課題名(英文) Development of Social Choice Theory in the Framework of Information Study

研究代表者

岩井 淳 (IWAI, Atsushi)

群馬大学・社会情報学部・准教授

研究者番号：60293081

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、社会的選択理論の情報学的展開の可能性を検討した。特にAmartya Senの理論に焦点を当て、その有効性検討を念頭に社会的選択過程の情報量を計算するソフトウェアシステムを開発した。開発システムの情報量測定ではシャノン理論に基づく計算手法を用いる。Senの枠組みは、単なる投票ではなく、社会的観点での観察と評価に基づくような社会的選択の論理を含む特徴がある。Sen自身の当初の意図とは別に、このことが今日の「幸福」をめぐる様々な試みにまで関連している。本研究の定量分析手法は、望ましい社会的選択が観察と評価に基づく方式でどの程度実現可能であるのかについて、再検討を行う一つの手段となる。

研究成果の概要(英文)：This study explored the potential development of social choice theory in the framework of information study. In particular, it focused on Amartya Sen's theory and proposed a software system to calculate the amount of information processing needed in a social choice procedure to examine the validity of the theory. In the software system, a Shannon-based calculation method was introduced to evaluate the amount of information. Sen's framework has a characteristic in that it contains logics for social choices, which are not based on simple voting but on observation and evaluation from the viewpoint of society. This aspect is now related to various approaches to establish "happiness" indexes, although Sen himself did not intend this originally. The quantitative analysis method developed by this study is expected to serve as a tool to re-examine the degree of how a desirable social choice is achievable via an observation- and evaluation-based methodology.

研究分野：社会情報システム学

キーワード：社会的選択理論 情報学 厚生 幸福 匿名性

1. 研究開始当初の背景

社会的選択理論の研究は、K. Arrow の「一般可能性定理」に代表される。同定理は、個人の嗜好群から社会的選択を導くある理論的な枠組みにおいて、当然満たされるべきと思われる 4 条件が同時成立しないことを示した。Arrow の定理は「民主制の不可能性定理」として知られ(本報告書でも以下「不可能性定理」として参照する)、今日まで厚生経済学、法哲学、社会学等、多くの領域に影響を与え続けている(図1)。

問題の 4 条件を満たす枠組みを示した A. Sen の「可能性定理」(Possibility Theorems [複数形])の議論も、重要な展開である。図2はその概要であり、社会水準で推移性の条件を非循環性に置き換えている以外に図1と違いがない。Sen はこの僅かな修正で 4 条件の満足が保証されることを指摘した。Arrow の不可能性を受け入れ理想的な社会的選択の存在を否定する道も可能である。しかし、Sen の議論を受け入れれば理想的な社会的選択の可能性が残り、その実現が問題として残る。

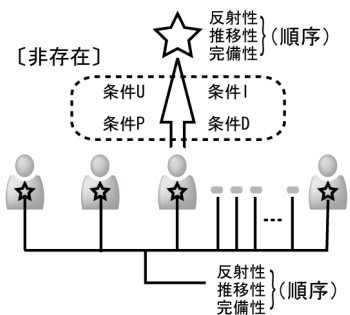


図 1. Arrow の不可能性定理の枠組み

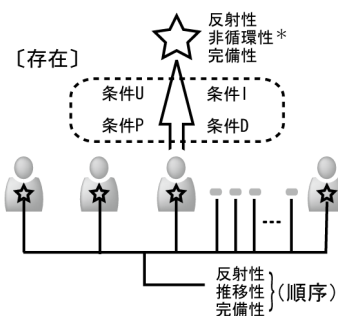


図 2. Sen の可能性定理の議論 (一例)

広く知られる Sen の Capability 概念の背景にも、同様の可能性の認識がある。社会的選択理論は、この意味において、同概念を念頭においた国連の人間開発指数(HDI)の作成や近年の種々の「幸福」の指標化の議論に結びついている。Sen の Capability 概念に基づくアプローチは、しかしながら、世界的な注目を集める一方、しばしば決定基準の議論に留まりがちで、実際の行動決定が難しいことが指摘されてきた。

