

地域行事が行われる 場の構成に関する定量的評価モデルの開発： 社会ネットワークアプローチ

小谷 仁務¹・横松 宗太²

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: kotani.hitomu.23m@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: yoko@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

祭りなどの地域の共同行事が行われる「場」の空間的特性が変わると、行事の参加者の数や多様性も変わりうる。そして、それによって行事で新たな共同が生まれ、その共同を機に日常の交流も拡大することがある。これは、行事が行われる「場」の特性がもたらす価値と考えることができる。本研究では、ゲーム理論を基礎とした社会ネットワークモデルを応用し、地域の共同行事における交流と日常の交流を別の階層において表現した、複数階層型の社会ネットワークモデルを定式化する。そして、共同行事の階層で行事の共同を通じて新たに生まれる日常の交流が、日常の階層のネットワーク形成に与える影響を分析する。日常のネットワークが拡大する効果に着目することにより、共同行事及びそれが行われる「場」の空間的特性がもつ役割や価値を数理的に分析する。

Key Words : *Social networks, community of practice, artifacts, heterogeneity of players, network formation model*

1. はじめに

広場や神社、商店街などの公共の「場」で行われる、祭事や神事、イベント事などの地域の共同行事では、「場」の空間的特性が、参加者の数や多様性、参加形態に影響を与えうる。例えば、神戸市長田区の商店街は、阪神・淡路大震災後、巨大な空間をもつ商店街へ変わったが、商店街で催される縁日はその大きな空間を利用することによって、店主のみならず、主婦や学生も出店やイベントに参加できるようになった。本研究では、このような現象を社会心理学の実践共同体論 (e.g., Lave and Wenger (1991)¹), 伊藤他 (2004)²) に基づき解釈する。実践共同体論では、あらゆる活動 (実践) は 1 人では行うことができず、それは共同体によって行われると考える。そして、ある実践を行う共同体は、他のステークホルダーのみならず、空間や道具などのモノも含む。このように実践を共になすモノは「アーティファクト」と呼ばれ (e.g., 石黒 (2001)³), 矢守 (2006)⁴), 孫他 (2012)⁵), 人と人との関係を媒介する役目も果たす。アーティファクトの形態やそれが共同体の中でもつ関係が変われば、共同体の構成員やそこでの実践のあり方も変わる。

共同行事が行われる「場」の空間的特性が変わり、行

事の構成員の数や多様性が増せば、その共同で新たな交流も生まれうる。さらに、それをきっかけに、日常生活でも新たな交流が生まれることもある。それは、場の空間的特性がもたらした価値と考えることができる。先の神戸市長田区の例では、アーケードが変わったことで新たに縁日に参加したステークホルダーが、縁日をきっかけとして、日常生活でも新たな交流を生んでいる。それは新たなアーケードの特性がもたらした価値といえるだろう。同じ世代や職種などの同じグループ内の交流に加え、異なるグループ間の交流の度合いを高めているとすれば、コミュニティの社会関係資本 (ソーシャルキャピタル) を醸成させ (e.g., Putnam(2000)⁶), コミュニティの秩序形成にもつながっている。

本研究では、実践共同体としての地域の共同行事の交流と日常の交流を別の階層において表現した、複数階層型の社会ネットワークモデルを定式化する。共同行事の階層では、住民は行事の役割分担や空間利用の理解を共有しながら、実践共同体で交流をするものとする。そして共同行事の階層で形成された交流が、日常の階層のネットワーク形成に影響を与えるものとする。本研究では、日常の階層において住民のネットワークが拡大する効果を計量することを通じて、共同行事及びそれが行われる「場」がもつ機能の価値を数理・数

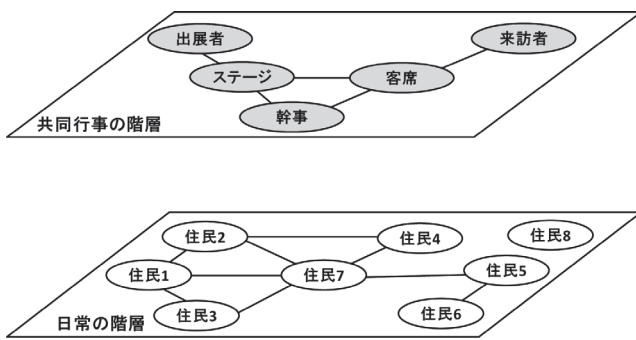


図-1 複数階層型の社会ネットワークモデル

量的に評価する。

以下、2. では、先行研究を整理し、本研究の位置づけと枠組みを述べる。3. では、日常のネットワーク形成と実践共同体ネットワークの定式化を行う。4. では、共同行事を考慮しない場合とする場合の日常のネットワーク形成を、数値計算により分析し、共同行事が日常のネットワーク形成に果たす役割を考察する。5. では、共同行事でのコミュニケーションやアーティファクトが変化したときの比較動学分析を行う。6. では、本研究の結論と今後の課題を述べる。

2. 既往研究と本研究の枠組み

共同行事が行われる、公共の「場」の特性や構成要素の評価に関する研究は、都市計画学や景観工学におけるフィールド調査やインタビューに基づいた質的分析が中心となっている。そこでは、緻密なフィールド調査やインタビュー調査を基に、特定の地域の景観構成や空間構造とそこでの活動や地域社会との関係が記述されている。例えば、あるコミュニティにおける祝祭時の空間の使われ方がそこでの活動に与える影響（松浦（2012）⁷⁾）や、地域景観の構成要素と社会的活動の関連（藤倉他（2010）⁸⁾）などが分析されている。

一方で、数理・数量的なアプローチも存在する。ここでは、環境経済学分野で発展した、CVM (contingent valuation method) やコンジョイント分析 (conjoint analysis) などの統計的アプローチが用いられ、公共空間やその構成要素の金銭評価が実証的になされることが多い (e.g., 太田・蓑茂 (2000)⁹⁾, 武田他 (2004)¹⁰⁾)。それに対して本研究は、ゲーム理論を基礎とした社会ネットワーク形成モデルを用いるアプローチをとる。社会ネットワークモデルを用いることで、社会ネットワーク理論におけるソーシャルキャピタルを評価でき、コミュニティの秩序形成に対し示唆を与えることができる。また、公共の「場」の構成要素がもつ関係構造に焦点を当てた分析もできる。さらに、「場」の

空間的特性や構成要素が地域の交流にもたらす外部性の構造の分析やその動学的影響の予測・評価も可能になる。

本研究では、実践共同体としての地域の共同行事の交流と日常の交流を別の階層において表現した、複数階層型の社会ネットワークモデルを定式化する。図-1 にモデルの模式図を示す。この定式化によって、共同実践としての地域の共同行事での交流が日常の交流に影響を与えることを表現する。

日常の階層におけるネットワーク形成では、各プレイヤーが他のプレイヤーと一対一で出会い、リンクを形成する状況を考える。各プレイヤーは、世代や職種などに関するあるタイプに属するものとし、同じタイプに属するプレイヤー同士よりも、異なるタイプに属するプレイヤー同士の方が出会いにくいことを仮定する。共同行事での交流が、同じタイプに属するプレイヤー内のリンク形成のみならず、異なるタイプに属するプレイヤー間のリンク形成に与える影響も分析していく。

共同行事の階層における交流は、日常のリンク形成での価値規範とは異なる形で生まれるものとする。すなわち、他のプレイヤーと行事を共同することで行事における交流が生まれるものとする。実践共同体を成立させるために、各役割が存在する。その役割は、アーティファクトや他の役割との関係によって既定される。例えば、祭りという実践を考えたとき、祭りが成立するためには、「出展者」、「来訪者」という役割が住民に担われなければならない。そして、「出展者」は、その実践の場を構成する「ステージ」や「客席」というアーティファクトがある中で、「ステージ」にアクセスでき、「ステージ」から見える「客席」や、そこにアクセスする「来訪者」との関係の中で「出展者」足りえる。こういった関係の中で既定された役割を担いながら、住民は他者やアーティファクトと祭りを共同していると考えられる。よって、本研究では、実践共同体には「役割」と「アーティファクト」による関係構造があるものと考え、それをネットワークにより表現する。とりわけ、実践共同体論では役割を担う人とアーティファクトの間に本質的な差がないことを考慮し、共同行事における「役割」と「アーティファクト」を共にノード、そのノード間の関係をリンクと捉える。以降では、このネットワークを「実践共同体ネットワーク」と呼ぶ。そして、各プレイヤーが、その実践共同体ネットワークの構造を基に自身にとって最適な役割を選択し（図-2 左）、他のプレイヤーやアーティファクトと共同する問題を考える（図-2 右）。そして、本研究では、図-3 のように、自身の役割を通じて他の複数のプレイヤーと共同することで生まれた行事での交流の一部が、日常の交

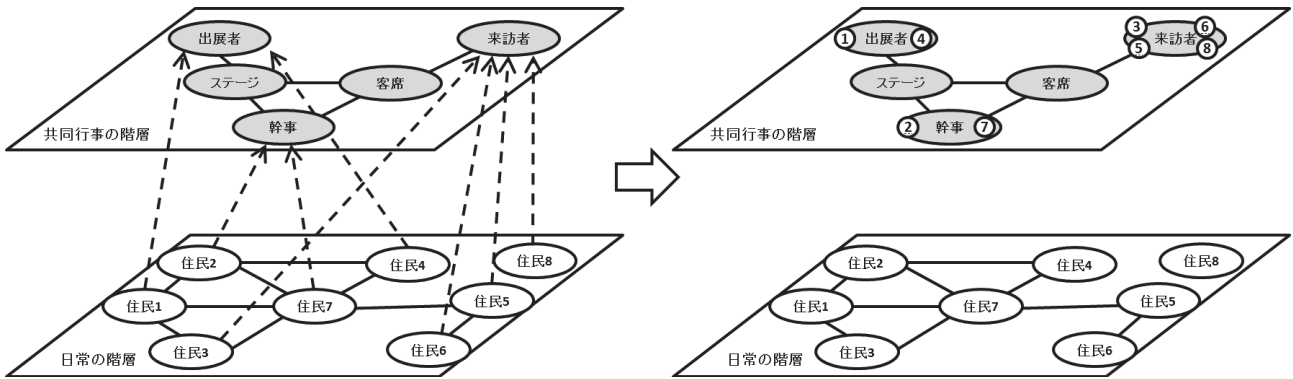


図-2 共同行事の役割の選択と共同行事における交流

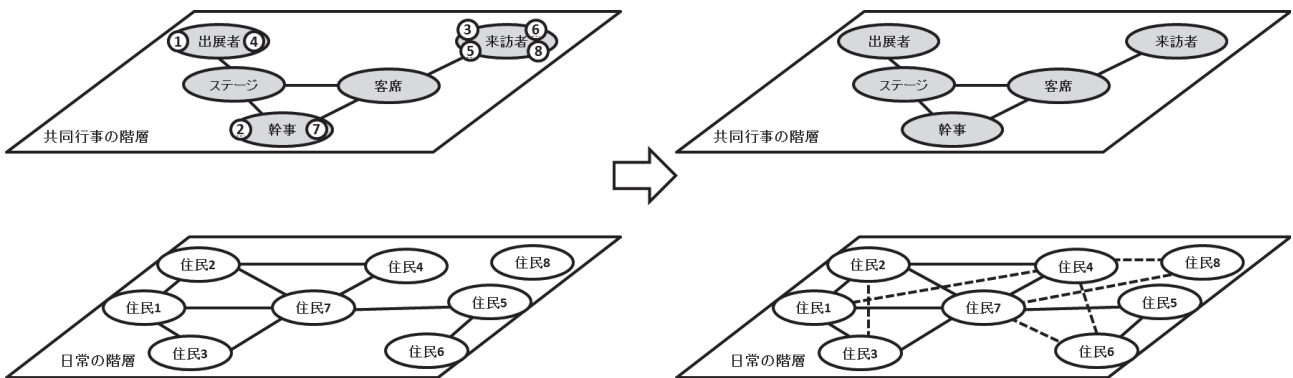


図-3 共同行事における交流から生まれる日常の交流 (右図における点線が新たに生まれた日常の交流)

