

# シミュレーションベースモデリングのための高性能最適化システム基盤の構築

研究代表者 小野 功 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授  
連携研究者 寺野 隆雄 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授  
岡本 正宏 九州大学・大学院農学研究院・教授  
倉橋 節也 筑波大学・大学院ビジネス科学研究科・准教授

## 1 研究の概要

**研究目的** 近年、モデル構築の複雑さの爆発という情報爆発に関する問題に対処するため、観測データからシミュレーションに基づいて自動的にモデリングを行うシミュレーションベースモデリング (SBM) が注目されている。現在、SBM のための最適化手法として遺伝アルゴリズム (GA) が有望視されているが、計算時間の爆発という新たな情報爆発に関する問題に直面している。そこで、グリッド計算環境で GA を高速に実行するためのシステム基盤としてグリッド向け GA フレームワーク (GOGA Framework) が提案されている。しかし、既存の GOGA Framework は、利便性、スケーラビリティ、耐障害性の観点から問題がある。そこで、本研究では、これらの問題点を克服し、領域専門家が安全・安心に利用できる SBM のための高性能最適化システム基盤の構築を目的としている。

**本年度の研究成果の概要** 本年度は、昨年度の成果であるグリッド向け GA 実行環境/ライブラリの利便性向上を図った上で、社会科学の領域専門家が容易に社会シミュレーション実験を行えるようにするための実験環境 SOMAS を構築した。また、実際に、SOMAS を歴史シミュレーションおよび組織シミュレーションへ適用し、その有効性を確認した。本年度の主な研究成果は以下のとおりである：

- グリッド向け GA 実行環境/ライブラリの利便性向上  
昨年度までの成果であるグリッド向け GA 実行環境/ライブラリは、ユーザ端末がグローバルアドレスを有していないと動作しないという問題点を持っていた。そこで、本年度は、ユーザ端末がプライベートアドレスを有している場合でもシステムが動作するように Java-based Simple Grid Framework モジュール (JSGF) の改良を行った。また、従来の JSGF においては、あらかじめ指定した数のノードが全て利用可能になるのを待って、各ノードへのジョブの割付を行っていたため、大きなノード数を指定するとなかなか SBM アプリケーションが実行されないという問題があった。そこで、本年度は、ジョブの起動順序の指定を行えるようにし、ノードの監視とノードへのジョブ割付スケジューラをバックグラウンドで実行するようにシステムを拡張した。
- 社会シミュレーション実験環境 SOMAS の構築  
社会科学の領域専門家が容易に社会シミュレーション実験を行えるようにするための実験環境 SOMAS を、グリッド向け GA 実行環境/ライブラリの上に構築した。SOMAS は、社会シミュレーションにおける典型的な実験である順シミュレーション、逆シミュレーション、モデル選択をサポートし、ユーザは設定ファイルを変更するだけで、社会シミュレーション研究において日常的に行う実験を容易かつ高速に実行することができる。
- SOMAS の歴史シミュレーションへの適用  
SOMAS を実際のアプリケーションである歴史シミュレーションへ適用してその有効性を確認した。

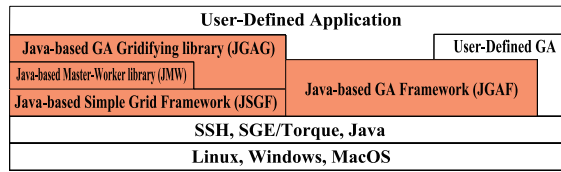


図 1: グリッド向け GA 実行環境/ライブラリの構成

具体的には、従来、1CPU では困難であった実験を現実的な時間で終わらすことに成功した。また、現実的な時間内でより多くの実験を行えるようになった結果、従来よりもより詳細なモデルを得ることができた。

- SOMAS の組織シミュレーションへの適用  
SOMAS を実際のアプリケーションである組織シミュレーションへ適用してその有効性を確認した。具体的には、従来、1CPU では困難であった実験を現実的な時間で終わらすことに成功した。また、現実的な時間内でより多くの実験を行えるようになった結果、従来よりも詳細なランドスケープを得ることができた。

