

## マルチエージェントを用いた社会的交渉の分析

菱山 玲子 寺野 隆雄

筑波大学大学院 経営システム科学専攻

〒112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1 ・ 03-3942-6855

email: {hisiyama, terano} @gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

あらまし 本論文ではマルチエージェントに基づく社会的交渉分析の研究の一環として、電気通信事業者間における国際計算料金決定のための交渉過程を扱う。まず国際計算料金決定のベースとなるデータ群に対しデータ解析を行い、計算料金決定に影響を与える変数相互の関連性を明らかにし、交渉のベースとなっている社会システムのモデル化とパラメタを決定する。次に、この分析に基づき、人工社会による交渉シミュレーションを試みる。このシミュレーションシステムはABSというエージェント指向のシミュレーションツールを用いて記述している。本シミュレーションにより、計算料金の決定内容が経済的環境の変化としてフィードバックされる様子や、各電気通信事業者の採る交渉戦略の変化により経済環境が変化する様子を再現することが可能であり、複雑な交渉過程を改善するための示唆を得ることができる。

キーワード 人工社会、マルチ・エージェント、分散システム、交渉、シミュレーション、国際経済

### Analyzing Social Negotiation Processes Using Agent-Based Models

Reiko HISHIYAMA, Takao TERANO

Graduate School of Systems Management, the University of Tsukuba, Tokyo

3-29-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0012, Japan ・ +81-3-3942-6855

email: {hisiyama, terano} @gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

**Abstract** This paper discusses agent-based social system analysis for international telecommunication services. The model intends to simulate the negotiation among telecommunications carriers to determine international accounting rates. To carry out the research, first, we analyze groups of data in order to provide the basis for the determination of international accounting rates. From the study, we identify variables affecting the determination of accounting rates are inferred, and a model of a social system forming the basis for negotiation. Further, based on this analysis, an agent-based simulator is implemented in ABS: a simulation tool. The simulation reveals how the results of accounting rate determination are fed back in accordance with the change in an economic environment and how the economic environment changes with changes of the negotiation tactics adopted by each telecommunications carrier.

**Key words** Artificial Societies, Multi-Agent, Distributed System, Negotiation, Simulation, International Economics

## 1. はじめに

経済主体による社会的交渉が社会経済に与える影響の事例について、本稿では電気通信事業者(以下、「事業者」とする。)による交渉のケースをもとに考察する。

電気通信事業は各事業主体の電気通信設備を相互接続することによりサービス提供を行っている。この接続条件交渉は事業者間で内部的に、随時かつ継続的に行われており、条件交渉の結果が各事業者の経営状況や通信料金(収納料金)水準の決定に対して大きな影響を与えている。本稿では特に、国際通信サービス提供に際し行われる国際計算料金交渉に注目し、社会科学の側面から経済モデルの構造を明らかにした上でこの問題に対する分散人工知能の手法の適用を試みる。

## 2. 経済主体による交渉ケース分析

### 2-1. 国際電気通信事業者間による交渉ケース～計算料金制度

国際通信サービスに係る交渉領域である「国際計算料金交渉」は、複数の事業者・国にまたがってサービス提供が行われるため、原則として事業に関わる国の事業者間のプロジェクト的共同事業として捉えられている。このサービス提供形態の特質に起因する制度が「国際料金制度」である。これは、収納料金を得た事業者(発信国側事業者)から相手国事業者(着信国側事業者)に対して支払う「着信コスト補償のための料金」として位置付けられている。この国際決済のプロセスはおおむね、以下のとおりである。

#### (Step 1)通信分数の確定

X国の事業者xから、Y国の事業者yへの発信トラフィック分数=a

Y国の事業者yから、X国の事業者xへの発信トラフィック分数=b

とする

#### (Step 2)国際決済の実施

a>bとすると、発信超過であるxがyに対し、  
 $(a-b) \times (\text{計算料金} \times 1/2)$   
 $= (a-b) \times (\text{精算料金})$