流にも引き継がれるものとする。共同行事の階層から日常の階層に引き継がれる交流が、日常のネットワーク形成に果たす効果を分析することを通じて、共同行事やそれが行われる場の空間要素の価値評価を行う。

社会ネットワークモデルにおいて、異なる階層を表すネットワークモデルは multilayer networks として知られているが (e.g., De Domenico *et al.* (2013)¹¹, Boccaletti *et al.* (2014)¹²), そこではゲーム理論を基礎とした戦略的なリンク形成に関する研究の蓄積はほとんどない。わずかに存在するものの (e.g., Abshoff *et al.* (2014)¹³, Shahrivar and Sundaram (2015)¹⁴), 本研究が対象とするような共同的な活動で複数人と同時に交流することは想定されていない。また、これまで、人とモノの関係構造をネットワークで表現する場合、その2つを異なるノードの集合とする二部グラフ (two-mode networks / bipartite networks) の形で表すことがほとんどであった (e.g., So (2014)¹⁵)。それに対し、本研究は、実践共同体論に則り、人が担う「役割」とモノである「アーティファクト」との関係だけでなく、「アーティファクト」と「アーティファクト」との関係も、同じ実践共同体ネットワークの中で表現する。それによって、場の構成がもたらす影響を分析

する。このようなモデル化と目的をもつ研究は、筆者らの知る限り存在しない。

3. 日常の社会ネットワーク形成モデルと実践共同体ネットワークモデル

(1) 日常のネットワークモデル

あるコミュニティ内の有限なプレイヤーの集合を $N = \{1, \dots, n\}$ とする ($n > 2$)。また、各プレイヤーはあるタイプに属するものとし、そのタイプの集合を $X = \{1, \dots, x\}$ とする ($x \geq 2$)。また、プレイヤー i が属するタイプを x_i で表す。

プレイヤー間の日常の交流に関するネットワークを考えていこう。以降では、日常の階層におけるネットワークを「日常のネットワーク」あるいは単に「ネットワーク」と呼ぶ。日常のネットワークは、各プレイヤーをノード、各プレイヤー間のつながりをリンクとするグラフによって表現される。 N のプレイヤー間のリンクの集合をネットワーク g で表す。プレイヤー i と j をつなぐリンクを ij で表す。もし $ij \in g$ であれば、ネットワーク g の下で、プレイヤー $i \in N$ とプレイヤー j が直接につながっており、 $ij \notin g$ であれば、プレイヤー i

と j は直接につながっていないとする。例えば、 $n = 3$ の場合に、プレイヤー 1 と 2、2 と 3 がつながっているなら、 $g = \{12, 23\}$ と表すことができる。また、既存のネットワーク g にリンク ij がつながることで得られるネットワークを $g + ij$ で表し、 g からリンク ij が取り除かれたことで得られるネットワークを $g - ij$ で表す。すなわち、 $g + ij = g \cup \{ij\}$ 、 $g - ij = g \setminus \{ij\}$ である。

プレイヤー i と直接につながっているプレイヤーの集合はプレイヤー i の隣人 (neighbors) と呼ばれ、 $N_i(g)$ で表される。すなわち、 $N_i(g) = \{j \in N \mid ij \in g\}$ である。さらに、隣人の人数をプレイヤー i の次数 (degree) と呼ぶ。すなわち、次数 $d_i(g) = |N_i(g)|$ である。

プレイヤー i は日常においては、次数の大きなプレイヤーと交流し、仕事や趣味の機会を拡げたいという嗜好をもつと仮定する。つまり、日常においてプレイヤー j とのリンクから得られる利得を $b(d_j)$ と表すと、 $b(d_j)$ は d_j について増加関数 ($\frac{db(d_j)}{dd_j} > 0$) であると仮定する。

このとき、ネットワーク g におけるプレイヤー i の効用関数を以下のように表す。

$$u_i(g) = \left(\sum_{j \in N_i(g)} b(d_j) \right)^\eta - c \cdot d_i. \quad (1)$$

η ($0 < \eta < 1$) は、隣人から得る追加的利得が逓減する度合いを表すパラメータである。第二項目の c は、1 人の隣人との交流にかかる費用である。

(2) 動学過程

t 期 ($t = 1, 2, \dots$) の期初のネットワークを g^t とし、 n 人のプレイヤーが每期、ゲームを行う。

動学過程においては、Jackson and Watts (2002a; 2002b)^{16)–17)}をはじめとした研究で採用されている、inertia (慣性)、myopic (近視眼的)、error (誤り)/mutation (突然変異) を伴う限定合理的な個人を想定する。これは、動学過程において、全員が同時にリンク形成の行動を起こせる訳ではなく (inertia)、行動を起こせるプレイヤーも目下の環境に近視眼的に反応し (myopic)、しばしば意思決定に誤りを伴うか、最適でない行動を試行すること (error/mutation) を考慮することである。error/mutation がなければ、外部性により複数均衡の 1 つに偶然ロックインされるような場合があるが、確率的動学の概念を用いることで、ある均衡から飛び出して他の状態に遷移できるようになり、長期的に見て最も頑健に存在するネットワークを導くことができる。

動学過程におけるリンク形成では、プレイヤーは、同じタイプの相手とよりも、異なるタイプの相手との方が新たに出会う可能性が低いものとする。すなわち、リ

ンク ij をもたないプレイヤー i と j が異なるタイプに属する場合には、同じタイプに属する場合よりも、リンク ij を形成するための意思決定の機会が低い確率 P_{Hetero} ($0 < P_{Hetero} < 1$) でしか訪れないものと仮定する。

以上を考慮し、 t 期では、Jackson and Watts (2002a)¹⁶⁾を応用し、以下の 4 つの step が行われるものとする。

1st

各リンクについての確率分布 $\{p_{ij}\}$ ($p_{ij} > 0$) が存在し、その確率分布の下で、 t 期において、あるリンク ij がランダムに選ばれる。

2nd

ペア ij 以外のプレイヤーは、 t 期には何も行動を起こさない。つまり、ペア ij 以外のプレイヤーは即座に行動を起こさない、inertia をとる。

3rd

1st step で選ばれたリンクの両端のプレイヤー i と j は、次の 3-1 と 3-2 の (A) の原理 (以降、「two sided-link formation」と呼ぶ) に従い、近視眼的 (myopic) にリンクをつなぐか切ることの意思決定を行う。なお、ペア ij は、自分たち以外のプレイヤーは前期にとった行動を変えないと考える。

3-1 既にリンク ij がネットワーク g^t 上にある場合、そのリンクを切ることで、少なくとも 1 人のプレイヤーの効用が厳密に増加するなら、そのリンクを切る。そうでない場合は、リンクをつないだままにする。

3-2 もしリンク ij がネットワーク g^t 上にない場合、

3-2-1 プレイヤー i のタイプ x_i と j のタイプ x_j が同じであれば、(A) を行う。

3-2-2 プレイヤー i のタイプ x_i と j のタイプ x_j が異なれば、確率 P_{Hetero} ($0 < P_{Hetero} < 1$) で (A) を行い、確率 $1 - P_{Hetero}$ で何もしない。

(A) 1 人のプレイヤーの効用が厳密に増加し、かつ、もう 1 人のプレイヤーの効用が減少しなければ、リンクをつなぐ。そうでない場合は、リンクをつながない。

4th

リンク形成の意思決定について、確率 ϵ ($0 < \epsilon < 1$) で error/mutation が起こる。つまり、3rd step でペア ij が行った意思決定は、確率 $1 - \epsilon$ でその通り行われ、確率 ϵ でその意思決定とは逆の行動がとられ、ネットワーク g^t が形成される。ただし、3-2 step においては、(A) を実行する機会が与えられたときのみ、error/mutation が起きるものとする。

以上をまとめると、 g_1^t は次のプロセスで形成される。

g^t を所与とし、プレイヤー i と j を確率 p_{ij} で指定する。

- $ij \in g^t$ の場合、
もし $u_i(g^t - ij) > u_i(g^t)$ かつ/または $u_j(g^t - ij) > u_j(g^t)$ であれば、確率 $1 - \epsilon$ で $g_1^t = g^t - ij$ 、確率 ϵ で $g_1^t = g^t$ とする。もしそうでなければ、確率 $1 - \epsilon$ で $g_1^t = g^t$ 、確率 ϵ で $g_1^t = g^t - ij$ とする。
 - $ij \notin g^t$ の場合、
 - $x_i = x_j$ の場合、(A') を実行する。
 - $x_i \neq x_j$ の場合、確率 P_{Hetero} で (A') を実行し、確率 $1 - P_{Hetero}$ で $g_1^t = g^t$ とする。
- A'** もし $u_i(g^t + ij) \geq u_i(g^t)$ かつ $u_j(g^t + ij) \geq u_j(g^t)$ が少なくとも一方は等号なしで成立するならば、確率 $1 - \epsilon$ で $g_1^t = g^t + ij$ 、確率 ϵ で $g_1^t = g^t$ とする。もしそうでなければ、確率 $1 - \epsilon$ で $g_1^t = g^t$ 、確率 ϵ で $g_1^t = g^t + ij$ とする。

