

時空間上のアソシエーションとその構成に 着目した協調希望行動の記述方法

三木 真理子¹・羽藤 英二²

¹学生会員 東京大学 工学部社会基盤学科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: miki@bin.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学 工学部社会基盤学科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、共助型交通サービスへの適用を念頭に、地域内のいくつかの紐帯を前提とした個人の意思決定問題を検討した。既存のアクティビティモデルの比較結果に基づき、利他的行動や協調行動の相手の選択を、協調希望相手へ自分の時間を配分する資源配分モデルを用いて記述する枠組みを提案する。地域内の紐帯として時空間上に分布するアソシエーションを考慮するため、協調相手をアソシエーションによってネスティングした上で、離散選択肢の確率項の従う分布としてクロスネスト型の変量極値分布を仮定した MDCGEV モデルを用いて定式化を行った。

Key Words : MDCEV, 共助型交通サービス, 資源配分モデル, アソシエーション

1. はじめに

日本は今後、本格的な人口減少時代へ突入し、少子高齢化が進行すると言われている。首都圏に人口が集中する一方で、地方部では過疎高齢化が進行することから、従来の公共交通の在り方では継続性が期待できなくなる可能性がある。そのような状況の中、従来型の公共交通に代わる新しい公共交通の在り方として、地域住民同士による送迎といった共助型の交通サービスが考えられよう。地域における共助型の交通サービスを実現するうえで、人々の選好や実際の行動を記述し予測した上で制御する必要がある。共助型の交通サービスの実現には、誰が誰のために行動するのかという組合せ問題を地域の構成員について考慮することが不可欠であり、この課題は二つの問題に分けられる。一つ目の問題は、効用最大化に基づく、地域内のいくつかの紐帯を前提とした個人の意思決定問題であり、二つ目の問題は、誰と誰の行動を組み合わせるべきかという組合せ最適問題である。但し、こうした問題を考える上で理論的な枠組みとデータの蓄積が進んでいるとは言い難い。複数人のコミュニティや村などの小さな社会全体で起こる現象を表現する枠組みとして、ゲーム理論による n 人ゲーム¹⁾ やマルチエージェントシミュレーションの研究蓄積²⁾ があるものの、個々人の意思決定とそれらの組合せ結果を実証的なデータに基づいて記述する枠組みとは言い難い。地域への実装を考えると、個々人の意図の予測や全体の行動の制御は難し

いといえよう。

そこで本研究ではまず、複数人のコミュニティや小さな地域の中である個人が協調行動の相手として誰を希望するのか、その意図を表現できるモデルを作ること考える。共助型の交通サービスにおいて実際に誰と組み合わせることで互いに効率的な行動を実現するのかを表現するモデルである。このようなモデルを目指す場合、以下の3点を考慮することが必要だと考えられる。

- (1) 個人の確率的意思決定を構造的に記述できる
- (2) 利他行動、協調行動の相手が記述できる
- (3) 個々人の暮らしの中にあるアソシエーション (お付き合いや共同作業) を考慮できる

ここで、意思決定における協調行動の具体的な相手の記述が重要となる。たとえば次のようなエピソードについて考えてみよう。母親が大雨の中を車で子供を学校まで迎えに行くと、すでに子供は歩いて帰ってしまっていたというものだ。利他行動や協調行動では相手の行動に対する不確実性があるため、意図が達成されずに終わることも多い。このような失敗はしたもの実際に行動に表れている意図は観測可能であり、同時に制御したい対象でもある。このような意図を記述してそれらがより善い形で達成されるよう制御できれば、共助型サービスや小さな地域のマネジメントに大きく役立つと考える。

