# コミュニティ参加型水供給システム に関する研究

平成22年2月19日

京都大学工学部地球工学科土木コース 尾木健士郎

近年,水資源の稀少化や国際オペレータの市場参入に伴って開発途上国の貧しい人たちの水資源へのアクセスが大きく制限されることに関する懸念が高まっている.この問題に対して,市場メカニズムや行政による公的供給に代替する方法として,地域住民の協働生産に基づく住民参加型水供給システムの重要性が着目されている.住民参加型水供給システムは住民が水へのアクセス技術とシステムを自らが開発したものであり,適切に維持・管理するには地域住民による多様な協力関係の成立が必要である.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,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,なぜ住民が協働生産行為に参加・協力するのかを明らかにする必要がある.

本研究では、コミュニティによる参加型水供給システムを対象として、住民の協働生産行為に関する事例分析を実施する.その際、世帯がなぜ協働生産行為へ参加するかを明らかにするために、空間プロビットモデルに基づいた水供給システムの選択モデルを提案し、日常的なお付き合い相手」の存在が水供給システムへの自発的な参加に及ぼす影響について分析する.空間統計モデルの推計においては従来より最尤法が一般的に用いられてきたが、離散選択を表現する空間プロビットモデルにおいては最尤法の適用が困難となる.したがって本研究においては、マルコフ連鎖モンテカルロ法による推定を行う.これら一連の手法を用いて、インドネシア・ジャワ島のSingosariコミュニティを対象とした事例分析を行い、「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及ぼす影響について実証的に分析する.

# 目 次

第1章	はじめに	1
第2章	本研究の基本的な考え方	3
2.1	参 加 型 開 発 と 協 働 行 為	3
2.2	地 域 公 共 財 の 協 働 生 産 .................................	4
	2.2.1 集団的協働行為理論	4
	2.2.2 社会関係資本論	5
2.3	本 研 究 に お け る 分 析 枠 組	7
第3章	自発的集合行為モデル	8
3.1	モ デ ル 化 の 前 提 条 件	8
3.2	モ デ ル の 定 式 化	9
3.3	ベイズ推計ルール	11
3.4	MCMC 法 に よ る 推 定	13
	3.4.1 全条件付き事後分布の導出	14
	3.4.2 ギブスサンプリング法	17
	3.4.3 M H 法	18
3.5	事後分布に関する統計量	19
第4章	適用事例	22
4.1	適 用 事 例 の 概 要	22
4.2	推計結果及び考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
第5章	おわりに	26
参考文	て献	28
付録A	、MCMC 法 に よ る プ ロ ビット モ デ ル の 推 定	<del>ქ</del> −23

# 第1章 はじめに

近年,公共財の供給・維持・管理において当該公共財の利害関係者による参加型アプローチは欠かせない重要な一つの戦略(要素)として注目されている.その目的は,参加することでメンテナンス技術や組織運営方法などの能力を住民が身につけ,整備した設備が持続的に運用できるようにすることで地域の問題を自主的に解決するためである.実際に世界銀行(World Bank)は,参加型アプローチが貧困緩和に必要なコミュニティのエンパワーメント(権限付与)を促進すると,その重要性を指摘し,エジプトやアフリカ等で社会実験を実施している1).

2 0 0 7 年のアジア河川流域機関ネットワーク (NARBO) の報告<sup>2)</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できていない.また,インドやインドネシア等,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.水資源の希少性が高まる中で,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,多くの人の水資源へのアクセスを保証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,代替資源のない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のための技術開発と共に水利用管理の協力的ガバナンスが必要である.住民参加型水供給システムは,そのための一つの方策である.

政府の水供給インフラ整備とサービス拡大のための努力が,現在の水ニーズの増加のスピードに追い付いていない状況において,多くの人に水へのアクセスを保証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によると,2007年度の約2.3億の人口の中,49.7%の人が水へのアクセスが可能であり,その中,39.7%の人は,PDAMと呼ばれる国の水供給サービスから,残りの10%の人は,HIPPAMと呼ばれる住民が自発的に開発・共同管理する水供給システムから水を供給されている3).政府による水供給率は,ますます増加しているものの,まだ50%以上の人がその水供給を井戸や川に依存している状況である.その多くは,水資源の近くに住んでいるものの,水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 へ の ア ク セ ス 技 術 と シ ス テ ム 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 提 供 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 交 流 に お け る コ ミュニ ケ ー ション は ,問 題 意 識 の 共 有 ,知 識 と 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 . 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統的な関係が成り立たない場合,または住民が当該地 域 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 ,自 発 的 な 水 供 給 シ ス テ ム に 対 す る 協 力 的 な 参 加 が 得 ら れ ず , 当 該 地 域 資 源 を 公 平 か つ 適 切 に 供 給・維 持・管 理 す る こ と が で き な い た め ,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 ,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,なぜ住民が協働生産行為(以下,自発的集合行 為 と 呼 ぶ )へ 参 加・協 力 す る の か を 明 ら か に す る 必 要 が あ る .

本研究では、インドネシアにおけるコミュニティによる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、世帯がなぜ自発的集合行為へ参加するかを明らかにするために、空間プロビットモデルに基づいた水供給システムの選択モデル(以下、自発的集合行為モデルと呼ぶ)を提案し「日常的なお付き合い相手」の存在が水供給システムへの自発的な参加に及ぼす影響について分析する.以下、2.では、本研究の基本的な考え方を明らかにする.3.では、自発的集合行為モデルを定式化し、マルコフ連鎖モンテカルロ法による推定方法を提案する.4.では、インドネシアにおける実態調査から得たミクロデータを自発的集合行為モデルに適用し、公共財の自発的な供給問題について分析する.

# 第2章 本研究の基本的な考え方

#### 2.1 参加型開発と協働行為

従来は、開発とは経済規模を拡大することであると考えられ、経済活動を活発にするために資金を投入してインフラストラクチャを整備することが重要であると考えられてきた.つまり、開発援助プロジェクトの多くが専門家の主導により実施され、トップダウンの発想が根底に存在した.このため、専門家と地域住民との間に信頼関係が生まれにくく、従来の開発は数々の問題を提起した.そこで、80年代に新たなパラダイムとして、住民が開発プロジェクトの企画立案、実施、評価にいたるすべての過程において、主体的に参加するべきであるという参加型開発(Participatory Development) 4)、5)が脚光を浴び始めた.ここでは人間の生活を中心に開発を捉えており、政治的・社会的・文化的側面が経済に劣らず重要な要素として存在する.参加型開発においては、開発途上国の地域住民を単に開発の道具や手段、また受動的な受け手とみなすのではなく、開発の主体的な担い手と考える.つまり、開発途上国における貧困問題の解決には、地域住民自らがそのような問題解決の力を身に付けることが重要である.そして、地域住民の能力を伸ばしていくことが、エンパワーメントであり、5参加」はそのために不可欠な過程である.

近年では、森林管理、水資源管理など、様々なインフラサービスの開発援助プロジェクトに住民参加型アプローチが用いられている.多くのインフラストラクチャが未整備状況にある開発途上国における地域開発では、公共財の民間による協働生産が重要な役割を果たすと指摘されている.公共財の維持・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、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.また協働生産行為は、公共財の非競争性と非排除性の特徴から生じうるフリーライド問題に対して監視費用を削減すると共に、利害関係者間の交渉に基づく意思決定を通じて、公共財の便益を増加し公平的に配分するよう、地域の文脈に対応して公共財の協働生産に取り組むと期待されている.しかし、利害関係者が公共財の生産に協働するという保障がなく、また公共財の協働生産による効果も検証で

きていない、そこでまず、なぜ住民は協働生産行為に参加するのか、あるいは参加しないのかを理解する必要がある、このような問題意識から、次節では、集団的協働行為理論(Collective Action Theory)、社会関係資本論(Social Capital Theory)を中心に公共財の自発的協働生産に関する論点を整理する、

#### 2.2 地域公共財の協働生産

#### 2.2.1 集団的協働行為理論

公共財の自発的供給に必要不可欠な協働行為について,1970年代の新古典 派経済学者は,合理的選択論の視点から人には根本的に集団的協働を促す能力が ないという見解を示した、Olson 6)は、集団行為論(The logic of collective action)」とい う著書を通じて,あるグループのメンバーは,一部の利己的な人がグループの共 通利益のために貢献することや手助けをすることをあまり見ることができず,グ ル ー プ の 共 通 利 益 の た め に 貢 献 す る 動 機 を 失って し ま う た め , た だ 乗 り 行 為 者 に な ると主張した.そして,あるグループのメンバーの数が極めて少なくない限り,又 はグループの共通利益や合理性に応じた行動への強制力やある特別な手段を持た ない限り,自己本位のメンバーは,グループの共通利益を達成するためには行動し な い と 結 論 付 け た .つ ま り , Olson <sup>7)</sup>は 「 成 員 は ,目 的 に 賛 同 し て 参 加 す る ,よって 活 動に協力するはずだ」という前提を「協力しないこともある」と指摘し,利益の供 給 に 関 わ ら な い 選 択 的 誘 因 ( selective incentive ) を つ く る こ と が 重 要 で あ る と 主 張 し た、特に、集合の成員が多いほど、成員の集合財供給への特別な工夫がない限り、 モニタリングが乏しく,フリーライド問題が起こり易いという.みんながフリーラ イドを考えると,公共財・集合財は成立しない.誰かわかる仕組みが必要である. また,G.Hardin<sup>8)</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 え よ う と も しないと主張した.

一方,1980年代に入り、公共財の協働生産に対する理論的可能性や成功事例が数多く紹介された.Axelrod<sup>9)</sup>は,相互信頼の損失による協働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ーヤーは,Aプレーヤーが協力する

とBプレーヤーも協力する,あるいはAプレーヤーが協力しないとBプレーヤーも協力しない,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,お互いに協力する選択肢を選ぶことであることを証明した.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,お互いに規則を厳重できる装置を設け,お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.しかし,プレーヤーが複数存在する場合,相互監視費用の負担が膨大に増加するとともにそれを均等に当分することができないため,プレーヤーが複数の相手の行動をより確信できる装置を設けることが必要であると説明した.そして,もしプレーヤー同士が自ら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,ゲームに参加するすべ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説明した.参加型アプローチに基づいて維持管理される公共財が十分機能するためには,利害関係者が自らルールをつくり,自発的に協働するインセンティブを提供することが必要となる.

以上では集団的協働行為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、公式的な制度設計などをみてきたが、ジレンマ克服を目指したこれらの試みはいずれも成功しているとは言えない、そこで注目されるようになったのが、次節で取り上げる社会関係資本(ソーシャル・キャピタル)論である、

#### 2.2.2 社会関係資本論

1990年代には社会関係資本論を中心に、合理的選択の結果としての協働行為ではなく、当該社会にアプリオリに存在する規範的価値観に基づいた行動として、協働行為に対する議論が展開された.Coleman 10)とPutnam 11)は、人々に協働行為を起こさせ、協働行為を社会的に制度化させる「信頼(trust)」、「互恵性の規範(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た.また、これらソーシャル・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られており、ソーシャル・キャピタルが蓄積されている「市民社会度の高い」社会では行政・政治の信頼度が高くなり、信頼性の高い行政・政治の下では住民の政策実施への関与・参加がより起

こりやすい環境が形成され,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.世界銀行(World Bank)のエコノミストをはじめとする経済学者たちも,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見られるとして,ソーシャル・キャピタルと集団的協働行為の関係に対する議論を始めた.

Evans 12)は,ブラジルのスラム地区における下水道ネットワーク・インフラの建設事業やナイジェリアでの学校建設事業を取り上げ,政府・行政がコミュニティとの間に相乗効果を形成する働きかけを行うことにより,その社会の資源を有効に動員しながら政策の実施を行うことができ,効率よく開発を進めることができると説明した.地域住民が開発プロジェクトに参加することにより,政府の事業への関心を深め,政府に「良いガバナンス」を促す役割を果たす.そして政府のアカウンタビリティが向上し,さらに住民の間にプロジェクト参加への意欲と機会が増え,ソーシャル・キャピタルが形成されていくとした.つまり,従来の開発理論はガバナンスに焦点を置いてきたが,Evansの場合は,ガバナンスと参加型アプローチとの相乗効果に重点をおいて説明した.

Narayan <sup>13)</sup>とWoolcock <sup>14), 15)</sup>は,開発においては「社会的紐帯 (social tie)」を通じて協働行為が自己執行 (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,同族集団や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,取引費用の低下,機会主義的行動の抑制などをもたらし,集団的協働行為に参加するインセンティブをその集団にもたらす.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,市場など外部の情報・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.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「結束型」ソーシャル・キャピタルの形成を阻害すると述べている.

