

京都大学大学院工学研究科  
都市社会工学専攻修士論文  
平成24年2月20日



Master's Thesis  
Department of Urban Management  
Graduate School of Engineering  
Kyoto University  
February 20, 2012

---

# 空間相互作用モデルを用いた集合的活動 に関する計量分析

京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻

都市社会計画学講座 計画マネジメント論分野

尾木 健士郎

## 要 旨

多数の人々によって集合的に生産・消費される集合財は、ある個人の消費水準が他人のサービス消費水準の影響を受ける点に特徴がある。このように、組織に属してその成員によって集合的に行われる生産活動に参加し、かつ共同で消費を行う行為を集合的活動と定義すれば、集合財消費にフリーライドしようという個人が存在する可能性があるため集合財生産が過少水準に陥る危険性がある。したがって、集合的活動が適切に行われるためには、何らかの仕組みを構築して外部経済性を向上する必要がある。そこで、集合的活動において陥るジレンマ問題の解決策として、ソーシャル・キャピタル(社会関係資本)は非常に重要な役割を果たすと期待されている。

一方で、ソーシャル・キャピタルと集合的活動の関係を扱う既存の研究は、そのメカニズムを説明する理論モデルの提示のみに留まっており、集合的活動と日常的交流との関係を計量的に明らかにする研究はあまりなされていない。そこで本研究では、集合的活動の分析手法としての空間相互作用モデルに着目し、分析のためのモデルの構築と推計方法の確立を目指す。また、インドネシアでの集合的活動の事例を対象として実証分析を行い、空間相関モデルの適用可能性を検証し、集合的活動と日常的な交流の関係を計量的に分析する。

# 目次

第1章 序論	1
第2章 本研究の基本的な考え方	3
2.1 本研究における問題意識	3
2.2 集合的活動とソーシャル・キャピタル	4
2.3 本研究における分析枠組	6
第3章 自発的集合行為モデル	8
3.1 空間相互作用モデルの概要	8
3.2 モデルの定式化	10
3.3 モデルの推計方法	11
3.3.1 ベイズ推計法の手順	11
3.3.2 各パラメータに関する全条件付き事後分布	13
3.3.3 ギブスサンプリング法	15
3.3.4 メトロポリス・ヘイスティングス法	16
3.4 事後分布に関する統計量	18
第4章 インドネシアにおける実証分析	24
4.1 はじめに	24
4.2 インドネシアにおける水利用の実態	25
4.2.1 実態調査の概要	25
4.2.2 水供給システムの分類	29
4.2.3 世帯属性の集計結果	31
4.2.4 コミュニティ・ネットワーク	32
4.3 分析のための変数設定	33
4.3.1 サンプルサイズ	33
4.3.2 説明変数	34

4.3.3 重み行列 . . . . .	35
4.4 推計結果および考察 . . . . .	38
4.5 おわりに . . . . .	40
第5章 終論	42
参考文献	44
付録A アンケート回答者の属性	付-1
付録B コミュニティグループへの参加状況	付-4
付録C サンプリングパス及び事後確率密度関数	付-7
付録D アンケート調査用紙	付-20

## 第1章 序論

多数の人々によって集合的に生産・消費される集合財は、ある個人の消費水準が他人のサービス消費水準の影響を受ける点に特徴がある。このように、組織に属してその成員によって集合的に行われる生産活動に参加し、かつ共同で消費を行う行為を集合的活動と定義すれば、集合財消費にフリーライドしようという個人が存在する可能性があるため集合財生産が過少水準に陥る危険性がある。したがって、集合的活動が適切に行われるためには、何らかの仕組みを構築して外部経済性を向上する必要がある。そこで、集合的活動において陥るジレンマ問題の解決策として、ソーシャル・キャピタル(社会関係資本)は非常に重要な役割を果たすと期待されている。

一般にソーシャル・キャピタルとは、人々に協力的行動を起こさせ、協力的行動を社会的に制度化させる「信頼(trust)」、「互惠性の規範(norms of reciprocity)」、「市民参加のネットワーク(networks of civic engagement)」と定義されている。フリーライドというジレンマに陥らずに集合財供給に参加し、集団利益の増進を目指してメンバーが協力的行動を行うには、参加メンバー間の相互信頼関係、互惠性の規範、人的ネットワークなどのソーシャル・キャピタルが重要な役割を果たすと考えられる。その中でも日常的な交流におけるコミュニケーションは、価値観や問題意識の共有、知識と情報の伝達など、集合的活動を適切にマネジメントする上で非常に大きな意味を持つ。しかしながら、ソーシャル・キャピタルと集合的活動の関係を扱う既存の研究は、そのメカニズムを説明する理論モデルの提示のみに留まっており、集合的活動と日常的交流との関係を計量的に明らかにする研究はあまりなされていない。そこで本研究では、集合的活動の分析手法としての空間相互作用モデルに着目し、分析のためのモデルの構築と推計方法の確立を目指す。また、インドネシアでの集合的活動の事例を対象として実証分析を行い、空間相関モデルの適用可能性を検証し、集合的活動と日常的な交流の関係を計量的に分析する。

本研究の構成は以下のとおりである。第2章では、本研究における基本的な考え方について述べる。まず2.1において本研究の問題意識を明らかにし、2.2では

集合的活動に関する既存の理論およびソーシャル・キャピタル論を整理する。そして2.3においては、本研究で対象とする集合的活動とその分析手法について述べ、本研究の目標を示す。

本研究の分析手法について述べる第3章では、まず3.1にて既存の空間相関モデルを概説し、従来の研究における適用例や課題点について説明する。3.2では、本研究で用いる自発的集合行為モデルを導出し、続く3.3にてマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた自発的集合行為モデルの推計方法について論じる。また3.4にて、ベイズ推計法によって得られた推計結果を分析するための一連の手法について説明する。

第4章では、自発的集合行為モデルをインドネシアでの現地調査から得られたデータに適用し実証分析を行う。まず始めに4.1にて、インドネシアでの水供給に関する現状について説明し、住民参加型水供給システムという自発的集合行為に着目する背景について述べる。続く4.2では、インドネシアで実施した実態調査の概要について説明し、調査結果の整理および分析で使用するデータを示す。4.3では今回の分析で設定した各種変数について明らかにし、4.4において推計結果の分析および考察を行う。そして4.5では、実証分析を通じて獲得した知見を整理し、今後の課題について述べる。

最後に第5章では、本研究の成果について概説し、実証分析を通じて明らかになった課題点および今後の方向性について言及する。

## 第2章 本研究の基本的な考え方

### 2.1 本研究における問題意識

多数の人々によって集合的に生産・消費される集合財は、ある個人の消費水準が他人のサービス消費水準の影響を受ける点に特徴がある。このように、組織に属してその成員によって集合的に行われる生産活動に参加し、かつ共同で消費を行う行為を、本研究では集合的活動と定義する。集合的活動が行われるためには少なくとも二人以上の個人が共同しなければならないが、このような集合的活動に付随する問題としてフリーライダーの可能性が存在する。特に、集合的活動に参加する意欲の低い人々は、平均的な参加水準が自分の努力水準より大きい場合、自分の厚生が増加することにより集合財消費にフリーライドしようというインセンティブが働く。また、各自の消費が他人の消費水準に及ぼす外部経済性を考慮しない場合、集合財生産が過少水準に陥る危険性がある。したがって、集合的活動が適切に行われるためには、何らかの仕組みを構築して外部経済性を向上する必要がある。

一方で、近年の森林管理や水資源管理など多くのインフラサービスの開発プロジェクトにおいて、地域住民自らが参加して開発・運営を行うアプローチが適用されている。特に、多くのインフラストラクチャが未整備状態にある開発途上国での開発プロジェクトでは、民間による集合財生産が重要な役割を果たすと指摘されている<sup>1)</sup>。公共財の維持管理に地域住民が参加して自分たちの集合的な利益に対する理解とオーナーシップが高まれば、その利益向上のために公共財の維持・管理を行うインセンティブが向上するはずである。しかし、利害関係者が集合的活動に参加するという保証がなく、また集合的生産による効果などについての計量的分析はあまり蓄積されていない。したがって、なぜ人は集合的活動に参加するという協力行動をとるのか、そのインセンティブを生み出す仕組みについての理論的および実証的な知見を獲得する必要がある。以上のような問題意識から、次節2.2では、ソーシャル・キャピタル(社会関係資本)論を中心に集合的活動にまつわる諸理論を整理する。

## 2.2 集合的活動とソーシャル・キャピタル

集合財の維持・管理に地域住民が参加し自分たちの集合的な利益に対する理解とオーナーシップが高まれば、その利益向上のために積極的に集合的活動に参加するインセンティブが向上する。しかしその場合でも、フリーライダー問題が生じる可能性は存在し一部の参加者が機会主義的行動を取るかもしれない。そこでまず、どのように人は集合的活動のための協力行動を起こすのか、そのメカニズムを理解する必要がある。

集合的活動とは (Collective action) とは、一人以上の人間が共通の目的を達成するために各個人の利潤追求行動を制限し、集団の共通利益の獲得を目指すために行動することと定義できる。しかし1970年代までの多くの研究、特に新古典派経済学の枠組みでは、人は根源的には集合行為を起こせないという理論が確立されてきた。Olsonは、「集合行為論 (The logic of collective action)」<sup>2)</sup> という著書を通じて、グループの人数が大きくなるとそのグループ全体の合理性は個人の合理的選択からは達成できないという定理を示した。合理的で利己的な個人が本人の行為から得る利益、そしてその個人が提供する貢献に対して、他のグループ成員からの監視は困難であるため、結果として合理的な個人は集団利益に貢献するインセンティブが減少しフリーライド問題が生じ易くなるからである。したがってOlsonは、グループの人数が少ないか、強制あるいはその他の特別な仕組みがない限り、合理的で利己的な個人は集団全体の利益のために行動することはないと結論づけている。また、Hardin<sup>3)</sup>は、誰もが自由にアクセスできる共有財に対して、人々は共有財消費から得られる自己利益を最大化するため、また他人との競争の中で共有財の稀少性を認識するため、共有財を維持しようともその利用を自発的に抑制しようとしないと主張した。

ところが1980年代以降、共有資源 (Common-pool resources: CPR) の管理に関するOstrom<sup>4)</sup>の一連の研究などに代表されるように、人々の協力行動による公共財の集合的な維持管理の事例が数多く紹介され始めた。その中でも、協力行動が生じるメカニズムについてゲーム理論を用いて分析したAxelrod<sup>5)</sup>の研究が知られている。Axelrodは、相互信頼の損失による協力行動の失敗を説明した「囚人のジレンマゲーム」に対して、このゲームを無限に繰り返すシミュレーション実験を実施し、長期的な状況においてプレイヤーは相手との対抗的な相互関係に基づ

く報復的戦略 (tit-for-tat strategy) を取ることを確認した。そして、お互いの利益を最大化するための最善の選択は、互いに協力する選択肢を選ぶことであることを証明し、このような相互協力を維持するためには、拘束的契約や第三者による監視などお互いに規則を強制できる仕組みを設け、互いに満足できる相互監視システムを構築することが必要であると主張した。また、もしプレーヤー同士が自らのゲームの利得構造やルールを決めることができるのであれば、彼らはゲームに参加する全てのプレーヤーにとって利益を生み出す条件を創造することができる」と述べている。このように、協力行動に基づいた集合的活動が十分に行われるためには、利害関係者が自らルールを作り自発的に集合的活動に参加するインセンティブを提供することが必要となる。

ここまでは、集合的活動で陥るジレンマを挙げ、そのジレンマを回避するためのアプローチとして公平な第三者によるモニタリングや利害関係者による制度設計などをみてきたが、一方で1990年代に入ると、当該者社会にアプリアリに存在する規範的価値観に基づいた協力行動への注目が高まった。Coleman<sup>6)</sup>やPutnam<sup>7) 8)</sup>は、人々に協力行動を起こさせ、協力行動を社会的に制度化させる「信頼 (trust)」、「互惠性の規範 (norms of reciprocity)」、「市民参加のネットワーク (networks of civic engagement)」などは当該社会に賦存している資源であると述べ、これらをソーシャル・キャピタル (社会関係資本) と呼んだ。また、ソーシャル・キャピタルの賦存状況は「市民社会度 (civicness)」という社会のあり様の尺度と捉えており、ソーシャル・キャピタルが蓄積している「市民社会度の高い」社会では行政への信頼度が高くなり、信頼性の高い行政の下では住民の政策実施への関与がより起こり易い環境が形成され、さらにソーシャル・キャピタルのレベルが向上するという好循環が生まれると説明した。そして世界銀行等の国際機関や経済学者らの間でも、ソーシャル・キャピタルの賦存状況と経済パフォーマンスに相関がみられるとして、ソーシャル・キャピタルと集合的活動の関係に対する議論が始まった。Narayan<sup>9)</sup>とWoolcock<sup>10) 11)</sup>は、開発においては「社会的紐帯 (social tie)」を通じて協力行動が自己執行 (self-enforce) できるだけでは不十分であるとし、他のコミュニティや同族集団、政府機関との連携などといった外部からの資源動員が重要であると指摘した。そして、集団内部の結束を強める社会的紐帯を「結束型 (Bonding) ソーシャル・キャピタル」、外部との連携を「接合型 (Bridging) ソーシャル・キャピタル」と呼び、それらの関係性を示した。結束型ソーシャル・キャピタルは、情報の共有や取引費

用の低下，機会主義的行動の抑制などをもたらし，集合的活動に参加するインセンティブをその集団にもたらし．その一方で接合型ソーシャル・キャピタルは，政府のサービスや他集団および市場など，これら外部の情報や機会へのアクセスを増加させ，集団の交渉能力を向上させるなどのメリットをもたらす．そして，長期的には「接合型」ソーシャル・キャピタルの方が開発の成果を高めるためには重要であるが，時として強い「結合型」ソーシャル・キャピタルの存在が，「接合型」ソーシャル・キャピタルの形成を阻害すると述べている．

以上で見てきたように，集合的活動において陥るジレンマ問題の解決策としてソーシャル・キャピタルは非常に重要な役割を果たすと言える．すなわち，互惠性の規範や相互信頼，市民参加のネットワークは，集合的活動における利己的行動を抑制し，共通利益の増進を図るインセンティブをもたらし集合的活動への参加を助長すると考えられる．

## 2.3 本研究における分析枠組

本研究では，ソーシャル・キャピタルという概念を用いて人々が集合的活動に参加するメカニズムを分析する．すなわち，フリーライドというジレンマに陥らずに集合財供給に参加し，集団利益の増進を目指してメンバーが協力的行動を行う際には，参加メンバー間の相互信頼関係，互惠性の規範，人的ネットワークなどのソーシャル・キャピタルが重要な役割を果たしていると考えられる．その中でも日常的な交流におけるコミュニケーションは，価値観や問題意識の共有，知識と情報の伝達など，集合的活動を適切にマネジメントする上で非常に大きな意味を持つ．このような日常的な交流相手との空間相互作用を考慮して，集合的活動へ参加するといった個人の選択行動を分析する理論モデルは，今まで経済学の分野で多数報告されてきた<sup>12)</sup>．しかしながら，いずれのモデルも現象のメカニズムを説明するのみに留まっており，集合的活動と日常的交流との関係を計量的に明らかにする研究はあまりなされていない．そこで本研究では，近年発展の目覚ましい空間計量経済学での知見を援用し，空間相互作用と集合的活動との関係を分析するための計量分析モデルを構築する．一般に，空間相互作用モデルは都市や地域などの空間上で展開される公共政策の分析ツールとして開発されてきた．例えば，地理情報データを用いた分析として土地利用分析，ヘドニック分

析等の研究が蓄積されている<sup>13)</sup>。しかしながらこれらの研究は、空間上の近接性に由来する空間相互作用に着目して空間相互作用モデルを地理データへ適用したものであり、日常的交流という相互作用に着目してモデルを個人レベルのミクロデータへ適用した事例は皆無に等しい。

以上の問題意識の下に、本研究では、集合的活動の分析手法としての空間相互作用モデルに着目し、分析のためのモデルの構築と推計方法の確立を目指す。また、実証分析を通じてモデルの適用可能性を検証し、集合的活動と日常的な交流の関係を計量的に分析する。そこでまず、第3章において既存の空間相互作用モデルを概観し、集合的活動を分析するためのモデル(以後、自発的集合行為モデルと呼ぶ)や推計方法を構築する。そして第4章において、インドネシアを対象に実証分析を実施し、自発的集合行為モデルの適用可能性を検証する。

## 第3章 自発的集合行為モデル

### 3.1 空間相互作用モデルの概要

個人による質的選択を分析する際には、一般にロジットモデルやプロビットモデルが用いられる。しかしながら、これらのモデルにおいては確率誤差項が互いに独立であると仮定しており、各個人の選択行動はその個人の属性のみに依存しそれぞれの主体は独立に選択行動を行うと仮定される。したがって、ある個人の選択が他人の選択に影響を及ぼす、あるいは他人から影響を受けるといった各個人間の相互依存性はこれらのモデルを用いて表現することができない。すなわち、本研究で着目している日常的な交流と集合的活動の関係を検証するには、これらの質的選択モデルは不適切となる。そこで本研究では、近年発展目覚ましい空間計量経済学における知見を援用し、日常的な交流を通じて行われる価値観や知識の伝達・共有などの空間相互作用と集合的活動との関係を分析するための計量分析モデルを構築する。空間相互作用モデルは、地理情報データを用いた土地利用分析やヘドニック分析等で用いられており、近年その推計方法の発展や適用事例の蓄積が目覚ましい<sup>14) 15)</sup>。代表的なモデルとしては、以下に示す空間自己回帰モデル (Spatial Autoregressive Model) や空間誤差項モデル (Spatial Error Model) が知られている。

$$\text{空間自己回帰モデル: } Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon \quad (3.1)$$

$$\text{空間誤差項モデル: } \begin{cases} Y = X\beta + \eta \\ \eta = \rho W\eta + \varepsilon \end{cases} \quad (3.2)$$

上式において重要な意味をもつ変数が重み行列  $W$  であり、空間相関を生じ得るネットワークを表現するために、地理情報データなどから外生的に設定される。空間自己回帰モデルは被説明変数の自己回帰構造を有しており、ある主体が他の主体に直接的に影響を及ぼす状況表現している。一方で、空間誤差項モデルでは誤差項の自己回帰構造が導入されており、空間相関が生じるメカニズムは具体的に想定されていない。つまり、空間自己回帰モデルでは対面による直接的な接触から生じる空間相関に焦点が当てられているのに対し、空間誤差項モ

デルでは、環境等の空間的異質性に起因する間接的な空間相互作用に関心が向けられる。社会ネットワーク論の分野では、通常は主体間の直接的な接触から生じる相互作用に関心があるため、一般に空間自己回帰モデルが使用される傾向がある<sup>16)</sup>。ただ、これらのモデルの間に優劣はなく、想定する空間相関のメカニズムに応じて両モデルを使用すべきなのは言うまでもない。本研究では、集合的活動における各主体間の相互作用に注目しており、日常的な交流におけるコミュニケーションを通じて行われる、情報や知識および価値観などの共有が果たす役割に関心がある。そこで、本研究では空間自己回帰モデルに焦点を絞り、以下の議論を進めることとする。

空間自己回帰モデルを質的選択へ適用したモデルとして、空間プロビットモデルが提案されている<sup>18) 19)</sup>。空間プロビットモデルは空間相互依存性を考慮した質的選択を表現する際に用いられるモデルであり、McMillenによってその推計方法が初めて提案された<sup>17)</sup>。McMillenはEMアルゴリズムを用いた推計方法を提案したが、サンプル数が大きなデータに対する適用は困難であるなど、多くの課題点を有していた。しかしながら、Lesageによるベイズ推計法<sup>18)</sup>が提案されると、空間プロビットモデルの推計上の問題が克服され、それ以降多くの適用事例が報告されはじめている。例えば、Yang<sup>20)</sup>らは、消費行動分析において住民間の相互依存な選択行動モデルを提案しており、近隣世帯との地理的距離を用いた重み行列を用いて分析を行っている。また、LeSage<sup>19)</sup>らは選挙での投票行動を対象として事例分析を実施している。彼らは、潜在的な変数が各地域での投票行動に影響を及ぼしているために投票行動において空間的なパターンが観察されると報告し、現象を適切に表現するために空間プロビットモデルを利用して分析している。これらの事例においてはいずれも、地理的な近接性に起因する空間相互作用に着目しており、空間相関パターンを規定する重み行列を規定する際には地理情報データを使用して分析を行っている。一方で、本研究では集合的活動への参加行動において日常的な交流が潜在的に影響していると想定する。したがって空間相関のパターンを表現する重み行列を作成する際には、地理的近接性に関するデータのみならず、コミュニケーション頻度などの社会的近接性を表すデータなどの適用を試みる必要がある。

本章の構成は以下の通りである。まず3.2において、Lesage<sup>18)</sup>をもとに集合的活動を分析するための自発的集合行為モデルを導出する。続く3.3において、ベイ

ズ統計学におけるマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた自発的集合行為モデルの推計方法を説明する。そして3.4では、推計結果を用いた分析の手法について言及する。

### 3.2 モデルの定式化

対象とする集落に  $n$  家計が居住し、家計  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) が自発的集合行為へ参加することにより得られる効用を  $u_{1i}$  と表す。また、自発的集合行為に参加せずにその他の活動に従事することにより得られる効用を  $u_{0i}$  と表す。観測可能な家計行動をダミー変数  $y_i$  を用いて

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{家計 } i \text{ が自発的集合行為に参加する} \\ 0 & \text{家計 } i \text{ が自発的集合行為に参加しない} \end{cases} \quad (3.3)$$

と表せば、各家計は効用最大化行動をすると仮定して

$$P_r(y_i = 1) = P_r(u_{1i} > u_{0i}) = P_r(z_i > 0) \quad (3.4)$$

を得る。ただし、潜在変数  $z_i = u_{1i} - u_{0i}$  は観測できない変数であり、 $y_i$  のみが観測可能である。式(3.3)を  $z_i$  を用いて書き表せば

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } z_i > 0 \\ 0 & \text{if } z_i \leq 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

となる。家計の自発的集合行為への参加行動は、収入や学歴等の個人属性、そして日常的な交流相手とのコミュニケーションを通じて生じる情報や知識の伝達によって規定されると考えられる。したがって潜在変数  $z_i$  は、当該家計の属性ベクトル  $\mathbf{x}_i = (x_{ik} : k = 1, \dots, K)'$  および日常的な交流相手の潜在変数  $z_j$  ( $j = 1, \dots, n; j \neq i$ ) の線形和として以下のように定義する。

$$z_i = \rho \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} z_j + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3.6)$$