を支払う。

このため、発信超過の事業者にとって国際計算料金は低いほどよく、着信超過の事業者にとっては高いほどよい。一般的傾向としては先進国・開発途上国間の通信では先進国が発信超過となっており、途上国は着信超過となっているうえ通信基盤が脆弱であり整備が必要であり、結果として先進国からの受取決済料金は補助金としての意味合いを持つと考えられる。こうして先進国は国際計算料金を低いレベルに抑えようとし、逆に途上国は高いレベルを維持しようとしている。

### 2-2. 電気通信関連統計データからの考察～計算料金への接近

過去の交渉による計算料金の算定根拠がどのような経済指標と関係が深かったかを推定するため、以下の2種類の統計データを用いて分析を行った。

(1)ITU 国際統計(World Telecommunication Indicators 5th edition,1999) 1960,65,70,75~97年 100変数 209カ国→17変数

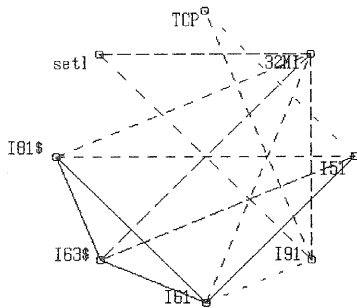
(2)FCC(米国連邦通信委員会) International Bureauによる国際統計  
国際精算料金時系列データ(1985~97 235カ国地域)→2変数

これら変数について相関分析の結果、FCCの離散的ベンチマークのクラス分け指標であるGDP(I63\$)と計算料金、およびベンチマークの算定根拠であるTCPと実際の計算料金水準を含む各変数の関連は無相関であった。

相関がみられた国際受信トラフィック分数の背後に存在する変数とその関係構造を確認するため、これと関連が高い8変数を選択し、共分散構造分析(グラフィカルモデリング・CGGM)を用いてその関連性について考察した。

この結果、TCPと実際の計算料金(set1)の関係性は希薄であり、一方、計算料金は受信トラフィック分数(I132MI)や人口100人あたりの電話数(普及率)(I91)との関連性が高く、また受信トラフィック分数をとおして、特にGDP(I63\$)、電気通信設備投資(I81\$)といった経済成長の指標と関連をもつことが確認された。

[CGGMによる変数間の関連性の考察]



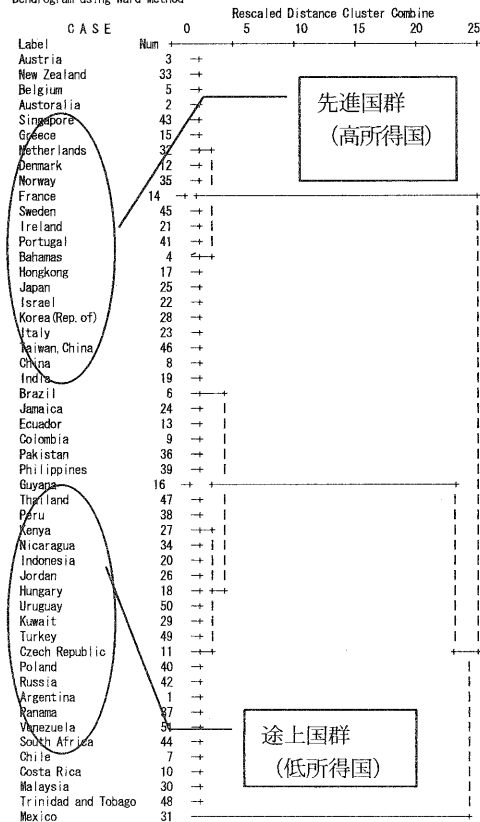
abs(R)      line  
 0.6 - 1.0    ————  
 0.4 - 0.6    - - - -  
 0.2 - 0.4    ······  
 0.0 - 0.2    - - - -

51カ国の計算料金・100人あたりの電話数（普及率によるデンドログラム（樹形図）出力結果

測定方法（間隔）：平方ユークリッド距離

クラス化方法：Ward法

\*\*\*\*\*HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS\*\*\*\*\*  
 Dendrogram using Ward Method



