

活動参加を通じたソーシャルネットワーク 生成過程のモデル化

力石 真¹・パラディ ジアンカルロス²・原田 昇³
・スワルナリ ディヒンギア⁴・高見 淳史⁵

¹正会員 広島大学准教授 大学院先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)
E-mail: chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 東京大学講師 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: gtroncoso@ut.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: nharata.13j@g.chuo-u.ac.jp

⁴非会員 Victoria University of Wellington, School of Architecture and Design
(Wellington Faculty of Architecture and Design Innovation, PO Box 600, Wellington 6140, New Zealand)
E-mail: swarnali@dihingia.in

⁵正会員 東京大学准教授 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: takami@ut.t.u-tokyo.ac.jp

本稿では、まず、活動参加を通じてソーシャルネットワーク (SN) が内生的に決まるモデルフレームの試案を提示する。次に、来日直後の留学生を対象としたジョイント活動日誌調査及び社会ネットワーク調査 (ネームジェネレータ方式) データを用いて、来日後の非必須活動への参加、及び、それを通じた SN の生成過程を、提案モデルに基づき分析する。分析の結果、(1) 物的環境や友人数は活動参加の意思決定よりもむしろ、誰と会うか/何人と会うかに影響する可能性があること、(2) 友人数が増加するにつれ、SN の拡大は収束する傾向にあることなどが示された。

Key Words: social network dynamics, activity engagement, tie retention, empirical analysis

1. はじめに

高齢者や若者の社会的孤立が問題となっているが、この原因の一旦は交通、特に自動車の普及にあることが様々な研究において指摘されている¹⁾²⁾³⁾。このような社会的孤立は生活行動に不可逆な影響を与える。すなわち、一度社会的に孤立してしまった場合、「きょういく (今日行くところがある)」、「きょうよう (今日する用事がある)」を失ってしまうことが多く⁴⁾、交通手段を再び提供するだけでは、「人間らしい生活」を支えるという交通の基本的役割を全うできない可能性が高い⁵⁾。都市や交通に求められる機能が多様化している現在、都市交通政策の良し悪しを、モビリティだけでなく、以上のような人々の社会的なつながりや結びつきにまで視野を広げ判断する重要性はますます高まっている。

活動の派生需要として交通を捉える Activity-based モデルの発展に伴い、人々の社会的なつながり (ソーシ

ヤルネットワーク (SN)) を明示的に考慮した交通行動分析が広く行われるようになった。これまでに、SN データ収集に関する研究⁶⁾⁷⁾、SN が活動参加及び交通行動に及ぼす影響の把握を試みた実証分析⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、SN 構造のエージェントベースドシミュレーションモデルへの反映¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾など、種々の研究が実施されてきている¹⁵⁾。一方、SN 構造を把握するための調査コスト/被験者への負担が大きいため、通常、多くの仮定を置いた上で SN 構造を推定し分析せざるを得ない状況にある。例えば、新しく出会った人と関係性を継続するかどうかをモデル化しようとする場合、関係性を継続するとした個人だけでなく、継続しないとした個人の属性情報を取得しておくことが重要になる。しかしながら、通常の SN 調査では、そのような関係性を継続していない他者の情報についてまで回答してもらうことは困難である場合が多い¹⁶⁾。

加えて、既往の研究においては、SN を、活動・交

通行動の意思決定に影響を及ぼす外生的な「誘因」と見なして分析を実施するケースが大半である。一方、SN を単純に外生変数として扱うべきかどうかについては議論の余地が残る。社会学者の John Urry は、コミュニケーションを通じて社会的なつながりと結びつきが形成・維持されることから、様々なネットワークを通じてつながる人とのコミュニケーションの機会があることを「潜在能力¹⁷⁾」とみなす試案を提示している³⁾。このような、活動参加の結果として形成されていく SN そのものに価値を見出す視点は、交通政策評価の在り方を考える上で重要な意味を持っている。冒頭に述べたように、種々の交通・都市政策を通じて「より良い SN が形成・維持されること」を政策目標の一つとみなすのであれば、SN を外生変数ではなく内生変数/結果変数として扱う方法論上の発展を目指すことの重要性は明らかであろう。

