

# 因果関係の強さに基づく定性モデル記述手法

橋浦 悠二<sup>†</sup> 松尾 徳朗<sup>†</sup>

山形大学大学院理工学研究科<sup>†</sup>

## 1. はじめに

定性推論および定性シミュレーションは、人工知能研究の一分野である。これらは複雑で動的な系の挙動を分析することができる強力なツールである[1]。定性シミュレーションは、定性的なアプローチから系全体の挙動を分析する。従来の定性シミュレーションでは、定性微分方程式を用いるが、近年、政治、経済、自然環境などの一意にモデル化することができない事象を分析するため、定性微分方程式を用いない因果モデルベースの定性シミュレーションに注目が集まっている。因果モデルとは、系が持つ各要因の状態を表すノードと、ノード間の因果関係を結ぶアークで構成される有向グラフである。ノードとアークはそれぞれ個別に定性的な値を持っていて、ノード間の影響伝播はその値の組み合わせにより決定される。しかし、従来の定性シミュレーションは単純な有向グラフで表現しただけに過ぎず、複雑な事象を扱うモデルとしては表現や定義が不十分である。そこで本論文では、因果モデルにおける、ノード間の因果関係の強さ(以下、因果強度)を新たに定義する。この定義により、扱う系の環境の変化をシミュレーションに組み込むことができ、より現実問題に近い分析をすることができる。

## 2. 定性シミュレーション

本章では、紙面の都合上、因果強度に着目したグラフベースの定性シミュレーションを説明するための最低限の定義を示す。その他の定義は参考文献を参照されたし[2]。

### 2.1 ノードの定義

#### 2.1.1 ノードの定性状態

各ノードは時間と連動した状態値を持っている。一般的に、そこには $\infty$ から $-\infty$ までの定量的な空間がある。定性的手法で分析する際、複数の境界により定量空間を分割し、その境界空間を定性値で表す。社会的分析に関する定性シミュレーションには、ノードの状態を区別する境界という概念が存在しないため、空間の境界となる値を決定するのは困難である。そこで一定の境界値を設定せずに、ノードの定性的な状態を表すことができる値を用意する。ノード $x$ の時間 $t$ における定性状態値 $[x(t)]$ と定義する。

Description Technique for Qualitative Model Based on Strength of Cause

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

### 2.1.2 ノードの状態変化傾向

定性シミュレーションでは、ノード $x$ の時間 $t$ における状態変化傾向は時間的微分値 $\delta x/\delta t$ により決定する。しかし、これは概念を定式化することが困難な複雑な社会的モデルの分析にはふさわしくない。そこで本研究では、時間 $t$ におけるノード $x$ の状態変化傾向を表す定性値 $[\delta x(t)]$ を表1のように定義する。

表1 状態変化傾向

$[\delta x(t)]$	状態変化傾向
$I$	$[x(t)]$ は増加傾向である
$S$	$[x(t)]$ は一定である
$D$	$[x(t)]$ は減少傾向である

## 2.2 アークの定義

### 2.2.1 アークの影響伝播特性

アークによって結ばれたノード間で生じる影響伝播には2種類の特性がある。例えば、産業の発展は人々の生活の豊かさにプラスの影響を与える一方、環境にはマイナスの影響を与えてしまう場合が多い。そのような特性を表す定性値を表2のように定義する。 $D(x,y)$ は原因ノード $x$ の結果ノード $y$ に対する影響伝播の特性を示した定性値である。

表2 影響伝播特性

$D(x,y)$	影響伝播特性
$+$	$x$ の定性値が増加(減少)する時、 $y$ の定性値も同様に増加(減少)する
$-$	$x$ の定性値が増加(減少)する時、 $y$ の定性値は反対に減少(増加)する

### 2.2.2 複数のノードによる影響の統合

ある1つのノードが、複数のノードからアークで繋がれている場合、その複数の影響は統合され、結果ノードに伝播すると定義する。この統合は表3に基づいて決定する。表中の‘?’は $[\delta x(t)]$ を一意に決定することができないことを表している。

表3 影響伝播の統合

	$+$	$I$	$S$	$D$	$-$	$I$	$S$	$D$
$I$	$I$	$I$	$I$	?	$I$	$D$	$D$	?
$S$	$I$	$S$	$S$	$D$	$S$	$D$	$S$	$I$
$D$	?	$D$	$D$	$D$	$D$	?	$I$	$I$