以上のプロセスによって形成されたネットワーク g_1^t が t 期の期末のネットワークとなり、それが $t+1$ 期の期初のネットワーク g^{t+1} となる。 $t+1$ 期以降、上記のプロセスが繰り返される。

なお、3rd step の two sided-link formation で、リンクをつなぐ場合と切る場合で非対称性が存在するのは、リンクをつなぐには双方のプレイヤーの同意を必要とするが、リンクを切るには一方のプレイヤーの同意のみで十分であることを意味している。

(3) 実践共同体ネットワークモデル

a) 定義

t_P 期毎に、すなわち $t = t_P, 2t_P, 3t_P, \dots$ に地域コミュニティの共同行事が開かれるものとする。ここで組織させる実践共同体ネットワークを定式化していこう。その行事の実践共同体が成立するために必要な役割とアーティファクトの集合をそれぞれ $R = \{r_1, r_2, \dots, r_K\}$ 、 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_L\}$ とする。この和集合 $N_P (= R \cup A)$ をノード、このノード間の関係をリンクとするグラフを「実践共同体ネットワーク」と定める。ノード間の関係、すなわち、「役割 r_k とアーティファクト a_l の関係」をリンク $r_k a_l$ 、「アーティファクト a_l とアーティファクト a_m との関係」をリンク $a_l a_m$ によって表し、このリンクの集合を実践共同体ネットワーク g_P によって表す。さらに、 g_P の各リンク $r_k a_l$ 、 $a_l a_m$ には、関係の強さを表す重みが付与されているものとする。そ

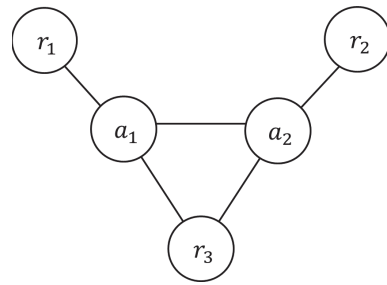


図-4 実践共同体の関係構造

の重みをそれぞれ $\delta_{r_k a_l}$ 、 $\delta_{a_l a_m}$ ($\delta_{r_k a_l}, \delta_{a_l a_m} > 0$) で表し、この重みの集合を Δ とする。今、例として、役割 $R = \{r_1, r_2, r_3\}$ とアーティファクト $A = \{a_1, a_2\}$ で構成され、その関係構造が図-4 のようになっている実践共同体を考える。このとき実践共同体ネットワークのノードは $N_P = R \cup A$ で、実践共同体ネットワーク g_P は $g_P = \{r_1 a_1, r_2 a_2, r_3 a_1, r_3 a_2, a_1 a_2\}$ 、各リンクの重みの集合は $\Delta = \{\delta_{r_1 a_1}, \delta_{r_2 a_2}, \delta_{r_3 a_1}, \delta_{r_3 a_2}, \delta_{a_1 a_2}\}$ と表される。なお、簡単化のため、実践共同体ネットワーク g_P は無向グラフ、リンクに付与される重みは対称 ($\delta_{ij} = \delta_{ji}$) であることを仮定する。一方、 g_P における 2 つの異なるノード i と j をつなぐ経路の中で、経路上の全てのノードが異なる経路をパス (path) と呼び、ノード i と j の間のパスの集合を $\Gamma_{i,j}(g_P)$ とする。また、その要素を $\gamma_{i,j}(g_P) \in \Gamma_{i,j}(g_P)$ とする。さらに、 g_P において役割 r_k が到達可能なノードの集合 (到達集合) を $\bar{N}_{r_k}(g_P) = r_k \cup \{j \in N_P \setminus r_k \mid \text{there exists a path in } g_P \text{ between } r_k \text{ and } j\}$ と定める。

b) 役割の選択

各プレイヤーは、実践共同体ネットワークの中の 1 つの役割を担い、行事に参加し共同する。このとき、各プレイヤーは最も高い効用をもたらす役割を選択するものと仮定する。自然数の変数を s とし、以下では、 $t = s \cdot t_P$ 期において、プレイヤーが行事におけるある役割を選択する問題を定式化する。

まず、ある役割 r_k を担うことで得られる利得を定義しよう。その利得は次の 2 つ部分で構成されるものとする。一つ目は、役割 r_k を担うことで実践共同体ネットワークを通じて、アーティファクトやある役割を担うプレイヤーと共同することから得られる利得 W_{r_k} である。以降、 W_{r_k} を「共通利得」と呼ぶ。 W_{r_k} は役割 r_k を担うどのプレイヤーにとっても同じ水準である。二つ目は、役割 r_k を担うことでプレイヤー i が実践共同体ネットワークとは独立に、個人的に得られる利得 $v_{r_k i}$ である。以降、 $v_{r_k i}$ を「個人利得」と呼ぶ。 $v_{r_k i}$ は役割 r_k を担うプレイヤーの間で異なる水準をとりうる。以上より、役割 r_k を担うことで得られる利得を利得関数

$H(W_{r_k}, v_{r_k i})$ で表す.

共通利得 W_{r_k} を特定化していこう. プレイヤーは役割 r_k を担うことで同じ役割を担うプレイヤーと共同することができ, 利得 V_{r_k} を得るものとする. さらに, 実践共同体ネットワークを介して直接・間接的につながるアーティファクト a_l , そして他の役割 r_m を担うプレイヤーと共同することができ, それぞれ利得 V_{a_l} と V_{r_m} を得るものとする. このとき, 実践共同体ネットワークを介して得られる利得は, connections model (e.g., Jackson and Wolinsky (1996)¹⁸), Bala and Goyal (2000)¹⁹) を拡張した Billand *et al.* (2012)²⁰) に倣う. そこでは, 2 つのノード間の利得が, そのノードをつなぐパスを構成するリンクの重みの影響をうける. すなわち, 共通利得 W_{r_k} は次のように表される.

$$W_{r_k} = \sum_{r_m \in \bar{N}_{r_k}(g_P)} (\prod_{oq \in \gamma_{r_k, r_m}^*(g_P)} \delta_{oq}) V_{r_m} \cdot n_{r_m}^{(s-1) \cdot t_P} + \sum_{a_l \in \bar{N}_{r_k}(g_P)} (\prod_{oq \in \gamma_{r_k, a_l}^*(g_P)} \delta_{oq}) V_{a_l}, \quad (2a)$$

where

$$\gamma_{r_k, r_m}^*(g) = \arg \max_{\gamma_{r_k, r_m}(g_P) \in \Gamma_{r_k, r_m}(g_P)} \left(\prod_{oq \in \gamma_{r_k, r_m}(g_P)} \delta_{oq} \right), \quad (2b)$$

$$\gamma_{r_k, a_l}^*(g) = \arg \max_{\gamma_{r_k, a_l}(g_P) \in \Gamma_{r_k, a_l}(g_P)} \left(\prod_{oq \in \gamma_{r_k, a_l}(g_P)} \delta_{oq} \right). \quad (2c)$$

$n_{r_m}^{(s-1) \cdot t_P}$ は, $(s-1) \cdot t_P$ 期において役割 r_m を選択したプレイヤーの人数である. $s \cdot t_P$ 期に行事に参加するか否かの意思決定の際には, 前回行事が行われた期 ($(s-1) \cdot t_P$ 期) に役割 r_m を選択した人数と同数のプレイヤーと共同を行えることを期待するものとする.

また, 役割 r_k を担うために生じる費用を C_{r_k} とする. C_{r_k} は役割 r_k を担うどの個人にとっても同じ水準である.

以上から, プレイヤー i が役割 r_k を担うことで得られる効用 $U_{r_k i}$ を次のように表す.

$$U_{r_k i} = H(W_{r_k}, v_{r_k i}) - C_{r_k}. \quad (3)$$

したがって, プレイヤー i が選択する役割 r_k^* は次のように決まる.

$$r_k^* = \begin{cases} \arg \max_{r_m \in R} U_{r_m i} & \text{if } U_{r_k^* i} > 0. \\ \emptyset & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

$r_k^* = \emptyset$ はプレイヤー i が共同行事に参加しないことを意味する.

c) 共同行事をきっかけとした日常のつながりの形成

プレイヤー i は自身が担う役割を通じ, 行事で各役割を担う他のプレイヤー j と共同する. そして行事を共同するプレイヤーの中には, 日常のネットワークではつながっていないプレイヤーもいる. 本研究では,

行事を共にすることで新たに知り合ったプレイヤー同士の交流が, 共同行事を離れた日常でも確率的に続くものとする. また, その確率はプレイヤー i と j が共同行事で担う役割に依るものとする. すなわち, 日常のネットワーク $g_1^{t_P}$ においてリンク ij をもたないプレイヤーが, 共同行事においてそれぞれ役割 r_k と r_m を担う場合 ($r_k, r_m \neq \emptyset$), 行事参加後には確率 $q_{r_k r_m} (> 0)$ で日常のネットワークにリンク ij が形成されるものとする. これが全てのペアについて生じ, 共同行事後には日常のネットワーク $g_2^{t_P}$ が形成されるものとする. そして, この $g_2^{t_P}$ が $t_P + 1$ 期の期初の日常におけるネットワーク g^{t_P+1} となる.

つまり, $g_2^{t_P}$ は次のプロセスで形成される.

全てのリンク ij について,

- $ij \notin g_1^{t_P}$ の場合,
もしプレイヤー i と j がそれぞれ役割 r_k と r_l を選択していれば ($r_k \neq \emptyset$ かつ $r_l \neq \emptyset$), 確率 $q_{r_k r_m}$ で $g_2^{t_P} = g_1^{t_P} + ij$, 確率 $1 - q_{r_k r_m}$ で $g_2^{t_P} = g_1^{t_P}$ とする. もしそうでなければ, $g_2^{t_P} = g_1^{t_P}$ とする.
- $ij \in g_1^{t_P}$ の場合,
 $g_2^{t_P} = g_1^{t_P}$ とする.

4. 数値計算事例

(1) ネットワーク指標

分析では日常の社会ネットワークを対象に, その「ネットワークの密度 (ND)」, 「同じタイプ内のリンク数」, 「異なるタイプ間のリンク数」, 「社会厚生」, 「孤立点の数」, 「次数の標準偏差」に着目し, 数値計算による比較動学分析を行う.

