

概念テンプレートを用いたファジィ認知マップの応用

Fuzzy Cognitive Map Application using Concept Template

目良 和也

Kazuya Mera

広島市立大学

Hiroshima City University

市村 匠

Takumi Ichimura

広島市立大学

Hiroshima City University

Abstract: In this paper, we develop FCM relation rules using a “concept template” instead of a concrete concept description. The concept template consists of a predicate and the case elements of the predicate, and they are used for both input concept and output concept in relation rules. The input concept templates accept the variation of similar input concepts and the output concept templates are used to generate the content of the output concept based on the content of input concepts. The inference process will be repeated until the concept state reaches convergence. We created 207 concept templates and a weighted matrix to show the relationship between concepts. When 23 concepts were inputted to our system, 71 concepts were totally activated and the content of all output concepts were generated correctly.

1. はじめに

意思決定支援システムの1つにファジィ認知マップ(Fuzzy Cognitive Map: FCM)がある。FCMは複数の概念の因果関係を有向グラフとノードを用いてモデル化するものである。そして、対象領域に関連する因果ルールを事前に与えておくことで推論処理を行う。FCMは現在、医療診断支援[1]や政策決定支援[2]など、さまざまな分野に応用されている。

FCM内の概念は、動作や状態などの一概念に対応していることから、格フレーム表現で表すことができる。格フレーム表現は、一つの述語と複数の格要素からなり、格要素の内容が違えば、それは別概念とみなされる。このことより、ある領域内に現れうる概念のパターンは、それら格要素の中身の組み合わせにより膨大な数となる。対象領域内に現れうる概念数 C は、以下の式によって求められる。

$$C = \sum_{i=1}^A B^{E_i} \quad (1)$$

A は領域内に現れる概念概念(述語)の種類数、 B は領域内に現れる物概念(名詞)の種類数、 E_i は述語 i の内容を表すのに必須の格要素の数である。岡田は概念概念の必須格要素の数について、高々3としている[3]。ここで例として、小学校低学年レベルの一般知識に基づくFCMを想定する。ある小学校低学年用の国語辞典には、動詞が213語、名詞が275語掲載されている。これらの値をもとに先ほどの C を計算してみると、その結果は40億を超える。

とはいえ従来のFCMでは、対象分野の推論に関連する概念以外は無視して因果ルールを記述しているため、ここまで概念数が増加することは無い。しかし、自由対話のようにより一般的な環境における因果関係を把握するには、扱う領域内の概念概念や物概念の組み合わせで発生しうる概念それぞれについて対応できなくてはならない。

このような問題に対して人間は、前述の概念のバリ

エーションそれぞれについて因果ルールを所持するのではなく、概念概念ごとに共通の因果ルールを持ち、推論を行っている。例えば、「太郎は東京に行く」も「ジョンはロンドンに行く」も、「『N1はN2に行く』 → 『N1はN2に居る』」という共通の因果ルールを適用している。

そこで本研究では、因果ルールの入力概念の記述をテンプレート形式で行うことで、一つの因果ルールを複数の概念に適用できるようにする。そのため従来手法で格フレーム表現によって記述されている概念について、その格要素部分を空白にする。これにより同じ述語を持つ概念を一つの因果ルールで扱うことができる。しかし、異なる格要素を持つ入力概念からは、その概念の内容に応じて異なる概念が出力されなければならない。そこで、因果ルールの出力概念部分についてもテンプレート形式の概念記述を用い、入力概念テンプレートの格要素部分に当たる内容を出力概念テンプレートの格要素部分に代入することで、出力概念を生成する。先ほどの例では、「『N1はN2に行く』 → 『N1はN2に居る』」という因果ルールに「太郎は東京に行く」を適用した場合、「太郎は東京に居る」という出力概念が生成される。

本研究では一般的な因果関係をFCMで実現することを目指す。そこで今回は、国語辞典に記載されている語義の説明文から因果ルールを作成する。国語辞典では、ある語義を説明するために、同義語、類義語や、is-a関係、a-kind-of関係などを用いている。そこでこのような他の語との関連を因果ルールとして記述する。因果関係の強さについては、同義語は強く、a-kind-of関係は弱くといったように、関連性に基づいて算出する。また、一つの語が多義性を持つ場合は、語義ごとに異なる因果ルールを作成する。

本稿では2章で基本的なFCMについて説明する。そして3章で概念テンプレートの定義とそれを用いた因果ルールについて説明する。また、辞書記述からの因果ルールの作成手法についても説明する。そ