上記の非実用性の問題の指摘には、これまでの社会的選択理論に意思決定の難度を問う定量分析的研究の蓄積が少ないという事

情が関連しているように思われる。すなわち、個々の社会的選択過程には必要とする情報処理量に相違がある。Capability 概念に基づくアプローチも、その適用がそれほど困難でない適用領域と困難な適用領域があるであろう。しかし、従来の社会的選択理論には、その難度の差を抽出する理論の蓄積が少ないため、Capability 概念に基づくアプローチも適切な領域への選択的適用が難しい状況にある。結果として、後者の“困難な適用領域”への適用が生じており、問題として顕在化している可能性が高い。

具体的な意思決定に役立てるには、最適解の存在可能性を指摘するだけでは足りず、その最適解を得るためにどの程度の計算量を要するのかという情報学的視点が重要であると思われる。

2. 研究の目的

本研究では、投票を社会的な情報処理過程と捉え、社会的選択理論の情報学的展開を試みることで理論を精緻化することを目的とした。具体的には、意思決定の難度を投票プロセスの情報処理量として算出する理論を構築し、実際に算出を行うシステムを開発することを目的とした。

ここで「情報学」は、C. Shannon の情報理論を第一義としている。基本的には、Shannon の自己情報量の総和として投票前と投票後の匿名水準を算出し、その差分により社会的選択過程が抽出した情報量を計測する。また、開発システムの応用として、Capability アプローチの実現性の検討、プライバシー保護技術としての応用可能性の検討も行う。

3. 研究の方法

社会的選択理論を情報学的に展開するソフトウェアシステムの設計と実装を進めるに当たり、通信モデルに基づく Shannon の情報理論は、即座には社会的選択過程に応用できない。エントロピー概念等のシンプルな応用は困難であり、新たな理論的準備が必要である。この社会的選択理論のための情報理論の準備が本システム構築の中心的な作業である。

以下、理論構築上の主な論点を例題を用いて要約し、その上で本研究のアプローチを説明する。

例 1: A, B, C の 3 人が x と y の 2 選択肢で無記名の単純多数決を行い、全員が x であったとする。投票結果が公表された段階で任意の外部者と 3 名の投票者には、誰がどの案に投票したのか明らかである。(匿名性は結果として存在しない。)

例 2: 例 1 と同様の投票で、A と B が x, C が y であったとする。外部者には 3 名全員、A と B には自分以外の 2 名の投票が明らかで

ないが、Cには他の2名がxに投票したことが判る。(AとBはCに対する匿名性が保たれていない。また、A(B)はB(A)1名が投票内容を告白すればすべてを知るという点で外部者と異なる。)

以上の例の考察より、次の点が確認される。すなわち、無記名投票は必ずしも匿名性を保証しない。また、匿名性は匿名か否かの二者択一ではなく、水準を計量可能な連続体的概念として形式化する。また、視点による匿名性水準の違いという問題も存在する(ただし、以下は外部者の視点で説明)。

本研究のアプローチは以下の通りである。研究代表者の先行研究では、各投票がもつ情報的価値の総和を投票の匿名性水準とした。各投票の情報的価値は Shannon の情報理論の自己情報量に倣い、 $-\log(\text{生起確率})$ と定めた(底 a は $a > 1$ で任意)

$$\log \frac{N!}{M!(N-M)!}$$

対数の真数は想定しうる投票パターンの組み合わせ数である。同式は投票後の匿名性水準の測定式であるが、その考え方を投票前に当てはめれば(N人の投票者がそれぞれ2通りで)全体で2のN乗通りの投票可能性がある。よって、この段階の匿名性水準は $\log(2^N)$ であり、投票により匿名性水準が $\log(2^N)$ から(1)式まで下がることになる。この差分は、社会により獲得された情報量の反映であり、投票という社会的情報処理過程で抽出処理された情報量と考えてよいであろう。この観点から、本研究では、N人が無記名で単純多数決を行い、一方がM票(他方がN-M票)のとき、同投票の情報処理量を以下の式で測定することとした。

$$N \log(2) - \log \frac{N!}{M!(N-M)!}$$

これが本研究の計算アプローチである。上記では、単純多数決のみを例として社会的選択過程の情報処理量の測定法を検討している。この意味で選好研究の計算式は初歩段階であり、社会的選択一般の検討にはさらなる蓄積が必要である。この作業を具体的にを行い、投票の情報処理量を実際に算出するプロトタイプシステムを作成するのが中心的作業である。