社会ネットワーク理論の分野では, コミュニティの社会関係資本 (ソーシャルキャピタル) を表す指標の一つとして, しばしばネットワークの密度が使われる (e.g., Borgatti *et al.* (1998)²¹). ネットワークの密度 (ND) は, 全プレイヤー間でつながりうる最大のリンク数に対して, 実際につながっているリンク数の割合を意味し, 次式で表される (e.g., Newman (2010)²²).

$$ND = \frac{\sum_i d_i}{2 \cdot \binom{n}{2}}. \quad (5)$$

また, 社会関係資本の概念を理解する上で, 「内部結合型資産 (bonding capital)」と「橋渡し型資産 (bridging capital)」の 2 種類の考え方も有効であると言われている (e.g., Putnam (2000)⁶, 大江 (2006)²³, Easley and Kleinberg (2010)²⁴). 大まかに言えば, それらは, きつく結びつけられたグループ内の接触, 後者は異なるグループ間の接触から生じる種類の社会関係資本にそれぞれ対応する. 本研究では, 前者が「同じタイプ内

のリンク数」に、後者が「異なるタイプ間のリンク数」に対応するものとする。

一方、各期の社会厚生 (SW) は当該期末の各プレイヤーの効用の総和によって表す。すなわち、社会厚生を次式で表す。

$$SW = \sum_{i=1}^n u_i(g^t). \quad (6)$$

ネットワークにおける社会厚生は「value of a network」と呼ばれることもある (e.g., Jackson and Wolinsky (1996)¹⁸⁾).

(2) 関数とパラメータの設定

数値計算における実践共同体ネットワークの構造を次のように定める。

$$R = \{r_1, r_2, r_3\}, A = \{a_1, a_2\}, \quad (7a)$$

$$g_P = \{r_1 a_1, r_2 a_2, r_3 a_1, r_3 a_2, a_1 a_2\}. \quad (7b)$$

これは図-4 と同様である。なお、簡単化のため、プレイヤーの選択可能な役割は r_1 と r_2 のみであると仮定する。例えば、緑日のような地域の共同行事において「出展者 r_1 」、「来訪者 r_2 」、「幹事 r_3 」という役割があるとき、それらのうち「幹事 r_3 」は持ち回り等のルールで外生的に決められている状況が該当する。

さらにモデルの関数形とパラメータを以下のように設定する。

$$n = 30, x = 2, \quad (8a)$$

$$x_i = 1 \text{ for } i = 1, \dots, \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \quad (8b)$$

$$x_j = 2 \text{ for } j = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1, \dots, n, \quad (8c)$$

$$b(d_j) = d_j - 1, c = 0.4, p_{ij} = \binom{n}{2}^{-1}, \quad (8d)$$

$$g^1 = \emptyset, P_{Hetero} = 0.1, T = 30000, \epsilon = 0.05, \quad (8e)$$

$$\delta_{r_1 a_1} = \delta_{r_2 a_2} = \delta_{r_3 a_1} = \delta_{r_3 a_2} = \delta_{a_1 a_2} = 0.5, \quad (8f)$$

$$H(W_{r_k}, v_{r_k i}) = \alpha \cdot W_{r_k} + (1 - \alpha) \cdot v_{r_k i}, \alpha = 0.5, \quad (8g)$$

$$\forall r_k, V_{r_k} = 10, v_{r_k i} = n_{r_k}^{(s-1) \cdot t_P} + z_{r_k i}, \quad (8h)$$

$$z_{r_k i} \sim N(0, \sigma^2), \sigma = 150, \quad (8i)$$

$$\forall a_i, V_{a_i} = \frac{S_{a_i}}{\sum_{r_k | r_k a_i \in g_P} n_{r_k}^{(s-1) \cdot t_P}}, S_{a_i} = 100, \quad (8j)$$

$$C_{r_1} = 50, C_{r_2} = 40, n_{r_1}^1 = n_{r_2}^1 = \frac{n}{2}, n_{r_3}^1 = 5, \quad (8k)$$

$$t_P = 5000, q_{r_1 r_1} = 0.3, q_{r_1 r_2} = 0.1, q_{r_2 r_2} = 0.2. \quad (8l)$$

式 (8a)-(8c) より、コミュニティ内に 2 種類のタイプのプレイヤーが存在し、各タイプに全体の半分ずつのプレイヤーが存在することを仮定する。式 (8d) より、動学過程における 1st step のリンクの選択確率 p_{ij} は一様

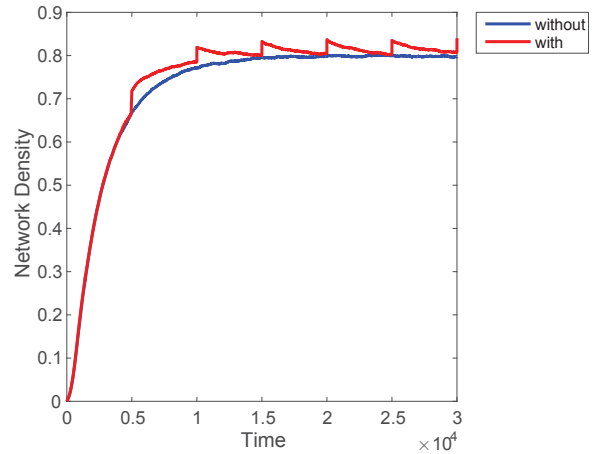


図-5 $\eta = 0.8$ のときのネットワーク密度

分布を仮定する。また式 (8e) で、コミュニティのネットワークの成長過程に興味があるため、初期ネットワーク g^1 は empty network とする。また T は動学過程における最終期を表す。式 (8h)-(8i) より、役割 r_k を選択することからプレイヤー i が得る個人利得 $v_{r_k i}$ は、前回共同行事が行われた $(s - 1) \cdot t_P$ 期に役割 r_k を選択した人数 $n_{r_k}^{(s-1) \cdot t_P}$ と個人毎に異なる変数 $z_{r_k i}$ で構成されるものとする。また、 $z_{r_k i}$ は、各役割、各プレイヤーについて互いに独立に、平均 0、分散 σ^2 の同一の正規分布から生成される変数であると仮定する。式 (8j) で、 S_{a_i} はアーティファクトそのものの物理的性能を表す。例えば、ステージの例ではステージの広さなどがそれに当たる。そして、そのアーティファクトと直接につながる役割 r_k を担うプレイヤー数が増加すれば、混雑などの理由で S_{a_i} を享受しにくくなると想定する。そのため、 V_{a_i} は n_{r_k} についての減少関数を仮定する。式 (8k) の $n_{r_1}^1, n_{r_2}^1, n_{r_3}^1$ は、 $t = t_P$ で各プレイヤーが行事における自身の役割を選択する際に参照する、各役割のプレイヤー数である。

(3) 分析結果

上述した関数形とパラメータの下、共同行事をきっかけとしたリンク形成が各ネットワーク指標に与える動学的影響の分析を行う。分析では、日常のネットワークから得る限界効用の遞減率 η が異なる 2 つのケース ($\eta = 0.8$ の場合と $\eta = 0.6$ の場合) を考える。なお、Monte-Carlo シミュレーションの繰り返し回数を 100 回とし、その平均値を用いる。以降では、説明の便宜上、おおよそ $1 \leq t \leq 10000$ の期間を「前期」、それ以降のおおよそ $t > 10000$ の期間を「後期」と呼ぶ。

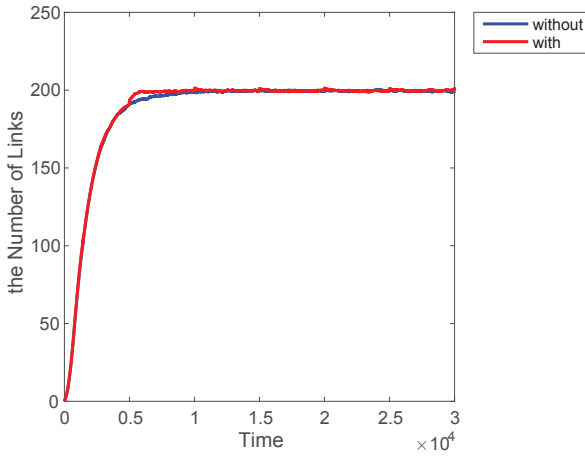


図-6 $\eta = 0.8$ のときの同じタイプ内のリンク数

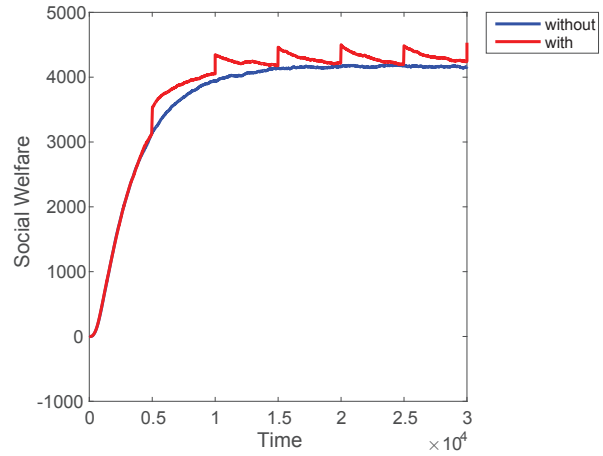


図-8 $\eta = 0.8$ のときの社会厚生

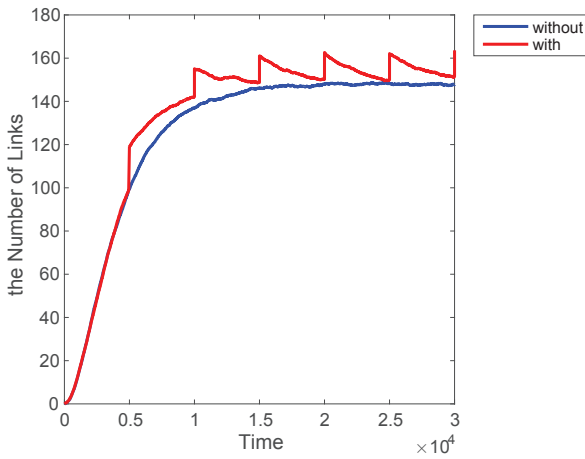


図-7 $\eta = 0.8$ のときの異なるタイプ間のリンク数

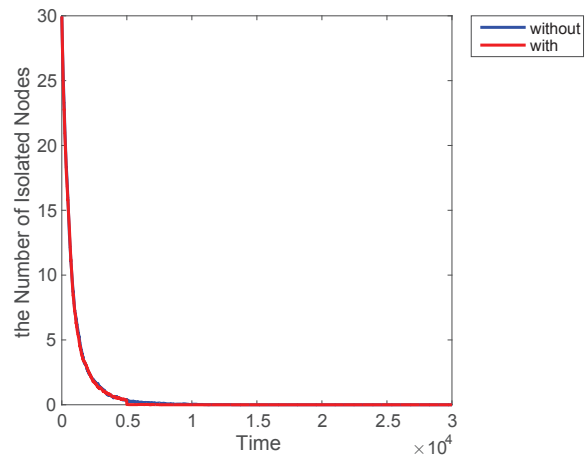


図-9 $\eta = 0.8$ のときの孤立点の数

a) 日常の交流から得る限界効用の逓減率が小さい場合 ($\eta = 0.8$ の場合)