以上を踏まえ、本研究では、活動参加を通じた SN の発展過程のモデリング手法の試案を提示する。具体的には、活動参加を通じて SN が内生的に決まるモデル構築の可能性を、主に実証分析の実施可能性の観点から検討する。また、来日直後の留学生を対象としたジョイント活動日誌調査及び社会ネットワーク調査（ネームジェネレータ方式）データを用いて、ネットワークの生成過程、及び、活動参加の実証モデルを構築し、得られた知見を整理する。本実証分析は、以下の 2 点の特徴がある。第一に、留学開始というライフイベント直後の SN の拡大過程に焦点を絞ることにより、一度リセットされた SN がダイナミックに構成されていく過程の考察が可能になる。第二に、日誌型の調査とネームジェネレータ方式の調査を組み合わせることにより、関係性を継続しないと個人の属性情報についても取得でき、来日直後に留学生が出会った人々と関係性を継続するかどうかについて直接モデルを構築することができる。

本研究の内容は、SN 発展過程をモデル化する手法の確立に向けた第一歩であり、以降に述べるように種々の課題が残されている。一方、以下に示すような様々な方面への発展可能性を踏まえると、都市・交通政策を考える上で SN を内生的に扱うことの必要は極めて高いと考えられる。

第一に、提案分析フレームをベースに物的環境の変数や交通サービス水準を適切に組み込むことで、SN の形成・維持の観点からみた望ましい都市・交通システム像に関する議論が可能になることが期待される。

第二に、本研究において提案する枠組みは、誰と誰がジョイント活動を実施するかを非集計レベルでの記述を志向するため、例えば COVID-19 の感染リスクのシミュレーションへの応用も考えられる。例えば、どのような属性を持つ人のどのような活動を自粛すると感染リスクは抑制できるかといった政策シミュレーション分析につ

ながる可能性がある。

第三に、内生的に SN が決まる枠組みであるため、モデル内で Day-to-day ダイナミクスが自然に記述される。Day-to-day ダイナミクスの記述は、個々人にカスタマイズした交通サービスの提供が可能になりつつあるといった背景も相まり、近年、重点的に研究が進められている対象の一つである。現時点でダイナミクスの表現手法は確立していない状況にあり^{18),19)}、新たなダイナミクスの記述方式 (SN 構造のゆらぎを通じたダイナミクスの記述) として本研究を位置付けることができる。

第四に、黎明期から Activity-based アプローチの構築に携わった Peter Jones は、Activity-based アプローチの課題として、活動参加の価値を定量化できていない点を指摘している²⁰⁾。このような現状に対して、SN を結果変数の一つとして扱う提案フレームは、現象記述だけでなく価値判断・評価の観点からも Activity-based アプローチを積極的に採用すべき理由を示す役割を果たすと考えている。

以下、2 章では提案する枠組みの概要について述べる。3 章では、実証分析において使用するデータについて述べる。4 章にて実証分析結果を紹介し、5 章にて研究の成果、今後の課題を整理する。

2. モデルフレーム概要

(1) 基本設定

SN の発展プロセスを考える上で、SN 内に社会構造をどう埋め込むかが重要となる。金光²¹⁾によると、その方針は大別して 2 つある。第一に、社会の構成員が所属する集団や個々の構成員が有する社会的な役割から社会ネットワークを構成していくトップダウン型のアプローチである。もうひとつは、個々人のつながりを形成するミクロな行為の積み上げとして SN を構成するボトムアップ型のアプローチである。本稿では、後者のアプローチを採用する。これは、(1)入手できるデータはサンプリングデータであることが多く、ボトムアップ型のアプローチは、これらのデータから SN の発展過程プロセスを推論する手法との相性が良いこと²²⁾、(2)本研究のモデル化の対象は主に非必須活動であり、これらの活動は、所属する組織によって規定されるというよりはむしろ、本人の能動的な意思決定を通じてなされることから、個人の意思決定の積み上げとして SN を構成することが自然と思われること、の 2 点による。

提案モデルの概要は図-1 のとおりである。まず、初期 ($t=1$) の SN を所与として、イベントや食事、面会といった他者と共同で実施するジョイント活動参加(Activity engagement)の意思決定を行うと考える。その際に、初めて会う個人が含まれていれば、その個人と関係を継続す