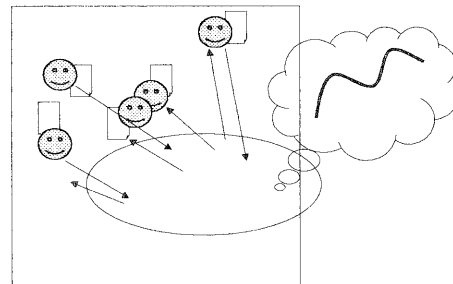
更にこれらの指標に基づきクラスター分析を行った。この分類は先進国群・途上国群の大まかな枠組みを表していると予測された。計算料金の決定に係る交渉結果が、現実的には南北の地域格差を近似する要素を背景として導かれてきたことがデータから明示的に示された。

3. 計算料金決定の社会的交渉モデルの再現～マルチ・エージェントによるシミュレーション

事業者間交渉では、これらの南北格差・対立的状況のメカニズムを社会的構造として知り、交渉による解決の糸口を見出してゆく努力の必要性が求められる。このことから、マクロ経済社会の環境変化と計算料金の交渉戦略・影響が社会構造としてどのような変動を導くかを熟知し、その環境からフィードバックをうけた自国（事業者）がより有利な交渉戦略を獲得するに至るために必要な要素とは何か、ということについて考察する。

この構造理解のため、マルチエージェントを用いた人工社会形成によるシミュレーションを用いる。分散人工知能分野において、「協調問題解決」、「交渉・均衡化」といった目標達成の研究例は典型的な課題として取り上げられることが多い。前者は、「複数のエージェントが共通の目標をもつ場合に、エージェント間で協力し組織を構成し、共通の目標を達成しようとするもの」であり、後者は「複数のエージェントないしエージェントから成る組織群の目標間に生じる競争を解消し、全体として望ましいバランスを維持しながらそれぞれの目標を達成するもの」である。[桑原・石田 1993]

[マルチエージェントによるシミュレーション]



これらの研究において分散型計算機システムによるシミュレーション技法を用いることは、一方

で「従来の社会科学の研究に実験科学の方法を導入する可能性を秘めている」〔寺野 1999〕とされ、組織における意思決定や学習、人工生命、経済市場モデル等、幅広い研究分野に研究事例が見られる。〔Gaylord 1998〕

複数のエージェントから構成されるシステムを検討する視点としては、個々のエージェントの振る舞いとやりとり注目するミクロ的視点と、システム全体としての社会的な側面に注目するマクロ的視点が存在するが、本研究では、単純な機能やふるまいに関するルールを備えたエージェントを複数用意し、パラメータを設定し交渉させるミクロ的視点と、これらエージェントの組織群により形成される人工社会の構造の変動に注目するマクロ的視点を捉え、人工社会における多国間交渉に臨むエージェントと社会的環境をデザインする。なお、実装にあたってはABS (Agent Based Simulator)〔ABS〕を用いた。

### 3-1. エージェントの設計

実質的には交渉主体（事業者）による交渉は2国間交渉と同レベルの位置付けにあり、これを意味付ける先進国エージェント・途上国エージェントを定義する。この両エージェント群で構成される人口社会に対するパラメータとして、統計指標からの実計測データに基づく数値・強度を適用する。

〔現実社会と人工社会の対応比較〕

	現実社会		人工社会	
	先進国	途上国	先進国	途上国
国数	17%	83%	34	166
トラフィック格差	66.7%	33.2%	関数 OR 視野の設定で調整	関数 OR 視野の設定で調整
電話数格差	81.3%	18.3%	利益として出力	利益として出力

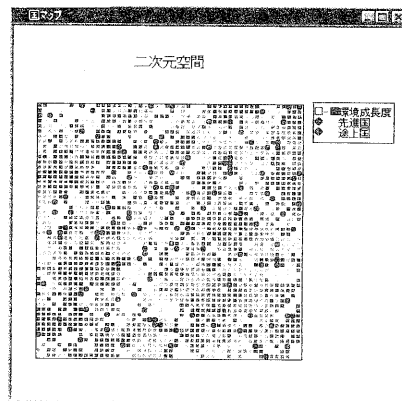
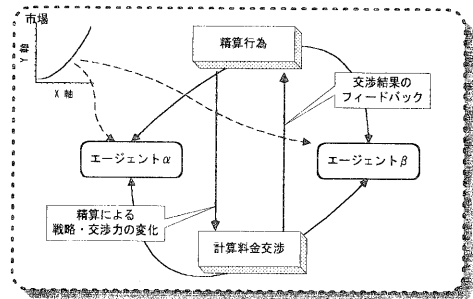
現実社会では世界銀行が定義する高所得国（国民一人あたり GNP8,956 米ドル以上）以外を開発途上国としており、途上国は国数で 83%を占めるが、GNP では 20%、電話数では 31%を占めるに過ぎない。〔ITU REPORT、ITU YEARBOOK〕