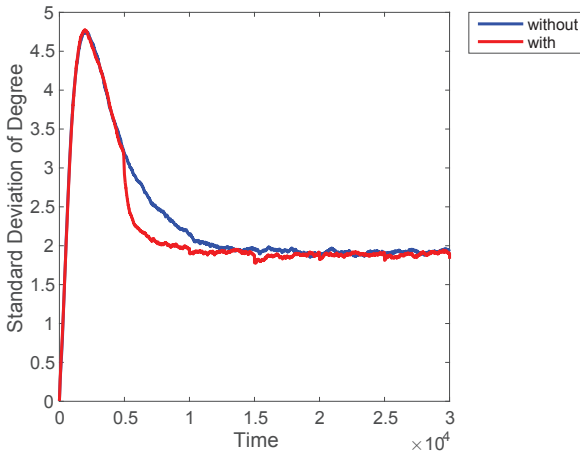
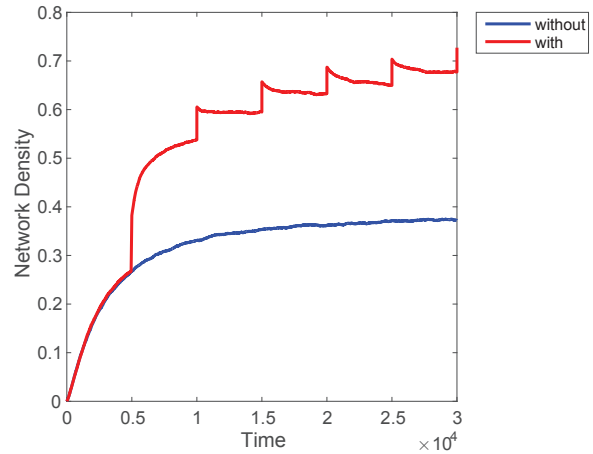
ここでは、日常の交流から得る限界効用の逓減率が小さい場合、すなわち、 $\eta = 0.8$ の場合を考える。ネットワークの密度、同じタイプ内のリンク数、異なるタイプ間のリンク数、社会厚生、孤立点の数、次数の標準偏差をそれぞれ図-5-10 に示す。各図の青線は共同行事を考慮しない場合、赤線は共同行事を考慮する場合をそれぞれ示す。

共同行事を考慮しない場合、前期では、ネットワークが成長していく。とりわけ、同じタイプ内のリンク数は、異なるタイプ間のリンク数より早く成長する。後期には、各プレイヤーは、同じタイプのプレイヤーほぼ全員とリンクをもち、異なるタイプのプレイヤーとは相対的に少ないリンクをもつ状態に収束する。孤立点もなく、次数の標準偏差も減少していき、高密度な

ネットワークに収束するのが分かる。

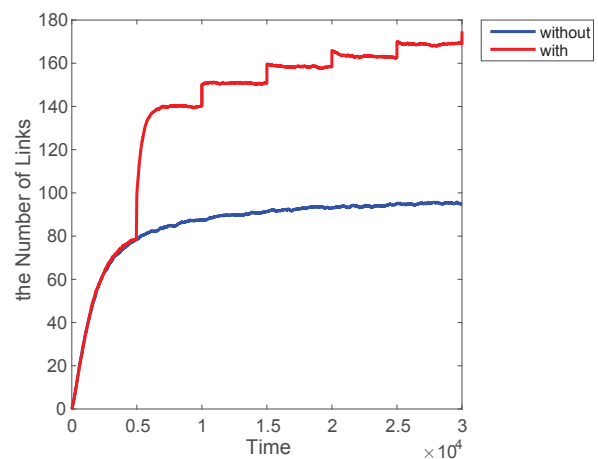
一方、共同行事を考慮する場合、それを考慮しない場合と比べ、前期において、共同行事をきっかけにネットワークの成長が加速することは観察されない。また、後期における、各指標の水準にも大きな違いは見られない。ただ、後期には、「異なるタイプ間のリンク数」は、共同行事がなされた期に一時的に大きくなり、その後、緩やかに減少することを繰り返す。この点が共同行事を考慮しない場合と大きく異なる。

以下では、共同行事を考慮しない場合とする場合の上記の各現象が起きる理由を考察する。まず、共同行事を考慮しない場合について述べる。日常のネットワークから得る限界効用の逓減率が小さい場合、error/mutationによってリンクを1本得ると、多くのケースで自律的にリンク形成が進む。同じタイプ同士は、異なるタイプ同士に比べ、出会う確率が高いので、前期において

図-10 $\eta = 0.8$ のときの次数の標準偏差図-11 $\eta = 0.6$ のときのネットワークの密度

リンク形成が早く進む。つながっていたリンクが切れることもあるが、その主因は error/mutation である。error/mutation によって、リンクが切れてしまった場合でも、同じタイプ同士は出会う確率が高いので、早くそれを修復できる。一方、異なるタイプ同士は出会う確率が低いので、その修復が進みづらい。以上から、後期では、同じタイプ内のリンク数は、ほぼ上限に達する。それに対して、異なるタイプ間のリンク数は、error/mutation によってリンクが切れる割合と、異なるタイプ同士が出会い、それを修復する割合とがバランスし、相対的に低い水準に留まるものと考えられる。

一方で、共同行事を考慮する場合、前期では、共同行事を機にリンクが形成され、各プレイヤーの次数が増える。しかし、前述の通り $\eta = 0.8$ のケースでは error/mutation でリンクを 1 本でも得れば自律的にリンク形成が進むので、共同行事を機にした次数の増加がリンク形成を加速させる効果はほとんどないと考えられる。後期では、同じタイプ内のリンクはほとんどつながっているが、異なるタイプ間のリンクは相対的につながっていないものが多い。そのため、異なるタイプ間のリンクは共同行事を機に一時的に多く形成される。だが、異なるタイプ間のリンク数は、前述した通り、ある水準以上になると、error/mutation によって切れる割合の方が、異なるタイプが出会いそれを修復する割合よりも多くなる。そのため、後期において、異なるタイプ間のリンク数は、共同行事後に緩やかに減少するものと考えられる。そして、再度共同行事があれば、その切れたリンクは、再び修復される。このことを繰り返していると考えられる。以上から、本ケースにおいては、共同行事をきっかけとしたリンク形成は、ネットワークが成長しきった段階（後期）では、error/mutation によって切れる、異なるタイプ間のリンクを毎回修復す

図-12 $\eta = 0.6$ のときの同じタイプ内のリンク数

る役割を果たしているといえる。

b) 日常の交流から得る限界効用の通減率が大きい場合 ($\eta = 0.6$ の場合)

ここでは、日常の交流から得る限界効用の通減率が大きい場合、すなわち、 $\eta = 0.6$ の場合を考える。ネットワークの密度、同じタイプ内のリンク数、異なるタイプ間のリンク数、社会厚生、孤立点の数、次数の標準偏差をそれぞれ図-11-16 に示す。各図の青線は共同行事を考慮しない場合、赤線は共同行事を考慮する場合をそれぞれ示す。

まず、共同行事を考慮しない場合に着目し、 $\eta = 0.8$ から $\eta = 0.6$ の変化が、日常のネットワーク形成の動学に与える影響を分析する。 $\eta = 0.8$ の場合とは異なり、 $\eta = 0.6$ の場合、後期では、同じタイプ内のリンク数と異なるタイプ間のリンク数は共に低い水準となる。孤立点も解消されず、次数の標準偏差も大きいままであ