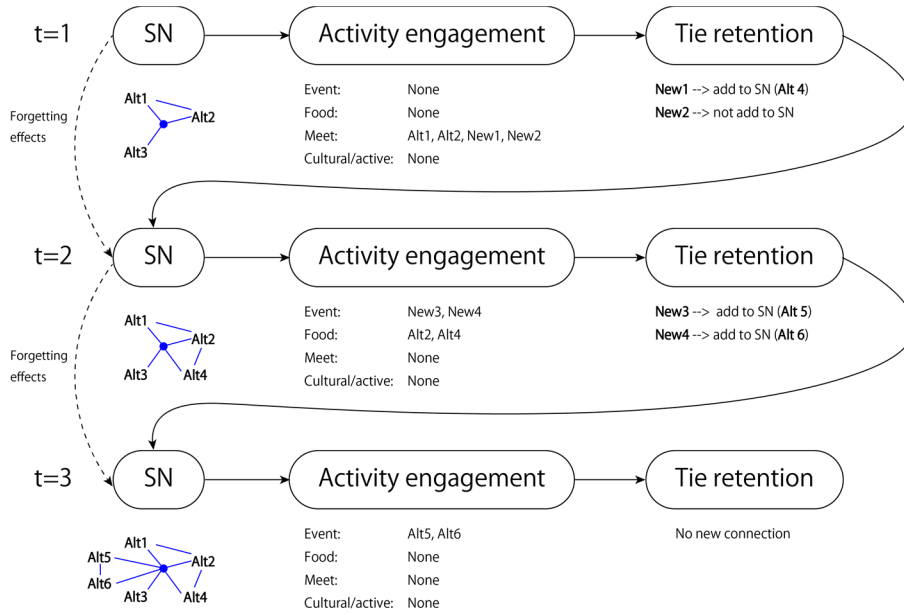


図-1 活動参加を通じた SN 発展プロセスの概念図

るかどうか(Tie retention)を決定する。関係を継続すると決めた個人は新たに SN の中に組み込まれる。次の期 (t=2) では、t=1 において更新された SN を所与として同様のプロセスを繰り返すと考える。また、一定程度コミュニケーションを取らない期間が続くと関係が希薄になるといった影響も想定される。

以上のプロセスを数式で表現するために、まず、 N 人から構成される社会 ($N = \{1, \dots, N\}$) を想定し、これら N 人の t 期における社会的つながりを、無向グラフ $G^t = (V^t, E^t)$ を用いて定義する。ここで、 $V^t = \{v_1^t, \dots, v_N^t\}$ はグラフ上のノード (個人)、 E^t はグラフのエッジ (社会的つながり) を表す。具体的には、全ての個人間の社会的つながりを表す隣接行列を A^t (ただし要素は $a_{ij}^t (i, j = 1, \dots, N)$) とすると、

$$a_{ij}^t = \begin{cases} 1 & \text{if } v_i^t v_j^t \in E^t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

となる。 $v_i^t v_j^t \in E^t$ は v_i^t と v_j^t がつながりを有することを表す。従って t 期における個人 i の友人数は v_i^t の次数 $d(v_i^t) = \sum_j a_{ij}^t$ として定義できる。また、上述したように、本研究では、(1) 個人 i が個人 j とジョイント活動を実施し、かつ、(2) その個人と関係を継続すると意思決定したとき、 a_{ij}^t は 0 から 1 に転じると考える。なお、社会的つながりを 0-1 変数として定義するのではなく、つながりの強度情報を持った連続変数として定義することもできる。

(2) 実証アプローチ

以上のように、概念的には単純なモデルフレームであ

るものの、「ジョイント活動を通じた SN の発展過程」をデータから同定するためには、SN 全体の発展過程を直接観測することはできないことを踏まえた実証アプローチを考える必要がある。以下では、次章に詳述する、交通分野においても広く採用されているネームジェネレータ方式に基づく (部分的な) SN の観測と (ジョイント活動に特化した) 活動日誌調査データを組み合わせた調査データの利用を前提とした実証分析の枠組みを考える。