## 2 グリッド向け GA 実行環境/ライブラリの利便性向上

### 2.1 グリッド向け GA 実行環境/ライブラリの構成

本研究で構築しているグリッド向け GA 実行環境/ライブラリは、図 1 に示すように、複数のサブシステムから構成される。本システムはプラットフォームからの独立性を高くするため、Java のみで実装されている。図中の Java-based Simple Grid Framework (JSGF) は、グリッド固有の実装の困難さを隠蔽し、プロセス起動、プロセス間通信、標準出力/標準エラー出力/ファイルへのアクセスを容易に行える環境を提供する。Java-based Master-Worker library (JMW) は、排他制御やスレッドなど高度な並列プログラミングに精通していなくても比較的容易に理解ができるプログラミングモデルであるマスタ・ワーカ・モデルの汎用実装を提供するライブラリである。Java-based GA Framework (JGAF) は、標準的な交叉、世代交代モデル、ロギングモジュールを備えた Java ベースのオブジェクト指向の GA ライブラリである。Java-based GA-Gridifying library (JGAG) は、JGAF をグリッド上で並列化するためのモジュールである。

### 2.2 従来の Java-based Simple Grid Framework (JSGF) の問題点

昨年度までに構築した JSGF は、利便性の観点から以下の 2 つの問題点をもつ：

**問題点 1：** 昨年度までに構築した JSGF は、ユーザ端末がグローバル IP を持ち、かつ、外部のサイトから接続できることを仮定している。しかし、生命/社会科学分野の研究者が通常用いている端末はプライベートネットワークの中に存在していることが多い。そのため、ユーザは、自分が通常用いている端末から、プログラムや入力データをグローバルネットワーク上のユーザ端末へ転送、ユーザ端末へログインし、プログラムを実行した後、実行結果のデータをダウンロードしなければならないという問題点をもつ。

**問題点 2：** 昨年度までに構築した JSGF は、あらかじめ指定した数のノードが全て利用可能になるの待って、各ノードへのジョブの割付を行う。そのため、多くのユーザが共有するグリッド環境では、大きなノード数を指定すると、全てのノードが利用可能になるまで待つことになり、なかなかプログラムが実行されなくなってしまうという問題点をもつ。

## 2.3 Java-based Simple Grid Framework (JSGF) の利便性の向上

本年度は、前節で述べた問題点を解決するため、JSGF および JMW の拡張を行った。それぞれの問題点に対応する改良は以下の通りである：

**問題点 1 への対処：** グローバルネットワーク上に外部から接続可能な中継ノードを介して、ユーザ端末上のプログラム Framework Manager と各サイトの一般ノード上で起動するプログラム Gateway Manager が通信できるように、JSGF の拡張を行った。具体的には、Framework Manager が中継ノード上で SSH ポートフォワーディングの機能を利用して Gateway Manager からの接続を受け付けるようにした。中継ノードを利用するためには、リスト 1 に示す情報を設定ファイルに付け加えるだけでよい。

リスト 1: 中継ノードを利用するための設定例

```
1 root.useProxy=true # 中継ノードを利用する場合に true とする
2 root.realHostname=131.112.*.* # 中継ノードのアドレス
3 root.serverPort=3000 # 中継ノードのポート番号
4 root.loginNameForProxy=taro # 中継ノードへのログイン名
```

**問題点 2 への対処：** アプリケーションによっては、あらかじめ指定した数のノードが起動していなくても、動作可能な場合も多い。たとえば、マスタ・ワーカモデルにおいては、あらかじめ指定した数のノードが起動するのを待つことなしに、起動したノードから、マスタ、ワーカ 1、ワーカ 2、… と順に起動していけば、プログラム終了までの時間を短縮することができると考えられる。そこで、ユーザがプログラム中でジョブの割付を柔軟にスケジューリングできるように JSGF を拡張した。そのため、ジョブが起動可能になったことをユーザプログラムに通知する機構を実装した。ユーザはシステムが提供するリスナーインターフェースをすることにより、柔軟なジョブの割付を実現することができるようになる。また、マスターワーカライブラリ JMW を、起動可能になった時点でワーカジョブを起動できるように拡張した。これにより、競合環境下での大規模アプリケーションの実行効率が向上した。