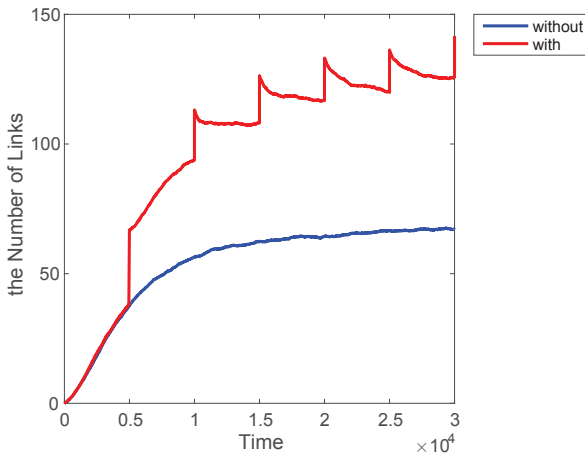


図-13 $\eta = 0.6$ のときの異なるタイプ間のリンク数

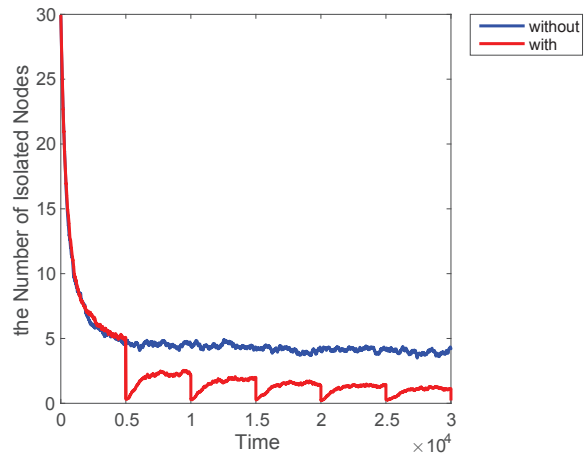


図-15 $\eta = 0.6$ のときの孤立点の数

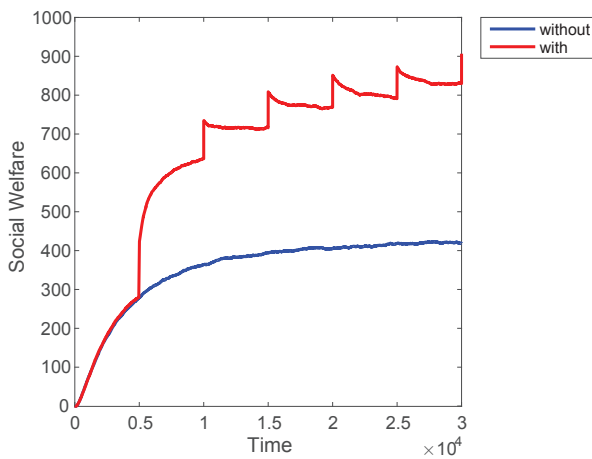


図-14 $\eta = 0.6$ のときの社会厚生

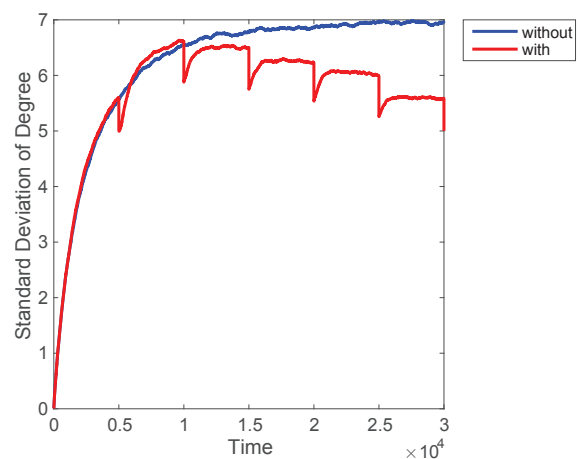


図-16 $\eta = 0.6$ のときの次数の標準偏差

る。そのため、ネットワークの密度や社会厚生も低い水準に留まる。

以上の違いが生じる理由を考察する。 $\eta = 0.6$ の場合では $\eta = 0.8$ の場合に比べ、日常のネットワークから得る限界効用は大きく逡減する。そのため、ネットワークが形成され始めると、日常のネットワークから大きな効用を得ているプレイヤー i が新たなリンク形成をする場合、次数の大きいプレイヤー j とのリンク形成でないと追加的な正の効用を得られない。そのため、次数の大きいプレイヤーとのみリンクを形成したいと思う。言い換えれば、次数が小さいプレイヤーとはリンクを形成したいと思わない。それによって、次数の小さいプレイヤーは交流の機会が得られず、ネットワークの形成が進まない。このことは、孤立点の数が 0 にならないこと (図-15) と、次数の標準偏差が大きいままであること (図-16) から分かる。

次に、これを踏まえ、 $\eta = 0.6$ の場合に、共同行事を考慮しない場合とする場合を比較し、共同行事が日常のネットワーク形成の動学に与える影響を分析する。共同行事を考慮しない場合と比べ、考慮する場合は、次の点で大きく異なる。1) 前期において、共同行事を機に、同じタイプ内のリンク数と異なるタイプ間のリンク数の成長が加速する。すなわち、共同行事をきっかけとしたリンク形成は、同じタイプ内のリンク数と異なるタイプ間のリンク数に対して「加速効果」をもつ。とりわけ、異なるタイプ間のリンク数は、 $5000 < t < 10000$ のように S 字形の加速を示す。2) 後期において、同じタイプ内のリンク数と異なるタイプ間のリンク数共に、共同行事がなされた期に一時的に大きくなり、その後、緩やかに減少するものの、その共同行事前よりは高い水準を維持する。これを繰り返しながら、共同行事を考慮しない場合よりも、それらは高い水準を達成する。

すなわち、共同行事をきっかけとしたリンク形成は同じタイプ内のリンク数と異なるタイプ間のリンク数に対して「レベル効果」をもつ。

以上の現象が見られる理由を考察する。前期では、共同行事が行われていない場合、同じタイプ内のリンクと異なるタイプ間のリンクは共に多く存在しない。そのため各リンクが共同行事を機に形成される。それによって次数が増えたプレイヤーは、他のプレイヤーからリンクを形成されやすくなる。同じタイプ同士は出会う確率が高いため、その中でリンク形成が進み、同じタイプ内のリンク数がより早く成長し、「加速効果」が現れると考えられる。また、同じタイプ同士のリンク数が成長していく中で異なるタイプ同士が出会う場合、相手の次数が大きくなっており、追加的な効用をより多く得られるため、異なるタイプ間のリンクが形成される可能性は高くなる。つまり、同じタイプ内のリンクが形成されるのに次いで、異なるタイプ間のリンクが形成されるため、異なるタイプ間のリンク数は S 字型の成長を見せるものと考えられる。一方、後期では、ネットワークの形成が進んでおり、日常の交流から大きな効用を得ているプレイヤーは、次数の大きいプレイヤーとしかリンクを形成したいと思わない。そのため、共同行事を機に新しい交流が始まっても、その内の次数の小さいプレイヤーとの交流をすぐに止めてしまう。このことは共同行事後に、孤立点の数が増えること（図-15）と次数の標準偏差が増えること（図-16）から分かる。共同行事後のリンク数の減少の主因は、 $\eta = 0.8$ の場合は error/mutation であったのに対し、 $\eta = 0.6$ の場合は合理的な意思決定である。error/mutation を除いた場合でも共同行事のリンク数の減少が起きることを確認している。この点は大きく異なる点である。ただ、共同行事を機にリンクを形成した相対的に次数の小さいプレイヤーは、次数が増えたため、新たに出来たリンクを維持できることもある。共同行事が繰り返されることで、相対的に次数の小さかったプレイヤーが徐々にネットワークに組み込まれる。このことは、共同行事が繰り返されるに従い、孤立点の数や次数の標準偏差の水準が下がることから分かる（図-15-16）。上記の過程で、共同行事後は、同じタイプ内と異なるタイプ間のリンク数の水準が高まり、密なネットワークが形成されるものと考えられる。以上をまとめると、共同行事をきっかけとした日常のリンク形成は、ネットワークが成長する段階（前期）では、同じタイプに属するプレイヤー間のリンク形成を加速させ、次いで、異なるタイプに属するプレイヤー間のリンク形成を加速させる、正の外部効果をもつ。一方で、ネットワークがある程度成長した段階（後期）では、共同の行事は、一度に多くのリンクを生み出すことを通じ、合理的な

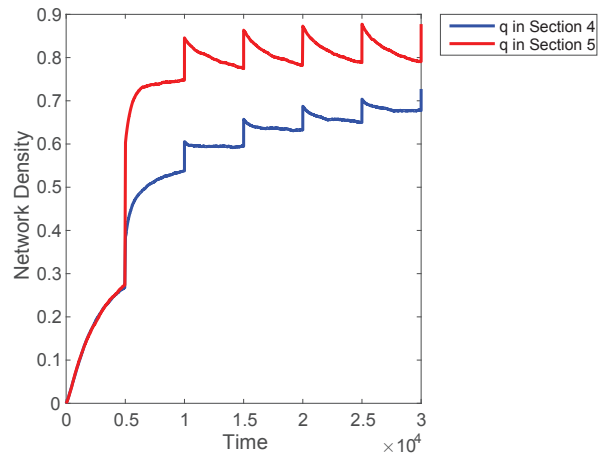


図-17 共同行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が変わったときのネットワークの密度

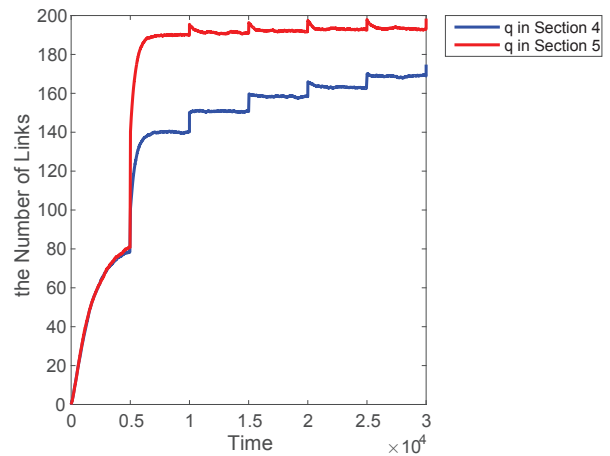


図-18 共同行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が変わったときの同じタイプ内のリンク数

意思決定では切れ辛いリンクを同じタイプ内と異なるタイプ間につくり、孤立点の解消やネットワークの密度の増加に貢献する役割をもつといえる。

5. 比較動学分析

本章では、前章の共同行事における諸条件の変化が日常の交流にもたらす影響を分析する。分析は、日常の交流から得る限界効用の遞減率が大きい場合 ($\eta = 0.6$ の場合) に集中する。パラメータや関数形は前章で用いた式 (8a)-(8l) を引き続き用いる。前章同様、Monte-Carlo シミュレーションの繰り返し回数を 100 回とし、その平均値を用いる。

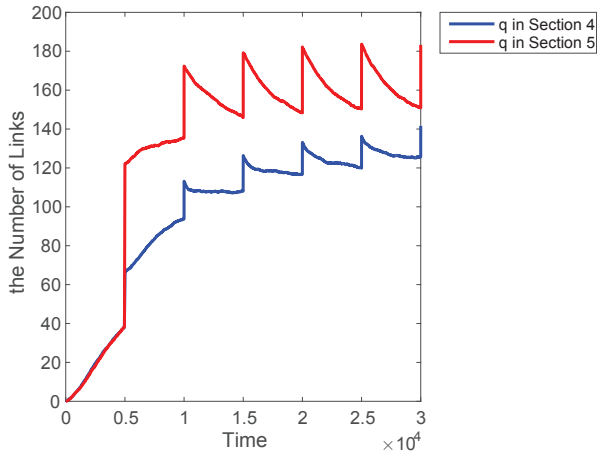


図-19 共同行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が変化したときの異なるタイプ間のリンク数

