社会的コンフリクトを分析するための マルチエージェントゲーミングシミュレータ

徳田 由美 *　　戸川 敦之 †　　渡 滋 ‡

Summary

Gaming simulation has been used as a methodology to understanding complex social phenomena. Here we present a multi-agent system to support gaming simulations. The system features: 1) coexistence of player-monitored agents and autonomous agents. 2) a mechanism that implements the link between the micro-level model (agents) to the macro-level model (the environment in which the agents are embedded). The agents interact to each other directly through some communication primitives, and are able to change the environment by signalling some events. Agents are situated in the environment; i.e., the behavior and the resources an agent have change according to the change in the environment.

概要

本稿では，社会的コンフリクトを分析することを目的とした，ゲーミングシミュレーションのマルチエージェントシステムサポートについて述べる．これは，社会的な問題を分析するための多様なモデルを検討するためのシミュレーションラボラトリの一部である．特徴としては，プレーヤー付きのエージェントと自律エージェントが混在するハイブリッドなシステム，エージェントのミクロ的な挙動とシステム全体のマクロ的な挙動の結合方法があげられる．

1　はじめに

現代の社会は，グローバルな視点からは環境問題や国家間の紛争，ローカルの視点からは生活基盤である政治経済システムの変容など，複雑な問題を抱えている．それらは，すでに複数の社会問題が密接に関連し合って生じているものであり，それぞれを個別の問題として分割し解決を図るだけでは，根本的な解決とはなり得ない．さらに，複合的社会問題である具体的な事象が持つ，問題内部の変数や要素，またはそれらの影響関係を明確に定義することは難しく，多くの分野における研究は，問題の複合的性格を指摘し，叙述的な説明を与えるにとどまっている．

これらの複合的社会問題を分析し，解決策を模索していくために，複数の学問領域にまたがる問題を総合的に扱う方法論が求められてきている．社会の中で，個人や組織がどのように情報を処理し，判断や選択を行い，問題を解決していくかといったプロセスに焦点をあてるものとして，社会科学と自然科学にまたがるアプローチが挙げられている [宮川 94]．また，対象のメカニズムを知るには，対象のシミュレーションを行うことが有効であるとされる [遠藤 96]．そこで我々は，社会的コンフリクトを分析するためのゲーミングシミュレーションをサポートするシステムの開発を行っている．

2　ゲーミングシミュレーションの有効性

ゲーミングシミュレーションとは，参加者（プレーヤー）に，対象問題における当事者などのアクターの役割を演じさせ，プレーヤー間でメッセージのやりとりを行いつつ，現実の問題を再現するものである．これは，シミュ

---

*立命館大学 政策科学部 yumi@ps.ritsumei.ac.jp
†立命館大学 理工学部情報学科 togawa@acm.org
‡立命館大学 政策科学部 watari@ritsumei.ac.jp

レーションの要素とゲーミング（ロールプレイング）の要素を合わせた手法であり，60 年代頃から，軍事戦略のシミュレーションや，ビジネスゲーミングなど多様な領域で，主に教育目的に用いられてきた．教育目的のゲーミングシミュレーションでは，参加者に問題の性質や特徴を理解させ，現実的な問題に対応させる能力をやしなうことに主眼がおかれるため，ゲーミングの設計において必ずしも忠実に現実を模倣する必要はなく，抽象的に問題の特質が表現される [Greenbrat 94]．

これとは別に，問題構造を分析するために用いるゲーミングシミュレーションでは，現実の問題構造をなるべく忠実に再現することが必要とされる．ただし，コンピュータシミュレーションとは異なり，各関数や要素の関係が定量化されていない場合にも適用可能である．ゲーミングシミュレーションの利点として，対象問題における非決定性や不確実性などをプレーヤーに委ね，完全な数値的なモデルが無くともターゲットの問題を定性的に分析することが可能であることが挙げられる．また，プレーヤーの相互作用によって問題解決の新たな糸口が発見できるなどの利点も併せ持っている [小幡 92]．これらの特徴により，問題の内部構造が明確に定義できない複合的社会問題を分析するための手段として，ゲーミングシミュレーションを用いることが有効である [出口 97]．