ただし、 $\varepsilon_i$  は確率誤差項を表している。ここで、式(3.6)をベクトル表記する。

$$\mathbf{z} = \rho \mathbf{W} \mathbf{z} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3.7)$$

$\boldsymbol{\beta} = (\beta_k : k = 1, \dots, K)'$  はパラメータベクトルであり、 $\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_i : i = 1, \dots, n)'$  は、平均値ベクトル  $\mathbf{0}_n$ 、分散・共分散行列  $\mathbf{I}_n$  の  $n$  次元正規分布に従う確率誤差項ベクトルで

ある。ただし， $0_n, I_n$  はそれぞれ  $(n \times n)$  次元の零行列，単位行列を表している。 $W$  は各家計間の交流関係を表す  $(n \times n)$  次元の重み行列であり，モデルの推計にあたっては地域における家計間のネットワークを反映して外生的に与えられる。パラメータ  $\rho$  は自発的集合行為参加への意思決定において日常的な交流相手から受ける影響の程度を表しており，ソーシャル・キャピタル依存度と呼ぶことができる。ここで，式(3.7)を以下のように変形する。

$$\begin{aligned} z &= (I_n - \rho W)^{-1} X\beta + (I_n - \rho W)^{-1} \varepsilon \\ &= S^{-1} X\beta + u \end{aligned} \quad (3.8)$$

ただし， $S = I_n - \rho W, u = S^{-1} \varepsilon$  である。この時，新しい誤差項  $u = (u_i : i = 1, \dots, n)'$  の分散・共分散行列は

$$E[uu'] = [S'S]^{-1} \quad (3.9)$$

と表せる。したがって，家計  $i$  が自発的集合行為に参加する確率は

$$\begin{aligned} P_r(y_i = 1) &= P_r([S^{-1} X\beta]_i + u_i > 0) \\ &= P_r(u_i < [S^{-1} X\beta]_i) \end{aligned} \quad (3.10)$$

と表現できる。ただし， $[S^{-1} X\beta]_i$  は行列  $[S^{-1} X\beta]$  の  $i$  行目を表している。式(3.10)から明らかのように，空間プロビットモデルでは誤差項  $u$  が  $n$  次元の多変量正規分布に従うため上記の確率を計算する際には  $n - 1$  次元の積分を行う必要がある。したがって尤度関数は複雑な構造となり，通常のプロビットモデルに適用される最尤法を用いたパラメータ推定は非常に困難となる。したがって本研究では，マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたベイズ推計を行う。

### 3.3 モデルの推計方法

#### 3.3.1 ベイズ推計法の手順

一般に，ベイズ推計法は，1) 事前の経験情報に基づき，パラメータ  $\beta, \rho$  の事前分布  $\pi(\beta, \rho)$  を設定する。2) 新しく獲得したデータ  $y$  に基づいて尤度関数  $f(y|\beta, \rho)$  を定義する。3) ベイズの定理に基づいて事前分布を修正し，パラメータ  $\beta, \rho$  に関する事後分布  $\pi(\beta, \rho|y)$  を得る，という手順を採用する。最尤法とは異なり，未

知パラメータ $\beta, \rho$ の確率分布が事後分布として求まる点にベイズ推計法の特徴がある。

空間プロビットモデルでは尤度関数 $f(\mathbf{y}|\beta, \rho)$ が複雑で推計が困難なため、潜在変数 $z$ を導入し完全データ尤度関数 $f(\mathbf{y}, z|\beta, \rho)$ を定式化する<sup>21)</sup>。そしてベイズの定理を用いれば、完全データ尤度関数 $f(\mathbf{y}, z|\beta, \rho)$ 及び事前分布 $\pi(\beta, \rho)$ の積に対応する事後分布は以下のように表現できる。

$$\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y}) \propto f(\mathbf{y}, z|\beta, \rho) \cdot \pi(\beta, \rho) \quad (3.11)$$

事前分布におけるパラメータ $\beta$ と $\rho$ の独立性を仮定し、完全データ尤度関数 $f(\mathbf{y}, z|\beta, \rho)$ が

$$\begin{aligned} f(\mathbf{y}, z|\beta, \rho) &= f(\mathbf{y}|z, \beta, \rho) \cdot \pi(z|\beta, \rho) \\ &= \text{Ind}(\mathbf{y}|z) \cdot \pi(z|\beta, \rho) \end{aligned} \quad (3.12)$$

と表現されることに着目すれば、(3.11)式の事後分布は結局以下のように変形できる。

$$\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y}) \propto \text{Ind}(\mathbf{y}|z) \cdot \pi(z|\beta, \rho) \cdot \pi(\beta) \cdot \pi(\rho) \quad (3.13)$$

ただし

$$\text{Ind}(\mathbf{y}|z) = \prod_{i=1}^n \{\delta_i(y_i = 1) \cdot \delta_i(z_i > 0) + \delta_i(y_i = 0) \cdot \delta_i(z_i \leq 0)\} \quad (3.14)$$

$$\pi(z|\beta, \rho) \propto |\mathbf{S}| \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{S}z - \mathbf{X}\beta)' (\mathbf{S}z - \mathbf{X}\beta) \right\} \quad (3.15)$$

である。事前分布については、ベイズ統計学や空間計量経済学の分野で従来から一般的に用いられている分布を採用し、事前分布 $\pi(\beta), \pi(\rho)$ を以下のように設定する。

$$\beta \sim \mathcal{N}_K(\mathbf{c}, \mathbf{T}) \quad (3.16)$$

$$\rho \sim \mathcal{U}(-1, 1) \quad (3.17)$$

ここで、 $\mathcal{N}_K(\mathbf{c}, \mathbf{T})$ は平均値ベクトル $\mathbf{c}$ 、分散・共分散行列 $\mathbf{T}$ の $k$ 次元正規分布である。 $\mathbf{c}, \mathbf{T}$ はハイパーパラメータであり、任意の値を設定することにより事前の主観的情報をモデルに取り入れることが可能である。また、 $\mathcal{U}(-1, 1)$ は定義域が $[-1, 1]$ の一様分布を表している。

事後分布  $\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y})$  を正確に導出するためには，基準化定数

$$m(\mathbf{y}) = \int_{\Theta} \text{Ind}(\mathbf{y}|z) \cdot \pi(z|\beta, \rho) \cdot \pi(\beta) \cdot \pi(\rho) d\rho d\beta dz \quad (3.18)$$

を求める必要がある．ただし， $\Theta$  はパラメータ  $\beta, \rho, z$  の定義域である．しかし，基準化定数  $m(\mathbf{y})$  を解析的に求めることは困難であり，事後分布  $\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y})$  を明示的に求めることは不可能である．したがって本研究では，マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を用いた数値積分により事後分布  $\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y})$  に関する統計量を求める方法を採用する．すでに，MCMC 法を用いたベイズ推計法に関していくつかの研究が蓄積されており，代表的な MCMC 法として，ギブスサンプリング (Gibbs sampling) 法<sup>22) 23)</sup>，メトロポリス・ヘイスティングス (Metropolis-Hastings: MH と略す) 法<sup>24)</sup>等が提案されている．この内，ギブスサンプリング法は，事後分布  $\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y})$  を直接求めることが難しい場合に，各パラメータ  $\beta, \rho, z$  の全条件付き事後分布を用いて，反復的に各パラメータのサンプルを乱数発生させることにより，事後分布からの標本サンプルを獲得する方法である．なお，各パラメータの全条件付き事後分布から容易にサンプルを発生させることができない場合には，MH 法により近似的な分布からサンプル候補を発生させ確率的な手順を経ることによって目標となる全条件付き事後分布からのサンプルを得る．いずれの方法においても，各パラメータの全条件付き事後分布を求める必要がある．そこで以下では，まず 3.3.2 にて各パラメータに関する全条件付き事後分布を導出し，続く 3.3.3 および 3.3.4 でサンプリング・アルゴリズムについて説明する．

### 3.3.2 各パラメータに関する全条件付き事後分布

$\beta$  の全条件付き事後分布

ベイズの定理及び式 (3.13) より

$$\begin{aligned} \pi(\beta|\rho, z, \mathbf{y}) &= \frac{\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y})}{\pi(\rho, z|\mathbf{y})} \\ &\propto \pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y}) \\ &\propto \pi(z|\beta, \rho) \cdot \pi(\beta) \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{S}z - \mathbf{X}\beta)'(\mathbf{S}z - \mathbf{X}\beta)\right\} \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}(\beta - \mathbf{c})'\mathbf{T}^{-1}(\beta - \mathbf{c})\right\} \end{aligned} \quad (3.19)$$

を得る．ここで上式の指数項を変形すると

$$(\text{指数項}) = -\frac{1}{2} \left\{ \beta' (\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{T}^{-1}) \beta - 2(\mathbf{X}'\mathbf{S}\mathbf{z} + \mathbf{T}^{-1}\mathbf{c})' \beta + C \right\} \quad (3.20)$$

となる． $C$ は $\beta$ を含まない比例定数項であり， $\mathbf{T}^* = (\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{T}^{-1})^{-1}$ ， $\mathbf{c}^* = \mathbf{X}'\mathbf{S}\mathbf{z} + \mathbf{T}^{-1}\mathbf{c}$ とおくと

$$\begin{aligned} \pi(\beta|\rho, \mathbf{z}, \mathbf{y}) &\propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\beta' \mathbf{T}^{*-1} \beta - 2\mathbf{c}^{*\prime} \beta) \right\} \\ &\propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\beta - \mathbf{T}^* \mathbf{c}^*)' \mathbf{T}^{*-1} (\beta - \mathbf{T}^* \mathbf{c}^*) \right\} \end{aligned} \quad (3.21)$$

となる．したがって， $\beta$ の全条件付き事後分布は以下の $k$ 次元正規分布となる．

$$\beta | \rho, \mathbf{z}, \mathbf{y} \sim \mathcal{N}_K(\mathbf{T}^* \mathbf{c}^*, \mathbf{T}^*) \quad (3.22)$$

$\rho$ の全条件付き事後分布

ベイズの定理及び式(3.13)より

$$\begin{aligned} \pi(\rho|\beta, \mathbf{z}, \mathbf{y}) &= \frac{\pi(\beta, \rho, \mathbf{z}|\mathbf{y})}{\pi(\beta, \mathbf{z}|\mathbf{y})} \\ &\propto \pi(\beta, \rho, \mathbf{z}|\mathbf{y}) \\ &\propto \pi(\mathbf{z}|\beta, \rho) \cdot \pi(\rho) \\ &\propto |\mathbf{S}| \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{S}\mathbf{z} - \mathbf{X}\beta)' (\mathbf{S}\mathbf{z} - \mathbf{X}\beta) \right\} \end{aligned} \quad (3.23)$$

となるが，この分布は一般的によく知られた確率分布ではない．したがって後述するように，サンプリングの際にはMH法を用いる必要がある．

$\mathbf{z}$ の全条件付き事後分布

ベイズの定理及び式(3.13)より

$$\begin{aligned} \pi(\mathbf{z}|\beta, \rho, \mathbf{y}) &= \frac{\pi(\beta, \rho, \mathbf{z}|\mathbf{y})}{\pi(\beta, \rho|\mathbf{y})} \\ &\propto \pi(\beta, \rho, \mathbf{z}|\mathbf{y}) \\ &\propto \text{Ind}(\mathbf{y}|\mathbf{z}) \cdot \pi(\mathbf{z}|\beta, \rho) \\ &\propto \prod_{i=1}^n \{ \delta_i(y_i = 1) \cdot \delta_i(z_i > 0) + \delta_i(y_i = 0) \cdot \delta_i(z_i \leq 0) \} \\ &\quad \cdot |\mathbf{S}| \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{S}\mathbf{z} - \mathbf{X}\beta)' (\mathbf{S}\mathbf{z} - \mathbf{X}\beta) \right\} \end{aligned} \quad (3.24)$$

となる。したがって、 $z$ の全条件付き事後分布は以下の $n$ 次元切断正規分布となる。

$$z | \beta, \rho, \mathbf{y} \sim \mathcal{TMVN}(\mu, \Omega) \quad (3.25)$$

ただし、平均値ベクトル  $\mu = S^{-1}X\beta$ 、分散・共分散行列  $\Omega = (S'S)^{-1}$  であり、 $y_i > 0$  の場合  $z_i$  の定義域は  $(0, \infty)$ 、 $y_i \leq 0$  の場合  $z_i$  の定義域は  $(-\infty, 0]$  である。

### 3.3.3 ギブスサンプリング法

前節で求めた各パラメータ  $\beta, \rho, z$  に関する全条件付き事後分布をもとに、MCMC法により事後分布  $\pi(\beta, \rho, z | \mathbf{y})$  に関する統計量を推計する。パラメータ  $\beta, z$  については全条件付き事後分布から直接サンプリング可能であり、ギブスサンプリングが適用可能である。しかしながら、パラメータ  $\rho$  については全条件付き事後分布が一般によく知られた分布形をしておらず直接サンプリングすることが困難なため、MH法を用いてサンプリングを行う。したがって本研究では、ギブスサンプリング法を用いて事後分布  $\pi(\beta, \rho, z | \mathbf{y})$  から各パラメータ  $\beta, \rho, z$  の標本サンプルを抽出するが、パラメータ  $\rho$  のサンプリングの際のみMH法を用いる、*Metropolis within Gibbs sampling* 法<sup>15)</sup>により推計を行う。以下では、まずギブスサンプリング法のアルゴリズムを示し、続く3.3.4にてMH法のアルゴリズムについて述べる。なお、図-3.1に *Metropolis within Gibbs sampling* による推計手順を示してある。

ギブスサンプリング法は、各パラメータ  $\beta, \rho, z$  に関する全条件付き事後分布から反復的に標本サンプルを発生させる方法であるが、具体的には以下のように整理できる。

**ステップ1 初期値設定** シミュレーション回数  $t=1$  とし、パラメータ  $\beta^{(0)} = (\beta_1^{(0)}, \dots, \beta_K^{(0)})'$ 、 $\rho^{(0)}$ 、 $z^{(0)} = (z_1^{(0)}, \dots, z_n^{(0)})'$  を任意の値に設定する。さらに、ハイパーパラメータ  $c, T$ 、サンプル数  $n, \bar{n}$  を設定する。これらの初期値の影響は、MCMC法によるシミュレーション回数が蓄積されるにつれ次第に薄れていく。

**ステップ2 パラメータ  $\beta^{(t)}$  の標本抽出** シミュレーション回数  $t$  におけるパラメータ推定量  $\beta^{(t)}$  を  $\pi(\beta | \rho^{(t-1)}, z^{(t-1)}, \mathbf{y})$  から乱数発生させる。

**ステップ3 パラメータ  $\rho^{(t)}$  の標本抽出** シミュレーション回数  $t$  におけるパラメータ推定量  $\rho^{(t)}$  を  $\pi(\rho | \beta^{(t)}, z^{(t-1)}, \mathbf{y})$  から発生させる。ただし、 $\rho$  の全条件付き事後

分布から直接サンプリングすることは難しいので、後述するMH法を用いてパラメータ $\rho^{(t)}$ の標本抽出を行う。

ステップ4 パラメータ $z^{(t)}$ の標本抽出 シミュレーション回数 $t$ におけるパラメータ推定量 $z^{(t)}$ を $\pi(z|\beta^{(t)}, \rho^{(t)}, \mathbf{y})$ から乱数発生させる。なお、多変量切断正規分布からの乱数発生方法に関してはGeweke<sup>25)</sup>のm-step Gibbs samplerを用いて乱数発生を行った。

ステップ5 アルゴリズムの終了判定 以上で求めた各パラメータ推定量の更新値 $\beta^{(t)}, \rho^{(t)}, z^{(t)}$ を記録する。 $t \leq \bar{n}$ の場合、 $t=t+1$ としてステップ2へ戻る。そうでない場合、アルゴリズムを終了する。

なお、アルゴリズムの初期段階においては、パラメータ推定量の初期値設定の影響が残存している。したがって、シミュレーション回数 $t$ が十分大きな $\bar{n}$ に到達するまでのパラメータ標本を除去することが望ましい。

### 3.3.4 メトロポリス・ヘイスティングス法

MH法では、パラメータ $\rho$ の全条件付き事後分布 $\pi(\rho|\beta, z, \mathbf{y})$ を近似するような代替的な分布(提案分布と呼ぶ)からサンプリングを行い、それに基づいて本来の分布からのサンプルを求める。さらに、目標分布と提案分布の差異を修正する確率的な手順を経ることにより、目標分布からのランダムサンプリングを行う。本研究では、パラメータ $\rho$ を酔歩過程MH法を用いてサンプリングを行う。酔歩過程MH法は、推計されるパラメータをある確率分布に従って酔歩させながらサンプリングする方法であり、その確率分布が提案分布となる。酔歩過程MH法を用いたパラメータ $\rho$ の生成手順は具体的に以下のように整理できる。

ステップ1 サンプル候補 $\rho^{new}$ の提案 シミュレーション回数 $t$ において、以下の提案分布(式(3.26))より新しいパラメータ推定値 $\rho^{new}$ を提案する。

$$\rho^{new} = \rho^{old} + c^* \Delta \quad \Delta \sim \mathcal{N}(0, 1) \quad (3.26)$$

ただし、 $\rho^{new} \in [-1, 1]$ であり、 $c^*$ はチューニング・パラメータである。

ステップ2 受容確率の計算 受容確率

$$\Psi(\rho^{(t-1)}, \rho^{new}) = \min \left( 1, \frac{\pi^*(\rho^{new}|\beta^{(t)}, z^{(t-1)}, \mathbf{y})}{\pi^*(\rho^{(t-1)}|\beta^{(t)}, z^{(t-1)}, \mathbf{y})} \right) \quad (3.27)$$

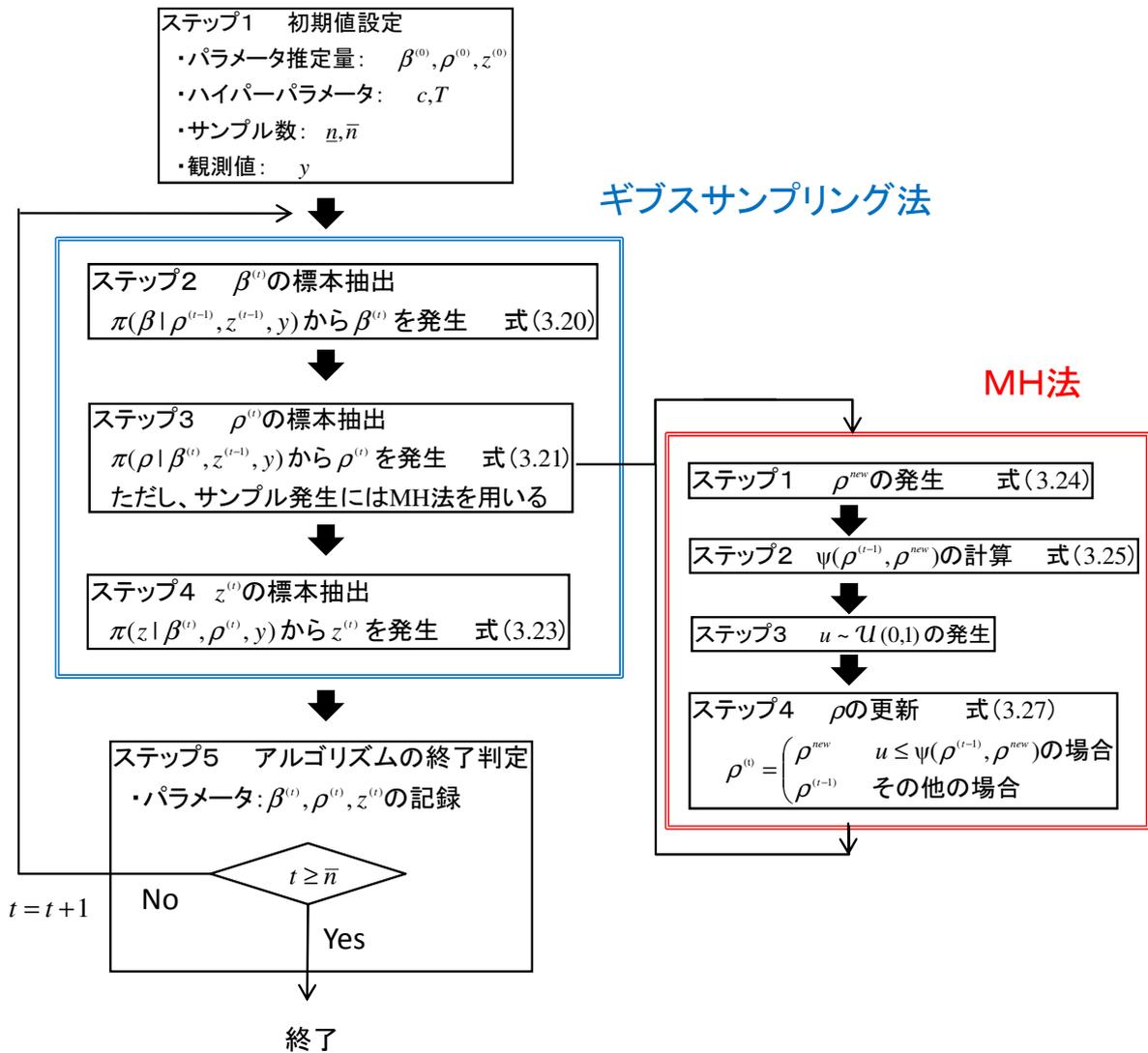


図-3.1 Metropolis within Gibbs sampling による推計手順

を求める。ただし

$$\pi^*(\rho|\beta, z, \mathbf{y}) = |S| \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{S}z - \mathbf{X}\beta)' (\mathbf{S}z - \mathbf{X}\beta) \right\} \quad (3.28)$$

である。

ステップ 3 一様乱数の発生 一様乱数  $u \sim \mathcal{U}(0, 1)$  を発生させる。

ステップ 4  $\rho$  の更新  $\rho^{(t)}$  を次式で決定する

$$\rho^{(t)} = \begin{cases} \rho^{new} & \text{if } u \leq \Psi(\rho^{(t-1)}, \rho^{new}) \\ \rho^{(t-1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.29)$$

### 3.4 事後分布に関する統計量

MCMC法によって得られた標本に基づいて、各パラメータ  $\beta, \rho, z$  に関する統計的性質を分析することができる。MCMC法を用いた場合、パラメータの事後確率密度関数  $\pi(\beta, \rho, z|\mathbf{y})$  を解析的な関数として表現不可能なため、サンプリングにより得られた標本を用いてノンパラメトリックに分布関数や密度関数を推計する。いま、ギブスサンプリングから得られた標本を  $(\beta^{(n)}, \rho^{(n)}, z^{(n)} : n = 1, \dots, \bar{n})$  と表す。この内、最初の  $\underline{n}$  個の標本は収束過程からの標本と考え、標本集合から除去する。その上で、パラメータの標本添字集合を  $\mathcal{M} = \{\underline{n} + 1, \dots, \bar{n}\}$  と定義する。この時、パラメータ  $\rho$  の事後平均  $\tilde{\mu}(\rho)$  及び事後分散  $\tilde{\sigma}^2(\rho)$  はそれぞれ以下のように表される。

$$\tilde{\mu}(\rho) = \sum_{k=\underline{n}+1}^{\bar{n}} \frac{\rho^{(k)}}{\bar{n} - \underline{n}} \quad \tilde{\sigma}^2(\rho) = \sum_{k=\underline{n}+1}^{\bar{n}} \frac{(\rho^{(k)} - \tilde{\mu}(\rho))^2}{\bar{n} - \underline{n}} \quad (3.30)$$

同様に、パラメータ  $\beta$  の期待値ベクトル  $\tilde{\mu}(\beta)$  および分散・共分散行列  $\tilde{\Sigma}(\beta)$  はそれぞれ

$$\tilde{\mu}(\beta) = \left( \sum_{k=\underline{n}+1}^{\bar{n}} \frac{\beta_1^{(k)}}{\bar{n} - \underline{n}}, \dots, \sum_{k=\underline{n}+1}^{\bar{n}} \frac{\beta_K^{(k)}}{\bar{n} - \underline{n}} \right)' \quad (3.31)$$

$$\tilde{\Sigma}(\beta) = \begin{pmatrix} \tilde{\sigma}^2(\beta_1) & \cdots & \tilde{\sigma}(\beta_1\beta_K) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\sigma}(\beta_K\beta_1) & \cdots & \tilde{\sigma}^2(\beta_K) \end{pmatrix} \quad (3.32)$$

と表される . ただし ,

$$\tilde{\sigma}^2(\beta_J) = \sum_{k=\underline{n}+1}^{\bar{n}} \frac{\{\beta_J^{(k)} - \tilde{\mu}(\beta_J)\}^2}{\bar{n} - \underline{n}} \quad (3.33)$$

$$\tilde{\sigma}(\beta_I \beta_J) = \sum_{k=\underline{n}+1}^{\bar{n}} \frac{\{\beta_I^{(k)} - \tilde{\mu}(\beta_I)\} \{\beta_J^{(k)} - \tilde{\mu}(\beta_J)\}}{\bar{n} - \underline{n}} \quad (3.34)$$

である . パラメータ  $z$  については上記のパラメータ  $\beta$  の場合と同様の手順でそれぞれ期待値ベクトル  $\tilde{\mu}(z)$  および分散・共分散行列  $\tilde{\Sigma}(z)$  が推計可能である .