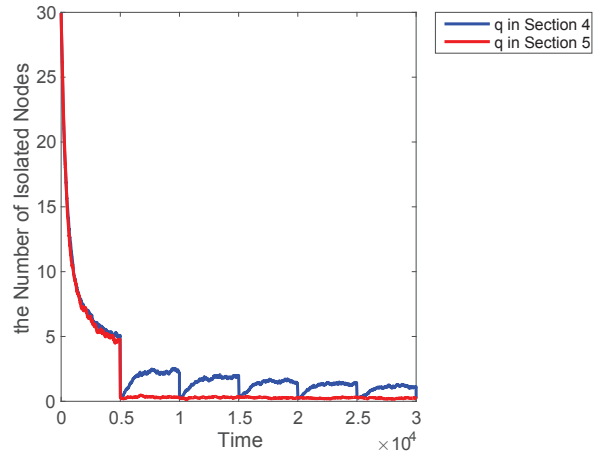


図-21 共同の行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が変化したときの孤立点の数

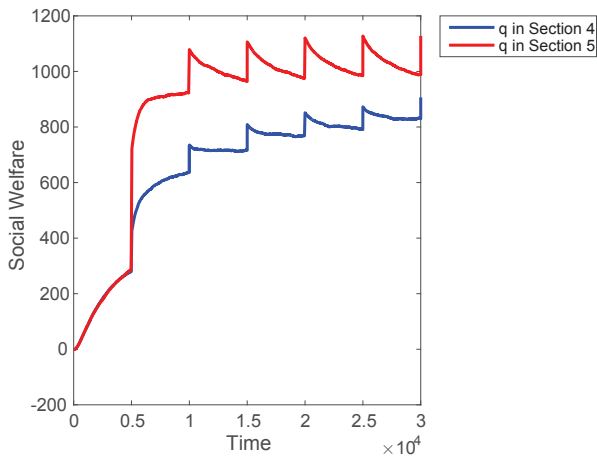


図-20 共同行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が変化したときの社会厚生

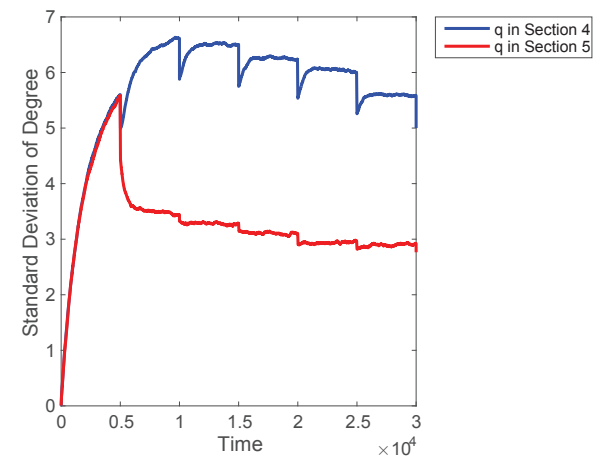


図-22 共同行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が変化したときの次数の標準偏差

(1) 共同行事におけるコミュニケーションの効果

ここでは、共同行事における交流が日常においても続く確率が高まる場合を考える。例えば、個人間での会話が弾んで、互いの連絡先を交換するに至るような状況がより生まれやすくなる場合について考える。ここでは、前章の $q_{r_1 r_1} = 0.3, q_{r_1 r_2} = 0.1, q_{r_2 r_2} = 0.2$ から $q_{r_1 r_1} = 0.9, q_{r_1 r_2} = 0.3, q_{r_2 r_2} = 0.6$ に変化したときの各ネットワーク指標の動学を考察する。

ネットワークの密度、同じタイプ内のリンク数、異なるタイプ間のリンク数、社会厚生、孤立点の数、次数の標準偏差をそれぞれ図-17-22 に示す。各図の青線は前章の場合、赤線は本節の場合をそれぞれ示す。前期では、 $t = 5000$ の行事後に、同じタイプ内のリンク数の成長が大きく加速している。異なるタイプ間のリンク数の成長は、 $t = 5000$ の行事後すぐに加速を見せ、そ

の後、前章よりも早く緩やかになっている。また、ネットワークの密度、同じタイプ内のリンク数、異なるタイプ間のリンク数、社会厚生の水準は増加している。孤立点の数と次数の標準偏差の水準は急激に低下している。後期では、リンク数にレベル効果はほとんど見られない。また、共同行事を機に一時的にリンクが形成され、その後は削除されることを繰り返している。異なるタイプ間のリンク数でこの傾向は強い。社会厚生や密度もその変化の影響を強く受けている。また、孤立点の数と次数の標準偏差は、低い水準を保ち続ける。

以上の理由を考察する。共同行事をきっかけとした交流が日常でも続く確率が高まったことで、共同行事を機に多くのプレイヤーは日常のネットワークにおける次数を急激に増やすことができる。そのため、他のプレイヤーからリンクを形成されるポテンシャルを高める。

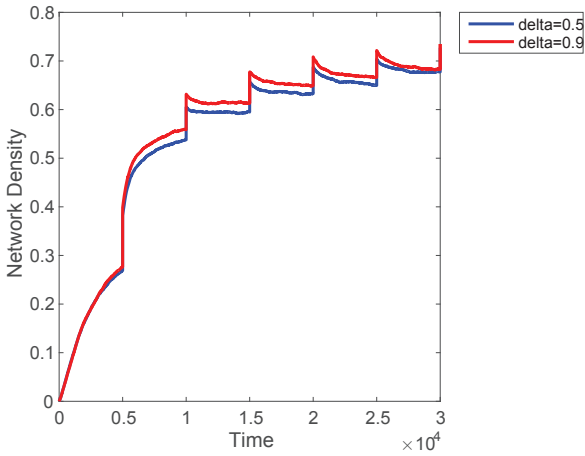


図-23 δ が変化したときのネットワークの密度

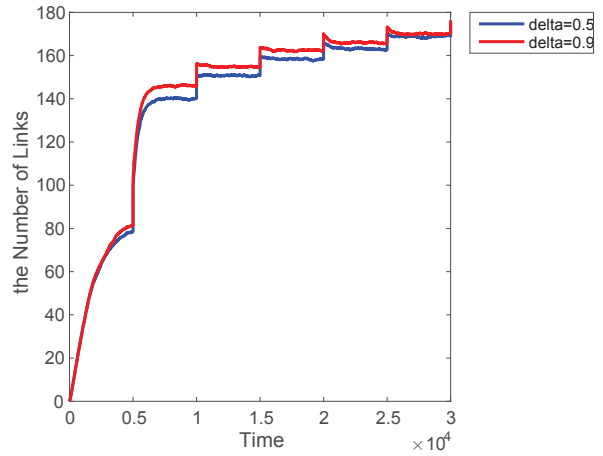


図-24 δ が変化したときの同じタイプ内のリンク数

同じタイプ同士のプレイヤーは出会う確率が高いため、行事後、すぐに同じタイプのプレイヤーとのリンク数を大きく増やすことができる。このため、同じタイプ内の「加速効果」が大きく現れる。また、異なるタイプ間のリンク形成は、同じタイプ間のリンク数が早く成長するため、それに伴い早い時点 ($5000 < t < 6000$ 付近) で成長する。早く成長したため、その後は前章の場合よりも、早くに緩やかな成長を見せると考えられる。また、次数を大きく増やせたことで、共同行事後でも次数の低い人がおらず、リンクが切れることがないので、孤立点が増えることはなくなったと考えられる。また、前期の成長で高密度なネットワークが達成されているため、後期では、「レベル効果」は小さくなっていると考えられる。異なるタイプ間のリンク数が、共同行事によって一時的に大きく上昇した後、行事後に大きく減少する主因は、error/mutation である。error/mutation を除いた場合には、この減少が起きないことを確認している。error/mutation によって減少するプロセスは、前章の $\eta = 0.8$ で共同行事を考慮する場合に説明した通りである。異なるタイプ間のリンク数が共同行事後に減少する原因は、前章では合理的な意思決定であったが、本節ではそれが異なるものになっている。行事におけるコミュニケーションの変化が、質的に異なるネットワークを長期にもたらしたといえる。

(2) アーティファクトの効果

ここでは、各役割がアーティファクトに物理的にアクセスしやすくなったり、アーティファクト同士の物理的距離が近くなったりする場合を考える。つまり、実践共同体ネットワークにおける「役割」と「アーティファクト」で構成される関係の度合いの増加が日常の

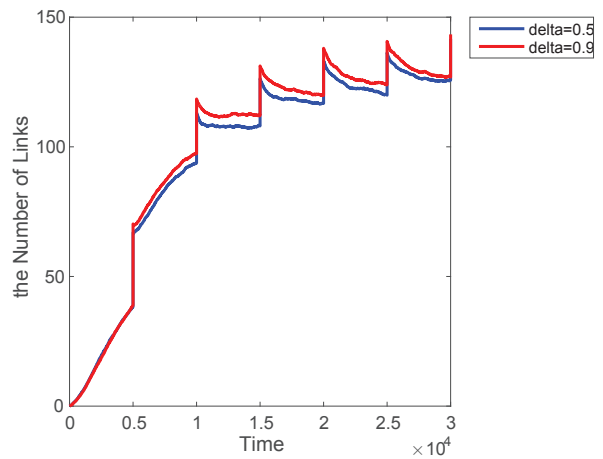
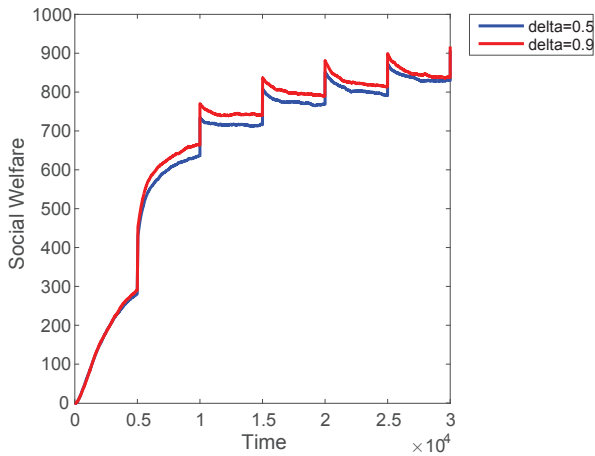
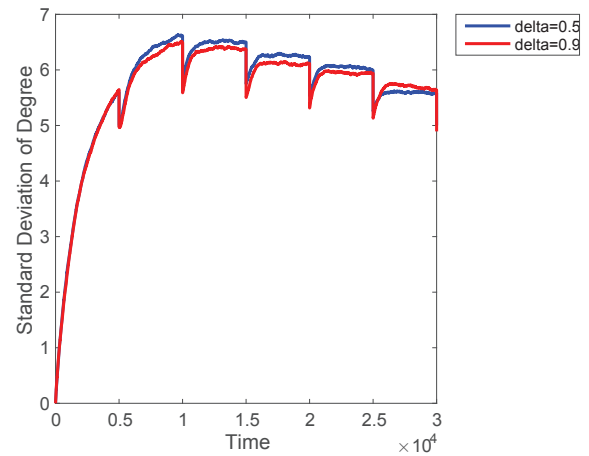
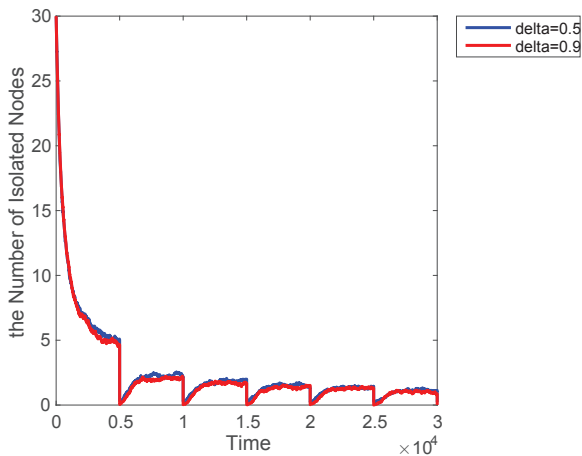