4. 研究成果

(1) 社会的選択過程で抽出処理する情報量を計算するためのプロトタイプシステム D-FIS を作成した(D-FIS は Development in the Framework of Information Study に基づく)。D-FIS は電子投票システムではなく、個々の社会的選択が伴う情報処理量を計算するシステムである。入力としての「社会的

選択過程の定義」と「個人的選好の布置」に対し、対応する社会的選好そのものではなく、社会的選好を導出する過程で必要とする個人的選好情報の総量を集計する。基礎理論として、A. Sen の社会的選択理論の枠組みを『集会的選択と社会的厚生』の数論を軸に確認した。実装上は、当初予定した個別端末上で動作するシステムだけでなく、Web 上でもほぼ同様に動作するシステムの構築も行った。基本的に、任意の選好の布置に対する計算が可能になった。

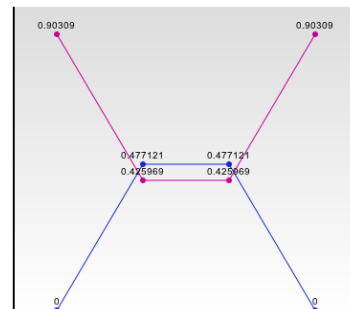


図3. D-FISの出力例(1)

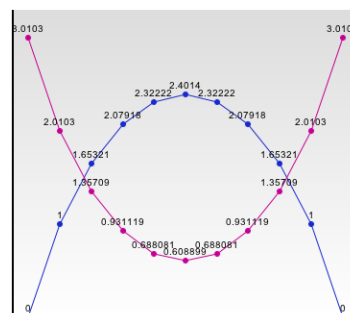


図4. D-FISの出力例(2)

基本動作を「単純多数決」の社会的選択過程を例に説明する。D-FIS の基本出力は表形式の数値であるが、グラフ出力を伴い、図3と図4はそのグラフ出力部分の例である。両図では、入力はそれぞれ3人と10人の単純多数決である。各図のラインとも山型が匿名性水準を、谷型が抽出情報量を表す。横軸は賛成者数であり、例えば図3では賛成者数が0, 1, 2, 3の4ケースを表している。

一般的な入力書式は、所定のプログラム書式で行う仕様である。下記は、4選択肢 a, b, c, d について、Town1_type, Town2_type, Town3_type の3種の選好の布置をもつ個人がそれぞれ3人, 5人, 2人いた場合の, Sen の可能性定理に基づく社会的選択過程での情報処理量を算出するコマンド例である。コマンド中の Preference の設定では、i 行 j 列の 1 が、 iR_j の成立に対応する。個人における任意の2項関係を表現できる文法を準備できており、これにより、任意の選好の布置に対する計算を可能にしている。

```

Alternatives {a, b, c, d};

/* 第一の選好パターンの設定 */
Preference: Town1_type(3) {
  (1,1,1,1)
  (0,1,1,1)
  (0,0,1,1)
  (0,0,0,1)
};

/* 第二の選好パターンの設定 */
Preference :Town2_type (5) {
  (1,1,1,1)
  (1,1,1,1)
  (0,0,1,1)
  (0,0,0,1)
};

/* 第三の選好パターンの設定 */
Preference :Town3_type (2) {
  (1,0,0,0)
  (1,1,1,1)
  (1,0,1,1)
  (1,0,0,1)
};

Execute {
  Sen1970;
};

```

\	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	0	1	1
4	1	0	0	1

投票後のPI-匿名性: 3.40140054078
抽出情報量: 15.3492120931

図5. D-FISの出力例(3)

開発システムの出力値(図5では「抽出情報量」の値)には、選択肢数、投票者数の増加に従い、爆発的に増加する性質が認められた。この点の認識が、以下の応用分析上の基本となる。なお、この数値の増加とは別に、Senの可能性定理に基づく社会的選択処理(社会的選好関係の導出計算)が、システム実装の工夫により、当初の予想以上に高速に計算できることが確認できた。本件はシステム開発上の問題であるが、今後のシステム拡張研究に関わる有効な知見が得られたものとする。