人工社会に与える初期値をこの現実社会の状況に近いものとし、エージェント数を高所得国 34、開発途上国 166 とした。またエージェントがトラフィックを獲得してゆく状況を現実社会の時系列データに近似させ、先進国が途上国の約倍量のトラフィック分数を獲得するよう調整を行った。

### 3-2. 現実社会から人工社会へ：構造のモデル化

エージェントは 50×50 の格子状の二次元空間にランダムに配置され 1 step 毎に移動ルールにより移動し、トラフィックを獲得し、かつ、異なる組織群のエージェントと出会い現実社会で行われている交渉と同様の方式で精算行為を実施する。この精算行為の結果により、エージェントに与えられる利益が確定しそのエージェントの組織群に対する強度が変化し、その後に行われる「計算料金交渉」に影響を与える。この計算料金の決定水準が、+1step の精算行為による分収額にフィードバックされるモデルを作成する。

〔システムの構成要素とその関連〕



#### 4. シミュレーション ~3 ケースによる考察

人工社会では以下の3ケースについて、実験的な考察を行う。

Case1: 単純な交渉ケース

Case2: 先進国の連帯行為を許容するケース

Case3: 各エージェント群に対して多様な「交渉戦略」要素を定義して交渉を行ったケース

##### 4-1. Case1: 単純な交渉~基本的社会構造モデル

Case1は最も単純な交渉ケースであり、本問題の基本的な社会的構造を知るためのモデリング・アプローチと位置付ける。エージェントの振る舞いは以下のとおり定義づける。

[case1: 基本交渉モデル]

\*先進国:  $\alpha$  エージェント

[A-Type, position, Settlement\_rate(Set), negotiation\_power]

先進国  $\alpha$  エージェントの動き

step1: 途上国エージェント  $\beta$  の発見

step2: トラフィック分数(position)計算  
( $u$ )  $\leftarrow \alpha \cdot traffic - \beta \cdot traffic$

step3:  $\alpha \cdot \beta$  の交渉

If ( $U$ ) > 0 then  $\alpha$  pay  $\beta$

$$(U) * \frac{Set(\alpha) + Set(\beta)}{2} * 0.5$$

$$\alpha.negotiation\_power \leftarrow \alpha.negotiation\_power + f(\chi)$$

$$\alpha.settlement\_rate \leftarrow f(\alpha.negotiation\_power + \delta)$$

If ( $U$ ) < 0 then  $\beta$  pay  $\alpha$

$$(U) * \frac{Set(\beta) + Set(\alpha)}{2} * 0.5$$

$$\alpha.negotiation\_power \leftarrow \alpha.negotiation\_power - f(\chi)$$

$$\alpha.settlement\_rate \leftarrow f(\alpha.negotiation\_power + \delta)$$

\*途上国:  $\beta$  エージェント

[B-Type, position, Settlement\_rate(Set), negotiation\_power]

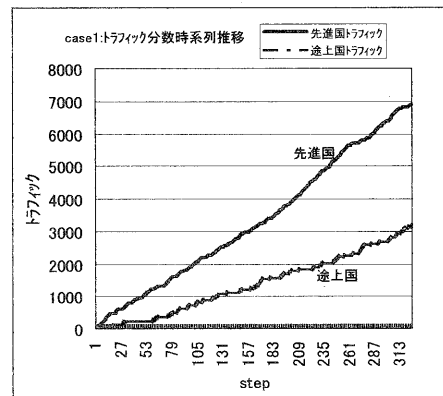
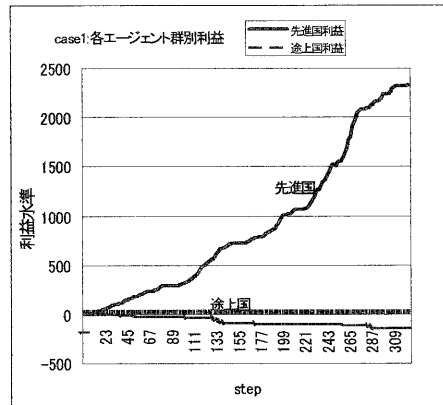
途上国  $\beta$  エージェントの動き