次に , ギブスサンプリングによる標本を用いて各パラメータ  $\beta, \rho, z$  の信頼区間を定義できる . 例えば , パラメータ  $\rho$  の  $100(1 - 2\alpha)\%$  信頼区間は , 標本順序統計量  $(\underline{\rho}_\alpha, \bar{\rho}_\alpha)$

$$\underline{\rho}_\alpha = \arg \max_{\rho^{(k^*)}} \left\{ \frac{\#\{\rho^{(k)} \leq \rho^{(k^*)}, k \in \mathcal{M}\}}{\bar{n} - \underline{n}} \leq \alpha \right\} \quad (3.35)$$

$$\bar{\rho}_\alpha = \arg \min_{\rho^{(k^{**})}} \left\{ \frac{\#\{\rho^{(k)} \geq \rho^{(k^{**})}, k \in \mathcal{M}\}}{\bar{n} - \underline{n}} \leq \alpha \right\} \quad (3.36)$$

を用いて  $\underline{\rho} < \rho < \bar{\rho}$  と定義できる . ただし ,  $\#\{\rho^{(k)} \leq \rho^{(k^*)}, k \in \mathcal{M}\}$  は論理式  $(\rho^{(k)} \leq \rho^{(k^*)}, k \in \mathcal{M})$  が成立するサンプルの総数である .

MCMC 法では , 初期パラメータ  $(\beta^{(0)}, \rho^{(0)}, z^{(0)})$  が不変分布である事後分布からの標本である保証はない . いま , ギブスサンプリングを合計  $\bar{n}$  回繰り返した場合を考える .  $\bar{n}$  個のサンプルの内 , 最初の  $\underline{n}$  個の標本を事後分布に収束する過程からのサンプリングと考える . その上で , 第  $\underline{n}+1$  回以降の標本をとりあげる .  $\underline{n}+1$  以降の標本が , 不変分布である事後分布からの標本であるかどうかを Geweke の方法<sup>26)</sup>により仮説検定できる . いま , 各パラメータの確率標本  $(\beta^{(k)}, \rho^{(k)}, z^{(k)} : k = \underline{n}+1, \dots, \bar{n})$  の中から , 最初の  $n_1$  個と最後の  $n_2$  個のサンプルに着目する . この時 , パラメータ  $\rho$  の不変分布への収束を判断するための Geweke 検定統計量は ,

$$Z_\rho = \frac{\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2}{\sqrt{\nu_1(\rho)^2 + \nu_2(\rho)^2}} \sim \mathcal{N}(0, 1) \quad (3.37)$$

$$\bar{\rho}_1 = \frac{\sum_{k=\underline{n}+1}^{\underline{n}+n_1} \rho^{(k)}}{n_1} \quad \bar{\rho}_2 = \frac{\sum_{k=\bar{n}-n_2+1}^{\bar{n}} \rho^{(k)}}{n_2} \quad (3.38)$$

$$\nu_1(\rho)^2 = \frac{2\pi \hat{f}_\rho^1(0)}{n_1} \quad \nu_2(\rho)^2 = \frac{2\pi \hat{f}_\rho^1(0)}{n_2} \quad (3.39)$$

と定義できる . ただし ,  $f_\rho^i(x)$  ( $i = 1, 2$ ) はスペクトル密度関数であり ,  $2\pi f_\rho^i(0)$  の推定

値は

$$2\pi \hat{f}_\rho^i(0) = \hat{w}_0^i + 2 \sum_{s=1}^q w(s, q) \hat{w}_j^i \quad (3.40)$$

$$\hat{w}_j^1 = n_1^{-1} \sum_{g=\underline{n}+s+1}^{\underline{n}+n_1} (\rho^{(g)} - \bar{\rho}_1)(\rho^{(g-s)} - \bar{\rho}_1) \quad (3.41)$$

$$\hat{w}_j^2 = n_2^{-1} \sum_{g=\bar{n}-n_2+s+1}^{\bar{n}} (\rho^{(g)} - \bar{\rho}_2)(\rho^{(g-s)} - \bar{\rho}_2) \quad (3.42)$$

$$w(s, q) = 1 - \frac{s}{q+1} \quad (3.43)$$

として求まる。ただし，スペクトル密度関数のバンド幅  $q$  は標本自己相関が十分減衰する値に設定する。ここで，パラメータ  $\rho$  の不変分布への収束性に関する帰無仮説  $H_0(\rho)$  と対立仮説  $H_1(\rho)$  を

$$\begin{cases} H_0(\rho) : |Z_\rho| \leq z_{\alpha/2} \\ H_1(\rho) : |Z_\rho| > z_{\alpha/2} \end{cases} \quad (3.44)$$

と設定する。ただし， $z_{\alpha/2}$  は帰無仮説を棄却するための臨界的な値である。有意水準  $\alpha\%$  で帰無仮説を棄却する場合， $z_{\alpha/2}$  は  $\alpha/2\% = 1 - \Phi(z_{\alpha/2})$  を満足する値として定義できる。同様に，各パラメータ  $\beta, z$  に関しても，それぞれ Geweke 検定統計量を推計することにより仮説検定を行うことができる。

通常，プロビットモデルにおけるパラメーターの推計結果の分析においては，説明変数の値の変化に対応して被説明変数の実現値が生起する確率がどの程度変化するか，その変化量である限界効果に焦点が当てられる。そこで以下では，LeSage<sup>27)</sup>に従い空間プロビットモデルにおける限界効果を導出する。まず，式(3.8)における確率誤差項  $u$  の異質分散性を修正するために，分散・共分散行列  $E[uu']$  の対角要素を  $s_i^2 = \text{diag}_i E[uu']$  と表そう。ただし， $\text{diag}_i$  は分散・共分散行列  $E[uu']$  の第  $i$  番目の対角要素であることを意味する。さらに，基準化行列

$$Z^* = \begin{pmatrix} \frac{1}{s_1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{1}{s_2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \frac{1}{s_n} \end{pmatrix} \quad (3.45)$$

と定義すると，このとき  $z > 0$  は  $Z^*z > 0$  の場合と同値であり， $z \leq 0$  は  $Z^*z \leq 0$  の場合と同値となる。よって，家計  $i$  が自発的集合行為に参加する，すなわち  $y_i = 1$  と

なる確率は

$$P_r(y_i = 1) = \Phi([\mathbf{S}^{-1} \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}]_i / s_i) \quad (3.46)$$

と表せる。ただし,  $\Phi(\cdot)$  は標準正規分布の累積分布関数である。したがって, 上記の確率を説明変数  $x_{jk}$  で偏微分することにより, 空間プロビットモデルにおける限界効果は以下のように表される。

$$\frac{\partial P_r(y_i = 1)}{\partial x_{jk}} = \phi([\hat{\mathbf{S}}^{-1} \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}}]_i / \hat{s}_i) [\hat{\mathbf{S}}^{-1}]_{ij} \hat{\beta}_k / \hat{s}_i \quad (3.47)$$

ただし,  $\phi(\cdot)$  は標準正規分布の確率密度関数であり,  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$  はパラメータ  $\boldsymbol{\beta}$  の事後平均値ベクトルである。 $\hat{\mathbf{S}} = \mathbf{I}_n - \hat{\rho} \mathbf{W}$  はパラメータ  $\rho$  の事後平均値  $\hat{\rho}$  をもとに計算される行列であり,  $[\hat{\mathbf{S}}^{-1}]_{ij}$  は行列  $\hat{\mathbf{S}}^{-1}$  の  $i$  行  $j$  列成分を表している。以上より, 空間プロビットモデルにおいては, 家計  $j$  に関する説明変数  $x_{jk}$  の変化は家計  $j$  自身への直接効果 (Direct Effect: DE) と日常的な付き合い相手への間接効果 (Indirect Effect: IE) に分解されることが分かる。これらの合計を全体効果 (Total Effect: TE) と定義すれば,

$$TE_{jk} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_r(y_i = 1)}{\partial x_{jk}} \quad (3.48)$$

$$DE_{jk} = \frac{\partial P_r(y_j = 1)}{\partial x_{jk}} \quad (3.49)$$

$$IE_{jk} = TE_{jk} - DE_{jk} \quad (3.50)$$

と表すことができる。したがって, 上記の指標を全世帯について平均をとることにより, 各説明変数に関する限界効果の要約尺度として, 平均全体効果 (Average Total Effect: ATE), 平均直接効果 (Average Direct Effect: ADE), 平均間接効果 (Average Indirect Effect: AIE) を得る。

$$\begin{aligned} ATE_k &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n TE_{jk} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial P_r(y_i = 1)}{\partial x_{jk}} \end{aligned} \quad (3.51)$$

$$\begin{aligned} ADE_k &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n DE_{jk} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\partial P_r(y_j = 1)}{\partial x_{jk}} \end{aligned} \quad (3.52)$$

$$AIE_k = ATE_k - ADE_k \quad (3.53)$$

候補となるモデルが複数ある場合には，モデル選択の基準を用いて観測データに最もあてはまりのよいモデルを選択する必要がある．ベイズ推計においては一般的に周辺尤度<sup>28) 29)</sup>やベイズ・ファクターが用いられてきたが，近年ではSpiegelhalter et al. (2002)<sup>30)</sup>によって提案されたDIC (Deviance Information Criterion: 偏差情報量基準) が空間計量経済学などの分野で利用されはじめている<sup>27)</sup>．DICはモデルの当てはまりのよさとパラメータ数増加に伴うモデルの複雑さを同時に考慮した基準であり，MCMC推計で得られた確率標本を用いて計算が可能である．まず，表記の簡単化のためパラメータベクトル $\theta = (\beta, \rho)$ とおくと，モデルの当てはまりの悪さを表す指標であるベイズ偏差 (Bayesian deviance)  $D(\theta)$ は，以下のように定義される．

$$D(\theta) = -2\log f(\mathbf{y}|\theta) + 2\log h(\mathbf{y}) \quad (3.54)$$

ただし， $h(\mathbf{y})$ は $D(\theta)$ を基準化するための関数であり，通常は $h(\mathbf{y}) = 1$ と設定されモデル比較の段階においてはキャンセル・アウトされる．一般的にモデルの当てはまりがよいほど $f(\mathbf{y}|\theta)$ の値は大きくなり，したがって $D(\theta)$ の値は小さくなる．次にモデルの複雑さ $p_D$ は事後平均 $\theta^* = E_{\pi(\theta|\mathbf{y})}[\theta]$ を用いて

$$\begin{aligned} p_D &= E_{\pi(\theta|\mathbf{y})}[D(\theta)] - D(\theta^*) \\ &= \overline{D(\theta)} - D(\theta^*) \\ &= E_{\pi(\theta|\mathbf{y})}[-2\log f(\mathbf{y}|\theta)] + 2\log f(\mathbf{y}|\theta^*) \end{aligned} \quad (3.55)$$

と定義される． $p_D$ は有効パラメータ数 (effective number of parameters) と呼ばれ，事後平均 $\theta^*$ における当てはまりのよさ $D(\theta^*)$ に比べて $D(\theta)$ の事後平均 $\overline{D(\theta)}$ はどれくらい悪くなるのかを示している．以上より，DICは平均的な当てはまりの悪さとモデルの複雑さを両方考慮して

$$\begin{aligned} DIC &= \overline{D(\theta)} + p_D \\ &= -4E_{\pi(\theta|\mathbf{y})}[\log f(\mathbf{y}|\theta)] + 2\log f(\mathbf{y}|\theta^*) \end{aligned} \quad (3.56)$$

と定義され，DICの最も小さなモデルがよいモデルであると判断できる．本研究ではMCMC推計の際に完全データ尤度関数 $f(\mathbf{y}, \mathbf{z}|\theta)$ を用いているため，Celeux et al. (2006)<sup>31)</sup>の方法に従ってDICの値を求める．式(3.12)に着目すれば

$$\log f(\mathbf{y}, \mathbf{z}|\theta) = \log f(\mathbf{y}|\mathbf{z}, \theta) + \log \pi(\mathbf{z}|\theta)$$

$$= \log \pi(\mathbf{z}|\boldsymbol{\theta}) \quad (3.57)$$

となり, 潜在変数  $z$  をパラメータの一部とみなして  $z^* = E_{\pi(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{z}|\mathbf{y})}[z]$  とおくことにより, DIC は

$$DIC = -4E_{\pi(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{z}|\mathbf{y})}[\log \pi(\mathbf{z}|\boldsymbol{\theta})] + 2\log \pi(\mathbf{z}^*|\boldsymbol{\theta}^*) \quad (3.58)$$

と計算される .

## 第4章 インドネシアにおける実証分析

### 4.1 はじめに

2008年のアジア河川流域機関ネットワーク(NARBO)の報告<sup>32) 33)</sup>によると、アジア太平洋の約6億人がきれいな水を利用出来ていない。また、インド等の開発途上国における経済活動の拡大と人口増加に伴い、水需要の爆発的な増加が予想されている。このように水資源の稀少性が高まる中で、安全かつ安心な水の持続的な供給対策を模索することは最も緊急の課題である。各国ではインフラストラクチャの整備とサービス拡大を図り、多くの人々への水資源へのアクセスを保證できる水供給システムを模索しているが、政府の財源制約の下で水資源を適切かつ公平に供給することは非常に難しい。水資源リサイクルの高度化とともに水利用管理の協力的なガバナンスが必要である。そのための一つの方策として期待されるのが、住民参加型水供給システムである。

政府の水供給インフラストラクチャ整備とサービス拡大のための努力が現在の水資源への需要に追いついていない状況において、多くの人々へ水資源へのアクセスを保證するための一つの補完的方策としての住民参加型水供給システムの役割は極めて重要である。インドネシアの統計局<sup>34)</sup>によると、2007年度の約2.3億人の人口に対して49.7%の人が水資源へのアクセスが可能であり、その内、39.7%の人々はPDAMと呼ばれる政府の水供給サービスから、残りの10%の人々はHIPPAMと呼ばれる住民参加型水供給システムから水を供給されている。政府による水供給率は増加しているものの、未だ50%以上の人々が水供給を井戸や川に依存している状況であり、その多くは水資源の近くに居住しているが水資源へのアクセス技術や経済的な負担能力が乏しい貧困層である。住民参加型水供給システムは、住民が水資源へのアクセス技術や管理方法を自ら開発したものであり、より低いコストでより多くの人に、特に貧困層に水を供給することができると期待される。住民参加型水供給システムを適切に維持管理するためには住民による多様な協力関係が成立している必要があり、日常的なコミュニケーションは問題意識の共有、知識や情報の伝達など、水資源の協働生産・消費に重要な役割を果

たす。しかしながら、円滑なコミュニケーションが行われず住民や他の利害関係者との間で正当な関係が成り立たない場合、または住民が当該地域資源である水資源や他の利害関係者に対する十分な知識を持たない場合、住民参加型水供給システムに対する協力的な参加が得られず、水資源を公平かつ適切に供給や維持管理することが困難となり、地域住民の生活水準が悪化してしまう恐れがある。このように、公共財の自発的な供給問題が生じるため、住民参加型水供給システムによる水供給は、水の安全・維持管理の継続性についての不確実性が高い。住民参加型水供給システムを円滑に機能させるための協力的ガバナンス構造を理解するためには、地域住民の社会的ネットワークを把握して日常的な交流と協働生産との関係を分析することにより、なぜ住民が住民参加型水供給システムへ参加・協力するのかを明らかにする必要がある。

以上の問題意識の下に、本章では、インドネシアにおける住民参加型水供給システム(以下、HIPPAMと呼ぶ)を対象として、HIPPAMによる水供給の現状と公共財の自発的な供給問題に関する実態を分析することを目的とする。その際、世帯がなぜHIPPAMへ参加するのかを明らかにするために、空間計量経済学の分野で利用される空間プロビットモデルに基づいた自発的集合行為モデルを用いて、住民間での人的交流がHIPPAMへの参加行為に及ぼす影響について分析する。以下、4.2でインドネシアにおける実態調査の概要について述べる。4.3では、実態調査結果をもとに対象地域における水供給システムの利用状況を整理し、続く4.4でコミュニティ・ネットワークの現状について言及する。4.5では、自発的集合行為モデルの分析結果に関する考察を行う。

## 4.2 インドネシアにおける水利用の実態

### 4.2.1 実態調査の概要

本研究に先立ち、インドネシア・ジャワ島を対象として、水利用の実態と地域における固有な文化・地域環境・生活様式との関係を把握するために「水供給システムとソーシャル・キャピタルに関する実態調査」を実施した。対象地域はジャワ島東部・Malang県、Singosari地域のToyomarto村、Candi Renggo村であり、その地図を図-4.1、4.2、4.3に示した。本実態調査は、京都大学工学研究科都市社会工学専攻小林潔司研究室およびインドネシア・ブラウィジャヤ大学が主体となって2008年

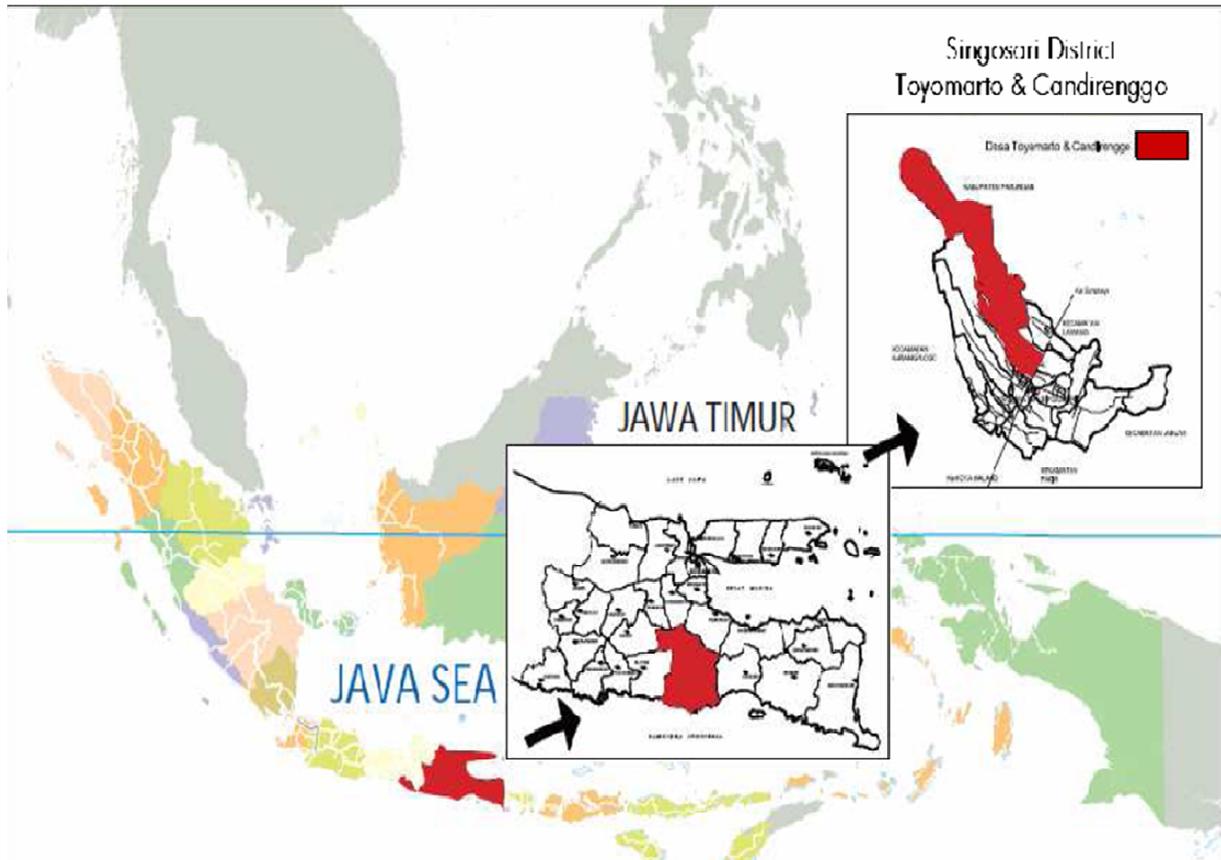


図-4.1 調査対象地域の地図

12月の本調査そしてデータの補完を目的とした2010年2月の追加調査を合わせて計2回実施し、各調査ではブラウイジャヤ大学の学生計20人が調査員として対象地域の居住世帯を訪問しヒアリング調査を行った。実態調査は、Toyomarto村のSumberawanコミュニティ、Ngujungコミュニティ、Glatikコミュニティ、またCandi Renggo村ではRW6コミュニティ、RW8コミュニティそしてRW12コミュニティを対象に、居住世帯を抽出し調査を実施した。各地区での調査世帯数は、Toyomarto村のSumberawaコミュニティでは104世帯、Ngujungコミュニティでは65世帯、Glatikコミュニティでは81世帯、またCandi Renggo村ではRW6、RW8、RW12コミュニティでそれぞれ74世帯、76世帯、100世帯の各村250世帯、合計で500世帯となっている。このうち有効回答サンプル数は498である。アンケート調査では、家族構成・収入などの世帯属性、水供給の現状、コミュニティネットワークなど広範囲の質問項目(表-4.1参照)にわたり情報を収集している。