以上のように,集団的協働行為で陥るジレンマの解決策としてのソーシャル・キャピタルの役割は非常に重要であると言える.すなわち,互恵性の規範や信頼,市民参加のネットワークは,利己的行動のインセンティブを低下させ,不確実性を削減

し、住民の自発的集合行為への参加を助長するであろうと考えられる、

# 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、地域住民が協働生産行為に参加するメカニズムを分析する.つまり、地域住民が社会的ジレンマに陥らずに自発的に協働生産行為に参加する要因として、信頼、互恵性の規範、社会的ネットワークなどのソーシャル・キャピタルの存在を考える.そして、地域に根ざしたソーシャルキャピタルに基づく地域公共財の協働生産の成立可能性を分析するため、次章以降地域における住民参加型水供給システムの特性について、自発的集合行為モデルを用いて分析する.その際、日常的な交流が住民の自発的集合行為に及ぼす影響を明らかにするため、空間的・社会的相関を表現可能な空間計量経済学の知見を用いて自発的集合行為モデルを定式化する.

# 第3章 自発的集合行為モデル

#### 3.1 モデル化の前提条件

本章では,住民が自発的集合行為に参加するメカニズムを明らかにするために,住民の水供給システムの選択行動を表現するモデルを定式化する.住民には,1) HIPPAM に加入し水資源の協働生産・消費を行う2)HIPPAM 以外の方法により,水へのアクセスを確保するという2つの選択肢がある.このような世帯による質的選択を分析する際には,一般にプロビットモデル $^{16),17}$ が用いられる.プロビットモデルでは,選択の結果はダミー変数で表すことができ,従属変数が離散値をとる.このような関係を推定する方法として潜在変数モデルと呼ばれる選択行動モデルが知られている.潜在変数モデルでは,各個人i ( $i=1,\cdots,n$ )の潜在変数 $z_i$  は,個人i の属性ベクトル $x_i=(x_{ik}:k=1,\cdots,K)'$ 及び確率誤差項 $\varepsilon_i$  により規定されるとし,潜在変数がある臨界値 $\varepsilon_i$ を超えるとダミー変数 $y_i$ が1の値をとるとする.

$$z_i = x_i'\beta + \varepsilon_i \tag{3.1}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & if \quad z_i > c_i \\ 0 & if \quad z_i \le c_i \end{cases}$$

$$(3.2)$$

ただし, $\beta=(\beta_k:k=1,\cdots,K)'$ は未知パラメータベクトルである.このモデルでは,各確率誤差項 $\varepsilon_i$   $(i=1,\cdots,n)$  が互いに独立と仮定しており,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ような各個人間の空間的・社会的な相互依存性はプロビットモデルでは表現できない.すなわち,本研究で想定しているような,日常的な交流が住民の自発的集合行為に参加するか否かの選択に及ぼす影響を分析する際には,プロビット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 18),19),住民間のネットワーク形成が公共財の自発的供給行動に及ぼす影響を空間プロビットモデルを用いて分析する.空間プロビットモデルは空間的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,以下に示す一連のモデルが提案され

ている.代表的なモデルは,空間自己回帰プロビットモデル(SARP),空間誤差項プロビットモデル(SEP)であり,それぞれ以下のように表される.

$$z_i = \rho \sum_{j,j \neq i} w_{ij} z_j + \mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i$$
 (3.3)

$$z_i = x_i'\beta + \varepsilon_i \qquad \varepsilon_i = \rho \sum_{j,j \neq i} w_{ij}\varepsilon_j + \eta_i$$
 (3.4)

これらのモデルに関する詳細については参考文献<sup>19)</sup>に譲るが、いずれのモデルにおいても、誤差項が共分散構造をもつため、パラメータの推定が困難となる.したがって本研究では、推定の容易さなどの利点から、SmithとLesage (2004)<sup>20)</sup>によって提案された階層的ベイズモデルを採用する.階層的ベイズモデルでは、誤差項を対角成分と非対角成分からなる項に分離するため、尤度関数の特定化が容易になる.次節以降、階層的ベイズモデルのアイデアを用いて、自発的集合行為モデルを導出する.

#### 3.2 モデルの定式化

まず,対象とする集落にn世帯が居住し,世帯i  $(i=1,\cdots,n)$  がクラブ (HIPPAM)に所属し,水道施設の管理運営に協力することにより得られる効用を $u_{1i}$ と表す.また,クラブに参加しない場合に得られる効用を $u_{0i}$ と表す.観測可能な世帯行動を,ダミー変数 $y_i$ を用いて

$$y_i = \left\{ egin{array}{ll} 1 & \hbox{ 世帯} i \, \emph{m} \, \emph{D} \, \emph{D} \, \emph{J} \, \emph{E} \, \emph{M} \,$$

と表せば、各世帯は効用最大化行動をすると仮定すると

$$P_r(y_i = 1) = P_r(u_{1i} > u_{0i}) = P_r(z_i > 0)$$
(3.6)

を 得 る  $^{21)}$  . こ こ に ,潜 在 変 数  $z_i=u_{1i}-u_{0i}$  は 観 測 で き な い 変 数 で あ り  $y_i$  が 観 測 可 能 で あ る .式 (3.5) を  $z_i$  を 用 い て 書 き 表 せ ば

$$y_{i} = \begin{cases} 1 & if \quad z_{i} > 0 \\ 0 & if \quad z_{i} \leq 0 \end{cases}$$
 (3.7)

となる.潜在変数 $z_i$ は,当該世帯の個別的特性 $x_i=(x_{ik}:k=1,\cdots,K)'$ および各世帯間の社会的相関を表す観測不可能なランダム項(以下,社会的相関項と呼ぶ) $\theta_i$ に

より規定されると考え

$$z_i = \mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta} + \theta_i + \varepsilon_i \tag{3.8}$$

と表す.ただし, $oldsymbol{eta}=(eta_k:k=1,\cdots,K)'$ はパラメータベクトルであり, $\varepsilon_i$ は確率誤差項を表している.各世帯がクラブに参加するかどうかの意思決定は日常的な付き合い相手から影響を受けると考えられるので,社会的相関項 $oldsymbol{ heta}=(eta_i:i=1,\cdots,n)'$ に空間自己回帰構造を導入し

$$\boldsymbol{\theta} = \rho \boldsymbol{W} \boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{u} \tag{3.9}$$

と表す. ただし,W は社会的相関を表す  $(n \times n)$  次元の重み行列  $^{18),19)$ であり,その要素  $w_{ij}$   $(i,j=1,\cdots,n)$  は世帯 i と世帯 j の日常的交流の度合いによって外生的に与えられる.すべての要素は非負であり,対角要素は $w_{ii}=0$   $(i=1,\cdots,n)$  と設定する.通常,重み行列は行和が 1 となるように行基準化されることが多いが,行基準化により,(3.9) 式の右辺の第1項で与えられる世帯 i の社会的相関項は, $w_{ij}$  によって規定される日常的に付き合いのある世帯の社会的相関項の重み付き平均と解釈できるようになる.また, $u=(u_i:i=1,\cdots,n)'$  は,平均値ベクトル $0_n$ ,分散・共分散行列  $\sigma^2 I_n$  のn 次元の確率誤差項ベクトルである. $\rho$  は社会的相関の度合いを表すパラメータであり,対象地域の人的ネットワークやソーシャルキャピタルが,住民の自発的集合行為へ及ぼす影響の程度を示している.したがって,以降  $\rho$  を「ソーシャルキャピタル依存度」と呼ぶこととする. $\rho>0$  の場合は正の相関が, $\rho<0$  の場合は無相関であることを表す.式 (3.9) は

$$\boldsymbol{\theta} = (\boldsymbol{I}_n - \rho \boldsymbol{W})^{-1} \boldsymbol{u} = \boldsymbol{S}^{-1} \boldsymbol{u}$$
(3.10)

と表せるので、 $\rho$ とuが与えられたもとでの $\theta$ の条件付き分布は

$$\boldsymbol{\theta} \mid (\rho, \sigma^2) \sim \mathcal{N}_n[\mathbf{0}_n \ \sigma^2 \left( \mathbf{S}' \mathbf{S} \right)^{-1}]$$
 (3.11)

と求められる.ただし, $I_n$ はn次元単位行列であり, $S=I_n-\rho W$ と定義する.また, $m{ heta}\sim\mathcal{N}_n[m{0}_n\ \sigma^2\ (S'S)^{-1}]$ は平均値ベクトル $m{0}_n$ ,分散・共分散行列 $\sigma^2\ (S'S)^{-1}$ のn次元正規分布を表している. $m{ heta}$ が与えられたという条件の下で各 $\varepsilon_i$ は互いに独立であると仮定すれば, $m{\varepsilon}=(\varepsilon_i:i=1,\cdots,n)'$ の条件付き分布,

$$\varepsilon \mid \boldsymbol{\theta} \sim \mathcal{N}_n(\mathbf{0}_n \ \sigma_{\varepsilon}^2 \boldsymbol{I}_n)$$
 (3.12)

を得る.分散  $\sigma_{\varepsilon}^2$  については,プロビットモデルにおける識別問題を避けるために  $\sigma_{\varepsilon}^2=1$ とする.以上より,

$$z = X\beta + \theta + \varepsilon$$
  $\varepsilon \mid \theta \sim \mathcal{N}_n(\mathbf{0}_n, I_n)$  (3.13)

となり、 $\beta$ と $\theta$ が与えられた下でのzの条件付き分布,

$$z \mid (\beta, \theta) \sim \mathcal{N}_n (X\beta + \theta, I_n)$$
 (3.14)

を得る.ただし, $z=(z_i:i=1,\cdots,n)'$ , $X=(x_i:i=1,\cdots,n)'$ である.

最尤法によりパラメータを推定する場合,以下の手順を踏むことになる.まず, 世帯*i* がクラブに参加する確率は

$$P_r(y_i = 1) = P_r(z_i > 0) = \Phi(\mathbf{x_i'}\beta + \theta_i) = \Phi(\mathbf{x_i'}\beta + (\mathbf{S}^{-1})_i \mathbf{u})$$
(3.15)

で与えられる.ここで, $(S^{-1})_i$ は $S^{-1}$ のi行目を表しており, $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布の累積分布関数である.同様に,クラブに参加しない確率は

$$P_r(y_i = 0) = P_r(z_i \le 0) = 1 - \Phi(\mathbf{x_i}'\boldsymbol{\beta} + \theta_i) = 1 - \Phi(\mathbf{x_i}'\boldsymbol{\beta} + (\mathbf{S}^{-1})_i \mathbf{u})$$
(3.16)

となり,尤度関数は以下のように定義できる.

$$p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\theta}) = \prod_{i=1}^{n} \Phi\left(\boldsymbol{x_i}'\boldsymbol{\beta} + (\boldsymbol{S}^{-1})_i \boldsymbol{u}\right)^{y_i} \left\{1 - \Phi(\boldsymbol{x_i}'\boldsymbol{\beta} + (\boldsymbol{S}^{-1})_i \boldsymbol{u})\right\}^{1-y_i}$$
(3.17)

ここで, $y=(y_i:i=1,\cdots,n)'$ である.しかしながら,このような複雑な形をした尤度関数を推定することは難しい $^{22)}$ .そこで,本研究ではSmithとLeSage( $(2004)^{20)}$ によって提案された階層的ベイズモデル $^{23),24)}$ を採用する.階層的ベイズモデルでは,各パラメータの事前分布に階層性を導入し,マルコフ連鎖モンテカルロ(以下,MCMCと略す)法によるベイズ推計が可能である.具体的な手順については,次節において説明する.

#### 3.3 ベイズ推計ルール

一般に ,ベイズ推計法 $^{25),\,26)}$ は , 1 )事前の経験情報に基づき ,パラメータ $eta, heta,\sigma^2,z$  の事前分布を設定する.2 )新しく獲得したデータyに基づいて尤度関数 $p\left(y|eta, heta,
ho,\sigma^2,z\right)$ 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 $eta, heta,\sigma^2,z$ 

に関する事後分布 $p(\beta, \theta, \rho, \sigma^2, z|y)$  を得る,という手順を採用する.以上の手順を,以下ではベイズ推計ルールと呼ぶ.最尤法とは異なり,未知パラメータ $\beta, \theta, \rho, \sigma^2, z$ 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.