step1: 先進国エージェント  $\alpha$  からの精算要請

step2: トラフィック分数(position)計算

step3:  $\alpha \cdot \beta$  の交渉

この社会的構造では二次元空間に居る13%の先進国が富を独占的に所有し、精算料金を押し下げる圧力を発現した。収入を要素として配置した二次元空間に配置されたトラフィック取得のための環境要素は、トラフィックの時系列的な成長度をインプリメントしている。この環境下において、収益力の違いにより先進国は途上国の現実社会と同様に約2倍のトラフィックを確保した結果、利益は独占状態となった。



計算料金の妥結ポイントを見てみる。100ステップ経過後から先進国による計算料金を押下げる

圧力が強まり、結果として計算料金の妥結ポイントが低下してゆく様子が確認された。



#### 4-2. Case2: 社会的構造の変化—途上国による交渉戦略の連帯行為

先進国が覇権国として有利な立場に立ち交渉をリードする状況において、被覇権国である途上国が計算料金レート低下の圧力にさらされた場合、連帯行動によってこれに対抗する社会的構造を実現する。

##### <エージェントの行動ルール>

先進国の交渉力が高まった場合、途上国が近接に位置する他の途上国エージェントを選択し両エージェントは共に連帯する。先進国との交渉実施時、途上国が他の途上国と連帯体制をとっていた場合には、先進国の交渉力が相対的に低下し、精算行為と同時に途上国に対して明示的な途上国支援を行う。支援を受けた途上国エージェントは連帯体制を解消する。

[case2: 途上国による連帯行為を許容する交渉モデル]

\*途上国エージェントβ

step4: 過去3回にわたり  $Set(\beta)$  が低下した場合、且つ、交渉対象先進国エージェントαの周囲に他の途上国エージェントβが存在した場合

:  $unite\_flag \leftarrow on$

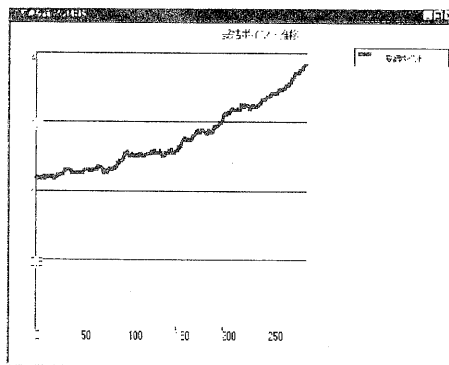
\*先進国エージェントα

step5:  $\alpha \text{ pay } \beta \quad g(U, Set(\alpha), Set(\beta))$

if  $unite\_flag = off$  then  $no\_action$   
 if  $unite\_flag = on$  then  $action$   
 (エージェントαからエージェントβへの支援  
 交渉力の低下)  $unite\_flag \leftarrow off$

このケースでは、途上国が連帯体制をとることにより、先進国からの計算料金レート低下の脅威を回避し、途上国が利益を確保して成長し交渉力を上げ、結果として計算料金を押し上げる圧力をかけている。

利益については、先進国は Case 1 の場合と比較し大幅に縮小するが、なお一定の利益を確保して成長する。



現実社会では米国のベンチマーク規制発令に対して、各国の事業者が共同して米国内法上の有効性を問う訴訟を提起するなど、これと同等の行動がみられる。これら実際の各国による連帯行動が、社会システムの改善に対して圧力となり効果的に機能する可能性を再現した。