また行動モデルにおいてアソシエーションを考慮することは、共助型サービスが検討されうるような小さ

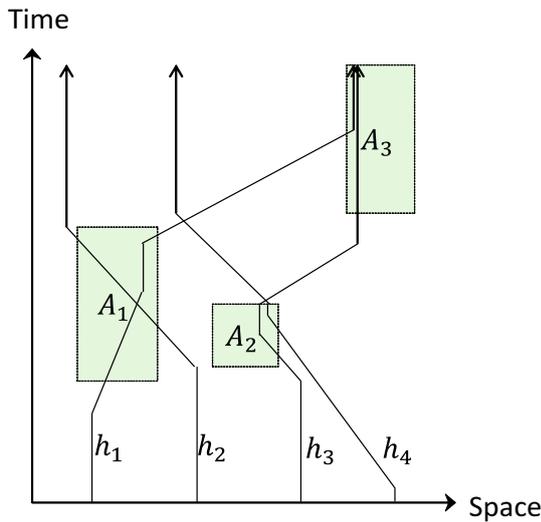


図-1 地域におけるアソシエーションの概念図

な社会においては特に重要な意味をもつと思われる。ここで考えるアソシエーションとは、地域において特定の活動文脈・活動場所・活動時間帯をもつような、お付き合いの起こる場とそこでの働きかけの総称である。井戸端会議と言われるものから、地区の人とよくすれ違う道とその時間帯、通院や買い物でよく一緒になる人やその時間帯なども含む。ここで、図-1 に示したような、4人 (h_1, h_2, h_3, h_4) の暮らしの一部に3つのアソシエーション (A_1, A_2, A_3) がある場合を具体的に想定してみる。たとえば、朝の通勤通学の時間帯の路地では近所の h_1 と h_2 がよくすれ違い挨拶を交わし、一方で小学生の子をもつ h_3 と h_4 は集団登校の集合場所で毎日顔を合わせる。その後 h_1 と h_3 は公民館で開催される料理教室に参加する。このような各場面において地域の構成員はそれぞれに働きかけを行ったり、その逆に特定のアソシエーションを避けながら調整を行い、結果として地域全体が機能するに至っている。以上が、本研究における地域を記述する視点である。本研究では、確率的整数計画問題としてアソシエーションの中での互いの行動の組合せを考慮するために個々人の行動選択肢集合を表現することを考える。協調相手の選択において、まずその活動文脈や活動場所の制約から選択肢集合の限定が起こりうるという仮定を考慮する。

本研究では以上の問題設定に基づいて、確率項の分布にクロスネスト型の多変量極値分布を仮定した MD-CGEV モデルを下敷きに、地域内のアソシエーションを考慮したうえで個々人が誰を協調相手として希望するのかを表現しうるモデルを提案したい。次章で従前のアクティビティモデルの特性について、協調希望行動モデルへの適用性の観点からレビューし、資源配分

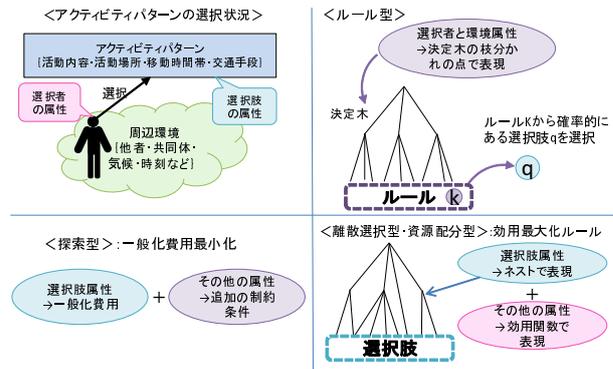


図-2 各アクティビティモデルの選択状況の比較

型モデルの有効性を述べる。続く3章で、アソシエーションを考慮した時間配分モデルを定式化し、4章で今後の研究展開を整理したい。

2. 既往研究と協調希望モデルへの適用性

近年さまざまなアクティビティモデルが提案され、実証的なデータに基づいて研究が進められている。ここではまず、それらを4つのタイプ(探索型、離散選択型、資源配分型、ルール型)に分け、それぞれの特徴と協調希望モデルへの適用性の比較を試みる。次に比較結果に基づいて、利他行動や協調行動の相手・アソシエーションの記述をする上でどのようなモデルの枠組みが適しているのかを考察したい。図-2は4種のモデルの選択状況を図示したものであり、次ページの表-1は4種のモデルの比較結果を表している。なおここではアクティビティパターンを、活動内容・活動場所・移動時刻・使用する交通手段をすべて含んだスケジュール(アクティビティスケジュール)として定義する。

(1) 既存のアクティビティモデルの比較

a) 探索型モデル

探索型のモデルとは、以下の式(1)で表されるように、ある目標を達成する最適なスケジュールングを費用最小化問題として定式化し、最適なアクティビティパターンを算出するモデルである。

$$\min\{Z\} \tag{1}$$

ここで Z はモデルで考えている一般化費用である。Recker(1994)³⁾ の提案したモデルでは、空間上に分布する活動に対して、それぞれの時間制約と利用可能な乗り物の制約の中で最も一般化費用が小さくなるようにすべての活動を終わられる経路を算出している。総移動時間・車両の維持費等だけでなく、早着遅着リスクなども一般化費用に含めることが可能である⁴⁾。制