(2) システム開発の第一の応用として、Capabilityアプローチの実現性の検討、プライバシー保護技術としての応用可能性の検討を行った。Capabilityは、人がなすうる機能(functioning)の集合とされる。Capabilityアプローチとは、この「機能の集合」の拡大を重視するアプローチであった。機能の集合は、個人が利用可能な財ベクトルの集合と、財から機能ベクトルを生み出すための利用関数の集合に依存した階層的な数式定義をもつ。本研究では、財ベクトルの集合と利用関数の集合のモデル化を行うのではなく、個人間比較や要求されない選択肢等の問題を除いた投票レベルの社会的選択理論に立ち返り、主としてSenの可能性定理の枠組みを基礎に、Capabilityアプローチに要される情報処理量の問題を検討した。

Senの可能性定理に基づく情報処理量の出力値が投票者数の増加に従い極めた大きな値に変化することから、多数の市民に最適な政策を代替選択して提供するというのは、やはり本来難度の高い問題であることが示唆された。さらに詳細な分析が必要であるが、Capabilityアプローチは適度な計算コストで最適解に至る一定の特徴をもつ問題領域(一部の医療政策や貧困国における教育政策等、所謂「明確な輪郭」をもつ領域)に適用を集中させるのが適当と考えられた。

システム開発の第二の応用として、プライバシー保護技術としての展開可能性も検討した。具体的には、被調査者に匿名性を保証する社会調査システムの改良の提案を行い、また、社会的選択理論の場合の情報処理量の計算との相違についても検討を行った。この応用的検討も国際会議での報告に至った。

さらに、本研究ではShannonの意味での情報学的展開を第一の目標としたが、より広範な意味での「情報学的展開」の検討を展開した。具体的には、分配的正義論における「厚生主義から非厚生主義へ」および「帰結主義から非帰結主義へ」という研究文脈における「情報学的展開」の検討を行った(当初のSenの文脈は前者の一部に相当する)。これらの成果は、書籍出版できる見込みである。また、同議論の中で、従来のSenの*Collective Choice and Social Welfare*の再検討も行い、訳書『集合的選択と社会的厚生』の訳についても検討が進んだ。副次的な成果として、同訳書の改訂作業に貢献できた。

(3) 開発システムの改良に関わる新たな検討課題も見出された。特に、3選択肢以上の社会的選択過程の場合の匿名計算の留意点が見出された。以下、ポルダ投票の例を用いて整理する。

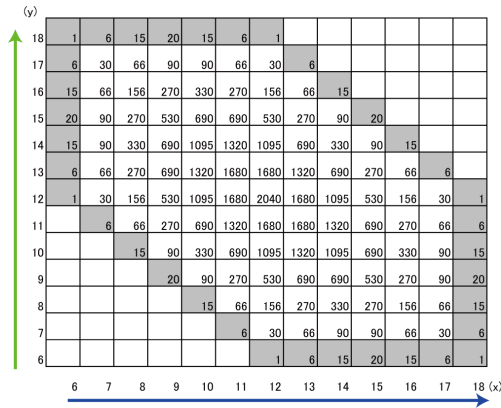


図 6. ボルダ投票の結果パターン例

図 6 は、D-FIS における下記の命令に基づく計算結果の要約であり、

```
Presentation: Borda(6){
  Alternatives: 3;
  InitialValue: 1;
  RateValue: 1;
};
```

x, y, z の 3 選択肢に対し 6 名がボルダ投票 (1 位 3 点, 2 位 2 点, 3 位 1 点) を行った場合の結果パターンの計算例である (図 6 では匿名水準値, 抽出情報量値でなく, 単に組み合わせの値の表となっているが, 以下の説明の便宜にかなうため, これを用いる)。横軸が x, 縦軸が y である。例えば, 左上のセルは $x=6, y=18$ で 1 が入るが, これは最終的に x が 6 点, y が 18 点取る投票パターンが 1 ケースしかないことに対応する。合計が 36 点で z は自動的に決まり (このセルでは 12 点), x, y のみを用いている。