#### 4-3. Case3: 多様な交渉戦略—計算料金を左右する「交渉戦略」の選択と計算料金の均衡化

前述 Case1、Case2 の基本的な社会構造に対し、この社会構造に「交渉戦略」の要素を取り入れ、その有効性を考える。

先進国・途上国の各エージェントが採り得る交渉戦略と効果を以下のとおり定義する。

先進国エージェント

戦略	HA	HB	HC	HD
My.戦略	協調	協調	強制	強制
Obj.戦略	協調	連帯	協調	連帯
支援	あり	あり	なし	なし
My.交渉力	—	—	↗上昇	—
交渉効率	↗上昇	—	—	—

途上国エージェント

戦略	LA	LB	LC	LD
My.戦略	協調	協調	連帯	連帯
Obj.戦略	協調	強制	協調	強制
支援	あり	なし	あり	なし
Obj.交渉力	—	↗上昇	—	—
交渉効率	↗上昇	—	—	—

本モデルのエージェントの仕様・振る舞いに対し追加する行動ルールを以下のとおり定義する。

[case3 : 交渉戦略の選択を許容する交渉モデル]

\*先進国 :  $\alpha$  エージェント

[A-Type, position, Settlement\_rate(Set), negotiation\_power, strategy]

$\alpha$ .strategy={協調戦略, 強制戦略}

\*途上国 :  $\beta$  エージェント

[B-Type, position, Settlement\_rate(Set), negotiation\_power, strategy]

$\alpha$ .strategy={協調戦略, 連帯戦略}

\*combination1:(覇権国による強度反映)

$\alpha$ .strategy=強制戦略 &  $\beta$ .strategy=協調戦略

$\alpha$ .negotiation\_power $\leftarrow f(\alpha$ .negotiation\_power+ $\delta)$ )

$\beta$ .negotiation\_power $\leftarrow f(\beta$ .negotiation\_power+ $\delta)$ )

\*combination2:(交渉効率の反映)

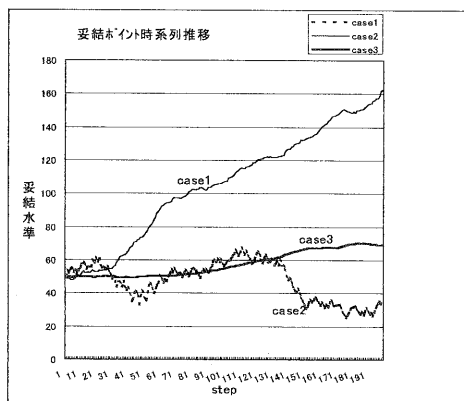
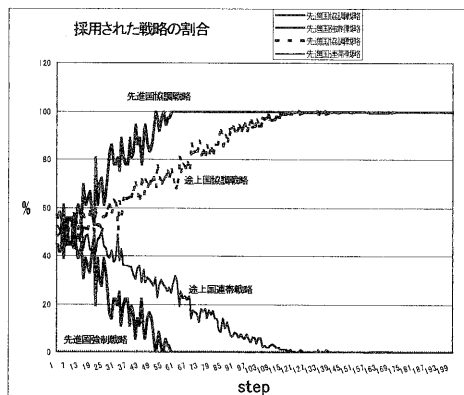
$\alpha$ .strategy=協調戦略 &  $\beta$ .strategy=協調戦略

$\alpha$ .negotiation\_power $\leftarrow f(\alpha$ .negotiation\_power+ $\delta)$ )

$\beta$ .negotiation\_power $\leftarrow f(\beta$ .negotiation\_power+ $\delta)$ )

このモデルではエージェントの状態に対する相互参照が行われることで、採りうる戦略が変化してゆく。シミュレーションの各実行ステップで選択された戦略された戦略の時系列的な変化をみて

みると、シミュレーション開始直後、それぞれのエージェントが選択している戦略は不安定であるが、120step 前後で特定の戦略に収束した。先進国は 30step 前後で協調戦略を採用する割合が急速に高まり、これに追従して途上国が協調戦略を選択する割合がゆるやかに増加した。



一方、妥結ポイントは前述の Case 1、Case 2 の場合と比較してその水準が均衡化することが確認された。Case 3 は Case 1 と Case 2 の中間的なレベルを維持し、安定的に推移している。