階層的ベイズモデルによる分析を行うために,まず,パラメータ $eta,\sigma^2,
ho$ に関して事前分布を設定する.

$$\boldsymbol{\beta} \sim \mathcal{N}_K(\boldsymbol{c} \, \boldsymbol{T})$$
 (3.18)

$$\sigma^2 \sim \mathcal{IG}(\alpha \nu)$$
 (3.19)

$$\rho \sim \mathcal{U}[(\lambda_{min}^{-1} \lambda_{max}^{-1})] \tag{3.20}$$

ここで, $\mathcal{IG}$   $(\alpha \ \nu)$ , $\mathcal{U}[(\lambda_{min}^{-1} \ \lambda_{max}^{-1})]$  はそれぞれ,自由度 $\alpha$ , $\nu$  の逆ガンマ分布及び一様分布を表している.逆ガンマ分布 $\mathcal{IG}$   $(\alpha \ \nu)$  の確率密度関数については,ガンマ関数 $\Gamma$  を用いて

$$g(\sigma^2|\alpha,\nu) = \frac{\nu^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{1}{\sigma^2}\right)^{\alpha+1} \exp\left(-\frac{\nu}{\sigma^2}\right)$$
 (3.21)

で与えられる.また, $\lambda_{min}$   $\lambda_{max}$  はそれぞれ重み行列の固有値の最大値と最小値であり, $\rho \in [\lambda_{min}^{-1} \lambda_{max}^{-1}]$  であることが知られている $^{27)}$ .これらの事前分布の設定は,線形回帰モデルの事前分布の仮定として一般的なものである $^{28),\,29)}$ .また, $c,T,\alpha,\nu$  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.以上の仮定及び式(3.2),(3.12),(3.14)より,以下の各パラメータ $\beta,\theta,\rho,\sigma^2,z$ に関する階層的事前分布を得る.

$$\pi(\boldsymbol{\beta}) \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})'\boldsymbol{T}^{-1}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})\right\}$$
 (3.22)

$$\pi(\sigma^2) \propto (\sigma^2)^{-(\alpha+1)} \exp\left(-\frac{\nu}{\sigma^2}\right)$$
 (3.23)

$$\pi(\rho) \propto 1 \tag{3.24}$$

$$\pi(\boldsymbol{\theta}|\rho,\sigma^2) \propto (\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} |\boldsymbol{S}| \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \boldsymbol{\theta}' \boldsymbol{S}' \boldsymbol{S} \boldsymbol{\theta}\right)$$
 (3.25)

$$\pi(\boldsymbol{\varepsilon}|\boldsymbol{\theta}) \propto \exp\left(-\frac{1}{2}\boldsymbol{\varepsilon}'\boldsymbol{\varepsilon}\right)$$
 (3.26)

$$\pi(oldsymbol{z}|oldsymbol{eta},oldsymbol{ heta}) \quad \propto \quad \exp\left\{-rac{1}{2}\left(oldsymbol{z}-oldsymbol{X}oldsymbol{eta}-oldsymbol{ heta}
ight)'\left(oldsymbol{z}-oldsymbol{X}oldsymbol{eta}-oldsymbol{ heta}
ight)
ight\}$$

$$= \prod_{i=1}^{n} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( z_i - x_i' \beta - \theta_i \right)^2 \right\}$$
 (3.27)

また,指示関数 $\delta$ を用いれば

$$P_r(y_i = 1|z_i) = \delta(z_i > 0) \tag{3.28}$$

$$P_r(y_i = 0|z_i) = \delta(z_i \le 0)$$

となり以下のように表現できる.

$$P_r(Y_i = y_i) = \delta(y_i = 1)\delta(z_i > 0) + \delta(y_i = 0)\delta(z_i \le 0)$$
(3.29)

したがって, 尤度関数は,式(3.17)とは異なり

$$p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\theta},\rho,\sigma^{2},\boldsymbol{z}) = p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{z})$$

$$= \prod_{i=1}^{n} \{\delta(y_{i}=1)\delta(z_{i}>0) + \delta(y_{i}=0)\delta(z_{i}\leq0)\}$$
(3.30)

と簡単な形で表せる.

以上の階層的事前分布及び尤度関数を用いて . 各パラメータeta,heta, $\sigma^2$ ,zをベイズ推計ルールに基づき推計する方法を考える . ベイズの定理より , パラメータeta, $\theta$ , $\rho$ , $\sigma^2$ ,zに関する事後分布 $p(eta, eta, 
ho, \sigma^2, z|y)$  は

$$p(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z} | \boldsymbol{y}) \propto p(\boldsymbol{y} | \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}) \cdot \pi(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z})$$

$$\propto p(\boldsymbol{y} | \boldsymbol{z}) \cdot \pi(\boldsymbol{z} | \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}) \cdot \pi(\boldsymbol{\theta} | \rho, \sigma^{2}) \pi(\boldsymbol{\beta}) \cdot \pi(\rho) \cdot \pi(\sigma^{2})$$
(3.31)

と表すことができる.事後分布  $p(\pmb{\beta},\pmb{\theta},\rho,\sigma^2,\pmb{z}|\pmb{y})$  を正確に導出するためには,基準化定数,

$$m(\boldsymbol{y}) = \int_{\Theta} p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{z}) \cdot \pi(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}) \cdot \pi(\boldsymbol{\theta}|\rho, \sigma^2) \cdot \pi(\boldsymbol{\beta}) \cdot \pi(\rho) \cdot \pi(\sigma^2) d\rho d\sigma^2 d\boldsymbol{\beta} d\boldsymbol{\theta} d\boldsymbol{z}$$
(3.32)

を求める必要がある.ただし, $\Theta$ はパラメータ $eta, heta, 
ho, \sigma^2, z$ の定義域である.しかし,基準化定数m(y)を解析的に求めることは困難であり,事後分布 $p(eta, eta, 
ho, \sigma^2, z|y)$ 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,パラメータ $eta, eta, 
ho, \sigma^2, z$ の事後分布 $p(eta, eta, 
ho, \sigma^2, z|y)$ に関する統計量をMCMC法を用いて直接求める方法を採用する.

#### 3.4 MCMC法による推定

近年,MCMC法がベイズ統計学の分野に導入され,多重数値積分により基準化定数を求めなくても,効率的に事後分布を求めることが可能となった.その結果,ベイズ推計法の適用範囲は大幅に拡大した.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,メトロポリス・ヘイスティングス ( Metropolis-Hastings: MHと略す ) 法等が提案されている  $^{25),30}$  . この内,ギブスサンプリング法  $^{31}$  は,事後分布 $p(\beta,\theta,\rho,\sigma^2,z|y)$  を直接求めることが難しい場合に,各パラメータ $\beta,\theta,\rho,\sigma^2,z$  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  $^{32}$  によりパラメータ値を推計することが必要となる.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.したがって,以降,式 (3.31) の事後分布 $p(\beta,\theta,\rho,\sigma^2,z|y)$  を元に各パラメータに関する全条件付き事後分布を導出する.

#### 3.4.1 全条件付き事後分布の導出

βの全条件付き事後分布

ベイズの定理及び式(3.31)より

$$p(\boldsymbol{\beta} \mid \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) = \frac{p(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z} \mid \boldsymbol{y})}{p(\boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z} \mid \boldsymbol{y})} \propto p(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z} \mid \boldsymbol{y}) \propto \pi(\boldsymbol{z} \mid \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}) \cdot \pi(\boldsymbol{\beta})$$

$$\propto \exp\left\{-\frac{1}{2} (\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta})' (\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta})\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2} (\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c}) \boldsymbol{T}^{-1} (\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})\right\}$$
(3.33)

を得る.ここで上式の指数項を変形すると

$$-\frac{1}{2}(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta})'(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta}) - \frac{1}{2}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})\boldsymbol{T}^{-1}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})$$

$$= -\frac{1}{2}\{\boldsymbol{\beta}'\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - 2(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{\theta})'\boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\beta}'\boldsymbol{T}^{-1}\boldsymbol{\beta} - 2\boldsymbol{c}'\boldsymbol{T}^{-1}\boldsymbol{\beta} + C\}$$

$$= -\frac{1}{2}\{\boldsymbol{\beta}'(\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X} + \boldsymbol{T}^{-1})\boldsymbol{\beta} - 2[\boldsymbol{X}'(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{\theta}) + \boldsymbol{T}^{-1}\boldsymbol{c}]'\boldsymbol{\beta} + C\}$$
(3.34)

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

$$p(\boldsymbol{\beta}|\boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\boldsymbol{\beta}'\boldsymbol{A}\boldsymbol{\beta} - 2\boldsymbol{b}'\boldsymbol{\beta}\right)\right\}$$
$$\propto \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{b})'\boldsymbol{A}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{b})\right\}$$
(3.35)

となる.したがって, βの全条件付き事後分布は以下のようになる.

$$\boldsymbol{\beta} | (\boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^2, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) \sim \mathcal{N}_K(\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{b}, \boldsymbol{A}^{-1})$$
 (3.36)

#### θの全条件付き事後分布

θの全条件付き事後分布は、

$$p(\boldsymbol{\theta}|\boldsymbol{\beta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) \propto \pi(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}) \cdot \pi(\boldsymbol{\theta}|\rho, \sigma^{2})$$

$$\propto \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta})'(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta})\right\}$$

$$\cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^{2}}\boldsymbol{\theta}'\boldsymbol{S}'\boldsymbol{S}\boldsymbol{\theta}\right)$$
(3.37)

となり, $\beta$ と同様に以下の変形を行う.

$$- \frac{1}{2} (\mathbf{z} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta})' (\mathbf{z} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\theta}) - \frac{1}{2\sigma^{2}} \boldsymbol{\theta}' \mathbf{S}' \mathbf{S} \boldsymbol{\theta}$$

$$= -\frac{1}{2} \left\{ \boldsymbol{\theta}' \boldsymbol{\theta} - 2(\mathbf{z} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})' \boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\theta}' (\sigma^{-2} \mathbf{S}' \mathbf{S}) \boldsymbol{\theta} + C \right\}$$

$$= -\frac{1}{2} \left\{ \boldsymbol{\theta}' (\sigma^{-2} \mathbf{S}' \mathbf{S} + \mathbf{I}_{n}) \boldsymbol{\theta} - 2(\mathbf{z} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})' \boldsymbol{\theta} + C \right\}$$
(3.38)

ここで, $A_0 = \sigma^{-2} S' S + I_n$ , $b_0 = z - X eta$  とおけば,

$$p(\boldsymbol{\theta}|\boldsymbol{\beta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) = \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\theta}' \boldsymbol{A}_{0} \boldsymbol{\theta} - 2\boldsymbol{b}_{0}' \boldsymbol{\theta})\right\}$$
$$= \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{A}_{0}^{-1} \boldsymbol{b}_{0})' \boldsymbol{A}_{0}(\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{A}_{0}^{-1} \boldsymbol{b}_{0})\right\}$$
(3.39)

となる.したがって, $\theta$ の全条件付き分布は以下のようになる.

$$\boldsymbol{\theta} \mid (\boldsymbol{\beta}, \rho, \sigma^2, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) \sim \mathcal{N}_n(\boldsymbol{A_0}^{-1} \boldsymbol{b_0}, \boldsymbol{A_0}^{-1})$$
 (3.40)

 $\sigma^2$  の 全 条 件 付 き 事 後 分 布

 $\sigma^2$ の全条件付き事後分布は,

$$p(\sigma^{2}|\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\theta},\rho,\boldsymbol{z},\boldsymbol{y}) \propto \pi(\boldsymbol{\theta}|\rho,\sigma^{2}) \cdot \pi(\sigma^{2})$$

$$\propto (\sigma^{2})^{-(\frac{n}{2}+\alpha+1)} \exp\left\{-\frac{1}{\sigma^{2}}\left(\nu + \frac{1}{2}\boldsymbol{\theta}'\boldsymbol{S}'\boldsymbol{S}\boldsymbol{\theta}\right)\right\}$$
(3.41)

となり,  $\alpha_0=rac{n}{2}+lpha$ ,  $u_0=
u+rac{1}{2}m{ heta}'S'Sm{ heta}$ とおくと以下を得る.

$$\sigma^2 | (\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) \sim \mathcal{IG} (\alpha_0, \nu_0)$$
 (3.42)

ρの全条件付き事後分布

ρの全条件付き事後分布は,

$$p(\rho|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) \propto \pi(\boldsymbol{\theta}|\rho, \sigma^{2}) \cdot \pi(\rho)$$

$$\propto |\boldsymbol{S}| \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^{2}}\boldsymbol{\theta}'\boldsymbol{S}'\boldsymbol{S}\boldsymbol{\theta}\right)$$
(3.43)

となるが,この分布は一般的によく知られた分布ではない.したがって, $\rho$ の標本サンプルを全条件付き事後分布 $p(\rho|\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\theta},\sigma^2,\boldsymbol{z},\boldsymbol{y})$ から直接サンプリングすることは難しい.そこで,本研究ではMH法を用いてサンプリングを行う.