ゲーミングシミュレーションを設計するにあたっての大きな問題点は，プレーヤの行動制約に関するものである．特に，対象問題に直接的に関わらないプレーヤが参加する場合，実際の状況に即した行動を期待することは必ずしも簡単ではない．主にプレーヤーの知識不足・認識不足がもたらす問題であるが，ゲーミングにおいて，プレーヤーがある程度恣意的な行動を取ることができるため，ゲーミングそのものが現実から，あるいは目的とするものから掛け離れた方向に転落する危険性をはらんでいる．この問題に対処するために，プレーヤーの取り得る行動や情報に対し，何らかの形でシステム的に制約を課すことが必要である．そこで，プレーヤーに状況依存的な制約を与えつつ，複数のプレーヤーでゲーミングシミュレーションを行うための，マルチエージェントサポートシステムの開発を行っている．システムの特徴としては，

- プレーヤー付のエージェントと自律的なエージェントのハイブリッドシステム．
- アクターのミクロ的挙動とシステム全体のマクロ的挙動のリンク．

があげられる．

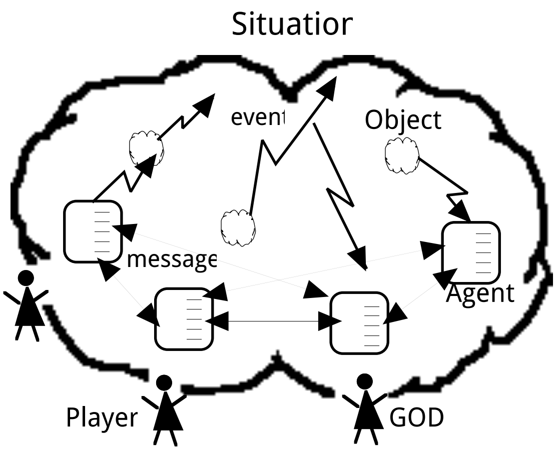


図 1　オブジェクト間の関連

3　アーキテクチャ

システムは（プレーヤー付き・自律）エージェント，状況，イベントのオブジェクトから構成される．これらのオブジェクト間の関連を図 1に示す．

3.1　エージェント

対象問題に登場するアクター（紛争の当事者やそれをとりまく人や組織）はエージェントとしてシステムに実装される．エージェントは，一連のリソースと，可能なアクションのリストを持っている．リソースとは，そのエージェントが持つ経済力・法的権限・政治的権力・情報の収集力などの資源である[1]．エージェントのとりうる行動・参照可能な情報などは，常に自らを取り巻く環境によって変化させられる．エージェントは，アクションを通じて他のエージェントと相互作用を施すことによって，環境に対して動的に働きかけることができる．各エージェントは，他のエージェントや環境とのインタラクションを通して，自らの目的を達成することを目指す．

システムには，プレーヤーが操作を行うプレーヤー付きのエージェントと，システム内部で自律的に振る舞う自律エージェントが存在する．エージェントの行動原理や，入力される情報に対する評価関数が単純あるいは定量化可能なものであれば，自動化することは比較的容易である．ゲーミングのシナリオにもよるが，制度的・手続き的側面で存在する必要があり，なおかつ行動が比較

---

[1] これらのリソースについては，対象問題において，エージェント間での関係や影響があるだろうということは一般的に認知されているが，その詳細についての明確な定義はほとんどない．本システムでは，特定のリソースが一定値を越えた場合に，アクションに制限をかけるなどして，リソースとアクションを関連づけている．

的単純にモデル化できるものは，自律エージェントとして実装する．そのほかのエージェントはプレーヤー付きのエージェントとする． アクターの多くは，複雑な意思決定やあいまいな選好を持つため，自律エージェントとして設計することは困難である．これらのエージェントについては，プレーヤ付きのエージェントとして設計し，ゲーミング中での行動をプレーヤに行わせる．このように2種類のエージェントを混在させることによって，エージェントの行動や問題構造が明らかになっていない状態でもシミュレーションが可能である．

3.2 状況

エージェントを取り巻くすべての環境は，状況オブジェクト(situation object)として表現される．状況オブジェクトはゲーミングの背景を表すマクロ的な属性（経済指標や，社会的なトレンドなど）やメタ的な属性（時間軸など），それらの属性を変化させる内部モデル（関数），ゲーミングの流れを抽象化する事象（イベント）の時系列から構成される．エージェントは，他エージェントとのメッセージのやり取りおよび状況とのやり取りを通して自分を取り巻く外部環境に作用する．