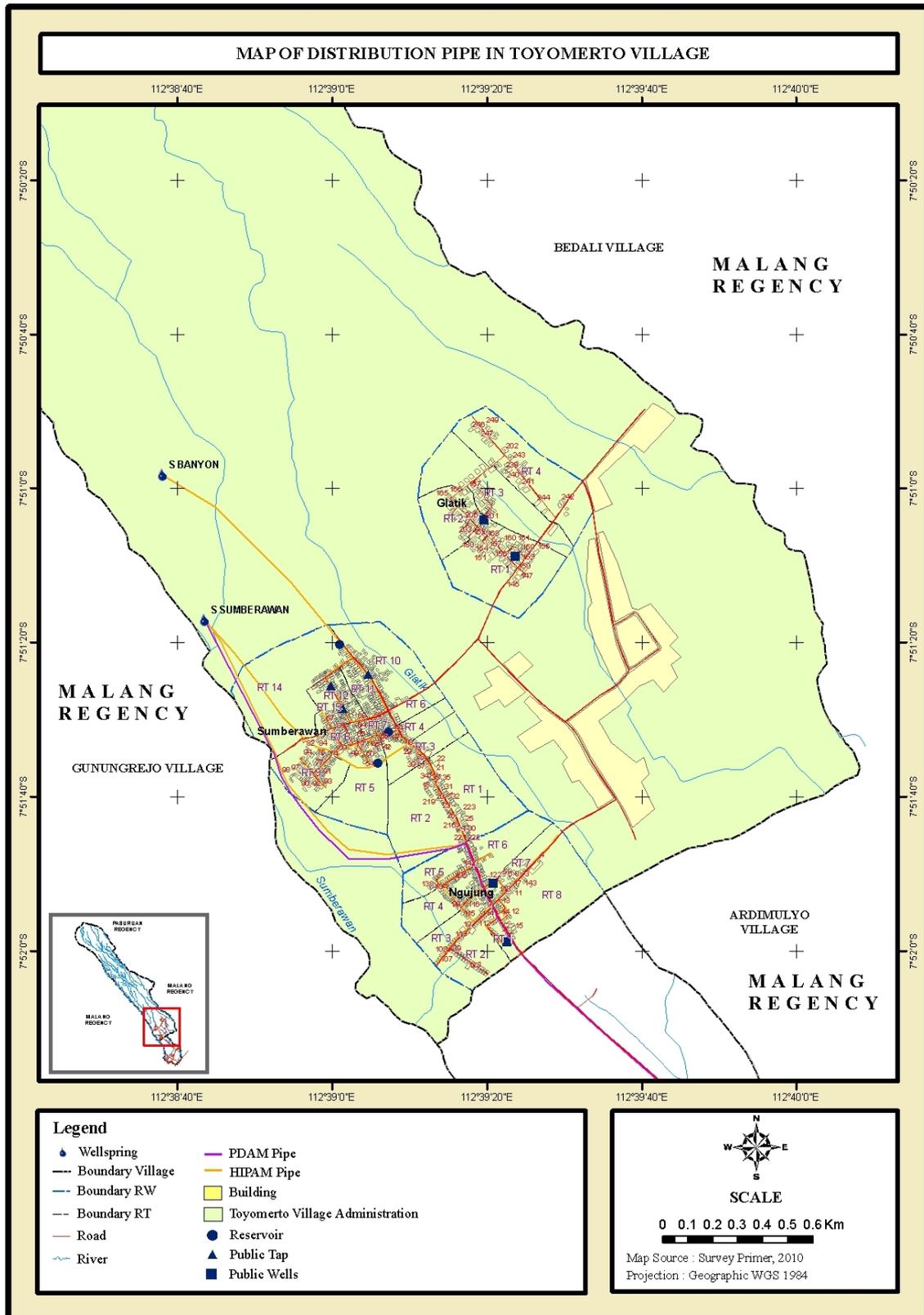


図-4.2 Toyomarto 村の地図

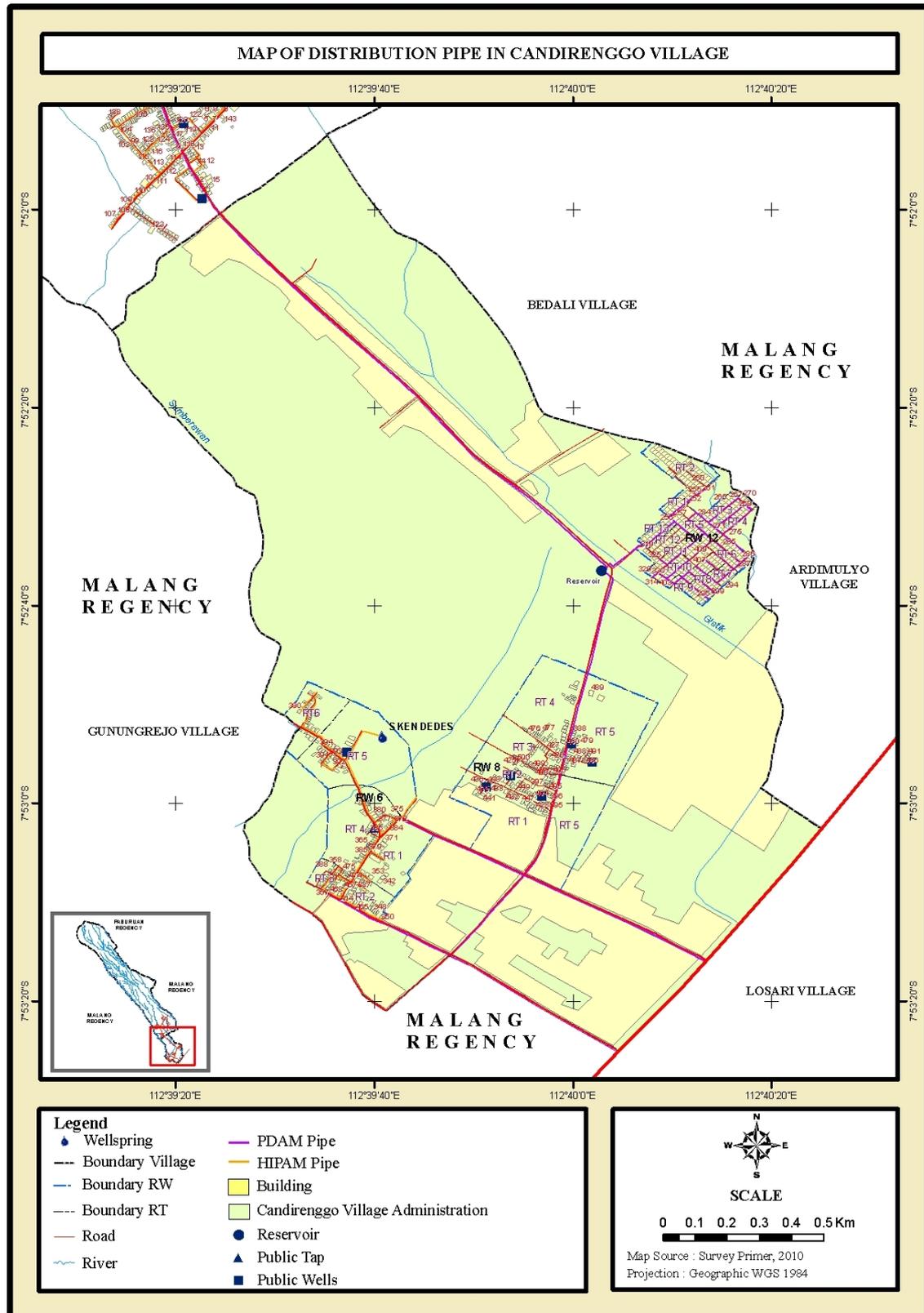


図-4.3 Candi Renggo 村の地図

表-4.1 アンケート調査項目

質問項目	質問内容
世帯属性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世帯代表者及び構成員の性別, 年齢, 学歴, 職業</li> <li>・世帯代表者の収入, 勤務地, 勤務先への移動手段及び移動時間</li> </ul>
水供給の現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コミュニティ内での水利用に関するルール</li> <li>・コミュニティ内での水利用に関する問題が発生した場合の解決方法</li> </ul>
コミュニティネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・所属しているコミュニティグループ</li> <li>・コミュニティ内での信頼関係</li> </ul>

#### 4.2.2 水供給システムの分類

調査対象地域には5種類の水供給システムが存在する。1つ目はコミュニティ内に居住する住民が自発的に開発・共同管理するコミュニティ参加型水供給システムであり, HIPPAMと呼ばれる。このHIPPAMは調査対象地域における42%の世帯に対する水供給源として機能している。2つ目はPDAMと呼ばれる政府による水供給システムであり, 22%の世帯が所属している。これらのHIPPAMおよびPDAMは, 他者の水消費量が自己の水消費量に影響を及ぼさないという非競合性, そして所属メンバーのみ水利用の権利を得るが非所属メンバーは水利用を許されない排除性という特徴を持ち合わせているため, クラブ財に分類される。PDAMは地方政府によって運営されており, その管轄地区内に居住する人々に対して公的な立場から水供給を行うことを目的としている。しかしながら, 限られた財源制約の下で年々増加する水供給の運営コストは大きな負担となっており, 非効率な運営方法も問題となっている。また, その水供給エリアは主に都市部に限られている。したがって地方部においては, HIPPAMが多くの人々への水供給源として重要な役割を果たすと考えられており, 住民達によって主体的に運営されているため効率的で安価な水供給が行えると期待されている。3つ目の水供給システムであるIndividual Wellは, 自己消費を目的として世帯が自らの手で居住地内に敷設するため私的財に分類される水供給システムであり, 対象地域の23%の世帯が

表-4.2 水供給システムの分類 N=498

	Toyomarto			Candi Renggo			合計
	Sumberawan	Ngujung	Glatik	RW6	RW8	RW12	
HIPPAM	100	46	-	69	-	-	215
PDAM	-	18	-	1	1	91	111
Individual Well	-	-	43	1	57	9	110
Public Hydrant	-	-	38	3	17	-	58
Others	4	-	-	-	-	-	4
合計	104	64	81	74	75	100	498

利用している。次に、4つ目の水供給システムであるPublic Hydrantは12%の世帯に利用されている。このPublic Hydrantは地域住民への公共用井戸として、HIPPAMあるいはIndividual Wellの所有者によって設立された水供給システムであり、水道管を居住地まで直接敷設することが困難な世帯やHIPPAMに所属していない世帯へ水供給を行うことを目的としている。最後に5つ目のOthersは、川や雨水など上記の水供給システム以外で構成され、全世帯の内1%が利用している。表-4.2は質問回答世帯と水供給システムとの関係を示している。

今回の実態調査では計6つのコミュニティを対象にアンケート調査を行った。その結果、各コミュニティの歴史的背景はそれぞれ異なり、その事実が水供給システムの利用状況についての各コミュニティの違いに結びついていることが分かった。まず、Toyomarto村では90年代前半、インドネシア軍の社会貢献活動の一環としてToyomarto村北部の湧水からNgujungコミュニティまで水道管が敷設されて公共の水栓が誕生した。その後Ngujungコミュニティの住民たちは公共用水栓から各家庭まで水道管を延長し、協同で水供給を維持管理するための組織が形成され、HIPPAMへと発展した。Ngujungコミュニティにおけるこれら一連の出来事に触発される形で、1994年、数人のリーダーが起点となりSumberawanコミュニティにおいてもHIPPAMが形成された。一方で、Glatikコミュニティは海拔約1000mに位置するために水道管を通じた重力式の水供給が困難な地域である。そこで、Glatikコミュニティでは井戸を通じた水供給が行われてきた。

次に、Candi Renggo村では1984年にPDAMによって貯水池が建設され、その貯水池から各家庭への水道管を通じた水供給がRW6コミュニティおよびRW8コミュニティで始まった。また、RW12はインドネシア軍への所属世帯のための居住地として1989年に新たに整備された地区であり、その建設の際にPDAMによる水道管が敷設された。このように、Candi Renggo村ではPDAMによって住民への水供給が進められてきた。しかしながら、稲作が盛んなRW6コミュニティでは農業用水の需要増加をPDAMによる水供給で対応できなくなり、1998年に主に農家が中心となり、農業用水の確保を目的としてHIPPAMが形成された。

上記で述べたように、各コミュニティは歴史的・地理的に異なる特性を有している。表-4.2で示されている各コミュニティでの水供給システムの利用状況の違いは、これらの背景からの帰結として理解することができる。

#### 4.2.3 世帯属性の集計結果

以下では、アンケート調査結果に基づき、回答世帯の平均的な属性についてとりまとめておく。世帯主の性別については、71%が男性となっている。世帯主の平均年齢は47才であり、最小値および最大値はそれぞれ22才、90才である。また、生産年齢人口である15-65才には回答者の90%が該当する。平均世帯人員数は3.92人であり、最小値および最大値はそれぞれ2人と7人である。次に、世帯主の職業構成についてはアンケート回答結果より以下の4項目に分類できる。

- 農業 (Breeder, Field Hand, Peasant)
- 製造業 (Entrepreneur)
- サービス業 (Driver, Labor, Merchant, Military/Police, Official, Teacher, Priest, Private, Housewife)
- 無職 (Unemployment, Retiree)

有効回答数453人のうち、59%がサービス業に従事しており、残りは農業(20%)、製造業(13%)および無職(8%)となっている。世帯主の最終学歴に関しては、小学校が44%で最も多く、中学校(27%)、高校(23%)そして大学以上(7%)と続く。世帯の平均月収に関しては、IDR(インドネシア・ルピア)ベースでIDR500,000~IDR1,000,000に属する世帯が38%と最も多く、IDR1,000,000以下の世帯全体では計64%に上る。一方でインドネシア・Malang県統計局<sup>34)</sup>によると、Malang県の月当たり標準最低賃

金はIDR945,500である。したがって、アンケート対象集落には比較的多くの貧困層が居住しているといえる。最後に、世帯代表者の対象地域における平均居住年数は25.85年であり、最小値および最大値はそれぞれは0.01年と85年である。なお、各世帯属性の詳細に関しては付録Aを参照されたい。

#### 4.2.4 コミュニティ・ネットワーク

本研究では、日常における住民間の交流関係の深さが水供給システムの選択行動に影響を及ぼすという仮説を検証するために、コミュニティ内における人的ネットワークを把握する必要がある。そこで、アンケート調査にコミュニティネットワークに関する項目を加え、対象地域に存在するコミュニティグループへの所属状況や参加頻度等を調査した。調査の手順は以下のとおりである。まず本調査に先立ち、各コミュニティに存在するコミュニティグループを把握するために事前調査を実施し、その結果下記に示す計15種のコミュニティグループが存在することが分かった。

(1)Religious, (2)Cultural/Social, (3)PDAM, (4)HIPAM, (5)HIPPA, (6)Ethnic, (7)Community Organization, (8)Finance, (9)Production, (10)Union (labor/trade), (11)Political Party, (12)Professional Association, (13)Business Association, (14)Social Movement (15)Others

そして本調査では、これら15種のコミュニティ活動への所属状況や参加頻度、重要度等を各世帯代表者からヒアリングした。コミュニティグループへの参加状況を各コミュニティ別に集計した結果を付録Bにまとめている。全体的な傾向として参加世帯の数が比較的多いのは、(1)Religiousグループ、(2)Cultural/Socialグループ、(7)Community Organizationグループ、そして(8)Financeグループとなっている。

(1)Religiousグループは参加者のイスラム教に対する理解を深めることを目的としており、週1回のコーラン暗唱集会および非定期的特別会合等を行う。一般的にグループは代表者と書記そして会計係から構成され、これら各役職はグループメンバーからの信任で選出される。グループ内には固有の規範やルールが形成されており、活動内容や活動場所等を規定している。

(2)Cultural/Socialグループはメンバーが参加費を支払って抽選を行う活動であり、社会的な交流のみならず経済的な便益を得ることを目的としている。グループ

参加者は毎月開かれる抽選会にて参加費を支払って抽選を行い、当選者が賞金を獲得する。一度当選したメンバーは次回以降の抽選会にて当選候補から除外され、全メンバーが当選者となるまで抽選会は続けられる。Cultural/Socialグループは20~30人程度のメンバーで構成されるため、一般的に活動は2~3年間続く。活動の初期に当選したメンバーほど受ける便益が多く、当選時期が遅いメンバーほど便益は少なくなる仕組みであり、グループ内には強固な規範がルールが必要とされる。したがってReligiousグループの場合と同様に、代表者や会計係等の役職が配置されている。

(7)Community Organizationグループはインドネシアにおける協同組合であり、組織に固有の価値基準や原則を定めている。対象地域では主に農業協同組合やサンダル製造業組合が存在しており、組合員に対して肥料や殺虫剤の提供等のサービスを提供している。

(8)Financeグループはマイクロクレジットを行う組織であり、グループメンバーやコミュニティ内に居住する非メンバーに対して小額融資サービスを行う。融資額や利子率等はメンバー間で決定されており、そこには第三者からの干渉は存在しない。グループの代表者や会計係等はメンバーによる投票で選任される。

## 4.3 分析のための変数設定

### 4.3.1 サンプルサイズ

本研究では、HIPPAMへの世帯の参加行動を分析するために、HIPPAMに所属している世帯が存在する対象地区を選択してサンプルサイズを確定する必要がある。したがって、表-4.2に示されているように、モデルの推定の際にはToyomarto村のSumberawanコミュニティ、Ngujungコミュニティ、そしてCandi Renggo村のRW6コミュニティに着目して議論を進めることとする。これらのコミュニティに居住する世帯の中には、Individual Well等の水供給システムを利用している世帯が少数ながら存在する。しかし地理データの分析から彼らは居住場所などの物理的理由から止むを得ずIndividual Well等を利用しており、水供給システムの選択行動を適切に行っているとは考えられないため分析対象からは除外した。そして残りのHIPPAMあるいはPDAMの利用世帯に関しては、各世帯からHIPPAM及びPDAMの主水道管への距離分析から、これらの世帯はどちらの水供給システムに所属するか選択が

表-4.3 分析に用いるサンプル N=234

	Toyomarto		Candi Renggo	合計
	Sumberawan	Ngujung	RW6	
HIPPAM	100	46	69	215
PDAM	-	18	1	19
合計	100	64	70	234

可能であると判断できる。よって本研究では表-4.3に示すように分析に用いるサンプル(N=234)を確定し、これらのサンプルは水供給システムの選択行動が可能であると判断する。したがって、第3章で定式化した自発的集合行為モデルの被説明変数  $y = (y_i : i = 1, \dots, n)'$  を以下のように定義する。

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{世帯 } i \text{ が HIPPAM に所属する} \\ 0 & \text{世帯 } i \text{ が PDAM に所属する} \end{cases} \quad (4.1)$$

#### 4.3.2 説明変数

アンケート調査では表-4.1に示す調査項目により世帯の属性を調査している。これらの属性変数の組み合わせに対してモデルの推計精度(95%信頼区間)、および符号条件を考慮して、最終的に水供給システム選択モデルでとりあげる説明変数を決定した。これらの属性変数のうち、学歴ダミーおよび居住年数が採用された。学歴ダミーは、世帯主の最終学歴が小学校以下の場合に1の値をとるダミー変数である。また、居住年数は世帯主の対象地域における居住年数(年)である。これらの説明変数の統計量を表-4.4に、また水供給システム選択タイプとのクロス分析結果を図-4.4,4.5に示している。図-4.4からは、学歴の低い世帯ほどHIPPAMに参加する傾向がある様子が見て取れる。したがって学歴ダミーの符号条件は正であり、またカイ二乗検定を行った結果、有意水準5%で有意差があると判断された。次に居住年数に関しては、HIPPAMメンバーの平均居住年数29.52年に対してPDAMメンバーの平均居住年数は25.63年であり、居住年数が長くコミュニティにより溶け込んでいる世帯ほどHIPPAMに参加する傾向があると推測され

表-4.4 説明変数の統計量

変数名	HIPAM ( $y = 1$ )				PDAM ( $y = 0$ )			
	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差
学歴ダミー	1.00	0.00	0.47	0.50	1.00	0.00	0.21	0.42
居住年数	85.00	0.01	29.52	18.51	50.00	5.00	25.63	13.44

表-4.5 重み行列によるモデルの分類

モデル名	区分	内容
$W_{geo}$	地理的距離	世帯間距離の逆数
$W_{com}$	心理的距離	Religiousグループ, Cultural/Socialグループ, Community Organizationグループ, Financeグループ
$W_{com1}$	心理的距離	Religiousグループ
$W_{com2}$	心理的距離	Cultural/Socialグループ
$W_{com3}$	心理的距離	Community Organizationグループ
$W_{com4}$	心理的距離	Financeグループ