表-1 アクティビティモデルの類型化と比較

比較項目	探索型	離散選択型	資源配分型	ルール型
主な参考論文	W.W. Recker (1994) ³⁾	J.L. Bowman and M.E. Ben-Akiva (2000) ⁵⁾	C.R. Bhat(2005) ⁶⁾	T.A. Arentze and H.J.P. Timmermans (2004) ⁷⁾
所与とするもの	場所と時間に紐づけられた活動の集合, 乗り物と使用可能時間の制約	離散選択肢に落とし込んだ, 各階層それぞれの選択肢集合	潜在的活動集合, 使用可能な総時間	(仮定として) 意思決定プロセスと決定木によるルールの表現
選択されるもの	活動の順番と使用する乗り物, 活動開始時間→アクティビティパターン	移動時間帯・目的地・交通手段を含んだアクティビティパターン	参加する活動の組合せと各活動の参加時間	個々人の行動(アクティビティパターン)とそれを導く決定木
意思決定ルール	一般化費用最小化	段階的な期待効用最大化	総効用最大化	(現実には) 個々人の主観的ルール
構造的な記述	○	○	○	×
相手の記述	○	○	○	△
アソシエーション	△	○	○	○
適用後の複雑さ	△	△	○	—
複数選択肢の記述	順列	順列	組合せ	—

約条件として, 全ての活動を巡回しきれるよう, またある乗り物の辿る経路が起点から終点まで矛盾なく連続するよう, 様々な精緻な条件がおかれている。さらに個人や世帯の予算制約, 特定の活動を必ず複数人で行うなどの条件も制約条件として加えることができる。このような探索型モデルは, アクティビティパターンの選択を時空間上に分布する活動を巡回する行為と見なし, ネットワークの接続条件から最適スケジューリングを算出することが特徴だといえよう。一般化費用と制約条件を工夫することで, 様々な選択状況や個人の意味決定プロセスを記述すること可能となる。

次に協調行動の相手やアソシエーションを組み込むことを考える。協調行動の相手に関しては, 複数の選択肢集合の中から一般化費用に応じて選択を行うことが可能だと考える。選択した協調相手と必ず協調行動が達成される場合(相手の行動に対する不確実性がない場合)と, 選択した協調相手と協調行動が達成されない可能性がある場合(相手の行動に対する不確実性がある場合)とでは選択状況が異なる。今回は後者に着目するため, 一般化費用の一部として協調失敗リスクを考慮するなどの対応が考えられよう。アソシエーションの性質はある相手との出会いやすさや出会いにくさに影響を及ぼしうるため, 協調失敗リスクの説明変数としてアソシエーションを捉えることも可能と考える。

b) 離散選択型モデル

離散選択型モデルでは, あらかじめアクティビティパターンを何らかの形で離散選択肢として書き下した上で, 効用最大化原則に基づいてその選択確率を求めることになる。Bowman and Ben-Akiva(2000)が提案したモデル⁵⁾ではアクティビティパターンの類型をネスト表現した上で, 各類型の中で最も重要なツアーと付属的なツアーを峻別し, さらにそれぞれのツアーについて移動時間帯・交通手段・目的地を選択することで, アクティビティパターンの選択を段階的に推定することを可能にしている。意思決定者は各段階において期待効用最大化原理に基づいて, 以下の式(2)によってアクティビティパターンを決定する。式(2)はアクティビティスケジュールの選択確率 $P(\text{schedule})$ を, 基本となるパターン類型の選択確率 $P(\text{pattern})$, あるパターンを選択した条件下で最も重要なツアーの目的地・交通手段・移動時間帯を選択する確率 $P(\text{primarytour}|\text{pattern})$, 最も重要なツアーが確定した条件下でそれぞれの付属的なツアーについての目的地・交通手段・移動時間帯を選択する確率 $P(\text{secondarytour}_t|\text{primarytour})$ を掛け合わせて求めるという式である。

$$P(\text{schedule}) = P(\text{pattern})P(\text{primarytour}|\text{pattern}) \cdot \prod_{t=1}^T P(\text{secondarytour}_t|\text{primarytour}) \quad (2)$$

ここで T とは 1 日に行う付随的なツアーの総数を表している。図-2 に示すように、離散選択モデルでは、選択肢属性からわかる各選択肢の相関構造をネストによって記述し、各選択肢の効用関数に選択者の属性などを含めることで、様々な選択状況の考慮が可能となる。確率項の分布としてガンベル分布を仮定すれば、アクティビティパターンの選択確率を closed-form で表現することもできるため使いやすのが特徴だ。また、Bowman and Ben-Akiva(2000)⁵⁾ のモデルを用いてツアーの目的地・交通手段を選択するのと同様に、選択肢のネストに協調希望相手を選択するネストを追加することが可能である。選択肢集合をアソシエーションごとにネスティングすることでアソシエーションを考慮した分析も可能といえよう。

c) 資源配分型モデル

資源配分型のアクティビティモデルは、余剰時間を各活動にどのように配分するかを求める時間配分モデルである。それぞれの活動に対し、配分時間が長くなればなるほど単位時間あたりにその活動から得られる効用は逓減していくという仮定のもと、余剰時間全体を配分することで得られる効用を最大化するという基本原則によって選択される活動の組合せと時間配分を求めることになる。ここでの活動時間配分結果に対応する効用 U は以下の式で表される。

$$U = \sum_{j=1}^K \varphi(x_j, \varepsilon_j)(t_j + \gamma_j)^{\alpha_j} \quad (3)$$