して4章で実験結果を示す．最後に5章では，まとめと今後の課題について述べる．

2. ファジィ認知マップ

ファジィ認知マップ(Fuzzy Cognitive Map: FCM)は，因果関係を有向グラフで表した関係図である．図1に示すように，因果ルールは入力概念 C_i から出力概念 C_j への因果関係と，その強度 E_{ij} を持つ．

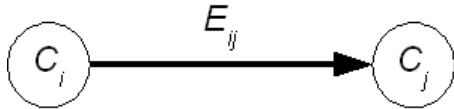


図1 因果ルール

FCM内の各概念はそれぞれ活性値を持っている． C_i から C_j への活性度 A_{ij} は C_i と E_{ij} の積で求められる．

$$A_{ij} = C_i \times E_{ij} \quad (2)$$

そして C_j の活性値 A_j はこれらの入力される活性度の和に閾値関数を適用することで求められる．

$$A_j = f\left(\sum_{i=1}^n A_{ij}\right) \quad (3)$$

図2に閾値関数 f を示す．この関数は活性値の閾値を表すメンバーシップ関数である．入力活性度の和が閾値 α を越えると，出力概念が活性化する．また，入力活性度の和が閾値 β を越えるような値であっても，出力活性値は最大値を越えない．なお，出力概念の活性値がそれまでの活性値より高くなった場合は，新しい活性値を採用する．式(4)において， A_j^t は時間 t における出力概念 C_j の活性値， A_j^{t+1} は時間 $t+1$ における出力概念 C_j の活性値を表す．

$$A_j^{t+1} = \max(A_j^t, A_j^{t+1}) \quad (4)$$

FCMでは， $S_0 = \{A_1^0, A_2^0, \dots, A_n^0\}$ で表される合成ベクトルを初期状態と仮定した推論結果を計算することができる．システムが収束する($\forall i A_i^{t+1} = A_i^t$)まで S_t を繰り返し計算することで，算出された概念の状況が推論結果を示す[4]．

3. 概念テンプレートをを用いた因果ルール

本研究では，同じ述語からなる概念を共通して扱えるよう，格要素部分を空白にしたテンプレート形式での概念記述方法を提案する．まず概念テンプレートについて説明したのち，概念テンプレートを用いた因果ルールの定義，辞書記述に基づく因果ルールの作成手法，さらに本手法で提案する因果ルールを用いた推論手順について説明する．

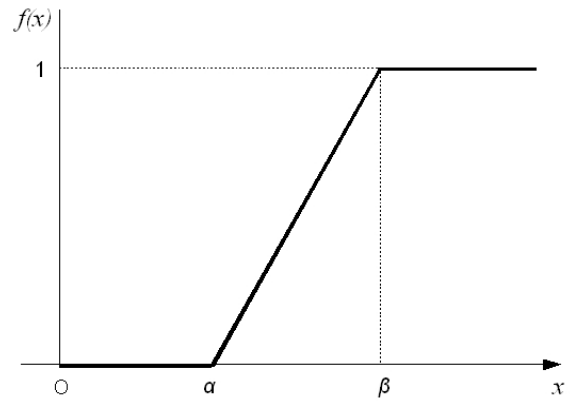


図2 メンバーシップ関数

3. 1. 概念テンプレート

本手法では，FCM内の概念の内容を，格フレーム表現によって記述する．格フレーム表現は，1つの述語と複数の格要素からなる．本研究では，岡田の提案している11種類の格要素(主体，客体，出発点，目標，相互作用の相手，抛り所，属性の補足，道具，場所，時間，原因，程度)を用いる[3]．

表1 格フレーム表現

	太郎は東京に行く	ジョンはロンドンに行く
述語	行く	行く
主体	太郎	ジョン
目標	東京	ロンドン

図1に格フレーム表現の例を示す．これらは同じ述語を持つが，格要素の内容が異なるため，別の概念とみなされる．このように格要素の内容が変わるだけで別々の概念として扱わなければならないため，対象領域内に現れうる全ての概念に対応できるように因果ルールを事前に作成することは困難である．この問題に対して従来のFCMでは，扱う問題の内容に関係の無い概念や因果ルールについては無視し，関連のあるものについてだけ準備することで対応している．しかし，自然言語会話や実環境で動作するシステムのようにより一般的な環境での推論処理を行う場合，従来のように扱う概念を絞り込むことは難しい．