## 3 社会シミュレーション実験環境 SOMAS の構築

### 3.1 概要

社会シミュレーションは、人工社会を構築・実験することで、社会の様々な問題を扱う手法である。近年、社会シミュレーションにおいては、エージェントベースシミュレーション (ABS) が、特にボトムアップに構成されるタイプの社会モデルとして利用されている。ABS は社会の構成員をエージェントとして定義する。社会の構成員とは、例えば企業であれば社員である。エージェントは各々に状態を持ち、自律的に意思決定を行う。エージェント同士あるいはエージェントと環境がインタラクションすることによって、社会がボトムアップに構築されていく。ABS のパラメタ空間は膨大であり、パラメタの選択や影響度の設定、また、どのようなパラメタの組み合わせが現実の現象を説明するのにふさわしいのかを決めることは一般的に困難である。そこで、これらの問題を解決するために、モデルの複雑さとパラメタ設計の視点から典型的な実験手法をサポートする社会シミュレーションフレームワーク SOMAS を構築した。

### 3.2 社会シミュレーションの実験手法

社会シミュレーションの実験手法には、順シミュレーション、逆シミュレーション、モデル選択がある。順シミュレーションでは、パラメタの値を様々に変化させ、結果を収集する。そして、それをもとにパラメタの結果に対するランドスケープを分析する。逆シミュレーションでは実証データに合うようにパラメタを調整する方法であり、実証データがどのような因果を重ねてきたかを明らかにする。モデル選択は、逆シミュレーションにより実証データを再現できるモデルの中で、最も単純なモデルを得る方法である。モデル選択は、機械学習に使われる手法である属性選択を用いることで実現できる。いずれの実験手法においても、多数のシミュレーション試行が必要になり、計算時間と実験操作の煩雑さが問題となる。

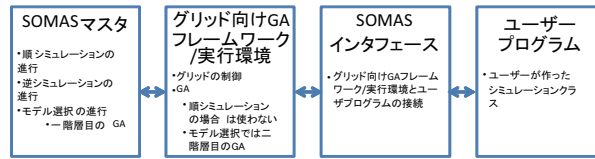


図 2: SOMAS の構成

### 3.3 SOMAS の構成と利用方法

SOMAS はグリッド上で複数のシミュレーションを並列処理することを容易にするための Java ベースのフレームワークである。SOMAS は、JMW と JGAF を用いて実装されている。SOMAS における重要なコンポーネントは、SOMAS インタフェースと SOMAS マスタである。図 2 に示すように、SOMAS インタフェースは共通な Java インタフェースを実装して、グリッド向け GA 実行環境/ライブラリとユーザープログラムの接続機能を持っている。SOMAS マスタは、順シミュレーション、逆シミュレーション、モデル選択の 3 つの実験手法を実行するために、3 つの機能的な部品を備えている。

SOMAS を利用するには、社会シミュレータと 3 つのプロパティファイル（グリッドプロパティ、SOMAS プロパティ、シミュレーションプロパティ）を用意するだけでよい。グリッドプロパティは、使用するクラスタに関する設定とノードの総数を決めるファイルである。SOMAS プロパティは、使用する手法とノードの構成について決めるファイルである。シミュレーションプロパティは、それぞれの手法に対して、順シミュレーションプロパティ、逆シミュレーションプロパティ、モデル選択プロパティ（属性選択プロパティ、逆シミュレーションプロパティの二つからなる）を決めるファイルである。

いずれの実験手法においても、システムは、プロパティファイルから設定を読み込み、自動的に実験を行った後、結果の要約を出力する。

## 4 SOMAS の歴史シミュレーションへの適用

### 4.1 概要

歴史人口学および社会ネットワークの視点を基礎に、エージェントベースモデル（ABM）を構築し、約 500 年間に渡る中国の家系における家族システムの分析を行う試みがなされている [5]。しかし、分析には膨大な数のシミュレーションを繰り返し行う必要があり、1CPU の環境では限られた分析しかできていないのが現状であった。そこで、既存研究 [5] のモデルをより詳細なモデルへと発展させ、SOMAS 上で詳細な分析を行った。

### 4.2 譜族のエージェントシミュレーション

#### 4.2.1 科挙の歴史

中国では古くから官僚登用の試験が行われ、唐代になって科挙として制度化された。科挙が始まった 6、7 世紀から多くの人が争って科挙の門をめがけて殺到するようになり、競争が激しくなった。それに勝つには、単なる個人の才能よりも、個人をとりまく環境が重要となった。貧乏人よりは金持ち、無学な親よりは知識階級の家、田舎よりは文化の進んだ都会に住んだ方が有利となり、文化と富の偏在が進む要因ともなった。しかし、このようなエリート家族であっても、特定の家系が合格者を多く輩出する傾向があり、それぞれの家系によって大きな差異が存在する。中国では、家の系譜を記録することが古くから行われ、族譜として保管されてきた。それは始祖以来の父系親族の記録であり、個々の親族成員についての名前、生年、没年、生前の業績、妻の姓、子の数、居住地などの情報を含む。族譜は一般に系図を表す世系と、各人のプロフィールを詳細に記録した世表を主な内容としている。