例えば，「選挙」を表現する場合には，選挙までの日数や立候補者などの情報を状況に登録し，これらの値の変化を状況から各エージェントに伝える．そこでは，選挙の告示/投票日といった，手続き的に状況の転換点となるものをイベントとして定義しておく．選挙運動を行うといったアクションは，選挙開始（告示）から投票日を示すイベントの間でのみ可能となるように制御する．

対象問題において，全エージェントが同一環境に属するとは限らない．エージェントの立場によって，自らを取り巻く状況の見え方（参照可能な情報，影響される範囲など）が異なることが想定される．先の「選挙」の例は，候補者であるエージェントと，そうでないエージェントの間では，選挙という事象が持つ意味や可能なアクションが異なる．ゲーミング全体で基盤となるような状況は全エージェント共通のものであるとし，それに加えて，限定されたエージェントのみが属するオブジェクトを組み込む．このようにして，状況を階層化し，それぞれのエージェントから見える状況を変化させることが可能である．

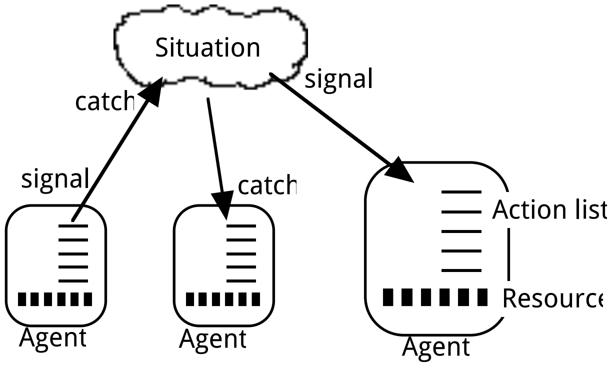


図 2 イベントの受け渡し

3.3 イベント

イベントは状況を変えるきっかけとなる事象を表すオブジェクトであり，その多くはエージェントのアクションによって引き起こされる．図2のように，あるエージェントのアクションによって発行されたイベントは，一旦，状況オブジェクトに伝えられる．そこで状況の内部属性が変更された後，状況オブジェクトからエージェントに対して同じイベント（あるいは，新たなイベント）が発行される．（いくつかの）エージェントは状況から発行されたイベントをキャッチし，それによってリソースの値や可能なアクションのリストが変更される．これによってエージェントの行動が制約される．

このように，個々のエージェントのミクロ的な挙動が，（イベントとして状況に伝えられ，状況内のモデルを動かすことによって）システム全体のマクロ的な挙動を変え，それがまたエージェントのミクロ的な挙動を変化させることが可能となる．ここでは，社会のコンフリクトに登場するアクターは，それを取り巻く（文化や社会，制度などといった）環境に束縛されつつ，アクター自身で，それが埋め込まれている環境を変えることができるといった認識に立っている．

イベントには，ゲーミング中にいずれかのエージェントの行動によって引き起こされる内部発生イベント（内生イベント）と，ゲーミングで取り扱う外部の事象から引き起こされる外部発生イベント（外生イベント）がある．内生イベントは，ゲーミングのシナリオの中で，いくつかのフェーズの転換をもたらすものとして，あらかじめ組み込まれている．それらのイベントは，あるエージェントの何らかのアクションによって発行されたり，あるいは別のイベントから一定の経過期間を経た後に自動的に発行されるものである．ある事項について，複数のエージェントが合意に至るなどすれば，ゲームの中でのそれらの位置づけや影響力が変化するため，合意したエージェントから合意を示すイベントが発行される．あるいは，一定の期間が必要な事項が開始した場合には，開始

から一定期間を経たのち，自動的に終了のイベントが発行される．

外生イベントは，ゲーミングの流れの中から発生するものではないが，もしも発生した場合に大きな影響を及ぼすと考えられるものである．不況などの経済的なトレンド，上位の政治集団による政策転換，テーマに関わる突発事故などがそれにあたり，これらの外生イベントは，ゲームマスターの役割を持った God エージェントによって発行される．これによって，状況外の事象の発生を仮定してシステムの反応を調べることが可能となっている．また，起きることや周期は分かっているがその起点を決めるメカニズムがシナリオに存在しないものについては，乱数を利用する．例えば，ある事象は 1 年に一度行われるということが分かっているが，そのタイミングはシナリオ内部から発生しているものではないといった場合には，ゲーミングの開始時に，ランダムに事象までの日数を設定する．