K は選択者が時間を割く可能性のある活動種類の総数である。 $\varphi(x_j, \varepsilon_j)$ は活動 j に関する基本効用であり、活動 j にはじめて単位時間だけ参加することで得られる効用を表している。 x_j は活動 j や選択者に関する観測変数であり、 ε_j は活動 j に関する非観測変数の影響を表す。また、 t_j は活動 j への参加時間を表す連続量、 γ_j と α_j は活動 j の効用の逓減具合を規定するパラメータである。このモデルは Bhat(2005)⁶⁾ によって提案され、離散選択肢である活動の組合せと連続量である活動への参加時間を同時に選択できるのが特徴だ。また、離散選択型と同様のアプローチで時間配分における個人の意思決定を構造的に記述することができる。選択確率の表現は各活動の効用の確率項がどのような分布に従うかによって異なる。また、選ばれた活動が時間軸上でどの順でどのように行われるかについては記述できないため、アクティビティパターンを構成することはできない。各活動から得られる効用は基本効用に活動時間をかけたものとして計算されるため、活動の一部で生じる効用や時間的に局所的な効用を考慮することは難しいといえるだろう。

協調行動や利他行動をその対象者へ自分の時間を費やす行為と捉えなおすと、活動の組合せと活動参加時

間の選択と同様の枠組みで、自分の時間を割く対象者の組合せと配分時間の選択を記述することができる。この場合、離散選択肢は時間配分先の相手となるが、それらをアソシエーションによってネスティングすることでアソシエーションを考慮することも可能といえる。またアソシエーションが時間や場所を含む概念であることから、このような構造によって資源配分型でも活動文脈を考慮できる可能性があるといえよう。

d) ルール型モデル

ルール型のアクティビティモデルとは、完全合理性の仮定を排しており、効用最大化理論に基づく (a)~(c) までのモデルとは大きく異なる。ルール型では、意思決定者がそれぞれの経験に基づく主観的なルールによって行動を選択するものと仮定し、あるアクティビティパターンを選択する意思決定ルールそのものを表現する。特に Arentze and Timmermans(2004)⁷⁾ の提案しているモデルでは、意思決定者がアクティビティパターンを選択する過程そのものをプロセスモデルとして記述し、そのプロセスの各段階では決定木に従って意思決定が行われているという仮定をおくことで、個々人の意思決定の仕組みを再現するものである。このモデルの意思決定プロセスを、図 2 の右上に示す。意思決定時の周辺環境と自分自身の状態（いずれも観測可能な変数で表される）によって様々な枝分かれする決定木を用いて、現在の状態に合致するルールを見つけ、そのルールに従って意思決定を記述する。こうしたモデルを実際に用いるためには、各段階に設定する決定木を決めることが必要となる。観測された状態変数とその時に選択されたアクティビティパターンの組から、観測結果を導く最適な決定木を推定することで、得られた決定木に基づいて予測を行うことが可能となる。こうしたモデルの枠組みでは、本来複雑で階層性の高いアクティビティパターンの選択について個人の意思決定の過程を仮定し、個々の主観的ルールの在り方や更新のされ方を規定することで、観測された結果を説明する妥当な意思決定ルールを導くことができるのが特徴といえよう。ただし、全体再現性の高い意思決定ルールが仮に推定できたとしても、具体的な個々人がそれぞれどのような意思決定ルールを持っているかについては考慮することは難しい。協調相手の記述については、実際に観測された協調行動に関して、状態変数の組を考慮することで記述は可能となる。結果的に誰とどのような行動をしているのかを説明する意思決定ルールの一部として、相手や自分のアソシエーションを変数に取ることも可能である。しかし、達成されなかった行動に関しては観測ができないため考慮は難しい。

(2) 協調希望行動への適用可能性の比較

前節までのレビューを踏まえ、4種のモデルを1章で挙げた3つの視点で比較すると、探索型・離散選択型・資源配分型はいずれも、アソシエーションを考慮した協調希望相手の記述をしよう可能性があることがわかる。ルール型については意図ではなく達成された行動を記述するのに適しているものの、構造的な評価が困難である。そこで探索型・離散選択型・資源配分型をさらに比較することを試みる。探索型はそもそも制約条件が非常に多く、活動ごとに協調希望相手を選択できるよう設定するのが煩雑になる可能性がある。一方離散選択型は階層性の高いアクティビティパターンの選択を段階的に記述できるのが利点ではあるが、協調希望相手の選択とその相手のアソシエーションを考慮するためには、その段階をさらに増やさねばならない。資源配分型の場合は、序列のあるアクティビティパターンの記述はできないものの、選択肢構造はそれほど変えずに選択肢と効用関数の設定のみによって協調希望相手の記述ができるため、複雑さを増すことはない。また、ある活動時間において複数人の協調希望相手が存在する場合、探索型・離散選択型は各活動ごとやツアーごとに協調希望相手を選択するため、協調希望相手の順序を選択することとなり、選択肢数が膨大になりうる。これに対し資源配分型にはそもそも順序の概念がないため、複数人の協調希望相手の選択とはその組合せの選択であり、順序の選択に比べると選択肢数は大幅に減少する。