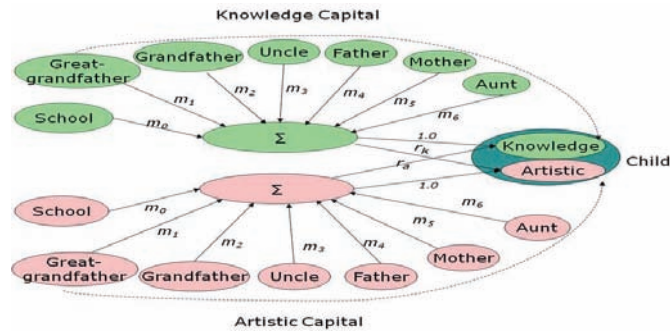


図 3: 文化資本伝達モデル

The number of nodes	Execution time		
	326 agents	628 agents	997 agents
1	1° 25' 26"	4° 37' 08"	5° 56' 34"
10	0° 09' 03"	0° 27' 17"	0° 33' 22"
100	0° 02' 17"	0° 04' 41"	0° 05' 39"

図 4: 歴史シミュレーションにおける逆シミュレーションの計算時間

#### 4.2.2 モデル化

族譜の世系データと世表データから、シミュレーションで扱える形式のデータを作成する。世系データは、父親と息子の関係を表現しており、0, 1 で親子関係を表すことにより、隣接行列で表現できる。世表データから各人の属性行列を作成する。属性としては、進士、挙人、貢生、生員、監生、捐納、商人、画家、詩文、妻実家と娘婚家の科挙資格などがあり、それぞれ0, 1 でその属性を表す。これら二つの行列から属性付き系図を再構成し、これを元にシミュレーションを実行する。

図 3 にシミュレーションで用いる文化資本伝達モデルを示す。本モデルは文化資本論 [2] に基づくものである。本モデルでは、各エージェントは、生まれつきの文化資本を有する。各エージェントは、隣接行列で示された系図に沿って、曾祖父、祖父、父、叔父から Face to Face で文化資本を継承する。各エージェントは、学校での教育を通して生まれつきの文化資本を増加させることができる。もし母の実家に科挙合格者がいる場合は、その文化資本は子供へ伝わる。もし叔母の家族に科挙合格者がいる場合は、その文化資本は子供へ伝わる。文化資本は、知識文化資本と芸術文化資本の 2 種類が存在する。子供の特性と他者から伝えられる文化資本との相乗効果で、子供の文化資本度が決定される。ただし、科挙合格に影響するのは知識文化資本のみであり、芸術文化資本は直接的に科挙合格率には影響しない。

図 3 において、モデルのシステムパラメータは、文化資本の伝達率  $m_i (i = 0, \dots, 6)$ 、知識文化資本と芸術文化資本の交叉率  $r_k, r_{rma}$  である。モデルのシステムパラメータが与えられると、系図にしたがって上流から下流へ向かって、各文化資本が伝達される。その結果として出現する全エージェントのシミュレートされたプロフィール情報と、世表から作成された属性データに基づく実際のプロフィール情報の平均二乗誤差が、モデルの評価値である。評価値が小さいモデルほど優れたモデルであり、優れたモデルのパラメータを分析することで、科挙合格者を多く輩出する家系の戦略を推定する。

#### 4.3 実験結果

今回分析の対象とした族譜は明清時代の Y 家のものである。Y 家が本拠地とした江蘇省常州は中国江南地方に位置し、明清朝に全国 1, 2 を争う多くの科挙合格者を出した地域である。その中でも Y 家は、12 世 22 名の科挙合格者を出した典型的な事例のひとつである。