それでも人間はこれらの実環境における推論処理を適切にこなしている．しかし人間が実環境で起こりうる全ての概念と対応する因果ルールを予め知っているわけではない．人間は未知の概念に遭遇した場合でも，適用可能な既知の因果ルールを用いて推論を行っている．この適用可能という判断は，因果ルールの入力概念として類似の概念があるかどうかで判断している．

そこで本研究では，因果ルールの入力部に具体的な概念内容を記述する代わりに，テンプレートを用いた記述方法を用いる．本論文では，この格要素部分を空白とした概念記述のことを，**概念テンプレート**と呼ぶ．概念テンプレートは，1つの述語と複数の格要素からなる．そして格要素部分は空白になっている．これにより，1つの因果ルールで複数の概

念を入力とすることが可能になる. 表 2 に例を示す. 表 1 で示した 2 つの概念に対して, 述語「行く」を持つ概念テンプレートを適用できることがわかる. なお, 適用する概念がテンプレートに記述した以外の格要素を持つ場合はその格要素を無視する. また, 自然言語記述では格要素が省略されている場合があるが, 照応解析などで必須格要素を補完した深層格フレームを本手法への入力とする.

表 2 概念テンプレートの適用

概念 テンプレート	太郎は東京に 行く	ジョンはロンドン に行く
述語: 行く	= 行く	= 行く
主体: (空白)	← 太郎	← ジョン
目標: (空白)	← 東京	← ロンドン

これらの概念テンプレートは, 各述語に対して作成される. しかし, 「とおる」や「しまう」のように, 文字列で述語を表記した場合, その多義性が問題となることがある. 図 3 に言葉の意味の範囲に関する例を示す. 図中の M_i は 1 つの語義を表す. ある語「住む」は, 複数の語義を持つ. 類義語である「暮らす」も同様に複数の語義を持つ. これらの語義には共通のものもあれば, 各語特有のものもある. このような関係は日本語だけではなく, 別の言語でも存在する. 英単語“live”も「住む」に類似した概念を持つが, それが完全に重なっているわけではない. これらのことから, 本研究では, 概念テンプレートの作成単位を各語についてではなく, 各語義についてとする. その際, 表記上の区別方法として, 「住む 1」, 「住む 2」のように語の後ろに番号を振ることで対処する.

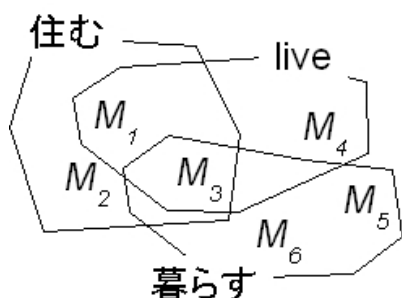


図 3 言葉の意味の範囲

3. 2. 因果ルール

因果ルールは, 入力概念と出力概念の因果関係およびその強度を表す. 従来の FCM では入力概念, 出力概念ともに具体的な内容を記述しているため, 活性化した入力概念に応じて適切な出力概念が活性化される. しかし本手法では入力概念をテンプレート記述するため, ルールを適用する概念の内容に応じて出力概念の内容が変化しなくてはならない.

そこで本手法では, 因果ルールの入力概念だけでなく, 出力概念も概念テンプレートを用いて記述する. 概念テンプレートを用いた出力概念の生成手順を以下に示す.

1. 活性化している概念の中に入力概念テンプレートに適合するものがあるか調べる
2. 入力概念の記述をもとにテンプレートの格要素を埋める
3. 入力概念テンプレートに埋められた格要素の内容をもとに出力概念テンプレートの格要素の内容を埋める

表 3 に処理の例を示す. まず「ロミオはティバルトを殺した」という概念が活性化しているとする. また, 「『S が O を殺した』なら『O は死んだ』」という因果ルールがあるとする. まず, 活性化概念と同じ形式を持つ入力概念テンプレートが存在するため, その入力概念テンプレートの格要素 S と O に「ロミオ」と「ティバルト」が代入される. 次に, 出力概念テンプレートを見ると, 「死んでいる」の主体は O となっているため, O に代入されている「ティバルト」を用いて, 「ティバルトは死んだ」を出力概念として生成する.