先の選挙の例では，いつ選挙が行われるかという日時の設定については，シナリオ内部に決定のためのメカニズムは存在しない．そのため，ゲーミング開始時から何日目が選挙日であるかということについては，ゲーミング開始時に乱数によって設定する．選挙にはいくつかの段階があり，それぞれの段階は期間の経過によって自動的に切り替わる．選挙という事象において，現在のどの段階にあるかによって，それぞれのエージェントの行動は制約される．段階が変化することによって，可能なアクションにも変化が起き，同じアクションをとったとしても影響の及ぶ範囲が異なったりする．エージェントに関する情報（アクション・リソースなど）は，すべてが状況に依存する．

3.4　エージェント間のコミュニケーション

エージェント間のコミュニケーションは，他のエージェントのメソッド（手続き）を呼び出す機能と，社会的意思決定に関わるコミュニケーション（情報伝達機能）とに分類される．アクションはプレーヤーによって呼び出される特殊なメソッドであり，自律エージェントにはアクションを記述しない．そのため，自律エージェントに関係するメソッドは，状況や他エージェントから呼び出されるメソッドとして定義する必要がある．プレーヤーは，ゲーミングの際には端末の前に座り，プレーヤインタフェースを介して，担当するエージェントのアクションを呼び出し，必要に応じてパラメータを設定する．呼び出されたアクションは，その内部で自分自身のメソッドもしくは他のオブジェクトのメソッドを呼び出すことになる．

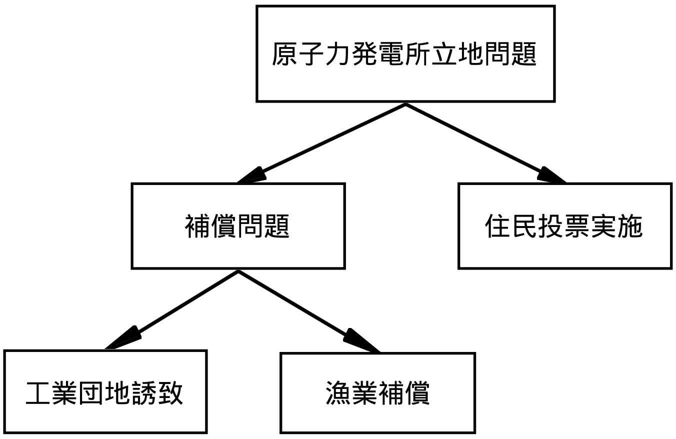


図 3　コンフリクト — イシュー の階層構造 —

エージェントの意思決定に関係する，情報伝達のためのエージェント間コミュニケーションとして，要求・問い合わせ・通知など，いくつかのプリミティブが用意されている．エージェント間において，任意のコミュニケーションを許してしまうとノイズが多くなるため，要求・問い合わせ・通知といったコミュニケーションのプリミティブに，コンフリクトをパラメータとしてとらせるように限定する．それぞれのプリミティブは基本的な応答の型を持っている．要求は，要求されたエージェントが保留も含めて何らかの返答を返す必要があるもの，問い合わせは，半自動的にエージェントのリソースなどを参照して答えを返すもの，通知は返答を求めないものである．要求の多くは，エージェントの意思決定を伴う事柄に対して使われ，その多くはゲーミングの中心となるコンフリクトに関係する．

3.5　コンフリクト

社会におけるコンフリクトとは，複数のエージェントがある問題に関係する場合に，立場や認識の違いから生じる対立である．本システムでは，図 3に示すように，コンフリクトを複数のイシュー（争点）が階層的に関連づけられたものとしてモデル化している 例えば，原子力発電所の立地問題（トップレベルのイシュー）は，補償問題や住民投票実施の是非などのイシューにブレイクダウンされる．さらに，補償問題は工業団地の誘致や漁業補償のサブイシューに具体化される．