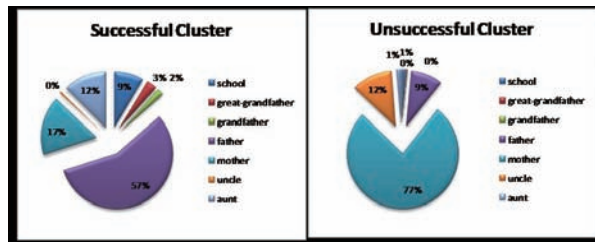


図 5: 科挙を多く輩出することに成功した家系と失敗した家系の分析結果

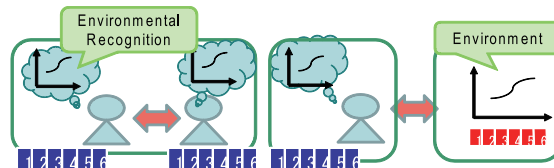


図 6: スキーマのモデル化

図 4 に、リモートクラスタとして TSUBAME を利用して逆シミュレーションの実験を行った際の計算時間を示す。これより、ノード数を増加させることにより、大幅に計算時間を短縮でき、現実的な時間内で計算を終了できるようになっていることがわかる。

図 5 に、逆シミュレーションにより得られた分析結果の例を示す。図 5 は、科挙の合格者を多く輩出した家系 (Successful Cluster) と、あまり多く輩出できなかった家系 (Unsuccessful Cluster) を示している。これより、科挙の合格者を多く輩出した家系では父親の教育への貢献度が非常に高いことが示唆される。

## 5 SOMAS の組織シミュレーションへの適用

### 5.1 概要

近年、組織論において、一部の社員の持つ優れたスキーマを他の社員に共有させるという問題に注目が集まっている。ここで、スキーマとは、ものの見方、判断基準等をいう。これに対し、エージェントベースシミュレーション手法を用い、企業組織において、一部の社員の持つ優れたスキーマが他の社員に共有される様子を分析する研究がなされている [4]。文献 [4] では、組織構造や社員コミュニケーションをパラメタとして、企業組織をモデル化し、これらのパラメタを変更することで、企業組織におけるスキーマの共有が、組織構造や社員のコミュニケーションによってどのように変化するかを分析している。しかし、歴史シミュレーションと同様に、分析には膨大な数のシミュレーションを繰り返し行う必要があり、1CPU の環境では限られた分析しかできていないのが現状であった。そこで、本研究では、文献 [4] のモデルを用いて、SOMAS 上で詳細な分析を行った。

### 5.2 組織のエージェントシミュレーション

各社員が持つスキーマは、Axelrod のタグモデル [1] を用いて表される。図 6 に示すように、スキーマは数字列としてモデル化され、社員  $a_i$ ,  $a_j$  が与えられたとき、2 人のスキーマの距離はハミング距離で定義される。社員  $a_i$ ,  $a_j$  スキーマが近いほど相互作用しやすく、相互作用すればするほどスキーマが近くなるようにモデル化されている。図 7 に示すように、スキーマは、組織構造上の上司部下の関係の間で行われる公式コミュニケーションだけでなく、いわゆるタバコ部屋で行われるような非公式コミュニケーションによっても共有が行われる。スキーマが  $a_i$  から  $a_j$  ヘコピーされるか、 $a_j$  から  $a_i$  ヘコピーされるかは、 $a_i$  と  $a_j$  の組織構造上の上司部下の関係と、公式コミュニケーションと非公式コミュニケーションの割合を表す

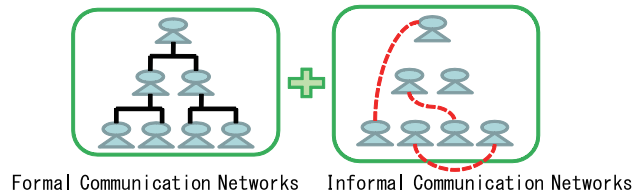


図 7: 組織におけるスキーマの伝播経路

The number of CPU	Execution time	
	Forward simulation	Inverse simulation
10	1°16'25"	1°17'11"
50	0°15'27"	0°18'40"
100	0°07'56"	0°17'00"

図 8: 組織シミュレーションにおける順シミュレーションと逆シミュレーションの計算時間

「上位下達の割合」によって決定される。本モデルでは、組織の硬直性が高いことを示すパラメータとして慣性を導入している。慣性が大きい場合、スキーマがコピーされる確率が低くなり、慣性が小さい場合、スキーマがコピーされやすくなっている。

優れたスキーマを持っている社員をスキーマ認識主体とよぶ。スキーマ認識主体は、組織構造の階層において、上位、中位、下位にいる場合が考えられる。

### 5.3 実験結果と考察

図 8 に、リモートクラスタとして TSUBAME を利用して、順シミュレーション、逆シミュレーションの実験を行った際の計算時間を示す。これより、ノード数を増加させることにより、大幅に計算時間を短縮でき、現実的な時間内で計算を終了できるようになっていることがわかる。