る。したがって符号条件は正であるといえる。

### 4.3.3 重み行列

空間計量経済モデルの分析においては重み行列の設定が非常に重要となる。本研究では、日常的な付き合い相手の存在が水供給システムへの自発的な参加に影響を及ぼすという仮説を検証するために、コミュニティ内での人的ネットワークに関するデータを用いて重み行列を定義する。日常的な付き合い相手からの影響の大きさはお付き合いの程度に依存すると考えられるため、交流を行う世帯間の距離を定義する必要がある。そこで本研究では、地理データから導かれる(1)地理的距離およびアンケート調査結果から導出できる(2)心理的距離を用いる。

(1)地理的距離は各世帯間の距離で定義される距離であり、地理的距離が近い世帯同士では円滑なコミュニケーションが行われる可能性が高い。すなわち、近

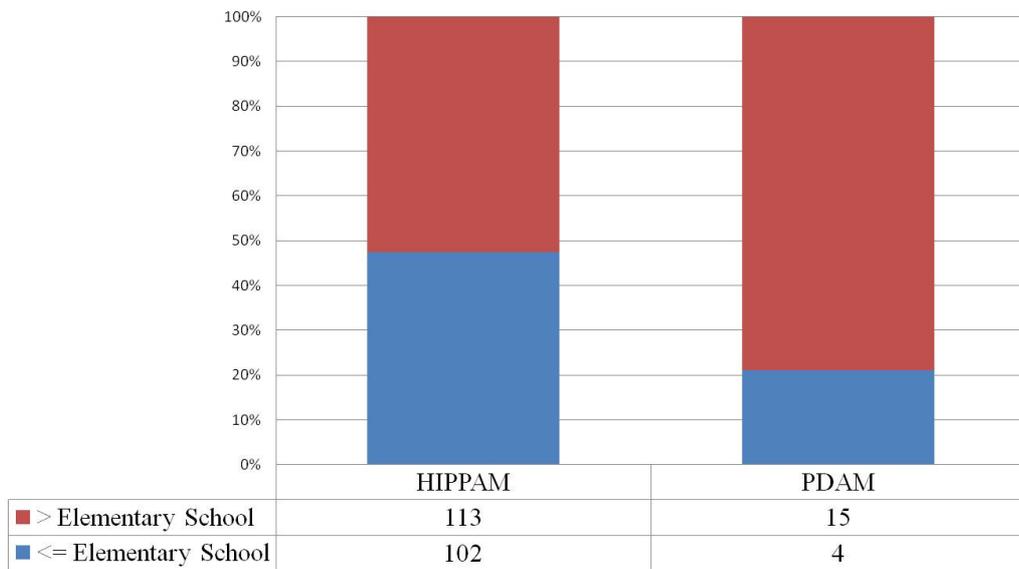


図-4.4 クロス集計(学歴ダミー)

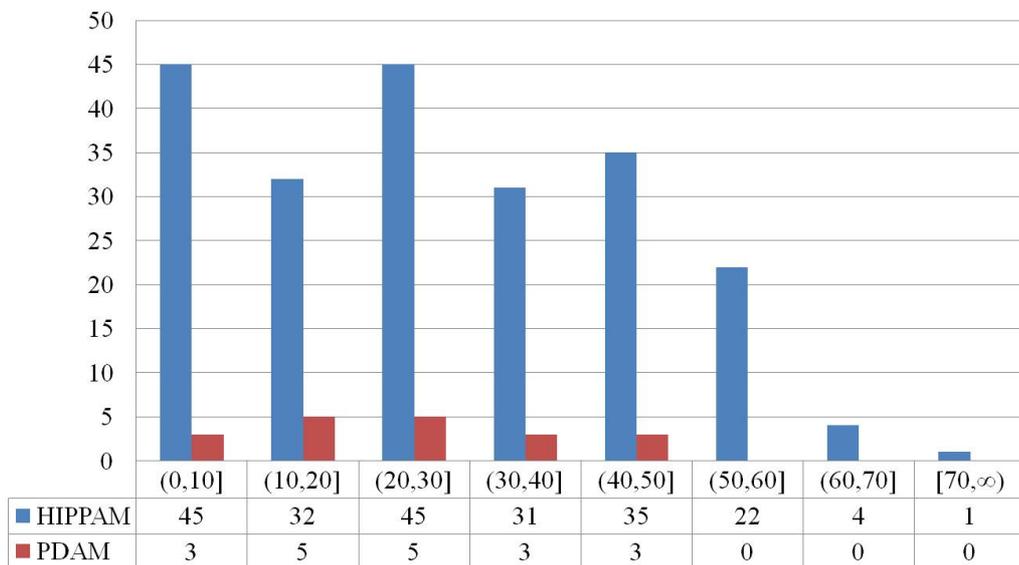


図-4.5 クロス集計(居住年数)

所の世帯とは日常的に接触する機会が多く交流が活発であると想定され, コミュニケーションを通じた問題意識の共有や情報の伝達は水供給システムの選択行動に重要な役割を果たしていると考えられる. この地理的距離を用いた重み行列の  $i$  行  $j$  列の要素  $w_{ij}$  は以下のように定義される.

$$\text{地理的距離モデル } W_{\text{geo}} : w_{ij} = 1/d(i, j) \quad (4.2)$$

ただし,  $d(i, j)$  は世帯  $i$  と  $j$  の地理的距離を表す.

次に(2)心理的距離は, 各世帯のコミュニティグループへの参加状況に関するデータを用いて計算する. すなわち, 同じコミュニティグループに参加している場合にはグループ活動を通じてコミュニケーションを行い, その過程を通じて信頼関係や共通の価値観が形成され, 世帯の水供給選択行動に対して潜在的に影響を及ぼす. また, 共通に参加するコミュニティグループの数が多いほど付き合い相手からの影響は大きいと考える. したがって, 対象地域に存在するコミュニティグループの中でも比較的参加者数の多いグループ1 (Religious), グループ2 (Cultural/Social), グループ3 (Community Organization), グループ4 (Finance) に着目し, 以下のように心理的距離に関する重み行列を作成する. まず2値変数  $\nu_{ij}$  をクロネッカーのデルタ  $\delta_{ij}(\cdot)$  を用いて

$$\nu_{ij} = \delta_{ij}(\text{世帯 } i \text{ がグループ } j \text{ に参加する場合}) \quad (4.3)$$

とおけば, 世帯  $i$  のコミュニティグループへの所属ベクトル  $\nu_i = (\nu_{i1}, \nu_{i2}, \nu_{i3}, \nu_{i4})'$  が定義できる. この世帯  $i$  の所属ベクトル  $\nu_i$  を用いて心理的距離による重み行列の  $i$  行  $j$  列の要素  $w_{ij}$  を以下のように定義する.

$$\text{心理的距離モデル } W_{\text{com}} : w_{ij} = \frac{\nu_i' \cdot \nu_j}{|\nu_i| \cdot |\nu_j|} \quad (4.4)$$

同様にして, 各コミュニティグループのみに着目した場合の重み行列を以下のように設定する.

$$\begin{aligned} \text{心理的距離 (Religious) モデル } W_{\text{com1}} : w_{ij} &= \nu_{i1} \cdot \nu_{j1} \\ \text{心理的距離 (Cul./Soc.) モデル } W_{\text{com2}} : w_{ij} &= \nu_{i2} \cdot \nu_{j2} \\ \text{心理的距離 (Com.Org.) モデル } W_{\text{com3}} : w_{ij} &= \nu_{i3} \cdot \nu_{j3} \\ \text{心理的距離 (Finance) モデル } W_{\text{com4}} : w_{ij} &= \nu_{i4} \cdot \nu_{j4} \end{aligned} \quad (4.5)$$

表-4.6 推計結果

変数名		$W_{geo}$	$W_{com}$	$W_{com1}$	$W_{com2}$	$W_{com3}$	$W_{com4}$
定数項	事後平均	-0.155	0.481*	0.624**	1.127**	1.134**	1.123**
	Geweke	1.448	0.949	0.085	1.438	0.373	0.366
学歴ダミー	事後平均	0.645*	0.606**	0.602**	0.602**	0.581**	0.594**
	Geweke	0.069	0.299	0.051	0.086	0.814	0.917
居住年数	事後平均	0.004	-0.0002	-0.0002	0.002	0.002	0.003
	Geweke	0.004	0.534	0.171	0.590	0.552	0.223
$\rho$	事後平均	0.863**	0.607**	0.511**	0.074	0.085	0.081
	Geweke	1.419	0.737	0.192	0.308	1.001	1.802

なお、これらのモデルのパターンを表-4.5にまとめている。以上の議論においては日常的な交流の範囲を各コミュニティ内と想定している。すなわち、同じコミュニティ内に居住する世帯間のみでコミュニケーションが行われると考える。

#### 4.4 推計結果および考察

自発的集合行為モデルの推定結果を表-4.6に示している。推計の際には、事前分布のハイパーパラメータを  $c = \mathbf{0}_K, T = 100I_K$  と設定し、サンプリングの際には最初の  $n = 2000$  個を初期値に依存する稼働検査期間として棄てた後 10000 個の標本を発生させ、これらの標本を用いて事後分布に関する分析を行った。表-4.6の各変数に関する事後平均値については、90%信頼区間に0の値を含まない場合には各値の右肩に「\*」を、95%信頼区間に0の値を含まない場合には「\*\*」を付記した。

推計結果の分析は主に3つの事柄に焦点を絞ることができる。すなわち、空間相関の程度を示すパラメータ  $\rho$ 、係数ベクトル  $\beta$ 、そしてモデル比較である。まず、パラメータ  $\rho$  に関しては表-4.6から明らかなように、いずれのモデルにおいても推計値は正となっている。しかしながら、95%信頼区間に0の値を含まないモデルは  $W_{geo}, W_{com}, W_{com1}$  のみであり、その他のモデルに関してはパラメータ  $\rho$  の推計値が有意とならず日常的な交流の影響の存在を確認することが出来なかった。つまり、Cultural/Socialグループ、Community Organizationグループ、Financeグループそ

れぞれ単独のデータを用いて重み行列を作成したモデルでは、各グループへの参加者数は少ないこともあり、グループ活動を通じた日常的なコミュニケーションが水供給選択行動へ影響を及ぼしているとは言えなかった。一方で、地理的距離およびReligiousグループに着目したモデルではパラメータ $\rho$ の有意な推計値を得ることができ、日常的な交流相手は水供給選択行動に重要な役割を果たしていると言える。これらの $W_{geo}$ ,  $W_{com}$ ,  $W_{com1}$ モデルでは、いずれもパラメータ $\rho$ のGeweke検定統計量は1.96を下回っており、パラメータ $\rho$ の事後分布は不変分布へと上手く収束しサンプリングは安定的に推移したことが確認できる。

次に、各係数の推計値に関して考察する。まず、居住年数の推計値はいずれのモデルにおいても90%信頼区間に0の値を含んでおり有意な結果を得ることが出来なかった。事前のクロス集計においては居住年数と水供給選択行動との関係が示唆されていたが、推計結果は有意とはならず今回用いたデータでは十分な情報量を有していなかったと言える。学歴ダミーについてはいずれのモデルにおいても有意な推計値を得ることができ、またGeweke検定統計量からは事後分布が不変分布へと上手く収束している様子が確認できる。事後平均値は正の値であり、最終学歴が低い世帯主ほどHIPAMに参加する傾向があると言える。これは、最終学歴が低い人は低収入に陥りやすく、それゆえ使用料金が比較的低いHIPAMへ参加するのではないかと考えられる。

最後に、モデルの適合度の基準を用いることにより、異なる重み行列の構造を有するモデル間でどのモデルが最もふさわしいか考察する。プロビットモデル等の質的選択を分析するモデルにおいては、観測値と予測値によるクロス表に基づいて計算されるモデル推計精度が一般的に適用される。しかしながら観測データにおいて、被説明変数を規定する2つの項目に属するサンプル数のアンバランスさが顕著な場合は、この指標はモデル適合度の基準として不適切なことが知られておりモデル比較は困難となる。そこで本研究では、近年ベイズ推計の分野で開発されたDIC(偏差情報量基準)を用いてモデルの比較を行う。ベイズ推計においては一般にモデル比較の基準には周辺尤度やベイズ・ファクター等が用いられてきたが、近年、モデルの当てはまりの良さとモデルの複雑さのトレード・オフを考慮可能なDICの適用例が増えている。DICはその値が小さいほどモデルはデータに適合していると評価され、モデル間でDICの値の差が7~10程度あれば、DICの値が小さいモデルは値の大きなモデルに対して有意に優れている

表-4.7 モデル比較結果

変数名	$W_{geo}$	$W_{com}$	$W_{com1}$
$\overline{D(\theta)}$	479.212	494.556	497.488
$D(\theta^*)$	673.698	668.619	668.841
$p_D$	194.486	174.063	171.353
$DIC$	868.184	842.682	840.195

と言える。表-4.7は、空間相関パラメータ $\rho$ が有意に正と推計された $W_{geo}$ ,  $W_{com}$ ,  $W_{com1}$ におけるDICの推計結果を示している。地理的距離を用いて推計した $W_{geo}$ モデルに対して、心理的距離を考慮した $W_{com}$ ,  $W_{com1}$ モデルの各DICの値はより小さく、その差異は26~28程度である。したがって本研究の推計結果からは、地理的距離を用いた $W_{geo}$ モデルよりも心理的距離を用いた $W_{com}$ ,  $W_{com1}$ モデルの方が観測データに適合していると判断することができる。すなわち、対象地域で観測された水供給システム選択行動には日常的な交流を通じたコミュニケーションが影響を及ぼしているが、その人的ネットワークの構造は、地理的距離により規定されるネットワークよりもコミュニティグループ活動を通じて形成される参加者間のネットワークの方がより適切に表現できると言える。また、 $W_{com}$ ,  $W_{com1}$ モデルのDICの値の差異は有意とは言えないが、 $W_{com1}$ モデルの方がより小さな値となっている。これは、モデルの複雑さを表す $p_D$ の値の差異に起因していることが確認できる。つまり、 $W_{com}$ モデルでは全4種のコミュニティグループを使用しているため重み行列は密な構造となり、モデルの複雑さの点でペナルティを受ける結果となった。

#### 4.5 おわりに

本章では、第3章において定式化した自発的集合行為モデルをインドネシア・ジャワ島での実態調査から得られたデータに適用し実証分析を行った。対象地域にはコミュニティによって運営・維持管理されるHIPPAMとよばれる水供給システムが存在しており、その適切なマネジメントにはメンバー間の相互信頼や価値観の共有が不可欠である。そこで、HIPPAMへの参加行動には日常的な交流相手

とのコミュニケーションが重要な役割を果たしている」と想定し、地理的距離および心理的距離によって規定される2つのパターンの重み行列を設定して自発的集合行為モデルによる分析を行った。その結果、水供給システム選択行動には日常的な交流相手とのコミュニケーションを通じた情報や知識の伝達が大きな役割を果たしていることが分かった。またモデル比較により明らかになったように、地理的距離に基づいた人的ネットワークよりもコミュニティグループ参加を通じて構築される人的ネットワークに基づいた日常的な交流の方が、対象地域に存在する人的ネットワークをより適切に表現している様子が確認できた。したがって世帯のHIPAMへの参加行動を促進し、住民参加型水供給システムの適切なガバナンスを目指すためには、地域内での人的ネットワーク構築を促進する政策、とくにコミュニティグループ活動を通じてメンバー間の相互信頼や情報の共有を促進し、互いの心理的距離を近づける政策が有効であると考えられる。

本章での実証分析においては、対象地域を構成する各コミュニティの特徴を考慮せずにまとめて推計しており、空間相関パラメータ $\rho$ の空間異質性を考慮しなかった。しかしながら、リーダーシップの存在の有無などの人的ネットワーク構造や水供給システムの運営状況などは各コミュニティによって異なるのは言うまでもない。したがって本研究の今後の方向性として、更なる実態調査を実施してデータの拡充を図り、各コミュニティごとにモデル推計を行いパラメータ $\rho$ の推計値を比較する必要がある。さらには、パラメータ $\rho$ の空間異質性を扱うモデルを構築し、より対象地域の実態に合致したモデルを用いて分析を進めることが望まれる。

## 第5章 終論

本研究は、多数の人々によって集合的に生産・消費される集合財を研究対象とし、集合的活動に付随するフリーライド問題の解決策としてソーシャル・キャピタルに着目した。そして、日常的な交流におけるコミュニケーションは、価値観や問題意識の共有、知識と情報の伝達など、集合的活動を適切にマネジメントする上で非常に大きな意味を持つことを、集合的活動に関する既存理論の整理から明らかにした。一方で、ソーシャル・キャピタルと集合的活動の関係を扱う既存の研究は、そのメカニズムを説明する理論モデルの提示のみに留まっており、集合的活動と日常的交流との関係を計量的に明らかにする研究はあまりなされていない。そこで本研究では、集合的活動の分析手法としての空間相互作用モデルに着目し、分析のためのモデルの構築と推計方法を確立した。また、インドネシアでの集合的活動の事例を対象として実証分析を行い、集合的活動と日常的な交流の関係を計量的に分析した。

以下では、各章で考察した問題の概要と、得られた結論について簡単に示す。

第2章では、集合的活動に付随する問題点について説明し、本研究の問題意識を明らかにした。また、集合的活動に関する既存の理論およびソーシャル・キャピタル論を整理し、これら集合的活動とソーシャル・キャピタルの関係を計量的に分析するという本研究の目的を示した。

第3章では、まず既存の空間相関モデルを概説し、従来 of 事例研究は地理空間上の近接性のみに着目しており、日常的な交流によるコミュニケーションという新たな空間相関についての研究がなされる必要性を述べた。そして、空間計量経済学の知見を基に自発的集合行為モデルを導出し、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた自発的集合行為モデルの推計方法および考察方法について説明した。

第4章では、自発的集合行為モデルをインドネシアでの現地調査から得られたデータに適用し、実証分析を行った。対象地域にはコミュニティによって運営・維持管理されるHIPAMとよばれる水供給システムが存在しており、このHIPAMへの参加行動には日常的な交流相手とのコミュニケーションが重要な役割を果たしていると想定の下に、地理的距離および心理的距離によって規定される2つのパ

ターンの重み行列を設定して自発的集合行為モデルによる分析を行った。その結果、水供給システム選択行動には日常的な交流相手とのコミュニケーションを通じた情報や知識の伝達が大きな役割を果たしていることが分かった。またモデル比較により明らかになったように、地理的距離に基づいた人的ネットワークよりもコミュニティグループ参加を通じて構築される人的ネットワークに基づいた日常的な交流の方が、対象地域に存在する人的ネットワークをより適切に表現している様子が確認できた。

本研究には、まだいくつかの課題点が残されている。4.5で述べたように、本研究で実施した実証分析においては、対象地域を構成する各コミュニティの特徴を考慮せずにまとめて推計しており、空間相関パラメータ $\rho$ の空間異質性を考慮しなかった。しかしながら、リーダーシップの存在の有無などの人的ネットワーク構造や水供給システムの運営状況などは各コミュニティによって異なるのは言うまでもない。したがって本研究の今後の方向性として、更なる実態調査を実施してデータの拡充を図り、各コミュニティごとにモデル推計を行いパラメータ $\rho$ の推計値を比較する必要がある。また、パラメータ $\rho$ の空間異質性を扱うモデルを構築し、より対象地域の実態に合致したモデルを用いて分析を進めることが望まれる。さらには、インドネシアの住民参加型水供給システムのみならず、その他の自発的集合行為の事例についての分析を行い、自発的集合行為とソーシャル・キャピタルの関係に対する知見を蓄積する必要がある。

## 参考文献

- 1) JBIC : Cost Benefit Analysis of Participatory Approach -Conceptual Review and Framework for Quantitative Analysis- , *JBIC Research Paper*, No.21, 2003.
- 2) Olson, M.: *The logic of collective action*, Harvard University Press, Cambridge, MA. 1965.
- 3) Hardin, G.: The Tragedy of the Commons, *science*, Vol.162, pp.1243-1248, 1968.
- 4) Ostrom, E.: *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- 5) Axelrod, R.: *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, 1984.
- 6) Coleman, J.S.: Social capital in the creation of human capital, *American Journal of Sociology*, 94, s55-120, 1988.
- 7) Putnam, R.: *Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy*, Princeton University Press, 1993.
- 8) Putnam, R.: *Bowling alone: The collapse and revival of American community*, Simon and Schuster, New York, 2000.
- 9) Narayan, D.: *Bonds and Bridges: Social Capital and Poverty*, Poverty Group, PREM, The World Bank, 1999.
- 10) Woolcock, M.: Social Capital and Economic Development: Toward a Theoretical Synthesis and Policy Framework, *Theory and Society*, Vol.27, pp.151-208, 1998.
- 11) Woolcock, M. and Narayan, D.: Social Capital: Implications for Development Theory, Research and Policy, *The World Bank Research Observer*, Vol.15, No.2, pp.225-249, 2000.
- 12) Cornes, R. and Sandler, T.: *The Theory of Externalities, Public Goods and Club Goods*, Cambridge University Press, New York, 1996.
- 13) 塚井誠人: 空間統計モデルのフロンティア, *土木計画学研究・論文集*, Vol.22, No.2, pp.1-13, 2005.
- 14) Anselin, L.: *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.