## 3. 因果強度

本章では、因果モデルにおけるノード間の因果強度を新たに定義する。社会動学の因果モデルにおいて、

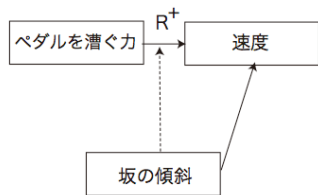


図1 スーパーローカルノード

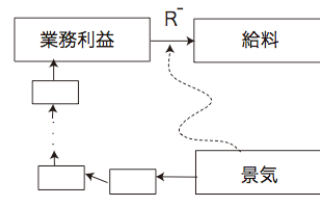


図2 グローバルノード

アークで繋がれたノード間には因果関係と共に因果強度が存在する。例えば、土地の相場が増加している時に、不動産会社が多くの土地を保有している場合、会社が土地を販売することで多額の利益を得るチャンスがあると言える。これが因果強度の強い例である。一方、相場が減少している時に会社が多くの土地を持っていても、消費者は土地の購買意欲がない可能性がある。これが因果強度の弱い例である。表4はノード $x$ とノード $y$ の因果強度を表す定性値 $R(x,y)$ を示している。シミュレーション規則として、ある1つのノードに対し、異なる $R(x,y)$ を持つ複数のノードがアークで繋がれている場合、因果強度が強いノードの影響が伝播し、弱いノードの影響は無視される。 $R(x,y)$ が同値の場合の影響伝播結果は表3に基づき決定される。

表4 因果強度

$R(x,y)$	因果強度
$R^+$	ノード $x$ とノード $y$ の因果関係は強い
$R$	ノード $x$ とノード $y$ の因果強度は標準
$R^-$	ノード $x$ とノード $y$ の因果関係は弱い

### 3.1 因果強度の変化状態

因果強度 $R(x,y)$ はシミュレーションを始める前に初期値としてそれぞれ与えられる。しかし、その因果強度は外部からの影響により、変化する場合が考えられる。本論文では因果強度 $R(x,y)$ の変化状態を以下のように定義する。

- ノーマルノード $R(x,y)$ ：因果強度は初期値から常に変化しない
- スーパーローカルノード $R(x,y)_{\leftarrow z}$ ：因果強度は局所的な影響により変化する。因果強度はノード $x$ か $y$ にアークで直接に繋がれているノード $z$ の状態に基づいて変化する。
- ローカルノード $R(x,y)_{\leftarrow (w,v,z)}$ ：因果強度は局所的影響によって変化する。因果強度はノード $w$ の状態に基づいて変化する。
- グローバルノード $R(x,y)_{\leftarrow P}$ ：因果強度は大域的な影響により変化する。因果強度はシステムの傾向に基づき変化する。

スーパーローカルノードはノード $x$ またはノード $y$

とアークで繋がっている。この時、スーパーローカルノード $z$ の定性状態／傾向が変化する時、 $R(x,y)$ は変化すると定義する。このノードは複数存在し得る。ローカルノードは、 $R(x,y)$ を変化させるノードのセットから構成される部分グラフである。グローバルノードは、シミュレーションモデルにおいて重要なノード、または大きな部分グラフである。図1、図2は因果ノードの例を表した図である。図1においては、自転車漕ぐ力と速度の因果強度がスーパーローカルノードである‘坂の角度’によって変化する事を示している。これは、自転車で上り坂を昇る場合、速度とペダルを漕ぐ力には強い因果強度があり、逆に、下り坂になると速度とペダルを漕ぐ力との因果強度は弱くなるという変化に対応している。図2はある会社員の給料に関するグローバルノードの例である。この図は業績と給料の因果強度は、結果ノード‘給料’からアークを遡った先にあるグローバルノード‘景気’によって変化する事を示している。この図において、業績と給与間に因果関係が存在するが、それらと景気には直接的な因果関係はない。しかし、景気の良いときに業績を上げる時の給料と、景気が悪いときに業績を上げたときの給与とは、もらえる額が異なる。つまり、業績と給料間の因果強度は景気によって変化する事を示している。

### 4. 議論とまとめ

本論文では、因果グラフベースの定性シミュレーションにおける、ノード間の因果関係の強さに着目した定義を行った。既存の研究では、ノード間の因果関係の強さは考慮されていない。本提案の利点は、従来の定性シミュレーションでは用いられなかった因果強度を定義することで、より実問題に近づいたシミュレーションを定性的に行える点である。

### 参考文献

- [1] 西田豊明, “定性推論の考え方とその知的問題解決への応用”, 情報処理, Vol. 32, No. 2, pp. 105-117, 1991.
- [2] 橋浦悠二, 松尾徳朗, “定性シミュレーションにおけるグラフベースモデル記述方式”, パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会論文集, Vol. 5, pp. 41-44