まず、個人 i の t 期におけるジョイント活動 k への参加意思決定を、以下の 2 項選択モデルにより定式化する。

$$U_{ki}^t = V_{ki}^t(Z_i^t, G^{t-1}, B_i^t) + \epsilon_{ki}^t \quad (2)$$

ここで U_{ki}^t は個人 i の t 期におけるジョイント活動 k への参加意向を表現するランダム効用、 V_{ki}^t は確定効用、 ϵ_{ki}^t はランダム項である。ジョイント活動への参加は、個人属性 Z_i^t 、一時点前のソーシャルネットワーク G^{t-1} 、居住地の物的環境 B_i^t に影響を受けると考える。

ランダム項 ϵ_{ki}^t が正規分布に従うとすると、個人 i の t 期にジョイント活動 k に参加する確率は以下のように定義される。

$$p_{ki}^t = \Phi(V_{ki}^t(Z_i^t, G^{t-1}, B_i^t)) \quad (3)$$

ここで Φ は標準正規分布の分布関数である。

次に、ジョイント活動を実施するとした場合 (すなわち、 $U_{ki}^t > 0$ の場合)、誰とジョイント活動を実施するかを考える。 N 人で構成される社会から任意の人数とジ

ジョイント活動を実施することから、膨大な数の組み合わせが存在するが、これらの組み合わせからどのパターンが実現しているかを直接モデル化することは特に実証データの利用可能性からみて現実的でない。そこで本研究では、組み合わせの選択ではなく会う人数のモデル化を考える。具体的には、1 次のつながりである既知の友人 $\{j|a_{ij}^{t-1} = 1, j \in \mathbb{N}\}$ と、直接つながりを持たない他者 $\{j|a_{ij}^{t-1} = 0, j \in \mathbb{N}\}$ に分け、それぞれから何人とジョイント活動を実施するかを以下のような回帰型の式で決定するモデルを考える。

$$\ln(O_{ki}^t + 1) = X_{ki}^t(Z_i^t, G^{t-1}, B_i^t) + \zeta_{ki}^t \quad (4)$$

$$\ln(A_{ki}^t + 1) = Y_{ki}^t(Z_i^t, G^{t-1}, B_i^t) + \eta_{ki}^t \quad (5)$$

ここで O_{ki}^t は個人 i の t 期においてジョイント活動を一緒に行う既知の友人数、 A_{ki}^t はジョイント活動 k を一緒に行う ($t-1$ 時点において) 直接つながりを持たない他者の数である。活動参加モデルと同様、個人属性 Z_i^t 、ソーシャルネットワーク G^{t-1} 、物的環境 B_i^t に影響を受けると考える。

上記のように集計的に会う人数を推計する方法は、他者の属性 (及び、他者との属性の類似性) を無視する点に注意する必要がある。ただし、「友達の友達と会ったかどうか」という設問を調査票に追加するといった軽微な調査票の改善により、上記の2つの分類 (友人他者) に加えて、「友人の友人 (2 次のつながり)」を追加することができ、より現実的なネットワークの生成につながる可能性がある。また、式(4)、(5)では人数のみが決定されるため、シミュレーションを実行する際には、具体的にどの j と会うかを定めるマッチングルールを与える必要がある。解の一意性を問わなければ、単純なアルゴリズムでルールを定めることは難しくないものと思われるが、追加の検討が必要である。また、このステップにおいて、居住地の近接性や属性の類似性、SN 上の距離を反映したマッチングルールを設定することが望ましいが、これらの点については今後の課題としたい。なお、活動参加意向が強い個人ほど多くの友人と会いたいと考える可能性があるため、Heckman のサンプルセレクションの考え方に基づいて ϵ_{ki}^t と ζ_{ki}^t 、 ϵ_{ki}^t と η_{ki}^t の相関を考慮するといった工夫は可能である。以下の実証分析では、上の発想に基づき、式(4)及び式(5)の推定においては逆ミルズ比 $\phi(\hat{v}_{ki}^t)/\phi(\hat{v}_{ki}^t)$ を加えた上で推定する。