#### zの全条件付き事後分布

zの全条件付き事後分布は,

$$p(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\theta},\rho,\sigma^{2},\boldsymbol{y}) \propto p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{z}) \cdot \pi(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\theta})$$

$$\propto \prod_{i=1}^{n} \left\{ \delta(y_{i}=1)\delta(z_{i}>0) + \delta(y_{i}=0)\delta(z_{i}\leq0) \right\}$$

$$\cdot \prod_{i=1}^{n} \exp\left\{ -\frac{1}{2} \left(z_{i} - x_{i}'\beta - \theta_{i}\right)^{2} \right\}$$
(3.44)

となる.ここで $z_{-i}=(z_1,\cdots,z_{i-1},z_{i+1},\cdots,z_n)$ とおけば, $z_i$ の全条件付き事後分布,

$$p(z_i|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^2, \boldsymbol{z_i}, \boldsymbol{y}) \propto \left\{ \delta(y_i = 1)\delta(z_i > 0) + \delta(y_i = 0)\delta(z_i \le 0) \right\}$$

$$\cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( z_i - x_i' \beta - \theta_i \right)^2 \right\}$$
(3.45)

を得る.したがって,ziの全条件付き事後分布は以下の切断正規分布となる.

$$z_{i} | (\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \rho, \sigma^{2}, \boldsymbol{z}_{-i}, \boldsymbol{y}) \sim \begin{cases} \mathcal{T} \mathcal{N}_{(0,\infty)}(x_{i}'\boldsymbol{\beta} + \theta_{i}, 1) & if \quad y_{i} = 1 \\ \mathcal{T} \mathcal{N}_{(-\infty,0]}(x_{i}'\boldsymbol{\beta} + \theta_{i}, 1) & if \quad y_{i} = 0 \end{cases}$$
(3.46)

ただし, $\mathcal{TN}_{(0,\infty)}(x_i'm{eta}+ heta_i,1)$  は区間  $(0,\infty)$  上で切断された正規分布 $\mathcal{N}(x_i'm{eta}+ heta_i,1)$  を表している.

以上で求めた各パラメータ $\beta$ , $\theta$ , $\rho$ , $\sigma^2$ ,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 $p(\beta,\theta,\rho,\sigma^2,z|y)$  に関する統計量を推計する.パラメータ $\beta$ , $\theta$ , $\sigma^2$ ,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から直接サンプリングすることが困難なため,M H 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 $p(eta, heta, 
ho, \sigma^2, z|y)$ から各パラメータ $eta, heta, 
ho, \sigma^2, z$ の標本サンプルを抽出するが,hoのサンプリングの際のみMH法を用いる, $Metropolis\ within\ Gibbs\ sampling\ 法 ^{19)}$ 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、次にMH法について述べる.なお,図-3.1にギブスサンプリング法とMH法を用いた計算手順を示してる.

#### 3.4.2 ギブスサンプリング法

ギブスサンプリング法は,各パラメータeta,heta,ho, $\sigma^2$ ,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,各パラメータ $eta^{(0)}=(eta_1^{(0)},\cdots,eta_K^{(0)})'$ , $eta^{(0)}=(eta_1^{(0)},\cdots,eta_K^{(0)})'$ , $eta^{(0)}=(eta_1^{(0)},\cdots,eta_K^{(0)})'$ , $eta^{(0)}=(eta_1^{(0)},\cdots,eta_K^{(0)})'$  を任意の値に設定する.さらに,ハイパーパラメータ $c,T,\alpha,\nu$ ,サンプル数 $\underline{n},\bar{n}$ 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.また,観測値として 2 値変数ベクトルyを設定する.

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 $p(\beta|\theta^{(t-1)},\rho^{(t-1)},\sigma^{2^{(t-1)}},z^{(t-1)},y)$ から発生させる.すなわち,パラメータベクトル $\beta^{(t)}$ を多変量正規分布 $p(\beta|\theta^{(t-1)},\rho^{(t-1)},\sigma^{2^{(t-1)}},z^{(t-1)},y)$ から乱数発生させる.

ステップ 3 パラメータ $\theta^{(t)}$ 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 $\theta^{(t)}$ を $p(\theta|\beta^{(t)},\rho^{(t-1)},\sigma^{2^{(t-1)}},z^{(t-1)},y)$ から発生させる.すなわち,パラメータベクトル $\theta^{(t)}$ を多変量正規分布 $p(\theta|\beta^{(t)},\rho^{(t-1)},\sigma^{2^{(t-1)}},z^{(t-1)},y)$ から乱数発生させる.

ステップ 4 パラメータ $\sigma^{2^{(t)}}$ 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 $\sigma^{2^{(t)}}$ を $p(\sigma^2|\boldsymbol{\beta}^{(t)},\boldsymbol{\theta}^{(t)},\rho^{(t-1)},\boldsymbol{z}^{(t-1)},\boldsymbol{y})$ から発生させる.すなわち ,パラメータ $\sigma^{2^{(t)}}$ を逆ガンマ分布 $p(\sigma^2|\boldsymbol{\beta}^{(t)},\boldsymbol{\theta}^{(t)},\rho^{(t-1)},\boldsymbol{z}^{(t-1)},\boldsymbol{y})$ から乱数発生させる.

ステップ 5 パラメータ $\rho^{(t)}$ 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 $p(\rho|\beta^{(t)}, \theta^{(t)}, \sigma^{2^{(t)}}, z^{(t-1)}, y)$ 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,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 6 パラメータ $z^{(t)}$ 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 $p(z|\beta^{(t)}, \theta^{(t)}, \rho^{(t)}, \sigma^{2^{(t)}}, y)$ から発生させる.すなわち,多変量切断正規分布 $p(z|\beta^{(t)}, \theta^{(t)}, \rho^{(t)}, \sigma^{2^{(t)}}, y)$ からパラメータベクトル $z^{(t)}$ を乱数発生させる.

ステップ 7 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  $oldsymbol{eta}^{(t)}, oldsymbol{ heta}^{(t)}, \sigma^{2(t)}, 
ho^{(t)}, z^{(t)}$  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 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.

#### 3.4.3 M H 法

MH法では,パラメータ $\rho$ の全条件付き事後分布 $p(\rho|\beta,\theta,\sigma^2,z,y)$ 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ステップを含めることにより,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密度に従って酔歩させながらサンプリングする方法で,その確率密度が提案密度となる.以下に,酔歩過程MH法により $\rho$ を生成する手順を述べる.

まず,  $\rho$  は平均0の正規分布に従って酔歩過程を行うと仮定し

$$\rho^{new} = \rho^{old} + c^* \phi \qquad \phi \sim \mathcal{N}(0, 1)$$
(3.47)

から生成する.ただし, $\rho^{new}\in[\lambda_{min}^{-1},\lambda_{max}^{-1}]$ であり, $c^*$ はチューニング・パラメータである.次に、採択確率

$$\Psi(\rho^{old}, \rho^{new}) = \min\left(1, \frac{f(\rho^{new}|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \sigma^2, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y})}{f(\rho^{old}|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \sigma^2, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y})}\right)$$
(3.48)

で $ho=
ho^{new}$ とし,そうでなければ, $ho=
ho^{old}$ とする.

以上の手順をまとめると次のようになる.

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,提案分布(式(3.47)) より新しいパラメータ推定値 $\rho^{new}$ を提案する.ただし, $\rho^{new}$ は $\rho^{new} \in [\lambda_{min}^{-1}, \lambda_{max}^{-1}]$ を満たす必要がある.

ステップ 2 受容確率の計算 受容確率

$$\Psi(\rho^{(t-1)}, \rho^{new}) = \min\left(1, \frac{f(\rho^{new}|\boldsymbol{\beta}^{(t)}, \boldsymbol{\theta}^{(t)}, \sigma^{2(t)}, \boldsymbol{z}^{(t-1)}, \boldsymbol{y})}{f(\rho^{(t-1)}|\boldsymbol{\beta}^{(t)}, \boldsymbol{\theta}^{(t)}, \sigma^{2(t)}, \boldsymbol{z}^{(t-1)}, \boldsymbol{y})}\right)$$
(3.49)

を求める.ただし,

$$f(\rho|\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\theta}, \sigma^2, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y}) = |\boldsymbol{S}| \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \boldsymbol{\theta}' \boldsymbol{S}' \boldsymbol{S} \boldsymbol{\theta}\right)$$
(3.50)

である.

ステップ 3 - 様 乱 数 の 発 生 - 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

$$\rho^{(t)} = \begin{cases} \rho^{new} & if \quad u \leq \Psi(\rho^{(t-1)}, \rho^{new}) \\ \rho^{(t-1)} & otherwise \end{cases}$$
(3.51)

#### 3.5 事後分布に関する統計量

M C M C 法によって得られた標本に基づいて,各パラメータeta,heta, $ho^2$ ,zに関する統計的性質を分析することができる.M C M C 法を用いた場合,パラメータの事後確率密度関数 $p(eta,m{ heta},
ho,\sigma^2,z|m{y})$ を解析的な関数として表現不可能なため,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 $(eta^{(n)},m{ heta}^{(n)},m{ heta}^{(n)},\sigma^{2(n)},z^{(n)})$ , $(n=1,\cdots,ar{n})$ と表す.この内,最初の $ar{n}$ 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 $M=\{\underline{n}+1,\cdots,ar{n}\}$ と定義する.この時,パラメータeta, $\sigma^2$ 0事後平均 $\tilde{\mu}(m{
ho})$ , $\tilde{\mu}(\sigma^2)$ 及び事後分散 $\tilde{\sigma}^2(m{
ho})$ , $\tilde{\sigma}^2(\sigma^2)$ はそれぞれ以下のように表される.

$$\tilde{\mu}(\rho) = \sum_{k=n+1}^{\overline{n}} \frac{\rho^{(k)}}{\overline{n} - \underline{n}} \qquad \tilde{\sigma}^2(\rho) = \sum_{k=n+1}^{\overline{n}} \frac{(\rho^{(k)} - \tilde{\mu}(\rho))^2}{\overline{n} - \underline{n}}$$
(3.52)

$$\tilde{\mu}(\sigma^2) = \sum_{k=n+1}^{\overline{n}} \frac{\sigma^{2(k)}}{\overline{n} - \underline{n}} \qquad \tilde{\sigma}^2(\sigma^2) = \sum_{k=n+1}^{\overline{n}} \frac{(\sigma^{2(k)} - \tilde{\mu}(\sigma^2))^2}{\overline{n} - \underline{n}}$$
(3.53)

ま た, パ ラ メ ー タ  $\beta$  の 期 待 値 ベ ク ト ル  $\tilde{\mu}(\beta)$ , 分 散・共 分 散 行 列  $\tilde{\Sigma}(\beta)$  は, そ れ ぞ れ

$$\tilde{\boldsymbol{\mu}}(\boldsymbol{\beta}) = \left(\sum_{k=\underline{n}+1}^{\overline{n}} \frac{\beta_1^{(k)}}{\overline{n} - \underline{n}}, \cdots, \sum_{k=\underline{n}+1}^{\overline{n}} \frac{\beta_K^{(k)}}{\overline{n} - \underline{n}}\right)'$$
(3.54)

$$\tilde{\Sigma}(\beta) = \begin{pmatrix} \tilde{\sigma}^2(\beta_1) & \cdots & \tilde{\sigma}(\beta_1 \beta_K) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\sigma}(\beta_K \beta_1) & \cdots & \tilde{\sigma}^2(\beta_K) \end{pmatrix}$$
(3.55)

と表される.ただし,

$$\tilde{\sigma}^2(\beta_J) = \sum_{k=n+1}^{\overline{n}} \frac{\left\{ \beta_J^{(k)} - \tilde{\mu}(\beta_J) \right\}^2}{\overline{n} - \underline{n}}$$
(3.56)

$$\tilde{\sigma}(\beta_I \beta_J) = \sum_{k=n+1}^{\overline{n}} \frac{\left\{ \beta_I^{(k)} - \tilde{\mu}(\beta_I) \right\} \left\{ \beta_J^{(k)} - \tilde{\mu}(\beta_J) \right\}}{\overline{n} - \underline{n}}$$
(3.57)

である.パラメータ $\theta$ ,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及び分散・共分散行列が推計可能である.また,ギブスサンプリングによる標本を用いて,各パラメータ $\beta$ , $\theta$ , $\rho$ , $\sigma^2$ ,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 $(\underline{\rho}_{\alpha},\overline{\rho}_{\alpha})$ 

$$\underline{\rho}_{\alpha} = \arg \max_{\rho^{(k^*)}} \left\{ \frac{\#(\rho^{(k)} \le \rho^{(k^*)}, k \in \mathcal{M})}{\overline{n} - \underline{n}} \le \alpha \right\}$$
(3.58)

$$\overline{\rho}_{\alpha} = \arg \min_{\rho^{(k^{**})}} \left\{ \frac{\#(\rho^{(k)} \ge \rho^{(k^{**})}, k \in \mathcal{M})}{\overline{n} - \underline{n}} \le \alpha \right\}$$
(3.59)

を用いて $\underline{\rho}$ < $\rho$ < $\overline{\rho}$ 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.