本研究の目標は共助型サービスの実現に向けた2つの課題のうち紐帯下における個人の意思決定問題の検討であるため、できるだけ簡素なモデルを用いることが望ましい。また今後組合せを考える際に活動文脈を含めた調整可能性がある。こうした観点から、資源配分型が最も簡潔で無駄なく目標を表現できるモデルであると考えた。

そこで今回は、協調希望行動や利他行動をその対象者へ自分の時間を費やす行為と捉え、ある個人の他者への時間配分問題として協調希望相手を表現するモデルを提案したい。資源配分型モデルを下敷きに、離散選択肢として時間配分相手（協調希望相手）、連続選択肢として配分時間（協調希望の程度）を置くことで協調希望行動を表現する。その際、時空間上に分布するアソシエーションの存在を考慮するため、時間配分相手をその相手の生活文脈にあるアソシエーションによってネスティングする。特に小さな地域においては様々なアソシエーションの構成員が互いに重なることが多いと考えられるため、確率項の従う分布としてクロスネスト型の多変量極値分布を仮定した MDCGEV 型モデル⁸⁾を用いる。

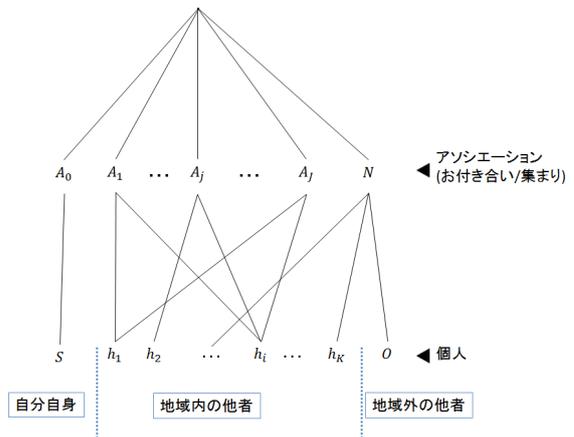


図-3 アソシエーションを考慮した時間配分モデルにおける活動選択肢の構造化

3. モデルの定式化

Pinjari(2011)⁸⁾に従って式(4)、式(5)のような効用関数と制約条件を定める。

$$U(\mathbf{t}) = \sum_{k=1}^K \frac{\gamma_k}{\alpha_k} \exp(\beta' z_k + \varepsilon_k) \left\{ \left(\frac{t_k}{\gamma_k} + 1 \right)^{\alpha_k} - 1 \right\} \quad (4)$$

$$s.t. \sum_{k=1}^K t_k = T \quad (5)$$

$U(\mathbf{t})$ は K 個の潜在的な協調相手それぞれに対して時間を配分することで得られる総効用であり、その時間の割り当て方は \mathbf{t} で表される。 \mathbf{t} は $K \times 1$ 次元のベクトルであり、 k 番目の要素 t_k は k 番目の相手に配分する時間である。ただし、 $t_k \geq 0 \forall k (k = 1, 2, \dots, K)$ である。 $\exp(\beta' z_k + \varepsilon_k)$ は相手 k についての基本効用であり、相手 k にはじめて単位時間だけ時間を割くときに得られる確率的な効用を表している。 z_k は選択肢の属性や意思決定者の属性といった観測可能変数からなるベクトルであり、 β は z_k の各変数に対応する共通パラメータからなるベクトルである。 ε_k は相手 k から得られる効用に関する非観測変数の効果を表す確率項である。また、 α_k と γ_k はそれぞれ相手 k に時間を割くことで得られる効用が逓減する程度を規定するパラメータであり、 $\alpha_k \leq 1, \gamma_k > 0$ である。 T はモデルにおいて配分可能な時間の総量を表す。

今回想定する選択状況は図-3のネストで表される。今回、ある個人 n が時間を配分しようする相手は自分自身 S と地域内の他者 h_i と地域外の他者 O のうちの組合せである。 h_i は対象とする社会(地域)の構成員であり個人 n 自身もそこに含まれうるが、個人 n が意思決定者である場合には選択肢 h_n を配分可能性がないものとして除外する。 O は対象とする社会の外にいる相手の集合である。 A_j は対象とする地域の中にあるアソシエーション