この図で, 1 のついた 6 つのセルでは全投票者の投票パターンが明らかで, 匿名性水準 0 は自然に理解される。しかし, それ以外の網掛けのセルでも, 何らかの点で全投票者の投票傾向に一致点があったことが明らかとなる。例えば, $x=6, y=17$ のセルでは, 全員が選択肢 x に最低評価を与えたことが明らかである。このセルの匿名性水準は $\log(6)$ となり上記の $\log(1)=0$ より大きな値となるが, 投票者は匿名性の一部を失っている。ボルダ投票に限らず, 3 選択肢以上を扱う場合には同様の問題が生じうる。

(4) その他, 研究論文投稿, HP 公開以外の研究成果の発表について以下に要約する。

2013 年 9 月に, 社会情報学会の学会大会においてワークショップを開催し, 同時点における知見を研究展望として共同発表した。また, 2014 年 9 月に社会情報学会の学会大会において連携報告を行い, 同時点における知見を研究展望として共同発表した (連携報告は研究原稿を伴う)。本研究の検討成果の一部は, 2015 年 5 月に出版された社会情報

学のテキストにも反映させることができた。同時点では, Capability アプローチの実現性の検討, プライバシー保護技術としての応用可能性の検討はまだ開始段階であったが, その一部も反映させることができた。

2016 年には, 最終年度として, 成果報告のシンポジウムを開催した。電気通信大学で開催された第 22 回社会情報システム学シンポジウムの中の基調シンポジウムとして, 「社会的選択理論の情報学的展開」のシンポジウムを開催できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

A. IWAI, Reviewing Privacy-Enhanced Social Survey System That Employs Combinatorial Anonymity Measure, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2016, 査読有, Vol.1, 2016, pp.311-316

猪原健弘, 岩井 淳, 「社会的選択理論の情報学的展開」の数理的検討, 『2014 年社会情報学会 (SSI) 学会大会研究発表論文集』, 査読無, 2014, 359-362

富山慶典, 岩井 淳, 「社会的選択理論の情報学的展開」と社会情報学の基本問題, 『2014 年社会情報学会 (SSI) 学会大会研究発表論文集』, 査読無, 2014, 355-358

宇佐美 誠, 社会的選択理論の再考: 情報学的観点から, 『2014 年社会情報学会 (SSI) 学会大会研究発表論文集』, 査読無, 2014, 351-354

宇佐美 誠, 気候の正義～政策の背後にある価値理論, 『公共政策研究』(日本公共政策学会), 査読有, 第 13 巻, 2013, pp.7-19

[学会発表] (計 17 件)

岩井 淳, Collective Choice and Social Welfare における Pure Systems の論点, 政治経済学会第 7 回研究大会, 2016 年 3 月 5 日, 早稲田大学

Atsushi IWAI, A Design of Agent-based GDSS that Supports Anonymous Communication and the Convergent Process, 2016 年 2 月 28 日, Hotlink Inc. (東京)