M C M C 法では、初期パラメータ $(\beta^{(0)}, \theta^{(0)}, \rho^{(0)}, \sigma^{2^{(0)}}, z^{(0)})$ 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 $\pi$ 回繰り返した場合を考える. $\pi$ 個のサンプルの内、最初の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n+1回以降の標本をとりあげる.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 $^{33}$ により仮説検定できる.いま,各パラメータのギブス標本 $(\beta^{(k)}, \theta^{(k)}, \rho^{(k)}, \sigma^{2^{(k)}}, z^{(k)})$ 、 $(k=n+1, \cdots, \overline{n})$ 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,

$$Z_{\rho} = \frac{\overline{\rho}_1 - \overline{\rho}_2}{\sqrt{\nu_1(\rho)^2 + \nu_2(\rho)^2}} \sim \mathcal{N}(0, 1)$$
 (3.60)

$$\overline{\rho}_1 = \frac{\sum_{k=\underline{n}+1}^{\underline{n}+n_1} \rho^{(k)}}{n_1} \qquad \overline{\rho}_2 = \frac{\sum_{k=\overline{n}-n_2+1}^{\overline{n}} \rho^{(k)}}{n_2}$$
(3.61)

$$\nu_1(\rho)^2 = \frac{2\pi \hat{f}_{\rho}^1(0)}{n_1} \qquad \nu_2(\rho)^2 = \frac{2\pi \hat{f}_{\rho}^1(0)}{n_2}$$
(3.62)

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

$$2\pi \hat{f}_{\rho}^{i}(0) = \hat{w}_{0}^{i} + 2\sum_{s=1}^{q} w(s,q)\hat{w}_{j}^{i}$$
(3.63)

$$\hat{w}_j^1 = n_1^{-1} \sum_{g=\underline{n}+s+1}^{\underline{n}+n_1} (\rho^{(g)} - \overline{\rho}_1)(\rho^{(g-s)} - \overline{\rho}_1)$$
(3.64)

$$\hat{w_j}^2 = n_2^{-1} \sum_{g=\overline{n}-n_2+s+1}^{\overline{n}} (\rho^{(g)} - \overline{\rho}_2)(\rho^{(g-s)} - \overline{\rho}_2)$$
(3.65)

$$w(s,q) = 1 - \frac{s}{q+1} \tag{3.66}$$

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

$$\begin{cases}
H_0(\rho) : |Z_{\rho}| \le z_{\alpha/2} \\
H_1(\rho) : |Z_{\rho}| > z_{\alpha/2}
\end{cases}$$
(3.67)

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 $\beta,\theta,\sigma^2,z$ 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.

# 第4章 適用事例

# 4.1 適用事例の概要

本研究に先立ち、インドネシア・ジャワ島を対象として、水アクセスの実態とその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.実態調査は、ジャワ島・Singosari 地域のToyomaroto(以下、TYと略す)村、Candi Renggo(以下、CRと略す)村それぞれ250世帯、計500世帯を対象とし、2008年12月から2009年1月にかけて質問紙形式で行った.調査地域の地図を図―4.1に示している.質問項目は、1)家族構成、収入などの世帯属性に関する一般的な質問項目、2)現状の水供給に関する質問項目、3)コミュニティネットワークに関する質問項目に分類でき、インタビューに用いた調査票を付録として巻末に添付している.これらの実態調査から得たデータを基に、自発的集合行為モデルの推計を行う.

自発的集合行為モデルの推計にあたり、まず、データの説明を行う. 対象地域における水供給システムは、表-4.1に示す5種類が存在する.PDAMとは国による水供給システムであり、HIPPAMとは住民が自発的に開発・共同管理する水供給システムである.これら2種類の水供給システムは、排除性と非競争性をもつクラブ財に分類できる.一方で、Ind.Well、Com.Hydrant、Others はそれぞれ私的財に分類できる.次に、集計結果から得られた世帯属性の特徴について説明する.世帯代表者(以下、Respondentと呼ぶ)の71%は男性である.また、Respondentの平均年齢は47才であり、90%が15-65才の生産年齢人口に分類される.Respondentは平均4人の家族をもち、36%が両親と子供2人からなる世帯である.Respondentの職業の61%はServiceであり、残りはAgricultureとManufacturingに分類できる.世帯収入に関しては、64%の世帯が一カ月の収入がIDR.1 million以下であり、その内25%がIDR.500.000以下、39%がIDR.500.000-1 millionである.また、Respondentの46%がelementary schoolまでの学歴を持ち、その内26%がjunior schoolまでの学歴がある.なお、以上のデータについての図を図-4.2から図-4.8に示している.

本研究では、Ind.Well、Com.Hydrant、Othersは、PDAMあるいはHIPPAMからの水供給

を得るという選択肢を持たず、自力で水資源へのアクセスを得るしか方法を持たないグループであると考える.したがって,推定の際にはこれらのグループを除外し,水供給システムからの水アクセスを得るという選択肢をもつ PDAM あるいは HIPPAM に属する世帯を母集団と考える.すなわち,世帯がHIPPAM に参加していれば y=0と設定する.次に説明変数 Xであるが,本研究では以下の説明変数を採用する.

なお,各説明変数の統計量を表-4.2にまとめている.

最後に,重み行列Wを設定する.本研究では,日常における住民間のお付き合い関係の深さが水供給システムの選択に影響を及ぼすという仮説を検証するため,住民間の社会的相関を表現する重み行列を作成する必要がある.本研究では様々なパターンの重み行列を設定し推計を行った結果から判断して,最終的に質問項目3)のコミュニティネットワークに関するデータを用いて重み行列を設定した.具体的には,各世帯の代表者がどのような社会的グループに属しているかに関してのデータ(以下,グループデータと呼ぶ)を利用し,以下の手順で重み行列を作成した.いま,表―4.3のグループデータが与えられているとする.ここで,1.Religious,2.Cultural/Social,3.Community organization,4.Finance はそれぞれ各村に存在する社会的グループを表しており,Respondent は各世帯の代表者を表している.このとき,各Respondent が同じグループに属していれば重み行列の要素の値を1とし,同じグループの数に

応じて重み付けする.そして最後に,行基準化を行う.上の例では,

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 0/2 & 1/2 & 1/2 \\ 1/3 & 0/3 & (1+1)/3 \\ 1/3 & (1+1)/3 & 0/3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/3 & 0 & 2/3 \\ 1/3 & 2/3 & 0 \end{pmatrix}$$
(4.1)

となる.

#### 4.2 推計結果及び考察

前節で設定した被説明変数y,説明変数X及び重み行列Wを用いて,各村それぞれのデータについて推計を行った.有効サンプル数は,TY村が159,CR村が142である.また,事前分布のハイパーパラメータをそれぞれ $c=\mathbf{0}_K, T=100I_K, \alpha=25, \nu=3$ と設定した.なお,社会的相関を考慮しない場合との比較のため,プロビットモデルを用いた推計も実施した.MCMC法を用いたプロビットモデルの推計手順の詳細は,付録を参照されたい.

以上の初期設定の下,MCMC法によりサンプリングを行った.最初の $\underline{n}=1000$ 個を初期値に依存する稼働検査期間として棄てた後,4000個の標本を発生させ,その全ての標本を用いた推定結果を表-4.4,4.5にまとめた.表-4.4,4.5の各列は,プロビットモデル及び自発的集合行為モデルにおける事後標本平均,事後標本標準誤差,90%信頼区間,収束判定のためのGeweke 検定統計量を表している.まず,プロビットモデルと自発的集合行為モデルの推計結果を比較しよう.各パラメータ推計値の値は非常に類似した結果となっている.また,自発的集合行為モデルのパラメータ $\rho$ は TY,CRいずれの場合も負の値となっているが,90%信頼区間に0の値を含んでいる. つまり,日常的なお付き合いが住民の自発的集合行為に及ぼす影響について,今回の推計結果からは明確な示唆を得ることができなかった.本適用事例では,社会的相関を表現する重み行列を表現するためにグループデータを用いた.これは,限られたサンプル数からの最大限の工夫であったが,この設定では期待するような推計結果を得ることができなかった.したがって,社会的相関を上手く考慮した推定結果を得るためには,重み行列の設定を工夫する必要がある.例えば,各世帯間の地理的距離や,より詳細な社会的グループデータなどを用いる方法が考えられる.

次に各パラメータ推計値の大きさであるが, TY, CR の各データについて, プロビットモデル, 自発的集合行為モデルのいずれにおいても, INCOME は90% 信頼区間

に0の値を含んでおり、有意な推計結果を得ることができなかった.その他のパラメータについては,CRでは全て有意な値となっているが,TYではLENGTH,COSTのみ有意となった.まず,LENGTH の推計結果より,世帯代表者の居住年数が長いほどHIPPAMに参加する傾向があると言える.つまり,HIPPAMへの参加者は古くからその地域に住む人が多く,日常的な交流が影響を及ぼしていることが推測される.COSTに関しては有意に負となっているため,HIPPAM参加者の方が水道料金が低く,低所得層が比較的多いことが予想される.また,その他のパラメータについては,CRの推計結果から以下の結論を導くことが出来る.FAMは有意に正となっており,世帯の構成人数が多いほどHIPPAMに参加する傾向がある.GENDER,AGE はそれぞれ有意に正,負となっており,世帯代表者が男性あるいは年齢が低いほどHIPPAMに参加しやすい.EDU,OCCUは共に有意に正の値をとっており,世帯代表者の学歴が低い,あるいは職業が農業や製造業であればHIPPAMに参加する傾向があると言える.

最後に各パラメータのGeweke検定統計量についてであるが、自発的集合行為モデルでのTYのOCCU、COST及びCRでのGENDERを除き、いずれにおいてもGeweke検定統計量は1.96を下回っており、有意水準5%で収束仮説を棄却できないことが分かる.したがって各パラメータは定常分布へと上手く収束しており、ギブスサンプリング法とMH法を組み合わせたMCMC法による推計方法の有効性が確認できる.なお、自発的集合行為モデルにおける各パラメータのサンプリング過程、推計された全条件付き事後分布の図を付録に示している.

# 第5章 おわりに

住民参加型水供給システムは,開発途上国においてより多くの人に水資源へのアクセスを提供すると期待されている.その適切な維持管理・運営は住民の自発的な協働生産行為に委ねられており,公共財の自発的な供給問題など,水の安全・維持管理の継続的についての不確実性が存在する.そこで本研究では,なぜ住民は自発的に水供給システムの協働生産行為に参加するのかに焦点を当て,そのメカニズムの分析を試みた.その際,日常的な交流と協働生産行為との関係に着目し,空間プロビットモデルに基づいた水供給システムの選択モデルを提案し「日常的なお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及ぼす影響についてインドネシア・ジャワ島を対象とした事例分析を行った.

本研究では、ベイズ統計学におけるMCMC法を用いて自発的集合行為モデルを推計した.しかし、限られたサンプルデータの下では、住民の日常的な交流と協働生産行為との関係を明らかにするような満足のいく推計結果を得ることが出来なかった.今後新たなデータを用いて自発的集合行為モデルの推計を行う際には、いくつかの課題点の改善が必要である.まず、本研究ではグループデータを用いて重み行列の設定を行ったが、パラメータρは有意な値とはならなかった.そこで、Social Network Analysis の手法を援用した、より高度な重み行列を作成する必要がある.また、地理的距離などを考慮した重み行列を作成し、社会的相関に起因する重み行列との比較なども今後の課題として挙げることができる.次に、本研究ではモデルの適合度に関しての検証を行っていない.MCMC法による推計法を用いた場合、周辺尤度やベイズ・ファクターを用いて各モデルの適合度を比較できる.これらのモデル比較の基準を用いて、自発的集合行為モデルの説明変数、社会的相関項の構造としてどれが一番ふさわしいのか検証する必要がある.

本研究では、なぜ住民は自発的集合行為へ参加・協力するのかという住民参加型水供給システムの成立構造のみに着目し、住民参加型水供給システムの社会経済価値を取り上げてはいない.しかし言うまでもなく、水資源の配分原理、利用管理の権利構造、水資源が生み出す費用と便益のフローを明らかにすることは重要である.よって、自発的水供給システムの導入が地域における社会・経済システムに

及ぼす影響を定量的に評価するための社会経済モデルの開発に今後取り組む必要がある.

2010年2月に,インドネシア・ジャワ島を対象とした第2回目の実態調査を実施する予定である.新たに得られるであろうデータを基に,上記で挙げたような様々な観点から住民参加型水供給システムの研究を進めていきたい.