それぞれのイシューに対し，イシューを認知しているエージェント・当事者・および決定権者のエージェント

の集合が定義される．これらの集合の間には，以下の関係がある．

$$\text{認知しているエージェント} \supseteq \text{当事者} \supseteq \text{決定権者}$$

認知しているエージェントは，該当するイシューについて知っている．認知しているだけでは，イシューに対して提案や決定はできないが，イシューが解決された時に結果を知ることができる．当事者は，さらにイシューに関して何らかの提案を行うことができる．決定権者は，イシューについて何らかの決定を行うことができる．決定権者が複数である場合には，イシューを定義する際に，決定方式として多数決やコンセンサスなどを設定する．

イシューの多くは，ゲーミングの初期設定としてシナリオの内部であらかじめ用意するが，ゲーミング中にプレーヤーが新たなイシューを動的に定義することも可能である．

4 設計

まずはじめに，設定されているゲーミングシミュレーションのシナリオにそって，設計するべきエージェントを決定する．シナリオでは，全体のゲーミングの流れと，それに関係するいくつかの内生・外生イベント・イシューが定義されている．エージェントの設計は，シナリオを考慮しつつ，可能なアクションを定義することからはじめる．

エージェントの中で，特に不確実な情報を扱う必要がないもの，あるいは行動原理や評価関数が明確であるもの，手続き的な側面からのみ存在する必要があるものについては，自律エージェントとして設計する．もちろん，これは自動化されるエージェントの行動が，本質的に単純であるということではなく，シナリオ上単純化しても差し支えないということを意味する．

アクションの定義においては，そのアクションがどのコミュニケーションのプリミティブに属するものであるか，宛先となるエージェントは誰か，どのイベントの前や後に実行することができるか，何度実行することができるか，実行した結果としてどのようなことが起きるかなどを明確にしなければならない．実行した結果に起きることとは，そのアクションがどのイベントを発行するかである．内生イベントとして定義されているものはすべて，エージェントの行動もしくは他のイベントからの期間経過で発生されなければならないため，設計時点では「このエージェントはどのような行動が可能か」という視点だけではなく，「このイベントを発行するのはどのエージェントか，またそれはいつなら可能か」という視点を持つ必要がある．

エージェントを設計するにあたって特に重要となるのは，アクションの定義と目標に至るイベントの時系列である．これらのイベントは状況オブジェクトで定義されるため，シナリオ全体をコントロールする状況とエージェントのアクションに整合性を保つことがもっとも重要になる．

5 ターゲットケース

5.1 京都市地下鉄東西線西進ルート建設問題

地下鉄建設に関わる，市長・行政当局・住民などの，京都市内部でのアクター間・並立する複数の政策間での順序や資源配分にまつわるコンフリクトを扱う．地下鉄建設は計画化の段階を終えているが，実施されるまでには交通政策（バス・地下鉄・高速道路など）の間での競争がある．また，政策実施過程においても予算配分や補償交渉においてコンフリクトが発生する．

外生イベントとしては，市長・市会議員選挙や国レベルでの政策転換による補助金増額（減額），不況，大規模交通事故などを設定している．

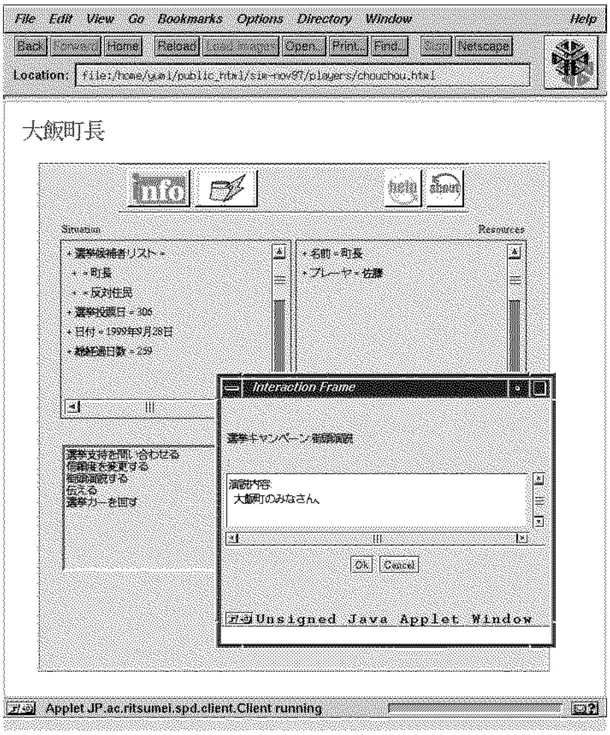
5.2 日本のエネルギー政策と原子力発電所建設の立地問題

原子力発電所の増設に関わる，省庁・電力会社・県・町など，レベルの異なるアクター間の政治過程を扱う[児玉 98]．現段階では特に受け入れ自治体内部に存在するアクター間のコンフリクトに焦点を当てる．