岩井 淳, 社会情報システム学と社会的意思決定, 第 22 回社会情報システム学シンポジウム, 2016 年 1 月 21 日, 電気通信大学

志田基与師, 権威と社会的選択, 第 22 回社会情報システム学シンポジウム, 2016 年 1 月 21 日, 電気通信大学

猪原健弘, 会議と合意形成, 第 22 回社会情報システム学シンポジウム, 2016 年 1

月 21 日、電気通信大学
岩井 淳、社会的選択における情報処理量、
第 22 回社会情報システム学シンポジウ
ム、2016 年 1 月 21 日、電気通信大学
岩井 淳、社会的選択における情報処理量、
第 22 回社会情報システム学シンポジウ
ム、2016 年 1 月 21 日、電気通信大学
岩井 淳、「社会的選択理論の情報学的展
開」と社会情報学の射程、社会情報学会
(SSI)第 2 回定例研究会、中央大学駿河台
記念館、2014 年 12 月 13 日
猪原健弘、異文化理解が必要な組織状況
の数理モデル、2013 年経営情報学会秋季
全国研究発表大会、流通科学大学、2013
年 10 月 26 日
猪原健弘、社会的選択理論の情報学的展
開について～数理的意思決定理論の観点
から、2013 年社会情報学会(SSI)学会大
会、早稲田大学、2013 年 9 月 15 日
吉原直毅、コメント：岩井淳「社会的選
択理論の情報学的展開」、2013 年社会情
報学会(SSI)学会大会、早稲田大学、2013
年 9 月 15 日
宇佐美 誠、社会的選択理論の情報学的展
開と民主制論、2013 年社会情報学会
(SSI)学会大会、早稲田大学、2013 年 9
月 15 日
志田基与師、コミュニケーションと社会
的選択、2013 年社会情報学会(SSI)学会
大会、早稲田大学、2013 年 9 月 15 日
岩井 淳、「社会的選択理論の情報学的展
開」の射程、社会情報学会(SSI)第 1 回関
西支部研究会、同志社大学、2014 年 3 月
9 日
岩井 淳、橋本和樹、組み合わせ型匿名性
尺度における得票数秘匿の効果～エント
ロピー型尺度における効果との比較、第
57 回数理社会学会大会、山形大学、2014
年 3 月 8 日
永井しおり、岩井 淳、人口の年齢別構成
に着目した類似自治体抽出システム、計
画行政学会関東支部・社会情報学会共催
第 8 回若手研究交流会、学習院大学、
2014 年 3 月 2 日
岩井 淳、「社会的選択理論の情報学的展
開」の構想、2013 年社会情報学会(SSI)
学会大会、早稲田大学、2013 年 9 月 15
日

〔図書〕(計 8 件)

岩井 淳、宇佐美 誠、吉原直毅、猪原健
弘、社会的選択理論の情報学的展開(仮)
2016、執筆中
志田基与師(監訳、著者：アマルティア・
セン)、集合的選択と社会的厚生(訳の改
訂版)、2016、改訂中
伊藤 守、西垣 通(編集)、ミネルヴァ書
房、よくわかる社会情報学(岩井 淳：担
当 VI 章 10 節「社会的意思決定と自己組
織性」)、2015、220

伊藤 守、西垣 通(編集)、ミネルヴァ書
房、よくわかる社会情報学(岩井 淳：担
当 VI 章 9 節「厚生主義と非厚生主義の
視点」)、2015、220
伊藤 守、西垣 通(編集)、ミネルヴァ書
房、よくわかる社会情報学(宇佐美 誠：
担当 VI 章 4 節「社会的選択理論と情報」)、
2015、220
伊藤 守、西垣 通(編集)、ミネルヴァ書
房、よくわかる社会情報学(猪原健弘：
担当 VI 章 3 節「会議と合意形成」)、2015、
220
伊藤 守、西垣 通(編集)、ミネルヴァ書
房、よくわかる社会情報学(岩井 淳：担
当 VI 章 1 節「総論」)、2015、220
今田高俊、館岡康雄(編集)、東京大学出
版、シナジー社会論、(岩井 淳：担当第
4 章「政策決定のための幸福指標は実現
するか」)、2014、246

〔その他〕

ホームページ等
[http://www.si.gunma-u.ac.jp/~iwai/resea
rch/kaken25282088/](http://www.si.gunma-u.ac.jp/~iwai/research/kaken25282088/)

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩井 淳 (IWAI, Atsushi)
群馬大学・社会情報学部・准教授
研究者番号：60293081

(2)研究分担者

富山 慶典 (TOMIYAMA, Yoshinori)
群馬大学・社会情報学部・教授
研究者番号：50207626

志田 基与師 (SHIDA, Kiyoshi)
横浜国立大学・環境情報研究院・教授
研究者番号：90178872

宇佐美 誠 (USAMI, Makoto)
京都大学・地球環境学堂・教授
研究者番号：80232809

吉原 直毅 (YOSHIHARA, Naoki)
高知工科大学・経済・マネジメント学群・
教授
研究者番号：60272770

猪原 健弘 (INOHARA, Takehiro)
東京工業大学・社会理工学研究科・教授
研究者番号：80293075