図-25 δ が変化したときの異なるタイプ間のリンク数

ネットワーク形成にもたらす影響を分析する。前章の $\delta_{r_1 a_1} = \delta_{r_2 a_2} = \delta_{r_3 a_1} = \delta_{r_3 a_2} = \delta_{a_1 a_2} = 0.5$ から $\delta_{r_1 a_1} = \delta_{r_2 a_2} = \delta_{r_3 a_1} = \delta_{r_3 a_2} = \delta_{a_1 a_2} = 0.9$ に変化したときの各ネットワーク指標の動学を考察する。

ネットワークの密度、同じタイプ内のリンク数、異なるタイプ間のリンク数、社会厚生、孤立点の数、次数の標準偏差をそれぞれ図-23-28 に示す。各図の青線は前章 (各 $\delta = 0.5$) の場合、赤線は本節 (各 $\delta = 0.9$) の場合をそれぞれ示す。前期では、同じタイプ内リンク数と異なるタイプ間のリンク数の成長は $t = 5000$ の共同行事後には加速しているように見える。また、ネットワークの密度、同じタイプ内のリンク数、異なるタイプ間のリンク数、社会厚生については、動学の形自体に変化は見られないが、前期同様、その水

図-26 δ が変化したときの社会厚生図-28 δ が変化したときの次数の標準偏差図-27 δ が変化したときの孤立点の数

準が増加している。なお、孤立点の数と次数の標準偏差については、前期と後期通じて、わずかに低い水準を示す。

上記の理由を考察する。実践共同体ネットワークの各リンクの重みが増したことで、行事を共同することの効用が高まり、行事参加者が増加したことが考えられる。その増加したプレイヤーの分だけ、共同行事をきっかけとした日常の交流が増えるため、前章の「加速効果」と「レベル効果」が増すものと考えられる。

なお、アーティファクトそのものの性能 S_{a_i} (for all a_i) の増加も、行事参加者の増加をもたらすと思われる。前章の $S_{a_i} = 100$ から $S_{a_i} = 10000$ (for all a_i) に変化させ比較動学分析をすると、本節とほぼ同様の結果が得られた。行事参加者を増加させるような施策は、本節と同様の効果をもつと思われる。

広場や河川敷、商店街の通りなどの公共空間の設計

の際には、憩いや集会など個々の用途に適していることに加えて、空間が多目的な利用に供することや (e.g., 佐々木 (2015) ²⁵⁾), 使い方自体を利用者たちが考案していく自由度を保つことの重要性が指摘されている。それらはいずれも重要な要件であるが、全てを満たす設計は容易ではない。例えば、特定の用途の利便性の追求と自由度の確保は、あるレベルでは両立しないことがあるからである。そのような問題に対して、土木計画学や景観工学は議論を重ねて、場を構成する個々の要素の形態や色、素材等の特性や、「見る-見られる関係」やプロポーシオン等の要素間の構成に関する知見を蓄積してきた。その一方で、そのような設計技術がどのレベルのニーズをどのくらいの水準で満たしているのかという評価論が確立しているとは言い難い。

本研究では、共同行事をきっかけとした住民の交流の拡大が、行事が行われる公共空間の性能評価の指標のひとつになりうるものとする。住民の交流が広がれば、地域の行事は増加し、多様化する。また、住民同士のコミュニケーションを通じて新しいアイデアも生まれる。新しい行事の開催に併せて、空間に新しい機能を取り付けることも起こりえる。上記の要件を同時に満たす基盤となる意味で、住民の交流の拡大を生み出すために、行事中のコミュニケーションを活性化させる機能的要素は、多数の要素の中で、より根源的な価値をもつものと考えられる。

本研究では2階層の社会ネットワークモデルを定式化した。最終的な社会厚生評価は、日常の階層における住民のみの社会ネットワークにおいて行ったが、共同行事の階層では、社会ネットワークに物理的アーティファクトを組み込むことによって、個人間のリンクの強さが空間の特定の機能に依存するものと考えた。本研究が提案する枠組みの有用性は、データを用いたモ

デルの統計的検証やキャリアレーションの可能性に決定的に依存する。実践共同体ネットワークモデルのキャリアレーションと、空間の価値の定量的分析が今後の課題である。

6. おわりに

本研究は、ゲーム理論を基礎とした社会ネットワークモデルを応用し、祭りのような地域の共同行事における交流と日常における交流を異なる階層において表現した、複数階層型社会ネットワークモデルを定式化した。そして、共同行事における役割を通じた交流が日常の階層における交流を拡大させる効果を分析することで、共同行事やそれが行われる「場」の空間的特性の役割や価値を評価した。本稿では、仮想的なパラメータ値の下、モデルの定性的な構造を分析した。今後は、ここで得られた知見を踏まえ、実データを用いた定量的分析を行う。講演時にその結果を示す予定である。

一方、本研究はいくつかの課題を残す。第一に、本研究では異なるタイプの相手は出会う確率が低いという特徴をもつのみであった。だが、異なるタイプの相手と知り合うことで、同じタイプの相手とは生じなかった相乗効果が現れたり、異質性に対する選好が形成されたりすることがある。今後、異なるタイプの相手との出会いがもたらす効用を考慮したモデルへの拡張が必要である。第二に、本研究では、実践共同体ネットワークの形状やリンクの重みを每期所与のものとして分析を行った。共同行事が繰り返される中でそれらが内生的に変化することも考えられる。この点を考慮したモデルへの拡張も重要な課題である。第三に、数値計算事例において特定化した関数形やパラメータについて、より広範に感度分析を行う必要がある。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金・特別研究員奨励費（課題番号：15J08041）の助成を受けて行われました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Lave, J. and Wenger, E.: *Situated Learning Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press, 1991 (佐伯胖訳, 福島真人解説: 状況に埋め込まれた学習, 産業図書, 1993) .
- 2) 伊藤崇, 藤本愉, 川俣智路, 鹿嶋桃子, 山口雄, 保坂和貴, 城間祥子, 佐藤公治: 状況的学習観における「文化的透明性」概念について: Wenger の学位論文とそこから示唆されること, 北海道大学大学院教育学研究科紀要, Vol. 93, pp.81-157, 2004.
- 3) 石黒広昭: 実践のエスノグラフィ 茂呂雄二編著 2章 アーティファクトと活動システム, 金子書房, 2001.
- 4) 矢守克也: 防災教育のフロンティア 1. 防災教育のための新しい視点—実践共同体の再編—, 自然災害科学, Vol.24, No.4, pp. 344-350, 2006.
- 5) 孫英英, 矢守克也, 近藤誠司, 谷澤亮也: 実践共同体論に基づいた地域防災実践に関する考察—高知県四万十町興津地区を事例として—, 自然災害科学, Vol.31, No.3, pp.217-232, 2012.
- 6) Putnam, R. D.: *Bowling alone: The collapse and revival of American community*, Simon and Schuster, 2000.
- 7) 松浦健治郎: 都市空間に演出される祝祭空間の都市形態学的解説, 都市計画論文集, Vol.47, No.3, pp.583-588, 2012.
- 8) 藤倉英世, 山田圭二郎, 羽貝正美: 基礎自治体の景観を巡る政策循環プロセスと自治の基盤の再構築に関する実証的研究—長野県旧開田村の景観を巡る政策群を対象として, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.3, pp.160-179, 2012.
- 9) 太田晃子, 蓑茂寿太郎: CVM による近隣公園の経済的価値評価の研究, ランドスケープ研究, Vol.64, No.5, pp.679-684, 2000.
- 10) 武田ゆうこ, 藤原宣夫, 米澤直樹: コンジョイント分析による都市公園の経済的評価に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.67, No.5, pp.709-712, 2004.
- 11) De Domenico, M., Sole-Ribalta, A., Cozzo, E., Kivela, M., Moreno, Y., Porter, M. A., Gomez, S. and Arenas, A.: Mathematical formulation of multilayer networks, *Physical Review X*, Vol.3, 041022, 2013.
- 12) Boccaletti, S., Bianconi, G., Criado, R., Del Genio, C. I., Gomez-Gardenes, J., Romance, M., Sendina-Nadal, I., Wang, Z. and Zanin, M.: The structure and dynamics of multilayer networks, *Physics Reports*, Vol.544, No.1, pp.1-122, 2014.
- 13) Abshoff, S., Cord-Landwehr, A., Jung, D. and Skopalik, A.: Multilevel network games, *In Web and Internet Economics*, Springer International Publishing, pp. 435-440, 2014.
- 14) Shahrivar, E. and Shreyas, S.: The Strategic Formation of Multi-Layer Networks, arXiv preprint arXiv:1501.02866, 2015.
- 15) So, C. K.: Non-cooperative formation of agent-event networks, PhD Thesis, Monash University, Faculty of Business and Economics, Department of Economics, 2014.
- 16) Jackson, M. O. and Watts, A.: The evolution of social and economic networks, *Journal of Economic Theory*, Vol.106, No.2, pp.265-295, 2002.
- 17) Jackson, M. O. and Watts, A.: On the formation of interaction networks in social coordination games, *Games and Economic Behavior*, Vol.41, No.2, pp.265-291, 2002.
- 18) Jackson, M. O. and Wolinsky, A.: A strategic model of social and economic networks, *Journal of Economic Theory*, Vol.71, No.1, pp.44-74, 1996.
- 19) Bala, V. and Goyal, S.: A noncooperative model of network formation, *Econometrica*, Vol.68, No.5, pp.1181-1229, 2000.
- 20) Billand, P., Bravard, C. and Sarangi, S.: On the interaction between heterogeneity and decay in two-way flow models, *Theory and Decision*, Vol.73, No.4, pp.525-538, 2012.
- 21) Borgatti, S. P., Jones, C. and Everett, M. G.: Network measures of social capital, *Connections*, Vol.21,

No.2, pp.27-36, 1998.

- 22) Newman, M.: *Networks: an Introduction*, Oxford University Press, 2010.
- 23) 大江宏子：地域社会活性化に向けた社会ネットワーク活用のための実証的研究 (Empirical Studies of Social Networks and the Rehabilitation of Stagnated Communities), 博士論文, 早稲田大学, 2006.
- 24) Easley, D. and Kleinberg, J.: *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*, Cambridge University Press, 2010.
- 25) 佐々木 葉：景観とデザイン, オーム社, 2015.

(平成 28 年 4 月 21 日 受付)