# 参考文献

- 1) World Bank: World Development Report 1997
- 2) NARBO: NARBO Report 2007
- 3) Statistic Centre Board 2005
- 4) 国際協力銀行開発金融研究所:参加型アプローチの費用便益分析 概念整理と 推計の枠組み - ,JBICI Research Paper No.21, 2003.
- 5) 斎藤文彦: 参加型開発 貧しい人々が主役となる開発へ向けて、日本評論社,2002.
- 6) Olson, M.: The logic of collective action. Harvard University Press, Cambridge, MA. 1965.
- 7) Olson, M.: The rise and decline of nations. New Haven: Yale University Press. 1982.
- 8) Hardin, G.: The Tragedy of the Commons, cience, Vol.162, pp.1243-1248, 1968.
- 9) Axelrod, R.: The Evolution of Cooperation, Basic Books, 1984.
- 10) Coleman, J.: Foundations of Social Theory, Harvard University Press, 1990.
- 11) Putnam, R.: Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy, Princeton University Press, 1993.
- 12) Evans, P.: Government Action, Social Capital and Development: Reviewing the Evidence on Synergy, World Development Vol.24, No.6, pp.1119-1132, 1996.
- 13) Narayan, D.: Bonds and Bridges: Social Capital and Poverty, Poverty Group, PREM, The World Bank, 1999.
- 14) Woolcock, M.: Social Capital and Economic Development: Toward a Theoretical Synthesis and Policy Framework, Theory and Society Vol.27, pp.151-208, 1998.
- 15) 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.
- 16) Greene, W.: Econometric Analysis, fourth edition, Upper Saddle River, Prentice-Hall, 2000.
- 17) Maddala, G.S.: Introduction to Econometrics, third edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- 18) Anselin, L.: Spatial Econometrics: Methods and Models, Dordrecht: Kluwer AcademicPublishers, 1988.

- 19) Lesage, J.P.: Introduction to Spatial Econometrics, CRC Press, 2009.
- 20) Smith, T.E., LeSage, J.P.: A Bayesian Probit Model with Spatial Dependencies, Advances in Econometrics, Vol.18, 2004.
- 21) Albert, J.M. and Siddhartha, C.: Bayesian Analysis of Binary and Polychotomous Data, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.88, No.422, pp.669-679, 1993.
- 22) Kakamu, K. and Wago, H.: Bayesian Spatial Panel Probit Model with an Application to Businenn Cycle in Japan, 2005.
- 23) Tanner, M.A. and W.H. Wong: The Calculation of Posterior Distributions by Data Augmentation, Journal of the American Statistical Association, Vol.82, pp.528-550, 1987.
- 24) Rossi, P.E., G.M. Allenby and R. McCulloch: Bayesian Statistics and Marketing, Wiley Series in Probability and Statistics, 2006.
- 25) Gelman, A., J.B. Carlin, H.S Stern and D.R. Rubin: Bayesian Data Analysis, CRC Press, 2004.
- 26) Lancaster, T.: Introduction to Modern Bayesian Econometrics, Blackwell Publishing, 2004.
- 27) Sun , D. , R.K. Tsutakawa, P.L Speckman: Posterior distribution of hierarchical models using car(1) distributions, *Biometrica*, Vol.86, pp.341-350, 1999.
- 28) Sha, Y. and Greg M.A.: Modeling Interdependent Consumer Preferences
- 29) Craioveanu, M. and Terrell, D.: The impact of storms on firm survival: a bayesian spatial econometric model for firm survival, 2009.
- 30) Gilks , W.R. , Richardson , S. , Spiegelhalter , D.J.: *Markov Chain Monte Carlo in Practice*, CHAPMAN & HALL/CRC.
- 31) 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.
- 32) Chib, S. and E, Greenberg: Understanding the Metropolis-Hastings Algorithm, *The American Statistician*, Vol.49, pp.327-335, 1995.
- 33) 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.
- 34) Anselin, L., Lozano-Gracia, N., Deichmann, U. and Lall, S.: Valuing Access to Water A Spatial Hedonic Approach Applied to Indian Cities, Policy Research Working Paper, The World Bank Development Research Group, 2008.

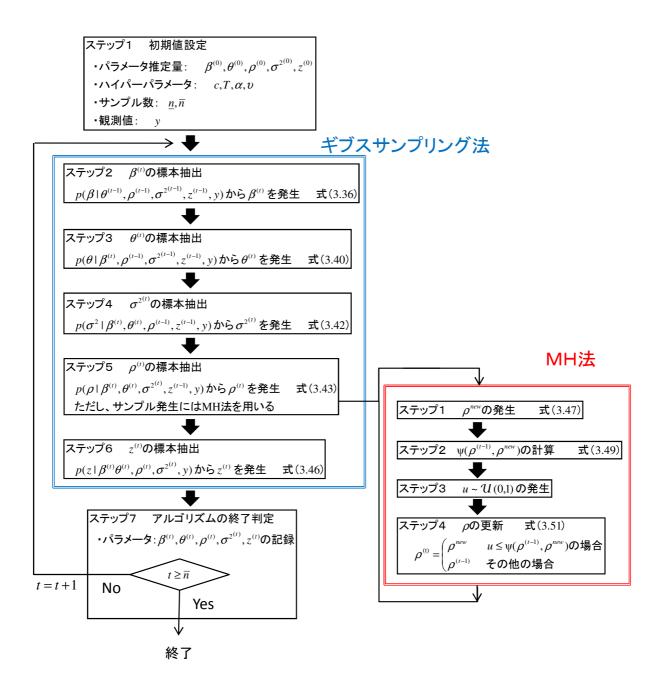


図-3.1 MCMC 法による推定手順

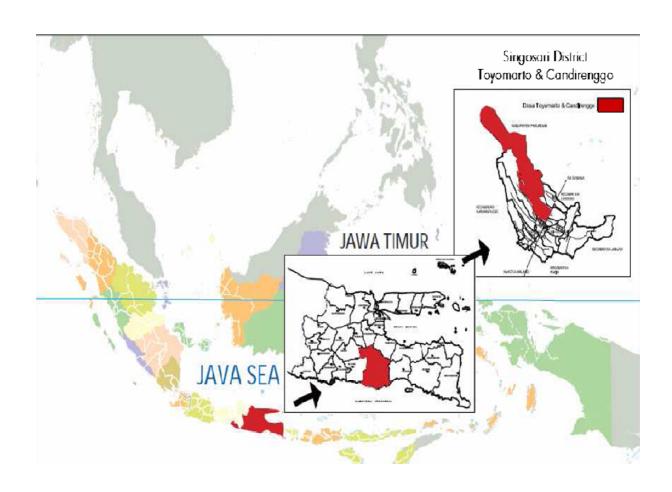
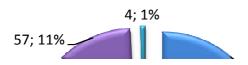


図-4.1 調査地域の地図

表-4.1 Singosari 地域における水供給システム

Water Source	PDAM	HIPPAM	Ind. Well	Com. Hydrant	Others
TV	18	147	42	38	4
	7%	59%	17%	15%	2%
CP	91	70	69	19	0
CR	37%	28%	28%	8%	0%



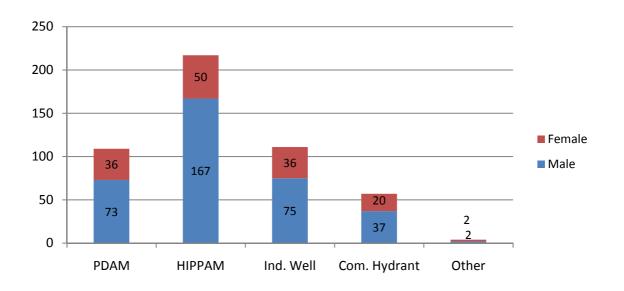


図-4.3 性別による分類



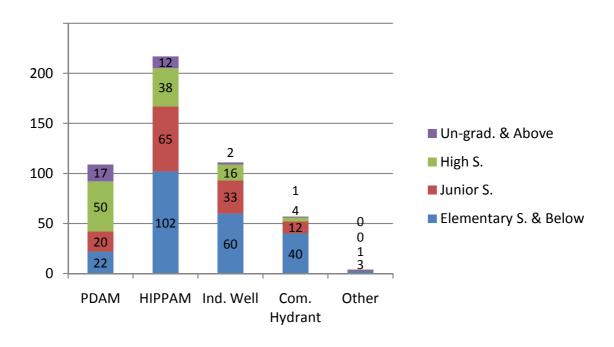
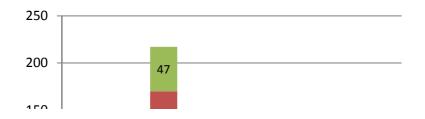


図-4.5 学歴よる分類



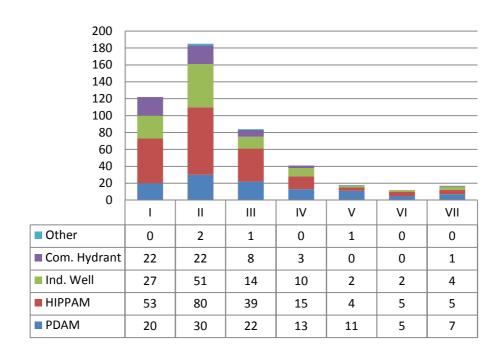


図-4.7 収入による分類

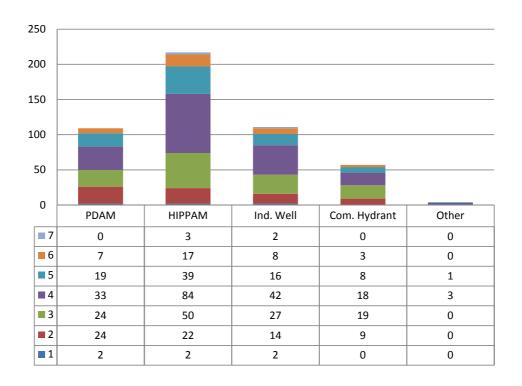


図-4.8 家族人数による分類

表-4.2 各説明変数の統計量

Toyomarto(n=159)

説明変数	平均値	標準偏差  最大値		最小値
FAM	3.925	1.082	7	2
GENDER	0.742	0.439	1	0
AGE	43.031	10.562	73	20
EDU	0.811	0.392	1	0
occu	0.547	0.499	1	0
INCOME	0.926	0.664	3.250	0.250
LENGTH	29.613	17.984	68	0.020
COST	264.921	642.547	7000	0

Candi Renggo(n=142)

———— 説明変数	平均値	標準偏差  最大値		最小値
FAM	3.711	1.275	7	1
GENDER	0.732	0.444	1	0
AGE	47.354	12.307	85	24
EDU	0.458	0.500	1	0
occu	0.225	0.419	1	0
INCOME	1.190	0.854	3.250	0.250
LENGTH	19.097	16.063	85	0.08000
COST	652.426	671.278	671.278 5000	

表-4.3 重み行列 W の作成例

	1.Religious	2.Cultural/Social	3.Community organization	4.Finance
Respondent1	1	1	0	0
Respondent2	1	0	1	1
Respondent3	0	1	1	1

表-4.4 推定結果(Toyomarto)

Toyomarto (n=159)

		プ	ロビットモデ	ル		自発的集合行為モデル				
パラメータ	事後平均	事後 標準誤差	90%信	頼区間	Geweke検 定統計量	事後平均	事後 標準誤差	90%信	頼区間	Geweke検 定統計量
定数項	3.449	1.389	1.266	5.787	0.318	3.620	1.545	1.212	6.200	1.872
FAM	-0.734	0.178	-0.363	0.218	0.155	-0.085	0.204	-0.415	0.246	0.603
GENDER	-0.058	0.468	-0.838	0.697	0.408	0.035	0.509	-0.801	0.861	0.607
AGE	-0.029	0.021	-0.063	0.005	1.097	-0.031	0.023	-0.069	0.006	1.680
EDU	-0.069	0.533	-0.982	0.794	0.402	-0.136	0.579	-1.112	0.788	0.322
OCCU	-0.289	0.428	-1.007	0.383	0.236	-0.234	0.485	-1.062	0.561	2.863
INCOME	0.252	0.363	-0.326	0.876	1.075	0.228	0.367	-0.364	0.844	0.499
LENGTH	0.024	0.013	0.002	0.046	0.476	0.026	0.014	0.003	0.049	1.949
COST	-0.004	0.001	-0.005	-0.003	0.390	-0.004	0.001	-0.005	-0.003	2.224
$oldsymbol{\sigma}^2$	-	_	-	-	_	0.128	0.027	0.092	0.177	1.220
$\rho$	-	_	-	-	_	-9.016	5.486	-17.345	0.175	1.203

表-4.5 推定結果 (Candi Renggo)

Candi Renggo(n=142)

		プ	ロビットモデ	゚ル		自発的集合行為モデル				
パラメータ	事後平均	事後 標準誤差	90%信	頼区間	Geweke検 定統計量	事後平均	事後 標準誤差	90%信頼区間		Geweke検 定統計量
定数項	-1.272	0.749	-2.501	-0.045	1.634	-1.376	0.800	-2.714	-0.092	0.509
FAM	0.199	0.119	0.006	0.394	1.360	0.196	0.123	0.002	0.404	0.711
GENDER	0.554	0.351	0.005	1.144	0.003	0.594	0.370	0.001	1.216	3.406
AGE	-0.026	0.014	-0.048	-0.004	0.787	-0.026	0.014	-0.050	-0.004	0.519
EDU	0.865	0.340	0.312	1.446	0.740	0.939	0.362	0.351	1.544	0.578
OCCU	1.059	0.363	0.478	1.661	1.053	1.157	0.397	0.497	1.819	1.683
INCOME	0.129	0.181	-0.168	0.426	0.059	0.149	0.193	-0.170	0.476	0.544
LENGTH	0.039	0.011	0.020	0.058	0.831	0.041	0.013	0.021	0.063	0.866
COST	-0.001	0.0002	-0.001	-0.0003	1.147	-0.001	0.0002	-0.001	-0.0004	0.903
$oldsymbol{\sigma}^2$	-	_	-	-	_	0.127	0.026	0.091	0.175	0.274
ρ	-	_	-	-	_	-5.092	3.222	-10.121	0.067	0.412