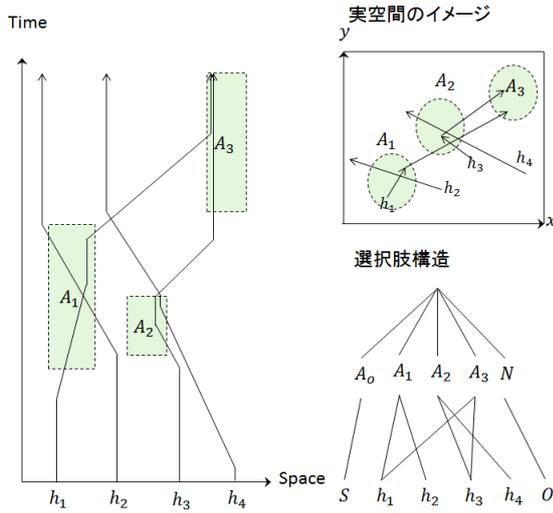


図-4 選択枝構造の具体例

ンを表す。ここで、 A_0 は選択者自身 S しか所属していないネストであり、 S は A_0 にしか所属しない (他のネストには属さない) とする。また N は地域内のアソシエーションのいずれにも属さない人が所属するネストである。たとえば、第 1 章で示した 4 人の社会に 3 つのアソシエーションがある場合の選択枝構造は図-4 のようになる。各ネストについてはスケールパラメータ μ_{A_j} または μ_N 、アロケーションパラメータ $\alpha_{A_j i}$ を置く。ある選択枝 i がネスト N に所属している場合、定義より $\alpha_{N i} = 1$ である。このとき、スケールパラメータはそのアソシエーションにおいて誰とも協調が達成されないリスクの程度を表していると考えられる。活動場所や活動時間帯の分散が小さい場合やアソシエーションの構成員が多く活動成立の代替性が高い場合にはスケールパラメータが小さく、逆に活動場所や時間帯の分散が大きい場合やアソシエーションの構成員が少なく機会損失が大きくなる場合、スケールパラメータが大きくなると思われる。また、相手 j が複数のアソシエーションに所属している場合、あるアソシエーション A_i に対するアロケーションパラメータ $\alpha_{A_i j}$ は以下のように表される。

$$\alpha_{A_i j} = \frac{\text{アソシエーション } A_i \text{ の領域にいる時間の期待値}}{\sum_{A_l \in S(j)} \text{アソシエーション } A_l \text{ にいる時間の期待値}} \quad (6)$$

$S(j)$ は個人 j が所属するアソシエーションの集合である。

相手が所属するアソシエーションの分布によって配分確率が相関しうること、相手が複数のアソシエーションに所属しうることから、今回は選択枝の確率項が従う分布としてクロスネスト型の GEV 関数で表される多

変量極値分布を想定する。 K 個の確率項が従う結合累積分布関数は Wen and Koppelman(2001)⁹⁾ に従って以下の式 (7) で表される。

$$F(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_K) = \exp \left[- \left(\sum_{j=0}^S \left\{ \sum_{i \in A_j} (\alpha_{A_j i} Y_i)^{1/\mu_j} \right\}^{\mu_j} + \left\{ \sum_{i \in N} Y_i^{\frac{1}{\mu_N}} \right\}^{\mu_N} \right) \right] \quad (7)$$

ただし、 $Y_i = e^{-\varepsilon_i}$ である。また S はモデルにおいて考慮するアソシエーション (A_0 と N を除く) の総数である。このとき、ある M 人にそれぞれ t_i^* ずつ時間を割り、それ以外の人には時間を割かない場合の確率は以下のように表される。

$$P(t_1^*, t_2^*, \dots, t_M^*, 0, \dots, 0) = \sum_{\sigma_1=1}^{S_k} \sum_{\sigma_2=1}^{S_k} \dots \sum_{\sigma_M=1}^{S_k} \left[|J| \prod_{\sigma_i \in S(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M)} \left\{ \frac{\prod_{i \in \sigma_i^{th} nest \cap i \in \{chosen alternatives\}} (\alpha_{\sigma_i i} e^{V_i})^{\frac{1}{\mu_{\sigma_i}}}}{\left(\sum_{i \in \sigma_i^{th} nest} (\alpha_{\sigma_i i} e^{V_i})^{\frac{1}{\mu_{\sigma_i}}} \right)^{q_{\sigma_i}}} \right\} \right. \\ \times \sum_{r_{\sigma_i}=1}^{q_{\sigma_i}} \dots \sum_{\forall \sigma_i \in S(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M)} \left\{ \prod_{\sigma_i \in S(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M)} \left[\left(\frac{\left(\sum_{i \in \sigma_i^{th} nest} (\alpha_{\sigma_i i} e^{V_i})^{\frac{1}{\mu_{\sigma_i}}} \right)^{\mu_{\sigma_i}}}{H} \right)^{q_{\sigma_i} - r_{\sigma_i} + 1} \cdot sum(X_{r_{\sigma_i}}) \right] \right\} \\ \times \left(\sum_{\sigma_i \in S(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M)} (q_{\sigma_i} - r_{\sigma_i} + 1) - 1 \right)! \left. \right] \quad (8)$$