- 15) Lesage, J.P. and Pace, R.K.: *Introduction to Spatial Econometrics*, Chapman&Hall/CRC, London/Boca Raton, 2009.
- 16) Marsden, P.V. and Friedkin, N.E.: Network Studis of Social Influence, *Sociological Methods and Research*, Vol.22, No.1, pp.127-151, 1993.
- 17) Mcmillen, D.P.: Probit with Spatial Autocorrelation, *Journal of Regional Science*, Vol.32, No.3, pp.335-348, 1992.
- 18) Lesage, J.P.: Bayesian Estimation of Limited Dependent Variable Spatial Autoregressive Models, *Geographical Analysis*, Vol.32, pp.19-35, 2000.
- 19) Smith, T.E. and LeSage, J.P.: A Bayesian Probit Model with Spatial Dependencies, *Advances in Econometrics*, Vol.18, 2004.
- 20) Yang, S., and Allenby, G.M.: Modeling interdependent consumer preferences, *Journal of Marketing Research*, Vol.40, pp.282-294, 2003.
- 21) Gelman, A., J.B. Carlin, H.S. Stern and A.B. Rubin: *Bayesian Data Analysis*, Chapman&Hall, New York, 1995.
- 22) Gelfand, A.E. and Smith, A.F.M.: Sampling-based approaches to calculating marginal densities, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.85, pp.398-409, 1990.
- 23) Casella, G. and George, E.I.: Explaining the Gibbs Sampler, *American Statistician*, Vol.46, No.3, 1992.
- 24) Chib, S. and E, Greenberg: Understanding the Metropolis-Hastings Algorithm, *The American Statistician*, Vol.49, pp.327-335, 1995.
- 25) Geweke, J.: Efficient Simulation from the Multivariate Normal and Student-t Distributions Subject to Linear Constraints, *Computing Science and Statistics: Proceedings of the 23rd Symposium on the Interface*, pp.571-578, 1991.
- 26) Geweke , J.: Evaluating the Accuracy of Sampling-Based Approaches to the Calculation of Posterior Moments, in: Bernardo, J.M., Dawid,A.P., and smith, A.F.M. (eds.) :*Bayesian Statistics 4*, Oxford University Press, 1996.
- 27) LeSage, J.P., Pace, R.K., Lam, N., Campanella, R. and Liu, X.: New Orleans business recovery in the aftermath of Hurricane Katrina, forthcoming in *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 2011.

- 28) Chib, S.: Marginal likelihood from the Gibbs output, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.90, pp.1313-1321, 1995.
- 29) Chib, S. and Jeliazkov, I.: Marginal likelihood from the Metropolis-Hastings output, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.96, pp.270-281, 2001.
- 30) Spiegelhalter, D.J., Best, N., Cardin, B. and van der Linde, A.: Bayesian measures of model complexity and fit, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 64, pp.583-640, 2002.
- 31) Celeux, G., Forbes, F., Robert, C.P., and Titterton, D.M.: Deviance Information Criteria for Missing Data Models, *Bayesian Analysis*, Vol.1, No.4, pp.651-674, 2006
- 32) Asian Development Bank: *Asian Water Development Outlook 2007: Achieving Water Security for Asia*, 2007
- 33) Bird, J., Arriens, W.L., and Custodio, D.V.: *Water Rights and Water Allocation: Issues and Challenges for the Asian Region*, Network of Asian River Basin Organizations (NARBO), Asian Development Bank, 2008.
- 34) PDAM Malang Regency: Data Base of Water Connection in Malang Regency, *PDAM Annual Report*, Malang Regency, 2008.

## 付録A アンケート回答者の属性

表-A.1 性別分布(男性/女性) N=498

	Toyomarto			Candi Renggo			合計
	Sumberawan	Ngujung	Glatik	RW6	RW8	RW12	
HIPPAM	78 / 22	31 / 15	-	57 / 12	-	-	166 / 49
PDAM	-	12 / 6	-	0 / 1	0 / 1	62 / 29	74 / 37
Individual Well	-	-	24 / 19	1 / 0	42 / 15	6 / 3	73 / 37
Public Hydrant	-	-	20 / 18	3 / 0	14 / 3	-	37 / 21
Others	1 / 3	-	-	-	-	-	1 / 3
合計	79 / 25	43 / 21	44 / 37	61 / 13	56 / 19	68 / 32	351 / 147

表-A.2 年齢分布 N=498

年齢区分	(0, 30]	(30, 40]	(40, 50]	(50, 60]	(60, 70]	(70, 80]	(80, ∞)
HIPPAM	17	64	75	38	14	5	2
PDAM	2	21	49	25	7	4	3
Individual Well	8	27	37	20	17	1	0
Public Hydrant	6	19	13	12	7	1	0
Others	1	0	2	1	0	0	0
合計	34	131	176	96	45	11	5

表-A.3 世帯員数 N=498

世帯員数	2	3	4	5	6	7
HIPPAM	21	51	80	41	19	3
PDAM	10	30	39	24	8	0
Individual Well	12	25	44	18	8	3
Public Hydrant	8	20	17	8	5	0
Others	0	0	3	1	0	0
合計	51	126	183	92	40	6

表-A.4 職業分布 N=453

職業	農業	製造業	サービス業	無職
HIPPAM	49	38	104	9
PDAM	2	12	71	17
Individual Well	21	7	61	7
Public Hydrant	20	1	29	2
Others	0	0	3	0
合計	92	58	268	35

表-A.5 学歴分布 N=498

最終学歴	小学校	中学校	高校	大学以上
HIPPAM	102	61	38	14
PDAM	13	29	52	17
Individual Well	60	31	18	1
Public Hydrant	40	12	5	1
Others	3	1	0	0
合計	218	134	113	33

表-A.6 収入分布 N=498

収入 (単位: 100万 IDR)	(0, 0.5]	(0.5, 1.0]	(1.0, 1.5]	(1.5, 2.0]	(2.0, 2.5]	(2.5, 3.0]	(3.0, ∞)
HIPPAM	64	81	38	15	4	8	5
PDAM	20	31	24	13	10	5	8
Individual Well	27	50	15	10	2	2	4
Public Hydrant	23	23	8	3	0	0	1
Others	0	2	1	0	1	0	0
合計	134	187	86	41	17	15	18

表-A.7 居住年数分布 N=474

居住年数	(0, 10]	(10, 20]	(20, 30]	(30, 40]	(40, 50]	(50, 60]	(60, 70]	(70, 80]	(80, ∞)
HIPPAM	45	32	30	31	35	22	4	0	1
PDAM	36	55	11	3	3	0	0	0	0
Individual Well	25	24	16	18	11	7	2	1	0
Public Hydrant	9	12	9	10	9	4	4	1	0
Others	0	1	1	0	1	1	0	0	0
合計	115	124	67	62	59	34	10	2	1

## 付録B コミュニティグループへの参加状況

表-B.1 Sumberawan コミュニティ N=104

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
HIPPAM	86	12	-	100	1	1	11	11	2	-	1	1	-	-	1
PDAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Individual Well	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Public Hydrant	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	89 86%	13 13%	-	100 96%	1 1%	1 1%	11 11%	11 11%	2 2%	-	1 1%	1 1%	-	-	1 1%

表-B.2 Ngujung コミュニティ N=64

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
HIPPAM	42	13	-	46	-	-	4	3	3	-	-	-	1	-	-
PDAM	15	2	18	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-
Individual Well	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Public Hydrant	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	57 70%	15 19%	18 22%	46 57%	-	-	5 6%	4 5%	3 4%	-	1 1%	-	1 1%	-	-

表-B.3 Glatik コミュニティ N=81

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
HIPPAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PDAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Individual Well	37	2	-	-	1	-	8	6	-	-	-	1	1	-	2
Public Hydrant	25	2	-	-	-	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	62	4	-	-	1	-	10	11	-	-	-	1	1	-	2
	97%	6%	-	-	2%	-	16%	17%	-	-	-	2%	2%	-	3%

表-B.4 RW6 コミュニティ N=74

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
HIPPAM	45	7	-	69	-	-	7	5	-	-	-	1	-	-	2
PDAM	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Individual Well	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Public Hydrant	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	50	7	1	69	-	-	7	5	-	1	-	1	-	-	2
	68%	9%	1%	93%	-	-	9%	7%	-	1%	-	1%	-	-	3%

表-B.5 RW8 コミュニティ N=75

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
HIPPAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PDAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Individual Well	51	4	-	-	-	-	9	4	-	1	-	-	2	1	1
Public Hydrant	16	1	-	-	-	4	4	3	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	67	5	-	-	-	4	13	7	-	1	-	-	2	1	1
	89%	7%	0%	0%	0%	5%	17%	9%	-	1%	-	-	3%	1%	1%

表-B.6 RW12 コミュニティ N=100

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
HIPPAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PDAM	55	32	18	-	-	6	39	8	-	-	-	-	2	1	-
Individual Well	3	4	-	-	-	1	3	2	-	1	-	-	-	-	-
Public Hydrant	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	58	36	18	-	-	7	42	10	-	1	-	-	2	1	-
	58%	36%	18%	-	-	7%	42%	10%	-	1%	-	-	2%	1%	-

## 付録C サンプルングパス及び事後確率密度関数

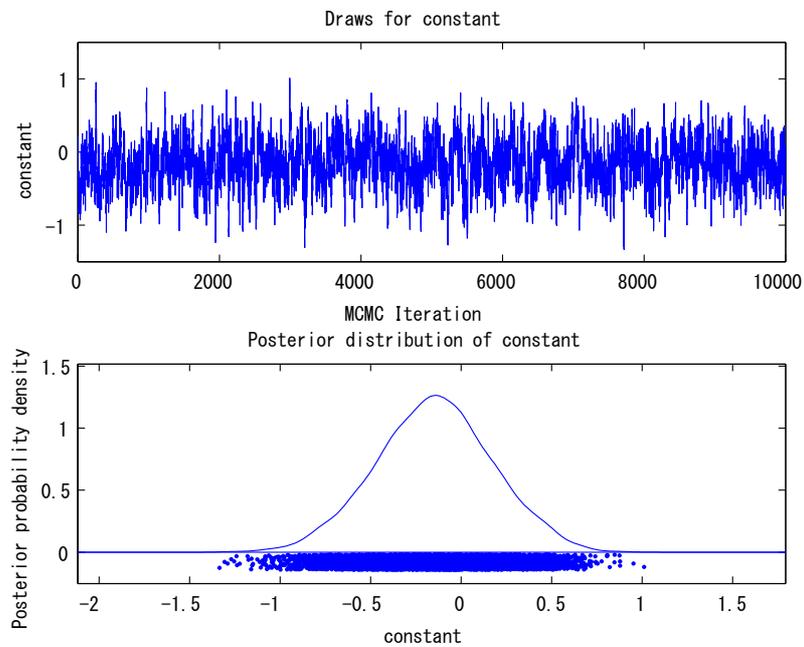


図-C.1  $W_{\text{geo}}$  モデル (定数項)

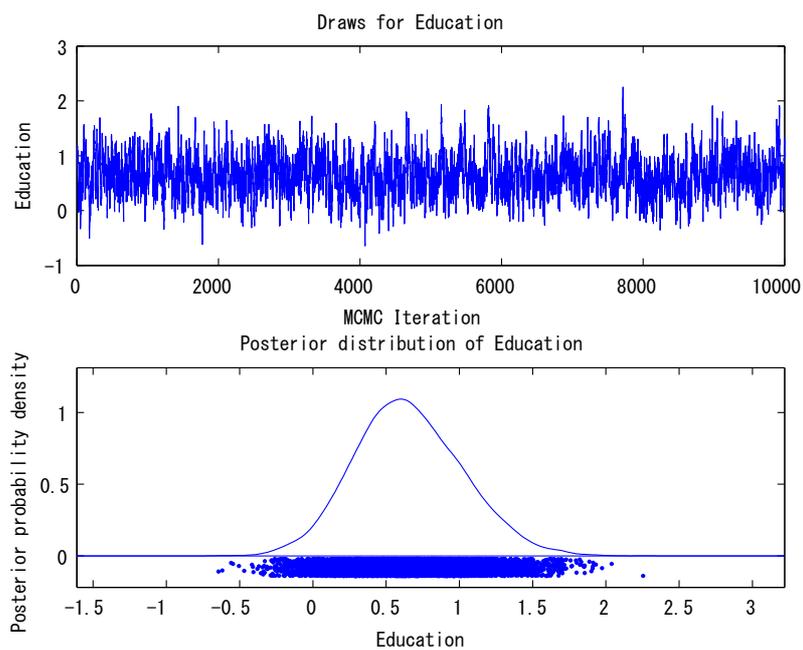


図-C.2  $W_{geo}$  モデル ( 学歴ダミー )

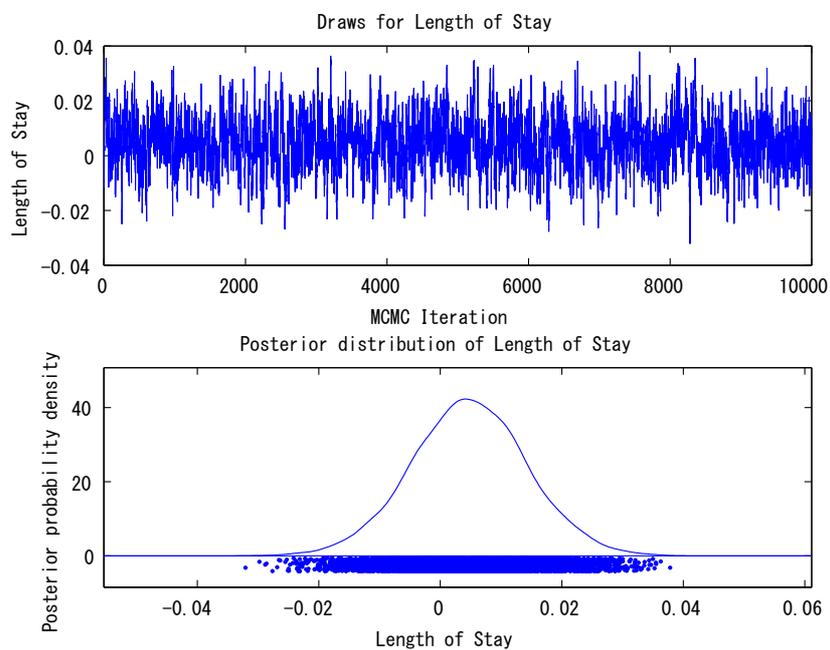


図-C.3  $W_{geo}$  モデル ( 居住年数 )

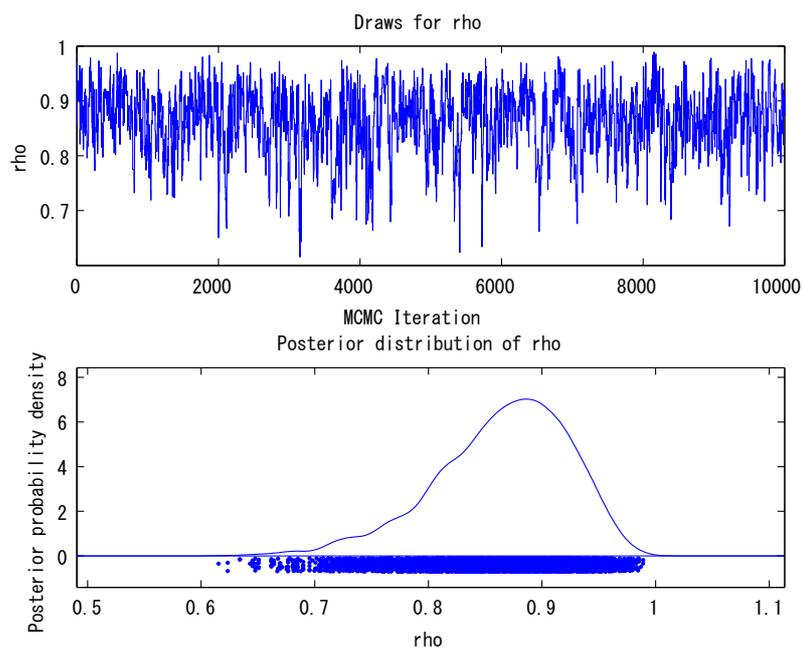


図-C.4  $W_{\text{geo}}$  モデル ( $\rho$ )

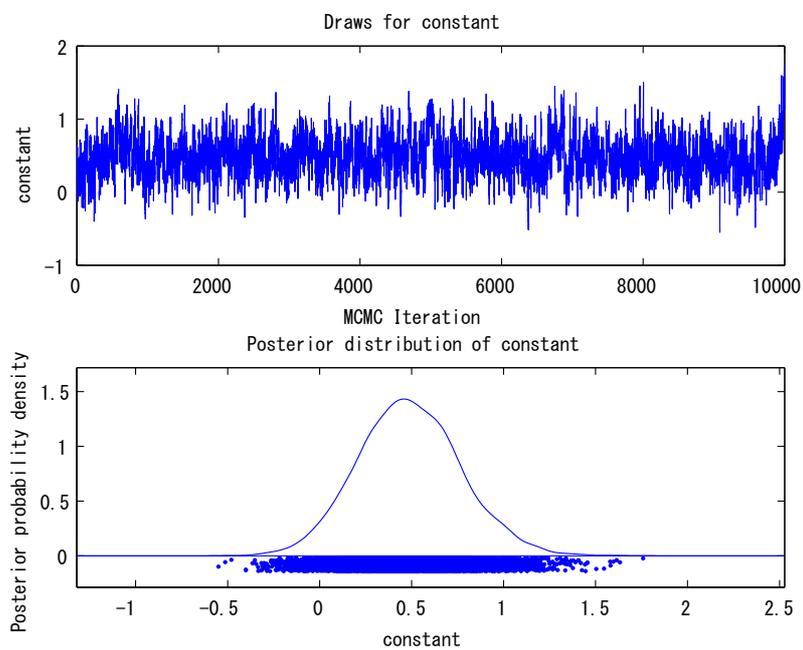


図-C.5  $W_{\text{com}}$  モデル (定数項)

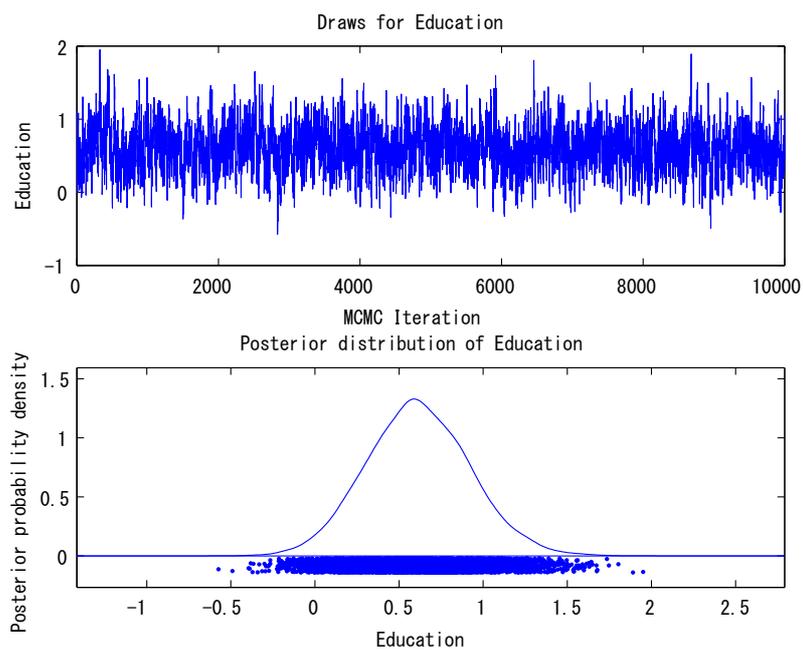


図-C.6  $W_{com}$  モデル ( 学歴ダミー )

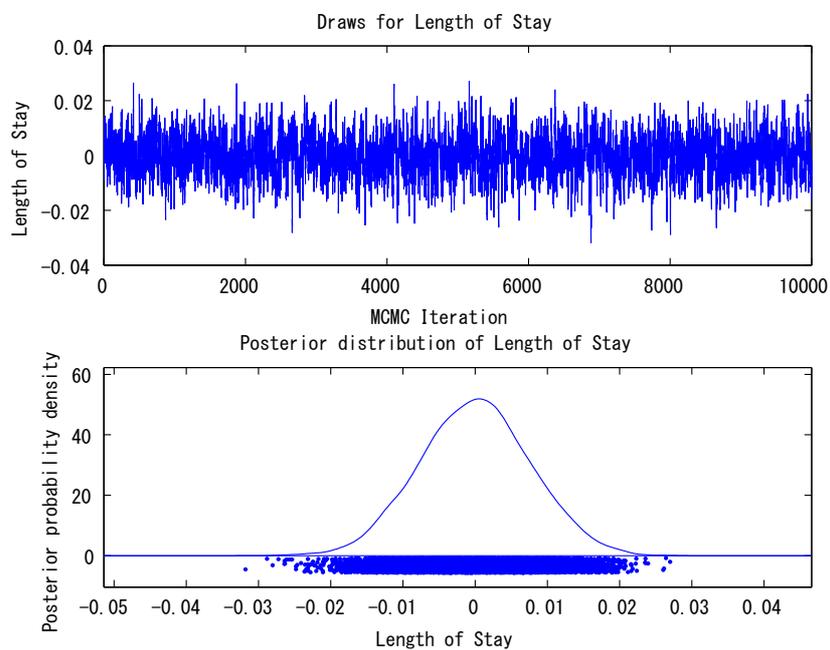


図-C.7  $W_{com}$  モデル ( 居住年数 )

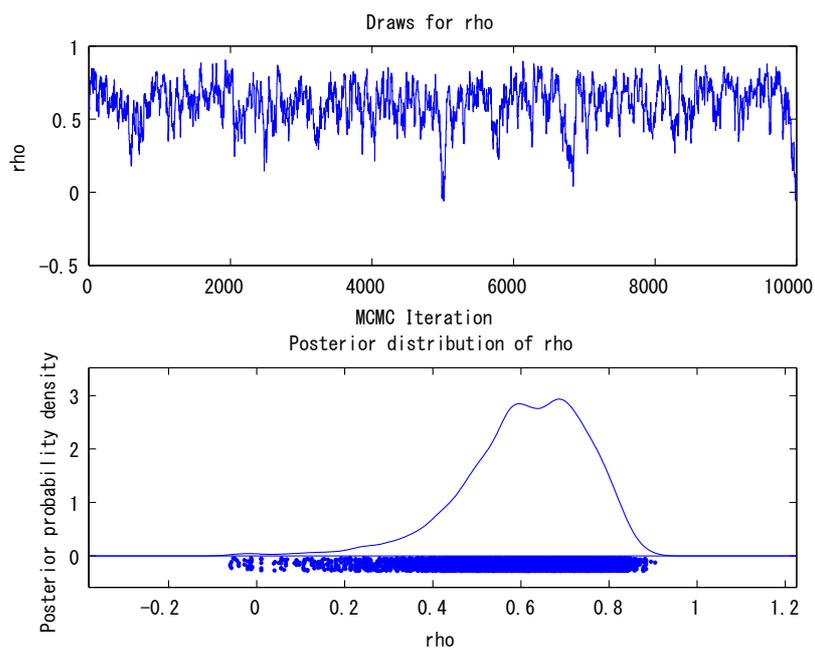


図-C.8  $W_{com}$  モデル ( $\rho$ )