外生イベントとしては，国内外での原子力発電所における事故，国レベルでのエネルギー政策の転換，選挙などを設定している．

6 実装

エージェントのモデル化や概念の記述を容易にするための言語処理系をJavaで開発し，それによってエージェントを記述した．このシステムは，クライアント・サーバ型で実装されている．開発環境は，サーバとしてSGI Indy，クライアントとしてMacintoshおよびIBM互換PCを用いている．Javaで実装されたゲーミングサーバプログラムがサーバマシン上で動作し，クライアントマシン上では，Netscape Navigatorと，アプレットとして



Location: file:/home/yumi/public_html/sim-nov97/players/chouchou.html

大飯町長

Situation
+ 選挙候補者リスト =
+ = 町長
+ = 反対住民
+ 選挙投票日 = 306
+ 日付 = 1999年9月28日
+ 総経過日数 = 259

Resources
+ 名前 = 町長
+ プレーヤ = 佐藤

選挙支持を問い合わせる
信頼度を変更する
街頭演説する
伝える
選挙カーを回す

Interaction Frame
選挙キャンペーン街頭演説
演説内容:
大飯町のみなさん、
Unsigned Java Applet Window

Applet JP.ac.ritsumei.spd.client.Client running

図 4　プレーヤーインタフェース

記述されたユーザインタフェースプログラムが動作する．ゲーミングの流れはサーバによって管理され，必要に応じて，関係する情報がサーバからクライアントであるアプレットへ送られる．

実際のゲーミングでは，プレーヤーは図4に示すプレーヤーインタフェースを介して，アクションを起こしたり，他エージェントとメッセージのやり取りを行う．その際には，画面に表示される情報がプレーヤーに伝わるすべてのものとなる．画面には，全体の状況（経過日数，現在のフェーズ），エージェントのプロパティ（リソースなど），可能なアクションのリストが表示される．エージェントに対して送られたメッセージは，必要に応じてプレーヤーにも通知される．ゲーミング中にエージェント間で行われるさまざまなインタラクションは，すべてファイルに記録されると同時に，God エージェントを担当するプレーヤに対して提示される．ゲーミング終了後に，これらの記録をもとに，分析を行うことが可能である．

7　今後の課題

現在，本稿で紹介した基盤システムの上に乗せるためのテーマ別のモデルが検討されている．政策過程のモデル，個人と組織（エージェント）の意思決定，エージェント間コミュニケーションのパターン，コンフリクトのモデル，マスメディアの影響などが挙げられる．全般的に，定性的な情報を定量化していくための方法を検討中である．また，ゲーミングシミュレーションの開発用ツールとしての，ゲーミングデザインシステムについても研究中である．

8　謝辞

立命館大学人文科学研究所 社会システムシミュレーションプロジェクトのすべてのメンバーに感謝致します，特に，京都市の地下鉄問題に関する資料提供および研究の進め方について助言して頂きました近藤宏一氏，原子力発電所の立地問題と政治過程のモデルについてさまざまな示唆を与えてくださいました児玉英靖氏に深く感謝致します．

参考文献

[宮川 94] 宮川公男 『政策科学の基礎』, 東洋経済新報社,1994.

[遠藤 96] 遠藤薫 「世界はいかにして可能か –社会情報システム理論の視座」『社会情報システム学 ·序説』, 富士通経営研修所, 第 1 章, pp.25-46,1996．

[Greenbrat 94] Cathy Stein Greenbrat 『ゲーミング ·シミュレーション作法』 共立出版,1994.

[小幡 92] 小幡範雄 『環境コンフリクト実験ゲーム – 対立から共生への環境創造』, 技報堂出版,1992.

[出口 97] 出口弘 「ゲームプログラミングと社会科学」ゲームプログラミング bit7 月号増刊, 共立出版,pp.231-243,1997.

[児玉 98] 児玉英靖 「日本における原子力発電所立地受け入れの政治過程」政策科学 5 巻 2 号, 立命館大学政策科学会,1998.（近刊）