J はヤコビアンであり、その要素は以下である。

$$J_{ih} = \frac{\partial [V_1 - V_{i+1} + \varepsilon_1]}{\partial t_{h+1}^*} = \frac{\partial [V_1 - V_{i+1}]}{\partial t_{h+1}^*} \quad (9) \\ i, h = 1, 2, \dots, M - 1$$

V_k はこのモデルにおいて効用最大化問題を解くための KT 条件の形から、以下のように定義される。

$$V_k = \beta' z_k + (\alpha_k - 1) \ln \left(\frac{t_k^*}{\gamma_k} + 1 \right), (k = 1, 2, \dots, K) \quad (10)$$

また、 H は $Y_i = e^{V_i}$ として以下の式 (11) で定義される。

$$H = \left(\sum_{j=0}^J \left\{ \sum_{i \in A_j} (\alpha_{A_j i} Y_i)^{1/\mu_j} \right\}^{\mu_j} + \left\{ \sum_{i \in N} Y_i^{\frac{1}{\mu_N}} \right\}^{\mu_N} \right) \quad (11)$$

$\sigma_i (i = 1, \dots, M)$ は、選択された M 個の選択枝について、それぞれの選択枝が属しているネストを示している。 S_K はこのモデルで考えているネストの総数であり、ここでは $S_K = S + 2$ となる。また $S(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M)$ は選

択された M 個の選択肢が所属しているネストの集合を表す。 q_{σ_i} は、ネスト σ_i に属する選択された選択肢の数である。 $\text{sum}(X_{r_{\sigma_i}})$ は 1 行の行列である $X_{r_{\sigma_i}}$ の要素の和であり、行列 $X_{r_{\sigma_i}}$ の形は Pinjari and Bhat(2010)¹⁰⁾ に明示されているが、ここでは複雑になるので省略する。

個人 n が相手 i に協調希望行動をとる基本効用の確定項を成す観測可能変数 $\beta' z_i$ は、意思決定時の個人 n と相手 i との空間的距離 d_i^n と、相手と共有しているアソシエーション A_j の中心地までの空間的距離 d_{A_j} からなる負の効用 $\beta_d \{d_i + \sum_{A_j \in S(i)} \delta_{A_j}^n \alpha_{A_j i} d_{A_j}\}$ (ただし β_d は距離に関する未知パラメータ)、相手 i に対する定数項 β_i 、相手 i と共有するアソシエーションに関する定数項の和 $\sum_{A_j \in S(i)} \delta_{A_j}^n \beta_{A_j}$ を足し合わせて表されると仮定する。ここで、

$$\delta_{A_j}^n = \begin{cases} 1 & \text{個人 } n \text{ が } A_j \text{ に属しているとき} \\ 0 & \text{それ以外のとき} \end{cases} \quad (12)$$

である。基本効用の確定項について、具体的な式は以下のようになる。

$$\beta' z_i = \beta_d \{d_i^n + \sum_{A_j \in S(i)} \delta_{A_j}^n \alpha_{A_j i} d_{A_j}\} + \beta_i + \sum_{A_j \in S(i)} \delta_{A_j}^n \beta_{A_j} \quad (13)$$

ただし、

$$d_n = 0 \quad (14)$$

$$d_{A_0} = 0 \quad (15)$$

$$d_N = 0 \quad (16)$$

である。また基本効用に関する飽和パラメータ α_i は個人 n にとっての相手 i の行動の不確実性を表していると考えられるため、遭遇頻度などの観測可能変数 y_j と対応するパラメータ θ を使って以下のように定める。

$$\alpha_i = \frac{1}{1 + \exp(-\theta y_j)} \quad (17)$$

4. おわりに

本論文では共助型サービスの実現に向けて、小さな地域やコミュニティ内における個々人の協調希望行動を、協調希望相手へ自分の時間を配分するという資源配分型モデルを用いて記述する枠組みを提案した。その際に時空間上に分布するアソシエーションを考慮することで、従来の資源配分モデルにはない活動文脈の概念を考慮できたり、将来の組合せ制御に発展しうる可能性を見出した。