全体として好ましいバランスを維持しながら目標を達成するため、エージェントの集団としての振る舞いは変動を繰り返しながらも、エージェントの状態の相互参照を行いながら問題解決に向かっている。本ケースは、覇権国としての強制的な戦略を考慮した評価や、WTO・ITU における強制的な活動によりもたらされる相乗的なプラス効果を複合的に想定したモデルであるが、特に両者の目標の相互共有による活動の効果を重視した戦略を選択することが、システムの安定化に寄与で

きることを示唆していると考えられる。

## 5. 考察とまとめ

統計的解析より得られた関連性のある変数を特定し、これに基づいたマクロ的環境に計算料金交渉をシミュレーションする方法として、分散人工知能における問題解決の手法であるマルチエージェントシステムによる人工社会シミュレーションを用いた。ここで先進国・途上国を各エージェントとして設定した上で独立の目標を設定し、各国の行動規範と両国間の交渉プロセス・情報交換プロセスを各エージェントに対する「行動ルール」として記述することにより、人工社会システムを実現した。同時に、現実に近い環境パラメータを環境設定値とし、現実の経済モデルを近似した結果を得た。更に実験的に人工社会システムに存在するエージェントの振る舞いのルールが環境条件により変化するケースを想定し、この社会において先進国・途上国が共有の目標を維持し、共同して問題に取り組む姿勢がよりマクロな環境全体の消費者及び事業者の利益に資する結果を産み出すこと、これを目的とした各事業者による戦略の選択により、システムの均衡化がもたらされることを実験的に確認した。

今後の課題として、更に、利他的行為（支援のあるケース）については一定の報酬（社会的貢献に対する好ましい印象の獲得により、交渉力が向上するイメージ）を与えるようなモデルや、自然選択のメカニズムを生かしエージェントがより有効な交渉戦略を獲得するような進化的な手法を用いた実験を試みたい。

また、社会科学の立場からは、制度・システム改革に対する実験的アプローチに対しても、マルチエージェント環境の評価の視点による考察の有効性を見出すことができるものとする。

## 6. おわりに

本稿では社会科学の問題に対し、分散人工知能分野で用いられる問題解決の手法が適用できる例として、電気通信事業者間交渉を例に取り上げて論じた。

複数のエージェントが独自の目標を有するような環境において、エージェント間の目標の競合・連帯・協調などの利害関係を自立的に問題解決す

るシステムは、エージェントの自律的な行動により、最終的には相互の目標のバランスを考慮した合意を形成する方向へ導かれ、各エージェントが独自の交渉戦略、マクロな社会環境が均衡化することが示唆された。

電気通信事業分野では WTO、ITU 加盟国により多角的交渉が進められているが、この体制を尊重し、その理念のもとに各国の協調体制をとりながら交渉をすすめることは全体の均衡化を導き、最終的に消費者・事業者の利益として還元される効果を持つことが示唆された。

## 参考文献

- [FCC1997] FCC : Report and Order In The Matter Of International Settlement Rates,FCC97-280,IB Docket No.96-280
- [国通研 1999] 財団法人国際通信経済研究所：「世界システムとしての情報通信政策-WTO、ITU/ISO、そしてWIP0-」,財団法人国際通信経済研究所
- [寺野 1999] 寺野 隆雄：社会科学を実験科学に：エージェントで社会をみる。人工知能学会全国大会（第13回）論文集, pp. (34)~(39)
- [桑原・石田 1993] 桑原 和宏・石田 亨：分散人工知能(2)：交渉と均衡化,人工知能学会誌 Vol.8 No1,pp.17~25 Jan. 1993
- [ABS] <http://www2.kke.co.jp/abs/> 構造計画研究所
- [Gaylord 1998] Gaylord,R.J.,and D'Andria,L.J.1998. Simulating Society:A Mathematica Toolkit for Modeling Socioeconomic Behavior. NY:Springer-Verlag
- [Epstein 1996] J.M.Epstein and R.Axtell.1996.Growing Artificial Societies MIT Press
- [ITU REPORT] ITU : WORLD TELECOMMUNICATION DEVELOPMENT REORT 1995
- [ITU YEARBOOK] ITU : STATISTICAL YEARBOOK 1995