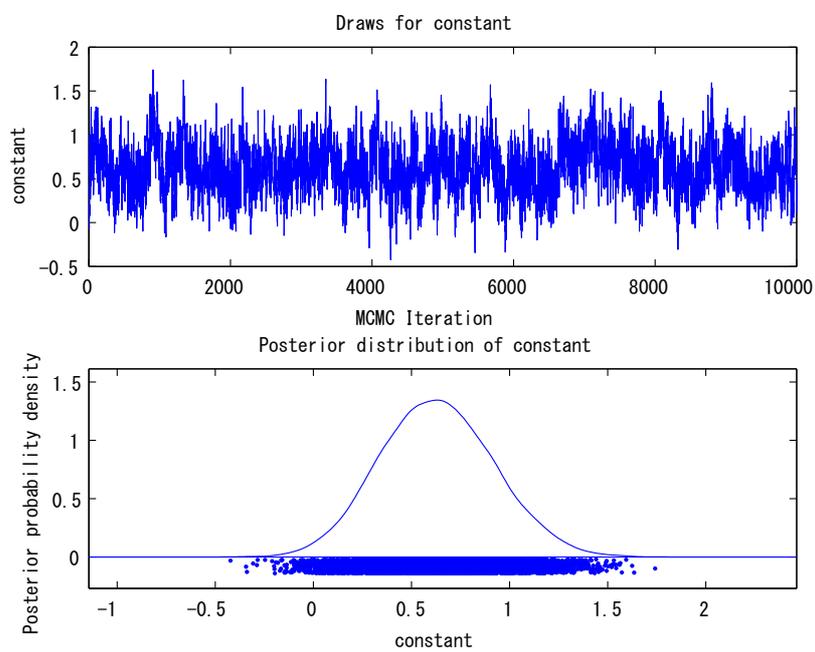


図-C.9  $W_{com1}$  モデル (定数項)

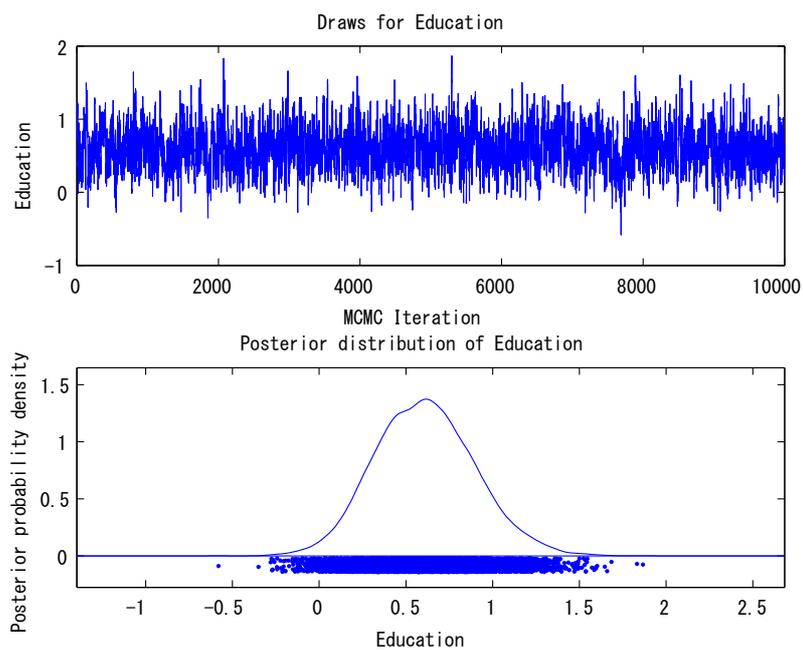


図-C.10  $W_{com1}$  モデル ( 学歴ダミー )

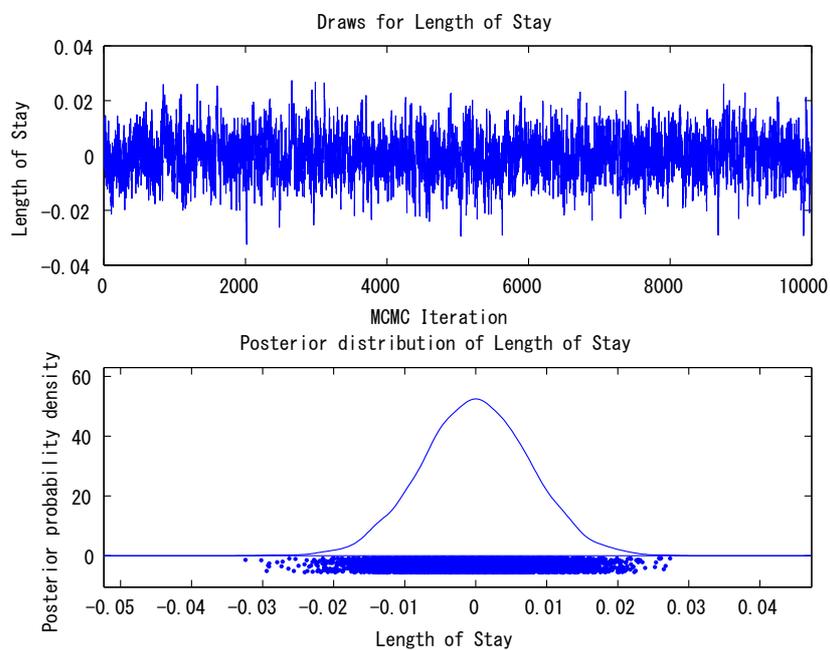


図-C.11  $W_{com1}$  モデル ( 居住年数 )

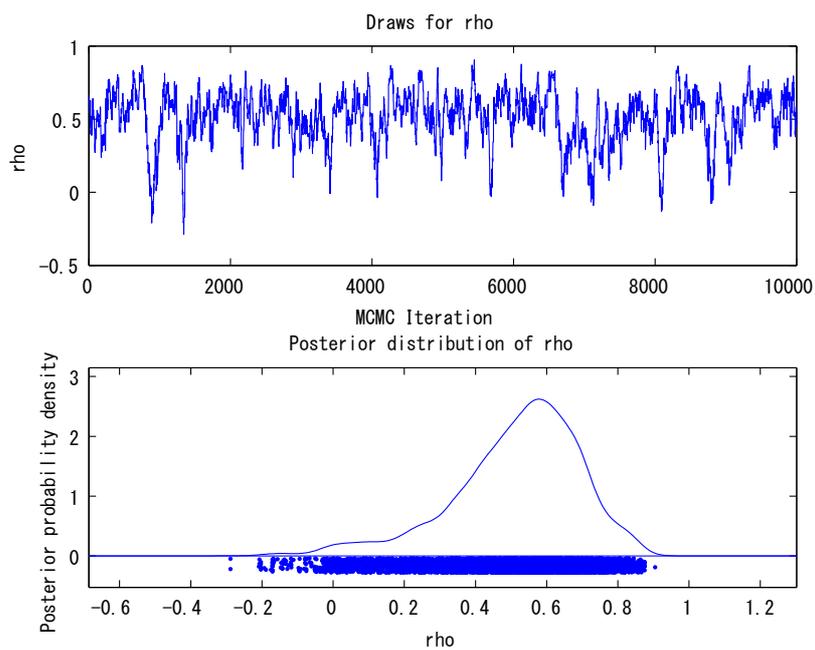


図-C.12  $W_{com1}$  モデル ( $\rho$ )

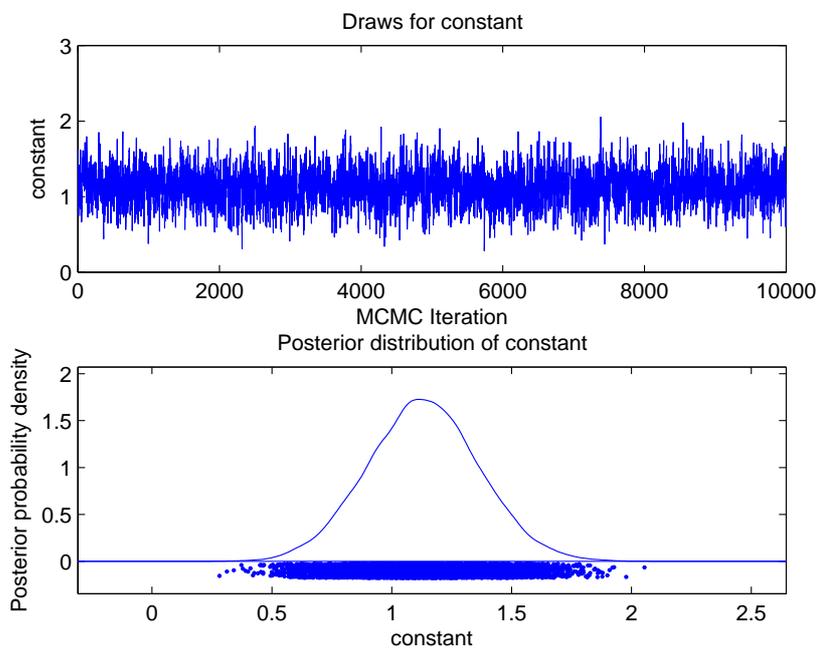


図-C.13  $W_{com2}$  モデル (定数項)

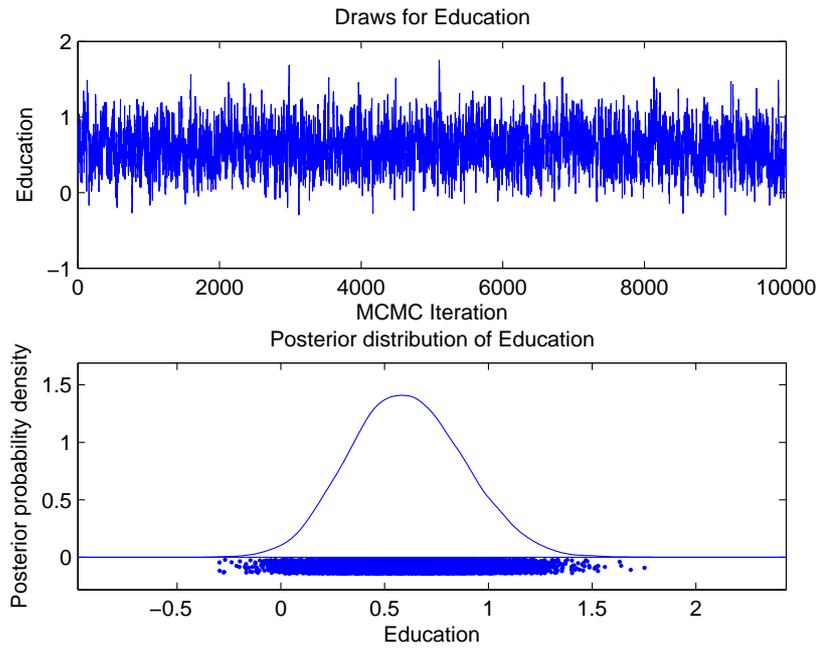


図-C.14  $W_{com2}$  モデル ( 学歴ダミー )

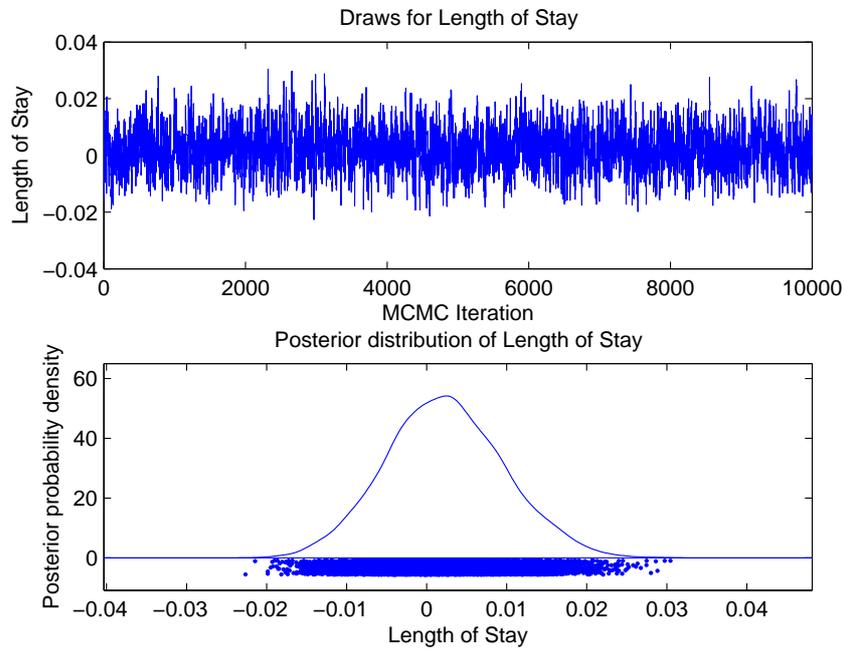


図-C.15  $W_{com2}$  モデル ( 居住年数 )

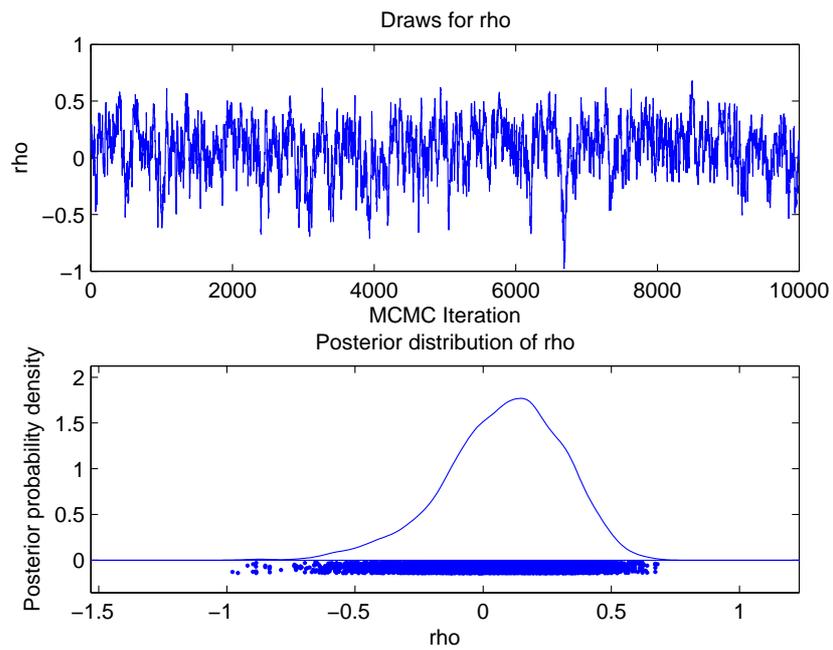


図-C.16  $W_{\text{com2}}$  モデル ( $\rho$ )

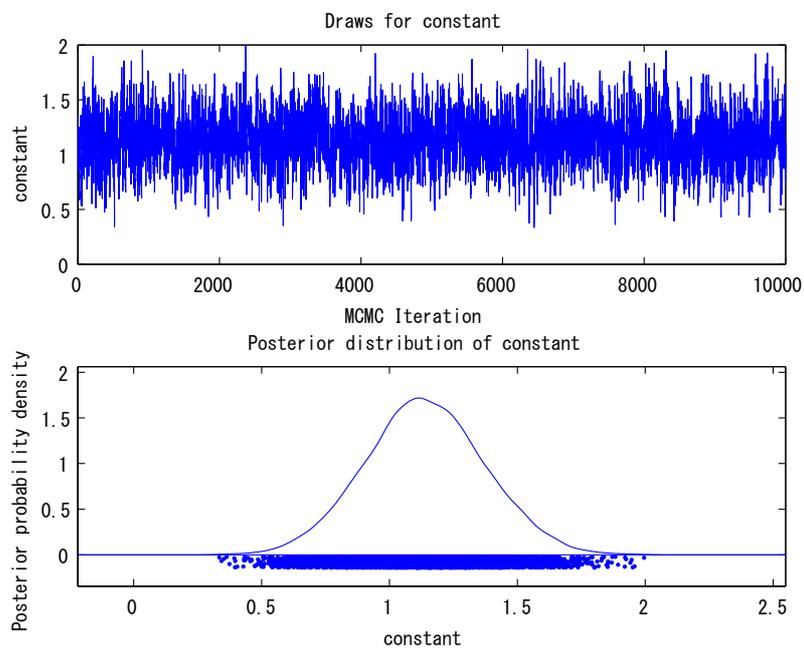


図-C.17  $W_{\text{com3}}$  モデル (定数項)

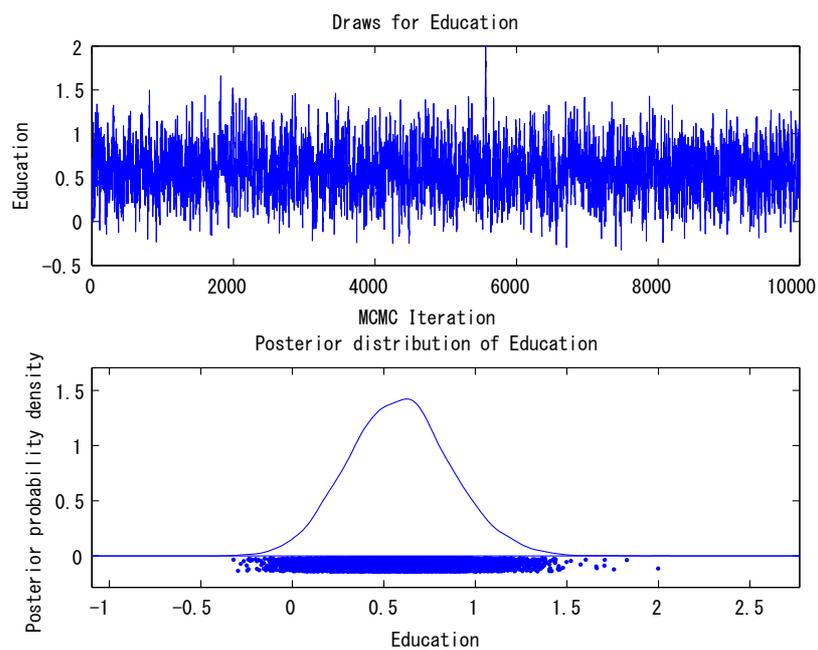


図-C.18  $W_{com3}$  モデル ( 学歴ダミー )

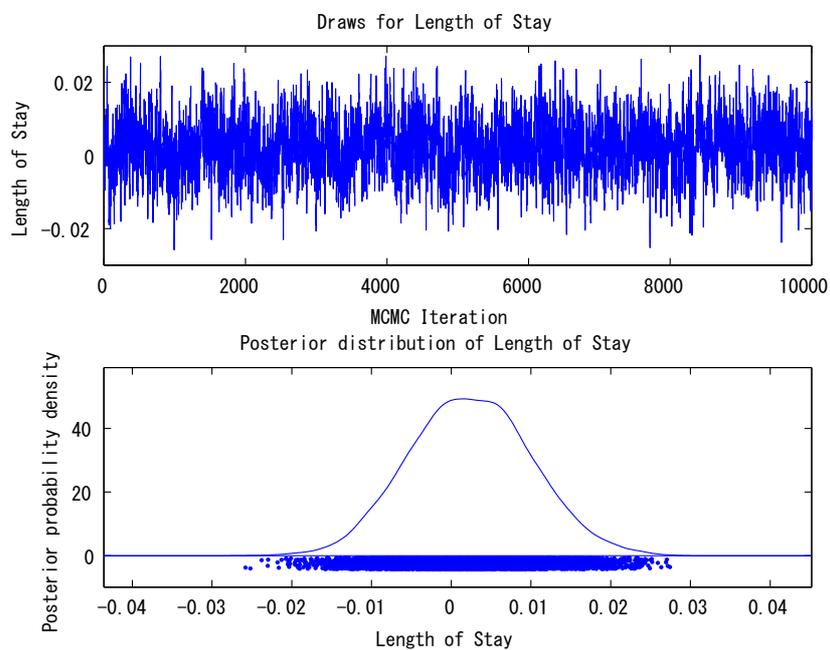


図-C.19  $W_{com3}$  モデル ( 居住年数 )

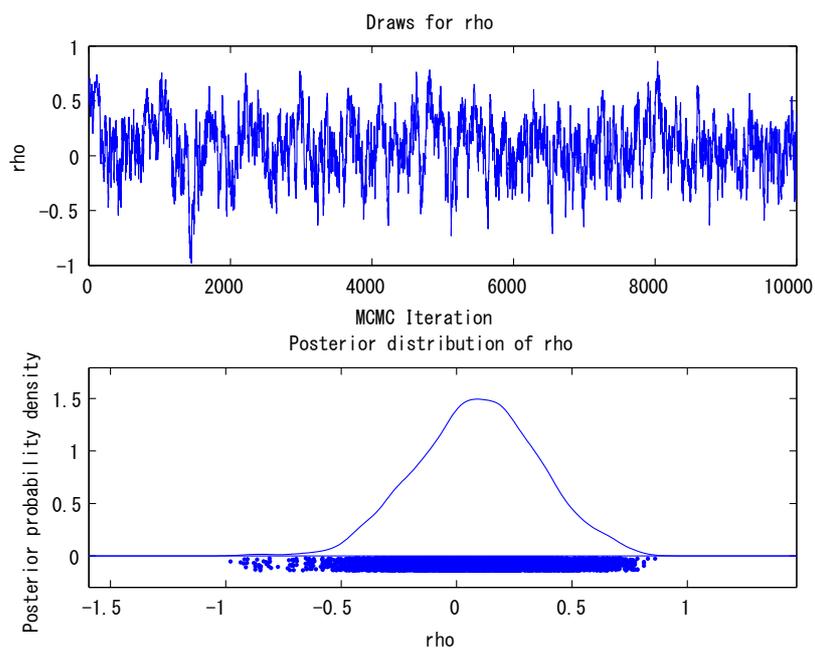


図-C.20  $W_{\text{com3}}$  モデル ( $\rho$ )