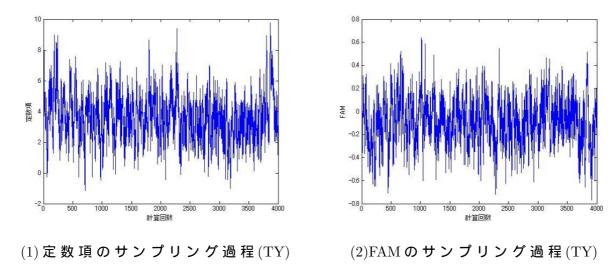


図-4.9 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

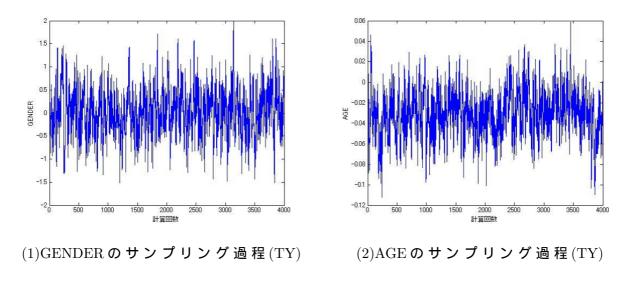


図-4.10 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

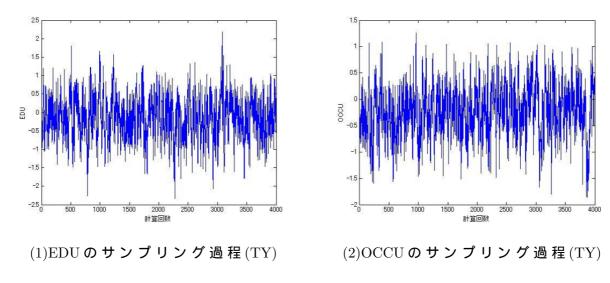


図-4.11 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

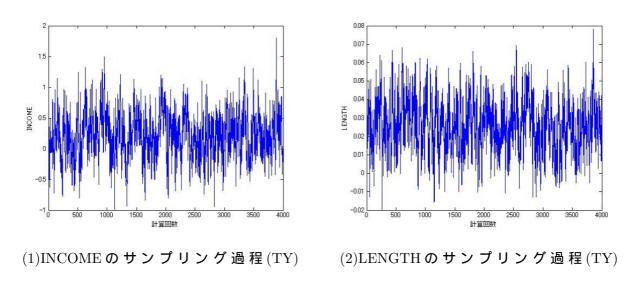


図-4.12 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

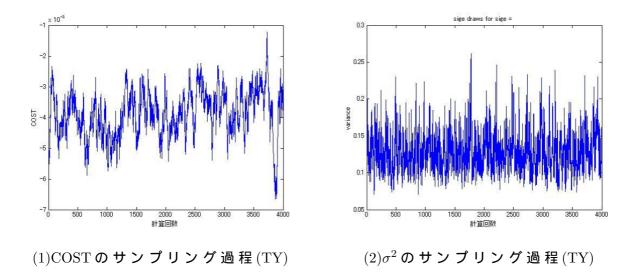
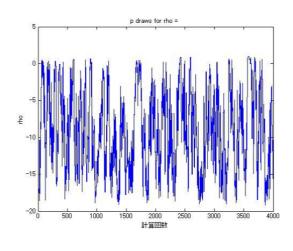
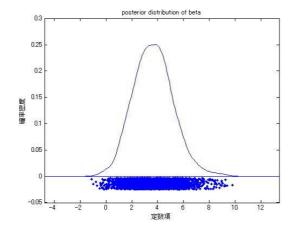


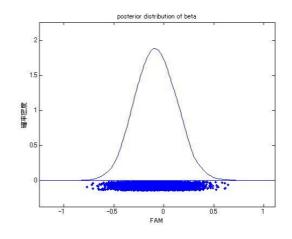
図-4.13 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程



 $(1)\rho$  の サン プリン グ 過 程 (TY)

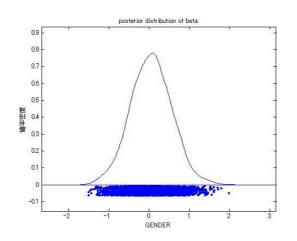
図-4.14 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

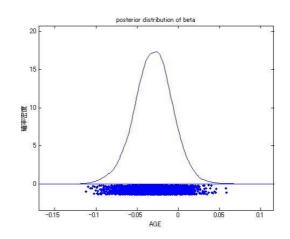




(1) 定 数 項 の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY) (2)FAM の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY)

図-4.15 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

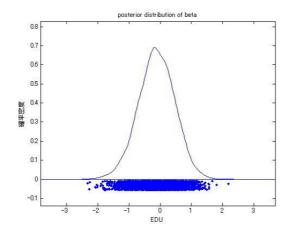


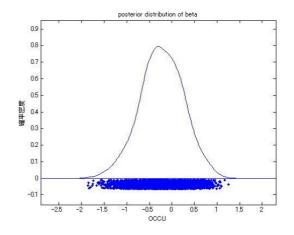


(1)GENDER の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY)

(2)AGE の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY)

図-4.16 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

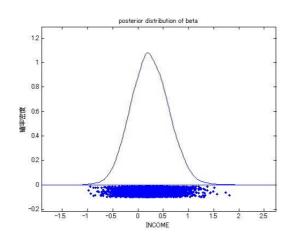


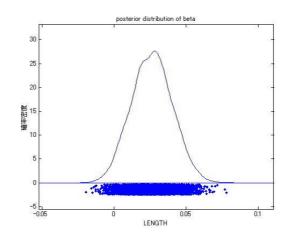


(1)EDU **の** 全条件付き事後分布(TY)

(2)OCCU の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY)

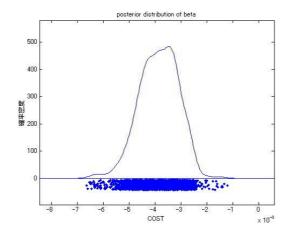
図-4.17 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

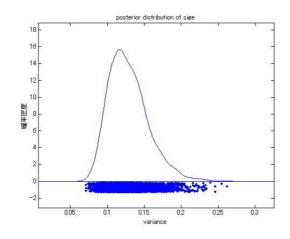




(1)INCOME の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY) (2)LENGTH の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY)

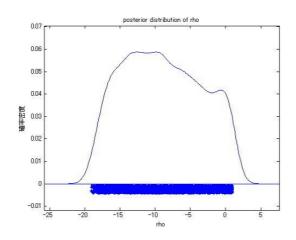
図-4.18 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布





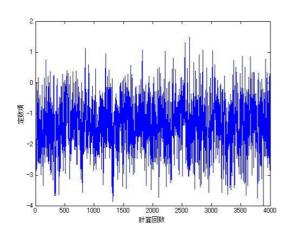
(1)COST の全条件付き事後分布(TY)  $(2)\sigma^2$ の全条件付き事後分布(TY)

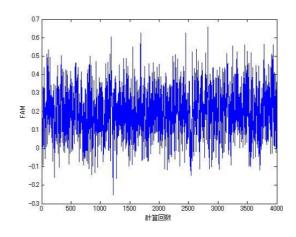
図-4.19 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布



(1)
ho の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (TY)

図-4.20 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

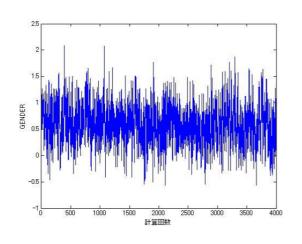


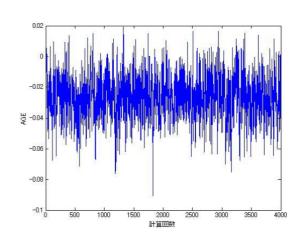


(1) 定数項のサンプリング過程(CR)

(2)FAM の サン プリン グ 過 程 (CR)

図-4.21 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

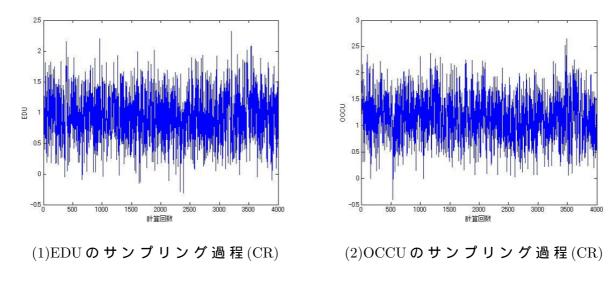




(1)GENDER の サン プリン グ 過 程 (CR)

(2)AGE の サン プリン グ 過 程 (CR)

図-4.22 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程



図−4.23 自 発 的 集 合 行 為 モ デ ル の 各 パ ラ メ ー タ の サ ン プ リ ン グ 過 程

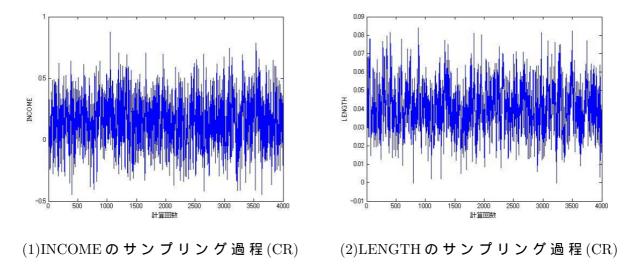
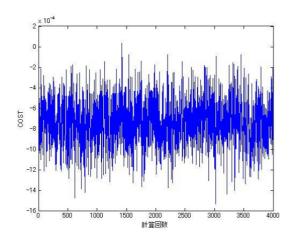
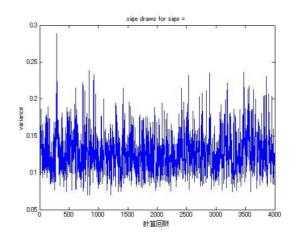


図-4.24 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

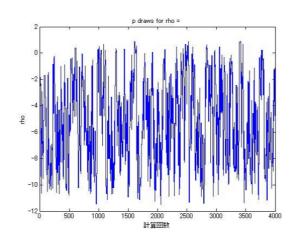




(1)COST の サン プリン グ 過 程 (CR)

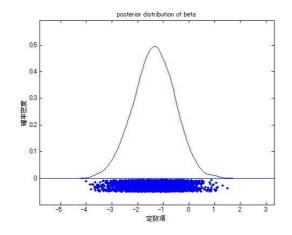
 $(2)\sigma^2$  の サン プリン グ 過 程 (CR)

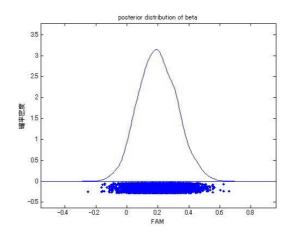
図-4.25 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程



 $(1)\rho$  の サン プリング 過程 (CR)

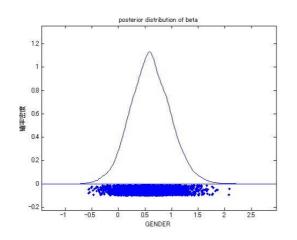
図-4.26 自発的集合行為モデルの各パラメータのサンプリング過程

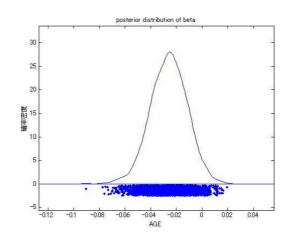




(1) 定 数 項 の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR) (2)FAM の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR)

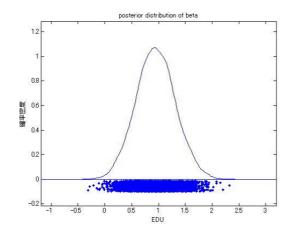
図-4.27 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

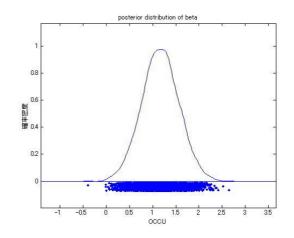




(1)GENDER の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR) (2)AGE の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR)

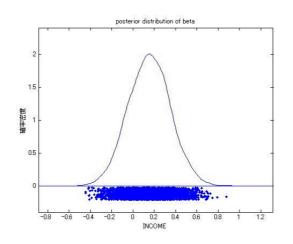
図-4.28 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