式(5)にて定められる直接つながりを持たない他者とジョイント活動を実施したケースについては、さらに、以下の2項選択型の Tie Retention モデルにより関係を継続するかどうか ($a_{ij}^t = 1$ に転じるかどうか) が決まると考える。

$$u_{kij}^t = v_{ki}^t(D_{ij}^t, G^{t-1}) + \epsilon_{kij}^t \quad (6)$$

ただし、 $j = 1, \dots, A_{ki}^t$ である。 D_{ij}^t は個人 i 及び j の類似性を表す変数である。 ϵ_{kij}^t は正規分布に従うと仮定すると、

$$p_{ki}^t(a_{ij}^t = 1) = \Phi(v_{ki}^t(D_{ij}^t, G^{t-1})) \quad (7)$$

また、上記の全てのモデル式において、非観測個人間異質性を表現する項を入れ込むことにより、シミュレーション時に多様な SN を有する個人を生成することができる。以下の実証分析では、非観測個人間異質性を表現するランダム項を導入した上でモデルを同定する。

以上に見たようにシミュレーションを実行するためには幾つか解決すべき課題が残るものの、ネームジェネレータ方式に基づく (部分的な) SN の観測と (ジョイント活動に特化した) 活動日誌調査データを組み合わせた調査データの利用を前提とすれば、式(2)及び式(3)で定義される活動参加モデル、式(4)、(5)で定義されるジョイント活動時に会う人数を決定するモデル、式(6)、(7)で定義される新たな社会的なつながりを持つかどうかを決定するモデルを実証的に同定することがができる。以下では、来日直後の留学生の SN 発展過程を対象とした実証分析を行う。

3. 使用データ

実証分析では、留学生の来日後のソーシャルネットワークの生成過程に着目し収集されたデータを利用する。本調査は、2019年4月の新たに入学した東京大学の留学生50名を対象に実施されたデータであり、A5サイズの「Friendship diary」と名付けた日誌型の調査票に、3週間にわたって、活動及び社会ネットワークの発展を書き込む調査である。調査票は5つのセクションから構成されており、それぞれ以下のとおりである。

- S1. 年齢、性別、国籍、キャンパス名、日本語能力などの個人属性情報
- S2. 調査開始前の友人 (日本に住み一緒に非必須活動を行う友人) リスト (ネームジェネレータ方式)
- S3. 調査期間中の日々の非必須活動を一緒に実施した人の名前 (初めて会う人については年齢、性別、国籍、宗教)、活動内容、場所
- S4. 所属するクラブ、クラブに所属する友人リスト
- S5. 調査期間終了時に関係が続いている友人リスト

調査の詳細は、Dhingia (2019)²³⁾を参照されたい。本調

査の大きな特徴は、S5 のステップを追加することにより、「活動を一緒に実施したが、関係性は継続しなかった個人」を特定できる点である。既往の研究では、この情報を取得していないことに起因して、追加の仮定を置いた解析をせざるを得なかった¹⁶⁾。以降の分析では、調査終了時点において友人になっている個人については、初めて会ったときに友人になったと仮定し、SN 発展過程をモデル化する。

また、非必須活動の種類は以下の 4 種類とする。

1. Event = {Cultural activity, Events and Parties}
2. Food = {Bars and clubs, Café, Eating out/Drinking}
3. Meet = {Get together, Socialising}
4. Cultural_active = {Hiking, Karaoke, Movies, Museums, Picnic, Shopping, Sightseeing, Sports, Walk, Others}

図-2 に、調査期間中のジョイント活動を行った人数（累積）、及び、友人数の拡大を示す。図より、友人との面会はおおむね直線の傾きとなっているケースが多い一方、友人数の増加は逓減していることが確認できる。これは、来日後後に友人数を一気に増やし、その際に知り合った友人とジョイント活動を実施する傾向にあることを示している。

4. 実証分析結果

以下の分析では、全ての項目において欠損のない 16 名のデータを利用する。サンプルサイズが限られていることから、以下の実証分析では、活動種類毎にモデルを構築するのではなく、すべての活動に対して一つのモデルを構築することとする（活動間の差異は活動種類のダ

ミー変数を導入することにより部分的に反映）。合計 1344 回 (=16 名×4 目的×21 日) の参加機会のうち、435 回のジョイント活動への参加があった。また、435 回のジョイント活動を通じて、(会う直前の時点で) 直接つながりのない他者合計 550 人と出会い、そのうち 183 人が SN に追加された(すなわち友人となった)。実証分析では、各モデルを規定する関数 $V_{ki}^t(Z_i^t, G^t, B_i^t)$, $X_{ki}^t(Z_i^t, G^t, B_i^t)$, $Y_{ki}^t(Z_i^t, G^t, B_i^t)$, $v_{ki}^t(D_{ij}^t, G^t)$ について、linear-in-parameters の関数形を仮定する。ただし、友人数については自然対数を取る。