今後の課題として、提案したモデルの有効性を実データを用いて検証する必要がある。モデルの推定には、以下のデータが必要となる。

- 観測された協調希望行動について、その相手と行動時間

- 意思決定者と協調希望相手の行動文脈に含まれているアソシエーション
- 選択時の意思決定者と協調希望者との間の空間距離
- 意思決定者にとっての協調希望者の行動の不確実性を示す何らかの観測可能変数

提案したモデルの検証として、岩手県陸前高田市における東日本大震災発生から津波到達までの各個人の行動データの分析に適用する。使用する予定のデータは、2012年に本研究室が主体となって行ったアンケート調査によって取得したものである。陸前高田市在住の15歳以上の男女を対象に、世帯属性と普段の交通行動、お付き合いのあるご友人、東日本大震災発生後1時間の行動などについて回答していただいた。特に東日本大震災発生後1時間の行動に関しては、地震発生時の位置とその後の移動について、出発時刻と到着時刻、移動目的、到着施設の位置と種別、同行者の有無とその種別といった項目についても答えていただいている。本論文で提案した時間配分モデルを適用するためには、同行者の情報や移動目的によって協調希望相手を仮定した上で、移動に要した時間と施設滞在時間から配分時間を算出して推定を行う必要がある。地域内の個々人の行動文脈に含まれるアソシエーションとして、今回は時間帯による区別は行わず、主な活動場所としてそれぞれの家をもつ家族・親戚のつきあい、主な活動場所として職場・学校を持つ同僚・友人の付き合い、主な活動場所として家の周りの屋外をもつ近所付き合いを仮定する。また、時間配分先の選択肢としては、同居家族、実際に協調希望相手となっている対象者に加えて、何人かを確率的にサンプリングすることを考える。各個人間の空間的位置としては、地震発生時の位置により求める。相手の行動に対する不確実性としては、形式的ではあるがアソシエーションの共有といった指標を使用する。

最終的に共助型サービスを実現するためには、本研究のような個々人の意図の記述に加え、それらをどう調整し組み合わせるかを記述する枠組みが必要である。その際に活動文脈や協調失敗をもたらす相手の行動に対する不確実性の記述がなければ、地域にとって最適な調整は成されないだろう。実際には、個人は相手の行動を予測し、その予測に基づいて自身の行動を調整していると考えられるため、選択肢の効用関数に相手にとっての効用を入れるなどの拡張が必要だろう。また今回考慮したアソシエーションについても、構成員が能動的に参加しているものと、時空間的な近接性のために受動的に関わらざるをえないものが混在しており、その性質の違いによって個人の選好の仕方は異なると考えられるため、何らかの方法でそれらを区別した上で両者の扱い方を考える必要がある。本研究で

は以上の問題に関しては考慮できなかったため、今後は提案したモデルをより拡張していくとともに、組合せ問題の枠組みを作ることが求められる。

参考文献

- 1) 谷本圭志, 喜多秀行, 三ツ国篤志: 合意形成の場における雰囲気形成とその下での住民の発言行動に関するゲーム論的考察, 土木学会論文集, Vol.18, No.1, pp.89-95, 2001.
- 2) 村木雄二, 狩野均: 地域性を考慮した広域災害避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル, 人工知能学会論文誌, Vol.22, No.4-F, pp.416-424, 2007.
- 3) Recker, W. W.: The household activity pattern problem: general formulation and solution, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.29, No.1, pp.61-77, 1995.
- 4) Gan, L. P., Recker, W.: Stochastic Preplanned Household Activity Pattern Problem with Uncertain Activity Participation (SHAPP), *Transportation Science*, Vol.47, No.3, pp.439-454, 2013.
- 5) Bowman, John L., and Moshe E. Ben-Akiva: Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.35, No.1, pp.1-28, 2001.
- 6) Bhat, Chandra R.: A multiple discrete-continuous extreme value model: formulation and application to discretionary time-use decisions, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.39, No.8, pp.679-707, 2005.
- 7) Arentze, Theo A., and Harry JP Timmermans: A learning-based transportation oriented simulation system, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.38, No.7, pp.613-633, 2004.
- 8) Pinjari, Abdul Rawoof: Generalized extreme value (GEV)-based error structures for multiple discrete-continuous choice models, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.45, No.3, pp.474-489, 2011.
- 9) Wen, Chieh-Hua, and Frank S. Koppelman: The generalized nested logit model, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.35, No.7, pp.627-642, 2001.
- 10) Pinjari, Abdul Rawoof, and Chandra Bhat: A Multiple Discrete-Continuous Nested Extreme Value (MD-CNEV) model: formulation and application to non-worker activity time-use and timing behavior on weekdays, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.44, No.4, pp.562-583, 2010.

THE MODELING OF COOPERATIVE BEHAVIORS BASED ON ASSOCIATIONS IN NETWORKS

Mariko MIKI and Eiji HATO