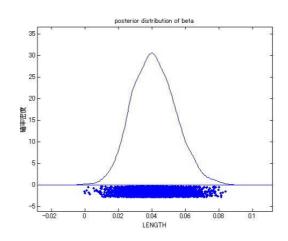




(1)EDU の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR) (2)OCCU の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR)

図-4.29 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

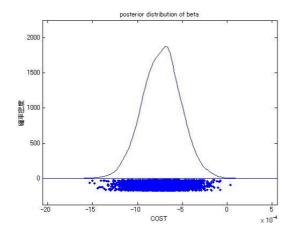


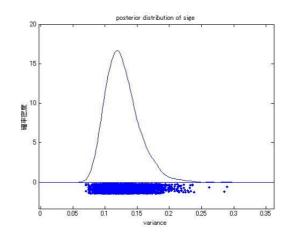


(1)INCOME の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR)

(2)LENGTH の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR)

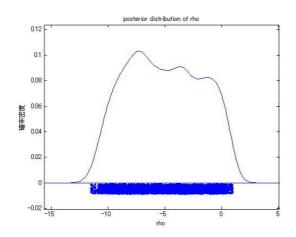
図-4.30 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布





(1)COST の全条件付き事後分布(CR)  $(2)\sigma^2$ の全条件付き事後分布(CR)

図-4.31 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布



 $(1)\rho$  の 全 条 件 付 き 事 後 分 布 (CR)

図-4.32 自発的集合行為モデルの各パラメータの全条件付き事後分布

## 付 録 A MCMC法によるプロビットモデルの推定

プロビットモデルの階層的事前分布及び尤度関数は以下のようになる.

$$p(y|z) = \prod_{i=1}^{n} \{\delta(y_i = 1)\delta(z_i > 1) + \delta(y_i = 0)\delta(z_i \le 1)\}$$
 (A.1)

$$\pi(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta}) \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta})'\boldsymbol{I}_n(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta})\right\}$$
 (A.2)

$$\pi(\boldsymbol{\beta}) \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})'\boldsymbol{T}^{-1}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{c})\right\}$$
 (A.3)

ベイズの定理を用いれば,事後分布

$$\pi(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{z}|\boldsymbol{y}) = \frac{p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{z}) \cdot \pi(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta}) \cdot \pi(\boldsymbol{\beta})}{p(\boldsymbol{y})} \propto p(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{z}) \cdot \pi(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{\beta}) \cdot \pi(\boldsymbol{\beta})$$
(A.4)

を得る.この事後分布 $\pi(eta,z|y)$ を基に,各パラメータeta,zの全条件付き事後分布を以下のように導ける.

$$\boldsymbol{\beta} \mid \boldsymbol{z}, \boldsymbol{y} \sim \mathcal{N}_K(\boldsymbol{A}_0^{-1} \boldsymbol{b_0}, \boldsymbol{A}_0^{-1}) \tag{A.5}$$

ただし, $A_0=X'X+T^{-1}, b_0=X'z+T^{-1}c$ である.同様に,

$$z \mid (\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{y}) = \begin{cases} \mathcal{TN}_{(0,\infty)}(\boldsymbol{x_i}'\boldsymbol{\beta}, 1) & if \quad y_i = 1 \\ \mathcal{TN}_{(-\infty,0]}(\boldsymbol{x_i}'\boldsymbol{\beta}, 1) & if \quad y_i = 0 \end{cases}$$
(A.6)

となる.これらの全条件付き事後分布を用いて,MCMC法によるパラメータの推計を行う.以下にギブスサンプリング法を用いた推計手順を記す.

ステップ 1 初期値設定 シミュレーション回数t=1とし,初期パラメータ値  $oldsymbol{eta}^{(0)}=(eta_1^{(0)},\cdots,eta_K^{(0)})',oldsymbol{z}^{(0)}=(z_1^{(0)},\cdots,z_n^{(0)})'$ を設定する.さらに,ハイパーパラメータc,T,サンプル数 $n,\overline{n}$ を設定する.

ステップ 2 パラメータ $eta^{(t)}$ の抽出 式(A.5)よりパラメータベクトル $eta^{(t)}$ を乱数発生させる.

ステップ 3 パラメータ $z^{(t)}$ の抽出 式(A.6)よりパラメータベクトル $z^{(t)}$ を乱数発生させる.

ステップ 4 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 $oldsymbol{eta}^{(t)}, z(t)$ を記録する. $t \leq \overline{n}$ 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.

# **Household Community Questionnaire**

1 0	eneral	I Information										
1.1	Resp	ondent's Name	:									
1.2	Resp	ondent's Addre	ss :									
1.3	Sex	of Respondent	: 1 Male		2	Fen	nale					
1.4	Mem	bers of the hous	sehold									
_		Father	Mother	Chi	ildren	1	Chi	ildr	en 2			
Age Sex												
Educa												
Occu	pation											
1.5		tion of the work	place:				_					
	At ho						[	]	1			
	Withi	n the communit	y, inside Sub v	illage			[	]	2			
	Outsi	de community,	inside Sub villa	ıge			[	]	3			
	Outsi	ide Sub village,	inside the Villa	ge			[	]	4			
	Outsi	ide the Village, i	nside District				[	]	5			
	Outsi	ide District, insid	de Regency				[	]	6			
	Anoth	ner Regency/Ci	ty				[	]	7			
1.6	The t	ime and means	to reach work	place	from	hor	ne: _		h	r./min.	by	
1.7	The r	ange of househ	old income pe	r mon	ıth: (in	Ru	piah)					
	Less	than 500.000		[ ]	1							
	500.0	000 – 1.000.000	)	[ ]	2							
	1.000	0.000 – 1.500.0	00	[ ]	3							
	1.500	0.000 – 2.000.0	00	[ ]	4							
	2.000	0.000 – 2.500.00	00	[ ]	5							
		0.000 – 3.000.0		[ ]								
	More	than 3.000.000	)	[ ]								
1.8		ength of respon				are	ea/co	mm	unity:		Ye	ars
1.9		ription of one da							-			
		of activities: wo	-				_					
Time		Activ			Time			,	<u> </u>	ctivity		

### **Water Supply Management System**

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

your daily use	Water supply in Rainy Season										
	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day						
Individual Well		-	_		-						
Communal Well											
HIPAM											
PDAM											
Private Vendor											
River											
Other (specify)											
		Vater supply	in Dry Seaso								
	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day						
Individual Well											
Communal Well											
HIPAM											
PDAM											
Private Vendor											
River											

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											

				EIIQ.
Other (specify)				
St. 15. (Specify				
	Water	supply in Dry Seas	on	
	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
	Litter 3/ day	i ricc/day	Mcaris	inite/day
Individual Well				
Communal Well				
Communa Wen				
=				
HIPAM				
PDAM				
. 2,				
Duiveta Vander				
Private Vendor				
River				
Other (specify)				
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.

	Wa	ater supply in	n Rainy Seas	son	
	Source	Liters/day	Price/day	Means	Time/day
Individual Well					
Communal Well					
HIPAM					
PDAM					
Private Vendor					
River					
Other (specify)					
	٧	Vater supply	in Dry Seaso	on	

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

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

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

0.7	lf thor	a is any problem with water and as a water pine broke, bour de you de?										
2.7		e is any problem with water such as a water pipe broke, how do you do?										
	(a) Fix	it by myself										
	(b) Asl	k neighbor any help to fix it together										
	(c) Co	(c) Contact to water management body (PDAM, HIPAM) for asking to fix it										
	(d) No idea and leave it											
	(e) Els	se, specify(										
2.8	Regar	ding 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										
	manag	gement system?										
	(a) _											
	(b) _											
	` ' -											

### **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					

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

Any o	tner? specify									
3.2	Do people in the commu	nity general	ly t	rust	one anothe	er in matters o	f lending and			
	borrowing?	, 0	•				J			
	Yes	[	]	1						
	No	]	]	2						
3.3	In the last three years, has	s the level of	tru	st ir	nproved, wo	rsened, or stay	ed 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 f	amilies and	the	у а	re not much	concerned wi	th community			
	welfare.									
	Strongly agree	[	]	1						
	Agree	[	]	2						
	Disagree	]	]	3						
	Strongly disagree	[	]	4						
3.5	Will you list here, please, t	he initials of	the	pe	ople outside	your household	that you feel			
	closest to. These could be	e friends, ne	igh	bors	or relatives	. Start with the	one you feel			
	closest to, then next close	st and so on	١.							
	(a)									
	(b)									
	(c)									
	(d)									
	(e)									
	(f)									

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

Relationship	Sex		What is his/her	Where	How	By what are	How long
to	М	F	occupation? (If not	does	often do	you in touch	you
respondent			working get record	he/ she	you see	with him/her?	communica
			occupation of	live?	him/her?	(phone/	te with
			household & mark			letter/face to	him/her?
			alongside *			face)	
(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 thes	Which of these people are close to Person () ?									
(a)	(b)	(c)	(d)	(d) (e)						
	(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					

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	Which of	Which of	Which of	Which of the	Which one of
these people	these do you	these do you	these do you	people rely	these people
do you now	get together	rely on for	rely on for	on you for	have you
work with at	with	help in	help in an	help in an	turned to most
your place of	informally?	everyday	emergency?	emergency?	for help in an
employment?		matters?			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

## **Representative Questionnaire**

1	<b>General Information</b>									
1.1	Name	:_								
1.2	Address	:_								
1.3	Sex	: 1	Ma	ale		2 F	ema	le		
1.4	Occupancy	:_								
1.5	Position in the commu	nity:								
	(a)									<del> </del>
	(b)									
1.6	The length of respondent	has	be	en liv	ed i	n this	area	/commun	ity:	Years
2	Community Characteristic									
2.1	How many years has the	com	ımu	nity k		in ex	isten	ice?		
	More than 20 years			[	]	1				
	Between 10 and 20 years	;		[	]	2				
	Fewer than 10 years			[	]	3				
2.2	How many households ar	e in	this	con	nmui	nity?				
	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	e nu	mb	er of	peo	ole liv	ing ir	this com	munity l	has:
	Increased	[	]	1						
	Decreased	[	]	2						
	Remained the same	[	]	3						
2.4	Regarding answer 2.3, w	hich	gro	up m	nainl	y cha	nged			
	Sex	[	] n	nan			[	] woma	n	
	Age group	[	] y	oung	pec	ple	[	] adult	[	] old people
2.5	What are the two main re	asoı	ns f	or the	e inc	rease	, dec	rease, or	lack of	change?
	(a)									
	(b)									
2.6	What are the two principa	ıl ec	ono	mic a	activ	ities f	or me	en in this	commur	nity?
	(a)								<del> </del>	
	(b)									

										Date: Start: End:	
2.7	What are the two principal econo	omic a	ctiv	rities	for v	wome	n in	this	commu	nity?	
	(a)										
	(b)										
2.8	In the last three years, availability	y of e	mpl	oym	ent l	nas:					
	Improved	[	]	1							
	Worsened	[	]	2							
	Remained the same	[	]	3							
2.9	In the last three years, the overa	all qua	ality	of li	fe of	the p	eop	ole liv	ing in t	his comm	unity
	has: (consider job availability, sat such as road, water, etc.)	fety a	nd s	secu	rity,	enviro	nm	ent, h	nousing	, infrastrud	cture
	Improved	[	]	1							
	Worsened	[	]	2							
	Remained the same	[	]	3							
2.10	What are the two main reasons	that	qua	ality	of li	fe in t	the	comi	munity	has impro	ved,
	worsened, or remained the same	e durii	ng t	he la	st th	ree y	ear	s?			
	(a)									<del> </del>	
	(b)									<del> </del>	
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 collective?	peop	le	in t	his	comn	nuni	ity g	enerally	peacefu	ıl or
	Peaceful			[	]	1					
	Conflictive			[	]	2					
2.13	Do people in this community con	tribut	e tir	ne a	nd n	noney	tov	vard o	develop	ment goa	ls?
	They contribute some or a lot.			[	]	1					
	They contribute very little or noth	ning		[	]	2					
2.14	Are they any services where ye	ou or	me	embe	ers o	of you	ır h	ouse	hold are	e occasio	nally
	denied service or have only limite	ed op	por	tunity	y to i	use?					
		Ye	s			No	)				
	Education/schools	[	]	1		[	]	2			
	Health service/clinics	[	]	1		[	]	2			
	Housing assistance	[	]	1		[	]	2			
	Job training/employment	-	1	1		[	1	2			

							S	ate: tart: nd:	
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			
What are the reasons or	criteria	wh	y some	peop	ole	are	excluded	from	the

2.15 What are the rea ese 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

#### **Water System Characteristic** 3

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

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 [ ] 2 No

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

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

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。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、同博士課程後期のAri Ismu Rini Dwi 氏には、再度に渡り、研究の取り組み方、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。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、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、多くの場面で心温かい御支援を頂きました。心より感謝いたします。