表-1 に活動参加モデル及び活動人数モデルの推定結果を示す。表より、活動参加については、友人数や日本語能力、寮に住んでいるかどうか、いずれも有意な影響は確認されなかった。これらの結果は、来日後後の留学生の行動は、これらの変数にて表現される SN の状態、物的環境等の影響ではない別の要因によって規定される可能性を示唆している。一方、1 次のつながりである既知の友人、直接つながりを持たない他者、それぞれ何人と会うかに関しては、日本語能力、友人数、寮に住んでいるかどうかが有意に影響することが確認された。具体的には、日本語ができる留学生、及び、寮に住む留学生はより多くの直接つながりを持たない他者とジョイント活動を実施する傾向にあること、友人数が増えてくればくるほど、より多くの既知の友人とジョイント活動を行う傾向にあること、一方、直接つながりを持たない他者とのジョイント活動が減少することが明らかとなった。また、event は、活動参加の頻度は低いものの、多くの人と会う傾向にあることが示された。

表-2 に Tie Retention (ジョイント活動を通じて知り合った他者とつながりを継続するかどうか) モデルの推定結

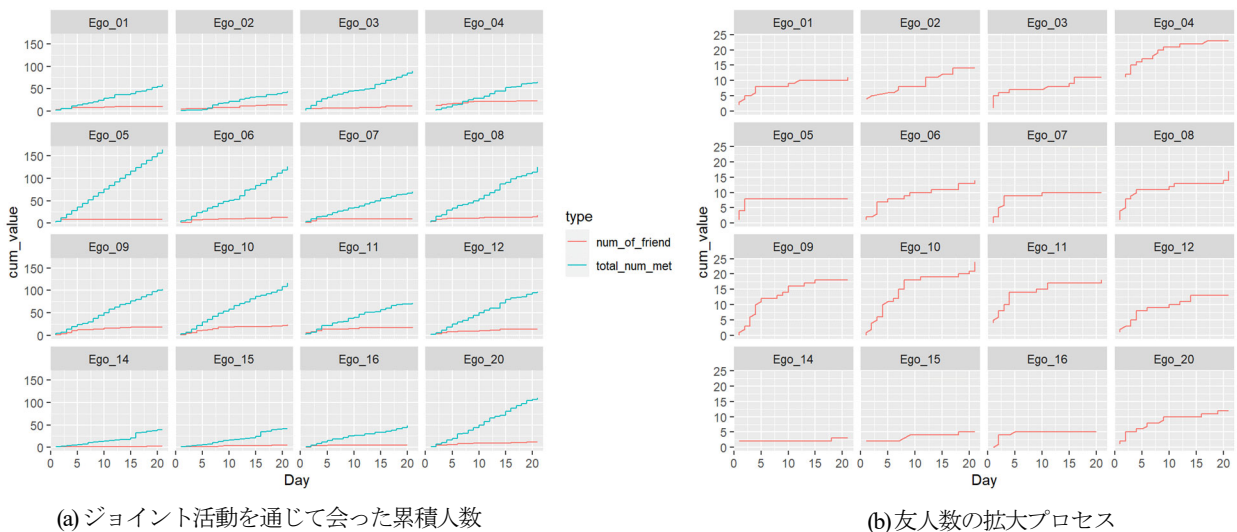


図-2 ジョイント活動を通じて会った人数の推移と友人数の拡大プロセス

果を示す。表より、出身国が同じ場合や、foodやmeetを通じて出会った個人とつながりを継続する傾向にあること、一方、友人数の増加に伴い、SNの拡大は鈍化することが示された。