表 3 出力概念の生成

	述語	主体 (S)	客体 (O)
入力概念	殺した	ロミオ	ティバルト
入力概念テンプレート	殺した	S	O
出力概念テンプレート	死んだ	O	—
出力概念	死んだ	ティバルト	—

複数の因果ルールを適用することで, 1 つの入力概念から 2 つ以上の出力概念を活性化することもできる. 図 4 の例では, 「『S が O に OT をあげる』なら『S は O を失う』かつ『OT は O を得る』」というルールが示されている. これについても前述の例と同様に, 入力概念テンプレートの格要素部分に代入された内容をもとにして, それぞれの出力概念テンプレートを用いて出力概念の内容を決定する.

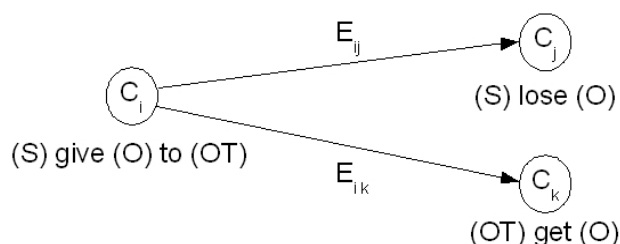


図 4 複数の出力概念を持つ因果ルール

入力概念 C_i と出力概念 C_j の関係は, 活性化強度 E_{ij} によって表される. この E_{ij} はどれだけ C_i が C_j に影響を与えるかを表しており, 一般的に $[-1, 1]$ で表される. そして $E_{ij} > 0$ ならば正の相関, $E_{ij} < 0$ ならば負の相関があることを示す. $E_{ij} = 0$ なら, C_i と C_j の間に相関関係が無いことを示す. しかし本研究では, 概念記述において負の概念を用意することで負の相関を表すため, E_{ij} の値は $[0, 1]$ となる.

3. 3. 因果ルール作成

本研究で提案する因果ルールは、入力概念テンプレート、出力概念テンプレートおよびその因果関係の強度からなる。本研究では、国語辞典における語義の説明文を元に、以下の手順で因果ルールを作成する。

まず、ある述語の一語義に対して、その概念を表すために必須となる格要素を選択し、それらの必須格要素を空白として入力概念テンプレートとする。国語辞典では、多義性のある語については各語義に対して説明文が与えられていることから、本研究では各述語に対してではなく、各述語の語義ごとに入力概念テンプレートを作成する。そして、岡田の研究[3]に基づいて各述語概念の構成に必須となる格要素を選択し、述語と空白の必須格要素を組み合わせ、入力概念テンプレートを作成する。

次に、入力概念と因果関係にある概念を国語辞典の語義説明文から抽出する。本研究では、その語の同義語、類義語、is-a 関係、a-kind-of 関係にある述語を抽出する。今回は人手で抽出を行ったが、辞書の語義説明文の記述は定型的な表現を多用するため、それらの記述の特徴に注目することで自動的にこれらの因果関係を抽出することも可能である。

そして、抽出された各述語の必須格要素を選択し、それらの必須格要素を空白として出力概念テンプレートとする。その際、入力概念テンプレートの格要素を出力概念テンプレートの格要素と対応づける。そのため、図4のように「入力概念テンプレートの客体の内容が出力概念テンプレートの主体に代入される」という状況もありうる。

最後に、入力概念との関係の強さに応じて、活性化強度 E_{ij} の値を決定する。本研究では暫定的に、同義語および類義語に 1.0、is-a 関係および a-kind-of 関係に 0.8 を与える。また、国語辞書の語義には記述されていない一般的な因果関係を記述する場合には、0.5 を与える。

この手法に基づき、本研究では、日本語語彙体系[5]に記載された概念グループのうち、因果関係が比較的明確な9種類の概念グループ(存在, 所有, 物理的移動, 所有的移動, 生成, 消滅・破壊, 開始, 終了)からそれぞれ20個の入力概念述語を抽出し、さらにそこから出力される概念テンプレートを加えた活性化強度行列 E を作成した。表4にその一部を示す。概念テンプレート C に与えられた番号は、上2桁が概念グループ、下3桁が通し番号を表す。こ

の例では、『S が O に OT をあげる』という入力概念テンプレートに対して、『S は O を失う』と『OT は O を得る』という2つの出力概念が活性化している。一方、『S が O に OT を授与する』という入力概念に対しては、『S は O を失う』という概念が生起していない。このように、述語の語義に含まれる概念の違いを表すことができる。またこの手法により、新しい述語概念を定義する際に、既存の述語概念を組み合わせることで容易に内容を表すことができる。