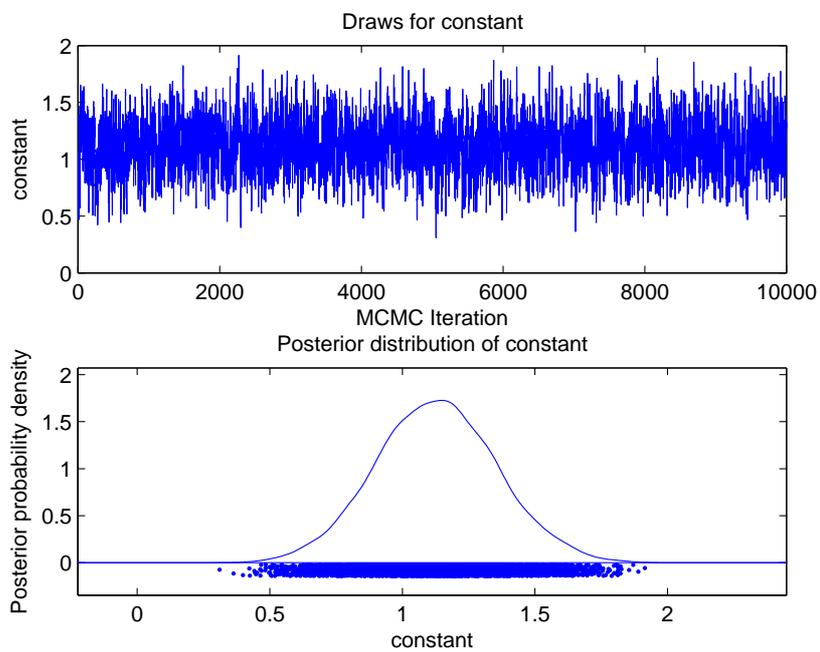


図-C.21  $W_{\text{com4}}$  モデル (定数項)

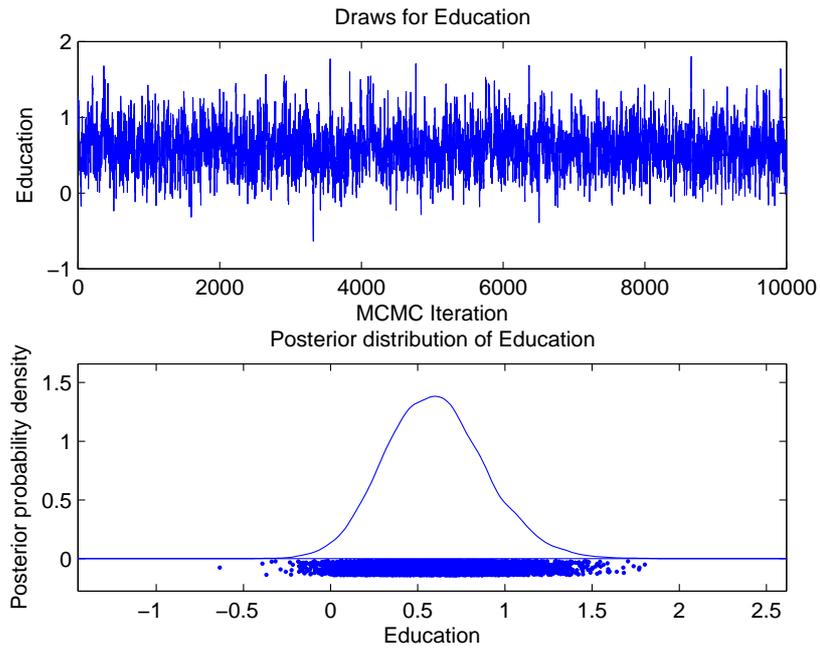


図-C.22  $W_{com4}$  モデル ( 学歴ダミー )

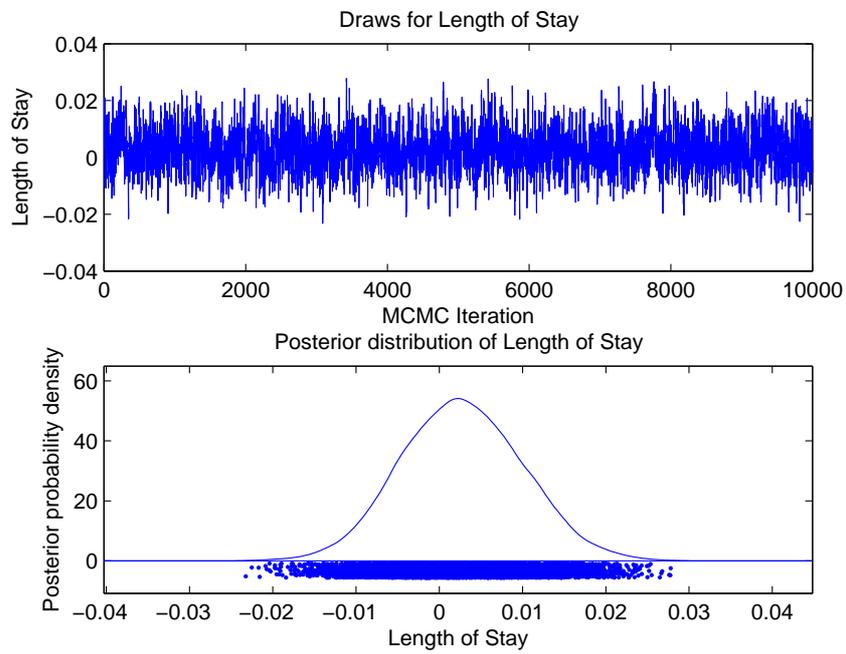


図-C.23  $W_{com4}$  モデル ( 居住年数 )

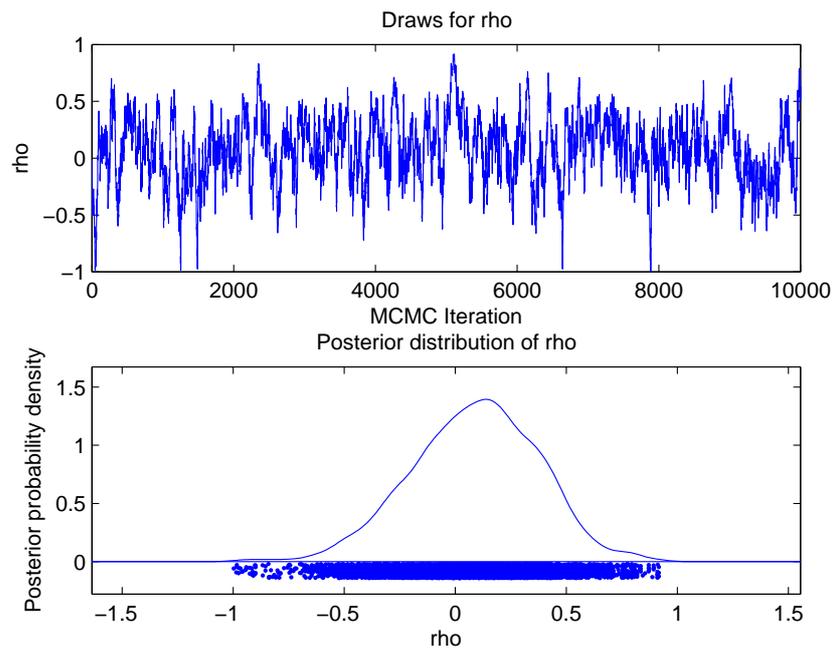


図-C.24  $W_{\text{com4}}$  モデル ( $\rho$ )

## 付録D アンケート調査用紙

Date:  
Start:  
End:

## Household Community Questionnaire

### 1 General Information

- 1.1 Respondent's Name : \_\_\_\_\_
- 1.2 Respondent's Address : \_\_\_\_\_
- 1.3 Sex of Respondent : 1 Male            2 Female
- 1.4 Members of the household

	Father	Mother	Children 1	Children 2		
Age						
Sex						
Education						
Occupation						

- 1.5 Location of the work place:
- At home [ ] 1
- Within the community, inside Sub village [ ] 2
- Outside community, inside Sub village [ ] 3
- Outside Sub village, inside the Village [ ] 4
- Outside the Village, inside District [ ] 5
- Outside District, inside Regency [ ] 6
- Another Regency/City [ ] 7
- 1.6 The time and means to reach work place from home: \_\_\_\_\_ hr./min. by \_\_\_\_\_
- 1.7 The range of household income per month: (in Rupiah)
- Less than 500.000 [ ] 1
- 500.000 – 1.000.000 [ ] 2
- 1.000.000 – 1.500.000 [ ] 3
- 1.500.000 – 2.000.000 [ ] 4
- 2.000.000 – 2.500.000 [ ] 5
- 2.500.000 – 3.000.000 [ ] 6
- More than 3.000.000 [ ] 7
- 1.8 The length of respondent has been lived in this area/community: \_\_\_\_\_ Years
- 1.9 Description of one day activity of Respondent during 24 hours:  
(e.g. of activities: working, cooking, shopping, voluntary, fishing)

Time	Activity	Time	Activity

Date:  
Start:  
End:

## 2 Water Supply Management System

2.1 Please give me a description of drinking water usage in domestic needs based on your daily use, both during rainy season and dry season.

Water supply in Rainy Season					
	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					
Water supply in Dry Season					
	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					

2.2 Please give me a description of rule on drinking water usage, both during rainy season and dry season

Water supply in Rainy Season				
	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well				
Communal Well				
HIPAM				
PDAM				
Private Vendor				
River				

Date:  
Start:  
End:

Other (specify)				
Water supply in Dry Season				
	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well				
Communal Well				
HIPAM				
PDAM				
Private Vendor				
River				
Other (specify)				

2.3 Do you satisfied in current drinking water condition? What is your needs and expectation?

Water	Satisfaction			Needs and Expectation
	good	average	bad	
Taste				
Quantity				
Quality (sanitation)				
Price				
Availability				

2.4 Please give me a description of water irrigation based on your daily use, both during rainy season and dry season.

Water supply in Rainy Season					
	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					
Water supply in Dry Season					

Date:  
 Start:  
 End:

	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					

2.5 Please give me a description of rule on water irrigation, both during rainy season and dry season

Water supply in Rainy Season					
	Liters/day	Price/day	Means	Time/day	
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					
Water supply in Dry Season					
	Liters/day	Price/day	Means	Time/day	
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					

Date:  
Start:  
End:

2.6 Do you satisfied in current water irrigation condition? What is your needs and expectation?

Water	Satisfaction			Needs and Expectation
	good	average	bad	
Quantity				
Quality				
Price				
Availability				

2.7 If there is any problem with water such as a water pipe broke, how do you do?

- (a) Fix it by myself
- (b) Ask neighbor any help to fix it together
- (c) Contact to water management body (PDAM, HIPAM) for asking to fix it
- (d) No idea and leave it
- (e) Else, specify...(\_\_\_\_\_)

2.8 Regarding to your answer in 2.7, what is the main reason to choose the answer?

- (a) Cost
- (b) Time
- (c) Effort
- (d) Quality
- (e) Safety

2.9 What is your opinion to improve or solve the problem related to the current water management system?

- (a) \_\_\_\_\_
- (b) \_\_\_\_\_

### 3 Community Network

3.1 What is the meaning of the group that you belong to? Use this 5 point scale where 1 means the group has no meaning/benefit and 5 means the group has very important/benefit to the community.

Type of Groups	Check for Joint	How many groups	Meeting/ month	Order of importance	Order of benefit
Religious					
Cultural/Social					
Basic Services					
- PDAM					
- HIPAM					
Ethnic based					
Community organization					
Finance					
Production					

Date:  
 Start:  
 End:

Union (labor, trade)					
Political party					
Professional association					
Business Ass.					
Social Movement					
Any other? specify					

3.2 Do people in the community generally trust one another in matters of lending and borrowing?

Yes [ ] 1

No [ ] 2

3.3 In the last three years, has the level of trust improved, worsened, or stayed the same?

Improved [ ] 1

Worsened [ ] 2

Remained the same [ ] 3

3.4 Do you agree or disagree with the following statement: People here look out mainly for the welfare of their own families and they are not much concerned with community welfare.

Strongly agree [ ] 1

Agree [ ] 2

Disagree [ ] 3

Strongly disagree [ ] 4

3.5 Will you list here, please, the initials of the people outside your household that you feel closest to. These could be friends, neighbors or relatives. Start with the one you feel closest to, then next closest and so on.

(a) \_\_\_\_\_

(b) \_\_\_\_\_

(c) \_\_\_\_\_

(d) \_\_\_\_\_

(e) \_\_\_\_\_

(f) \_\_\_\_\_

Date:  
Start:  
End:

3.6 Regarding to your answer in 3.5, will you please fill the table below, the detail relationship among of you.

Relationship to respondent	Sex		What is his/her occupation? (If not working get record of household & mark alongside *	Where does he/ she live?	How often do you see him/her?	By what are you in touch with him/her? (phone/ letter/face to face)	How long you communicate with him/her?
	M	F					
(a)	1	2					
(b)	1	2					
(c)	1	2					
(d)	1	2					
(e)	1	2					
(f)	1	2					

3.7 Regarding to your previous answer, please tell me which of the people whose initials are on your sheet of paper are close to one another.

Which of these people are close to Person (...) ?					
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
(b)		(b)	(b)	(b)	(b)
(c)	(c)		(c)	(c)	(c)
(d)	(d)	(d)		(d)	(d)
(e)	(e)	(e)	(e)		(e)
(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	
none	none	none	none	none	none

Date:  
 Start:  
 End:

3.8 Please marked one answer only for each question related to occupation of the head of household, or the head of his/her household.

Which of these people do you now work with at your place of employment?	Which of these do you get together with informally?	Which of these do you rely on for help in everyday matters?	Which of these do you rely on for help in an emergency?	Which of the people rely on you for help in an emergency?	Which one of these people have you turned to most for help in an emergency?
(a)	1	1	1	1	1
(b)	2	2	2	2	2
(c)	3	3	3	3	3
(d)	4	4	4	4	4
(e)	5	5	5	5	5
(f)	6	6	6	6	6
None	7 None	7 None	7 None	7 None	7 None

Date:  
Start:  
End:

## Representative Questionnaire

### 1 General Information

- 1.1 Name : \_\_\_\_\_
- 1.2 Address : \_\_\_\_\_
- 1.3 Sex : 1 Male            2 Female
- 1.4 Occupancy : \_\_\_\_\_
- 1.5 Position in the community:  
(a) \_\_\_\_\_  
(b) \_\_\_\_\_
- 1.6 The length of respondent has been lived in this area/community: \_\_\_\_\_ Years

### 2 Community Characteristic

- 2.1 How many years has the community been in existence?  
More than 20 years            [ ] 1  
Between 10 and 20 years        [ ] 2  
Fewer than 10 years            [ ] 3
- 2.2 How many households are in this community?  
Fewer than 25                [ ] 1  
Between 25 and 49            [ ] 2  
Between 50 and 99            [ ] 3  
Between 100 and 249         [ ] 4  
More than 250                [ ] 5
- 2.3 In the last three years, the number of people living in this community has:  
Increased                    [ ] 1  
Decreased                    [ ] 2  
Remained the same         [ ] 3
- 2.4 Regarding answer 2.3, which group mainly changed  
Sex                            [ ] man                    [ ] woman  
Age group                    [ ] young people        [ ] adult            [ ] old people
- 2.5 What are the two main reasons for the increase, decrease, or lack of change?  
(a) \_\_\_\_\_  
(b) \_\_\_\_\_
- 2.6 What are the two principal economic activities for men in this community?  
(a) \_\_\_\_\_  
(b) \_\_\_\_\_

Date:  
Start:  
End:

- 2.7 What are the two principal economic activities for women in this community?  
(a) \_\_\_\_\_  
(b) \_\_\_\_\_
- 2.8 In the last three years, availability of employment has:  
Improved [ ] 1  
Worsened [ ] 2  
Remained the same [ ] 3
- 2.9 In the last three years, the overall quality of life of the people living in this community has: (consider job availability, safety and security, environment, housing, infrastructure such as road, water, etc.)  
Improved [ ] 1  
Worsened [ ] 2  
Remained the same [ ] 3
- 2.10 What are the two main reasons that quality of life in the community has improved, worsened, or remained the same during the last three years?  
(a) \_\_\_\_\_  
(b) \_\_\_\_\_
- 2.11 Overall, the level of living of this community may be characterized as:  
Wealthy [ ] 1  
Well-to-do [ ] 2  
Average [ ] 3  
Poor [ ] 4  
Very Poor [ ] 5
- 2.12 Are the relationships among people in this community generally peaceful or collective?  
Peaceful [ ] 1  
Conflictive [ ] 2
- 2.13 Do people in this community contribute time and money toward development goals?  
They contribute some or a lot. [ ] 1  
They contribute very little or nothing [ ] 2
- 2.14 Are there any services where you or members of your household are occasionally denied service or have only limited opportunity to use?
- |                         | Yes   | No    |
|-------------------------|-------|-------|
| Education/schools       | [ ] 1 | [ ] 2 |
| Health service/clinics  | [ ] 1 | [ ] 2 |
| Housing assistance      | [ ] 1 | [ ] 2 |
| Job training/employment | [ ] 1 | [ ] 2 |

Date:  
Start:  
End:

- Credit/finance [ ] 1 [ ] 2
- Transportation [ ] 1 [ ] 2
- Water distribution [ ] 1 [ ] 2
- Sanitation services [ ] 1 [ ] 2
- Agricultural Extension [ ] 1 [ ] 2
- Justice/conflict resolution [ ] 1 [ ] 2
- Security/police services [ ] 1 [ ] 2

2.15 What are the reasons or criteria why some people are excluded from these services?

- Income level [ ] 1 [ ] 2
- Occupation [ ] 1 [ ] 2
- Social status (class, caste) [ ] 1 [ ] 2
- Age [ ] 1 [ ] 2
- Gender [ ] 1 [ ] 2
- Race/ethnicity [ ] 1 [ ] 2
- Language [ ] 1 [ ] 2
- Religious beliefs [ ] 1 [ ] 2
- Political affiliation [ ] 1 [ ] 2
- Lack of education [ ] 1 [ ] 2

### 3 Water System Characteristic

3.1 In the last three years, the drinking water supply leading to this community has:

- Improved [ ] 1
- Worsened [ ] 2
- Remained the same [ ] 3

3.2 What part of the community has pipe-borne water, and or has access to public standpipes?

Community	pipe-borne water	public standpipes
The entire community	[ ] 1	[ ] 1
Most of the community	[ ] 2	[ ] 2
About half the community	[ ] 3	[ ] 3
Less than half/very few	[ ] 4	[ ] 4
No one in the community	[ ] 5	[ ] 5

Date:  
Start:  
End:

3.3 In your opinion, how is the potable water service condition:

Current situation		Last three years	
Good	[ ] 1	Improved	[ ] 1
Average	[ ] 2	Worsened	[ ] 2
Poor	[ ] 3	Remained the same	[ ] 3

3.4 What part of paddy field of the community has supply from public water irrigation?

Community	pipe-borne water	public standpipes
The entire community	[ ] 1	[ ] 1
Most of the community	[ ] 2	[ ] 2
About half the community	[ ] 3	[ ] 3
Less than half/very few	[ ] 4	[ ] 4
No one in the community	[ ] 5	[ ] 5

3.5 In your opinion, how is the water irrigation service condition:

Current situation		Last three years	
Good	[ ] 1	Improved	[ ] 1
Average	[ ] 2	Worsened	[ ] 2
Poor	[ ] 3	Remained the same	[ ] 3

3.5 What are the two main problems with the water irrigation service?

- (a) \_\_\_\_\_  
(b) \_\_\_\_\_

3.6 Suppose there is a serious problem in water such as conflict among members, pipe broke, disease due to water in this community, who do you think would primarily involve and resolve the problem?

	Monitoring Report Information Delivering	Consulting Solution Finding	Mediating Conflict resolution	Judging and Decision making	Executing act
No one, people work it out between themselves					
Family/household members					
Neighbors					
Community leaders					
Religious leaders					
Judicial leaders					

Date:  
Start:  
End:

Others (specify)					
------------------	--	--	--	--	--

3.7 Do such problems ever lead to violence?

Yes [ ] 1

No [ ] 2

3.8 What is the rule of water sharing system from the spring for each stakeholder?

Stakeholders	Capacity (liter/sec.)	Price/m3	Distribution System	Material
PDAM				
Hipam				
BLK Industry Singosari				
National Army				
National Air force				
Other (specify)				

## 謝 辞

本論文を結ぶにあたり、本研究の遂行に際して、御指導、御協力を頂きました多くの方々に感謝の意を表します。京都大学工学研究科の小林潔司教授には、大変御多忙な中、終始適切な御指導、御助言を頂きました。そして、幅広い知的好奇心をもつことの重要性やユーモアの大切さ、そして研究に対する熱意と情熱など、その生きる姿勢から多くのことを学びました。心から感謝申し上げます。京都大学工学研究科の松島格也准教授には、御多忙の中、有益な御指導と御教授、そして論文の緻密な修正を頂きました。厚く御礼申し上げます。京都大学工学研究科の大西正光助教授には、研究への御指導に加え、日常生活においても多くの支援を頂きました。厚く御礼申し上げます。京都大学工学研究科の吉田護助教授には、基礎的な素養や研究への姿勢をお教え頂きました。心より感謝の意を表します。京都大学工学研究科の鄭蝦榮氏には、研究への取り組み方、本論文に関する基礎的な素養を御指導頂きました。感謝に堪えない次第です。京都大学工学研究科の石磊氏には、本論文に対して貴重な御指導を頂き、日常生活においても大変お世話になりました。心から感謝申し上げます。Ari Ismu Rini Dwi氏には、研究のみならず私生活でも、良き姉として本当にお世話になりました。Ari Ismu Rini Dwi氏と共に過ごした3年間の研究生活は、自分にとって最高の思い出です。ここに深く感謝する次第です。秘書の藤本彩氏には、研究生活にあたり多くの事務作業等、様々な場面で心温かい御支援を頂きました。心より感謝致します。京都大学大学院工学研究科修士課程の福井浩氏、塩谷賢平氏、謝景韻氏とは、同学年として2年間の研究生活で苦楽をともにし、切磋琢磨しながら成長することができました。深い感謝の意を表します。特に福井浩氏とは4回生からの3年間、ほぼ毎日一緒に過ごし、勉学に励み、夢を語り合ってきました。これらの日々は、小生にとって生涯の思い出となるに違いありません。今後の福井浩氏の活躍を祈るとともに、将来互いに成長した姿で再開する機会を心より楽しみにしています。経営管理大学院の阿部真育氏とは、時に人生の先輩として、時にふざけ合う友人として、多くの時間を過ごしてきました。阿部真育氏と過ごした日々は小生にとってかけがいのない思い出です。阿部真育氏の活躍が世界に轟く日が来ることを、心から期待しています。そして、計画マネジメント論研究室の諸兄には、

本研究を取りまとめる上で多大な御協力を頂きました。ここに深く感謝する次第です。

最後になりましたが、常日頃から暖かく惜しみない支援と、小生が勉学に勤しむ環境を本日に至るまで厭わず供与してくださいました家族へ、多大なる感謝の意を表します。