5. おわりに

本研究では活動参加を通じてソーシャルネットワーク(SN)が内生的に決まるモデル構築に向けたフレームを提示した上で、来日直後の留学生のSN発展過程を対象とした実証分析を実施した。前者については、調査上の制約から、部分的な観測とならざるを得ない点を指摘し、この問題に配慮したSN発展過程のモデル化を実証的に行うための簡便なアプローチを示した。SNを内生的に扱ったシミュレーションを実行するためには、本稿で示したアプローチに加えて、誰と会うかを具体的に特定するマッチングルールについても検討を進める必要がある。発表時に、追加の検討結果を報告したい。後者については、留学生の来日直後のSN発展過程という限定的な場面ではあるものの、(1)物的環境や友人数は活動参加の意思決定というよりは誰と会うか/何人と会うかに影響する可能性があること、(2)友人数が増加するにつれ、更なるSNを拡大する行為は収束する傾向にあること、などが示された。今後、これらの知見の一般性を検証するなど、更なるデータ収集と追加の実証分析を行っていくことが重要と考える。

謝辞：本研究は科研費(18K04385)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Marottoli, R.A., de Leon, C.F.M., Glass, T.A., Williams, C.S., Cooney, L.M. and Berkman, L.F.: Consequences of driving cessation: Decreased out-of-home activity levels. *Journal of Gerontology B* 55 (6), 334-340, 2000.
- 2) Marottoli, R.A., Mendes de Leon, C.F., Glass, T.A., Williams, C.S., Cooney, L.M., Jr., Berkman, L.F. and Tinetti, M.E.: Driving cessation and increased depressive symptoms: prospective evidence from the New Haven EPESE. *Established Populations for Epidemiologic Studies of the Elderly. J Am Geriatr Soc* 45 (2), 202-6, 1997.
- 3) Urry, J.: *Mobilities, Policy*, 2007.
- 4) 原田昇(編): *交通まちづくりー地方都市からの挑戦ー*, 鹿島出版会, 2015.
- 5) Chikaraishi, M.: Mobility of the elderly, In *Life-Oriented Behavioral Research for Urban Policy* (Zhang, J. ed), Springer.
- 6) Kowald, M. and Axhausen, K.W.: Focusing on Connected Personal Leisure Networks: Selected Results from a Snowball Sample. *Environment and Planning A* 44 (5), 1085-1100, 2012.
- 7) Parady, G., Takami, K. and Harata, N.: Egocentric social networks

- and social interactions in the Greater Tokyo Area. *Transportation*, 1-26, 2020.
- 8) Parady, G., Frei, A., Kowald, M., Guidon, S., Wicki, M., van den Berg, P., Carrasco, J., Arentze, T., Timmermans, H., Wellman, B., Takami, K., Harata, N. and Axhausen, K.: A comparative study of contact frequencies among social network members in five countries. *Presented at the 99th TRB Annual Meeting, Washington D.C. USA, January 12-16.*, 2020.
 - 9) Parady, G., Katayama, G., Yamazaki, H., Yamanami, T., Takami, K. and Harata, N.: Analysis of social networks, social interactions, and out-of-home leisure activity generation: Evidence from Japan. *Transportation* 46 (3), 537-562, 2019.
 - 10) Wu, L., Zhang, J. and Chikaraishi, M.: Representing the influence of multiple social interactions on monthly tourism participation behavior. *Tourism Management* 36, 480-489, 2013.
 - 11) Arentze, T. and Timmermans, H.: Social networks, social interactions, and activity-travel behavior: a framework for microsimulation. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35 (6), 1012-1027, 2008.
 - 12) Dubernet, T. and Axhausen, K.W.: Including joint decision mechanisms in a multiagent transport simulation. *Transportation Letters* 5 (4), 175-183, 2013.
 - 13) Hackl, J. and Dubernet, T.: Epidemic Spreading in Urban Areas Using Agent-Based Transportation Models. *Future Internet* 11 (4), 92, 2019.
 - 14) Ronald, N., Dignum, V., Jonker, C., Arentze, T. and Timmermans, H.: On the engineering of agent-based simulations of social activities with social networks. *Information and Software Technology* 54 (6), 625-638, 2012.
 - 15) Kowald, M. and Axhausen, K.W.: *Social networks and travel behaviour*, Ashgate Publishing, Ltd., 2015.
 - 16) Parady, G., Takami, K. and Harata, N.: Personal networks and social interactions in the Greater Tokyo Area: an exploratory analysis. *Journal of JSCE* 7 (1), 193-206, 2019.
 - 17) Sen, A.: *Commodities and Capabilities*, Oxford University Press, 1985.
 - 18) Shameen, F., Arentze, T. and Timmermans, H.: An analysis of the dynamics of activity and travel needs in response to social network evolution and life-cycle events: A structural equation model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 59, 159-171, 2014.
 - 19) Watanabe, H., Chikaraishi, M. and Maruyama, T.: How different are daily fluctuations and weekly rhythms in time-use behavior across urban settings? A case in two Japanese cities. *Travel Behavior and Society* 22, 146-154, 2021.
 - 20) Jones, P.: Changing perspectives: Challenges for research and practice. *Proceedings of the Scottish Transport Applications and Research Conference, Glasgow, 1st May 2009.*, 2009.
 - 21) 金光淳: *社会ネットワーク分析の基礎：社会的関係資本論にむけて*, 勁草書房, 2003.
 - 22) Arentze, T., van den Berg, P. and Timmermans, H.: Modeling Social Networks in Geographic Space: Approach and Empirical Application. *Environment and Planning A: Economy and Space* 44 (5), 1101-1120, 2012.
 - 23) Dihingia, S.: Analyzing changes in social networks over time using panel data: A case study of international students in Japan. *Master thesis at the Department of Urban Engineering, The University of Tokyo*, 2019.