従来 1CPU では困難であった分析例として、順シミュレーションによる感度解析の結果を図 9 に示す。図 9 は、スキーマ認識主体が上位、中位、下位に存在するケースにおいて、上位下達の割合、非公式コミュニケーションの割合を変化させたときの組織の一樣率をプロットしたものである。この結果は、唯一最善の組織構造は存在しないことを示唆しており、コンティンジェンシー・セオリー [3] に適合した結果といえる。

## 6 まとめと今後の課題

本年度は、グリッド向け GA 実行環境/ライブラリの利便性を向上させた上で、社会シミュレーション実験環境 SOMAS をグリッド向け GA 実行環境/ライブラリ上に構築した。また、実際に SOMAS を用いて歴史シミュレーション、組織シミュレーションの研究を行い、従来困難であった詳細な分析結果を得た。

今後の課題としては、1) Java-based Simple Grid Framework (JSGF) におけるプログラミングモデルの改良、2) JSGF におけるジョブ割付方法の改良、3) Java-based GA Framework (JGAF) の利便性の向上が挙げられる。

## 参考文献

- [1] Axelrod, R.: The Complexity of Cooperation, Princeton University Press, (1999).

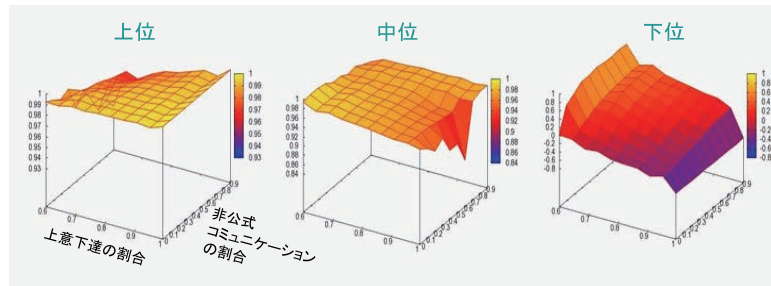


図 9: 組織シミュレーションにおける順シミュレーションによる分析結果

- [2] Bourdieu, P.: Distinction; A Social Critique of the Judgement of Taste, Harvard University Press, (1979).
- [3] Lawrence, P. R. and Lorsch, J. W.: Organization and Environment: Managing Differentiation and Integration, Harvard Business School (1967).
- [4] 菊地剛正, 鳥山正博, 山田隆志, 寺野隆雄: エージェントシミュレーションを用いた組織構造最適化の研究—スキーマ認識モデル, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2008 (JAWS-2008), In CD-ROM (2008).
- [5] 倉橋節也: 歴史をシミュレーションする—中国における科挙・家族・文化資本の関係, コンピュータソフトウェア, Vol. 25, No.4, pp.252-260 (2008).

## 研究成果リスト

### 著書、論文

1. Yang, C., Kurahashi, S., Kurahashi, K., Ono, I. and Terano, T.: “Agent-Based Simulation on Women’s Role in a Family Line on Civil Service Examination in Chinese History”, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 12, No. 25, 2009.
2. Yang, C., Takahashi, T., Jiang, B., Yamada, T., Ono, I., Kurahashi, S. and Terano, T.: “A Grid-Oriented Social Simulation Framework for Large Scale Agent-Based Modeling”, The Sixth Conference of the European Social Simulation Association (ESSA2009), 2009.
3. Yang, C., Takahashi, T., Yamada, T., Kurahashi, S., Ono, I. and Terano, T.: “Pattern-Oriented Agent-based Simulation for Analyzing Family Strategies in Civil Service Examination in Imperial China”, ICCAS-SICE International Joint Conference, 2009.
4. 楊超, 高橋徹, 倉橋節也, 寺野隆雄: “グリッド向け社会シミュレーションフレームワークの提案”, 第3回横幹連合カンファレンス, 2009.
5. 小野功, 濱田直希, 寺野隆雄, 岡本正宏, 倉橋節也: “プロダクションクラスタ利用型グリッドのためのGAフレームワーク/実行環境の提案”, システム・情報部門学術講演会講演論文集, pp.522-527, 2009.

### 招待講演

1. 小野功: “プロダクションクラスタ利用型グリッド向け高性能最適化システム (招待講演)”, 日本鉄鋼協会 計測・制御・システム工学部会システムフォーラム 第4回フォーラム, 2010.