(Received October 2, 2020)

MODELING SOCIAL NETWORK EVOLUTION THROUGH ACTIVITY ENGAGEMENT

Makoto CHIKARAISHI, Giancarlo PARADY, Noboru HARATA,
Swarnali Dihingia, Kiyoshi TAKAMI

表-1 活動参加モデル及び活動人数モデルの推定結果

	活動参加		活動人数 (直接つながりのない他者)		活動人数 (既知の友人)	
	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値
固定効果						
定数項	-0.912	-4.271 **	-0.602	-1.839 +	1.369	2.474 *
年齢	0.0	-	0.037	2.883 **	-0.039	-1.818 +
性別 (男性 1; 女性 0)	0.0	-	0.038	0.807	0.194	2.354 *
日本語能力ダミー (会話が可能 1; その他 0)	-0.167	-1.141	0.103	1.906 +	-0.273	-2.919 **
寮ダミー (寮に居住 1; その他 0)	0.209	1.108	0.498	5.984 **	-0.103	-0.795
ln(友人数+1)	0.127	1.633	-0.295	-6.882 **	0.355	7.318 **
活動種類=event ダミー	-0.660	-3.549 **	0.220	2.803 **	0.352	2.841 **
活動種類=food ダミー	-0.215	-1.199	0.104	1.538	-0.063	-0.55
活動種類=meet ダミー	0.767	4.334 **	0.111	1.904 +	0.036	0.343
活動種類=cultural_active ダミー	0.0	-	0.0	-	0.0	-
逆ミルズ比 (バイアス修正項)			0.029	0.58	-0.037	-0.64
ランダム効果 (分散)						
エゴ ID×活動種類	0.163		0.0078		0.0633	
残差	-		0.1538		0.1829	
サンプルサイズ	1344		435		435	
尤度比	0.215					
Marginal R ²			0.150		0.214	
Conditional R ²			0.191		0.416	
初期対数尤度	-931.6					
最終対数尤度	-731.5					

表-2 Tie Retention モデル

	推定値	t 値
固定効果		
定数項	0.356	1.033
ego と alter の年齢差	-0.005	-0.265
出身国ダミー (ego と alter の出身国が異なる場合 1; 同じ場合 0)	-0.588	-3.728 **
性別ダミー (ego と alter の性別が異なる場合 1; 同じ場合 0)	0.007	0.058
ln(友人数+1)	-0.343	-3.038 **
初めて会った際に実施した活動種類=event ダミー	0.0	-
初めて会った際に実施した活動種類=food ダミー	0.559	2.100 *
初めて会った際に実施した活動種類=meet ダミー	0.623	2.698 **
初めて会った際に実施した活動種類=acultural_active ダミー	0.379	1.381
ランダム効果 (分散)		
エゴ ID×活動種類	0.169	
サンプルサイズ	550	
初期対数尤度	-381.2	
最終対数尤度	-325.7	