3. 4. 因果ルールの適用手順

前節のような形で因果ルールを用意することで、FCM では入力概念に対する推論処理を行えるようになる。そして、対象領域内の全概念の活性化値が収束するまで繰り返しルールを適用する。図5に本手法の処理手順を示す。

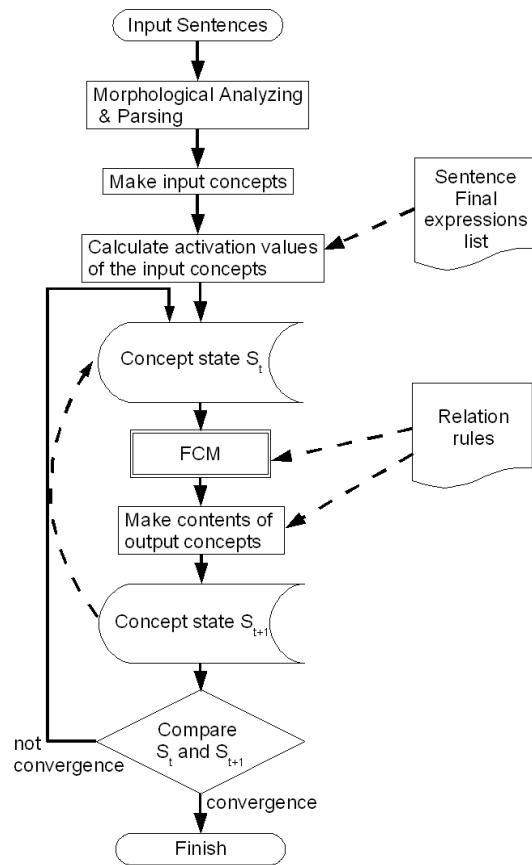


図5 本手法の処理手順

表4 活性化強度ベクトル

番号	C_i template	C_j							
		C_{02008}	C_{02009}	C_{02014}	C_{04011}	C_{04035}	C_{06017}	C_{19012}	C_{19012}
C_{02008}	(S) は(O)を得る	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{02009}	(S) は(O)を失う	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{02014}	(OT) は(O)を得る	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{04011}	(S)は(OT)に暮らす	0	0	0	0	1	0	0	0
C_{04035}	(S)は(OT)に住む	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{06017}	(S)は(O)を占拠する	1	0	0	0	0	0	0	0
C_{19012}	(S)は(O)に(OT)をあげる	0	0.8	0.8	0	0	0	0	0
C_{19013}	(S)は(O)に(OT)を授与する	0	0	0.8	0	0	0	0	0

1. 自然言語文形式で概念内容を与える
2. 形態素解析, 構文解析, 照応解析等を用いて, 概念内容を格フレーム形式で記述する
3. 入力文の文末表現をもとに, 入力概念の初期活性化値を算出する
4. 生成された全入力概念を概念リストに入れる
5. 概念リスト内の各活性化概念に対して因果ルールを適用する
 - (a) 活性化概念に適用可能な入力概念テンプレートを検索する.
 - (b) 適用可能な入力概念テンプレートが存在すれば適用し, 各格要素の内容を得る
 - (c) 活性化ベクトルを参照し, その入力概念テンプレートから活性化される出力概念テンプレートを検索する
 - (d) 出力概念テンプレートの格要素部分に入力概念テンプレートによって得られた内容を代入し, 出力概念の内容を決定する
 - (e) 活性化ベクトルの E_{ij} の値と入力概念の活性化値から, 出力概念の活性化値を式(2)によって算出する
 - (f) 活性化した出力概念が既に概念リスト内に存在するならば, 式(3), (4)を用いて活性化値を更新する
6. 手順 4 の概念リストの内容と, 手順 5 で更新された概念リストの内容を比較し, 変化がみられなければ ($\forall i A_i^{t+1} = A_i^t$) 収束したとみなし処理を終了する. そうでなければ手順 5 に戻る

なお, 手順 3 における文末表現からの初期活性化値の算出については, 青山の研究結果を参照する(表 5). 青山は, 質問紙調査を用いて, 各文末表現が聞き手に与える信頼度を数値化している[5].

表 5 文末表現と信頼度

文末表現	信頼度
太郎は結婚する	0.931
太郎は結婚するだろう	0.678
太郎は結婚するかもしれない	0.494
太郎は結婚すると信じています	0.643
太郎が結婚するとは考えない	-0.128
絶対太郎は結婚する	0.963
きっと太郎は結婚するだろう	0.676
太郎が結婚するかどうか知りません	0.021

ここで入力概念「ロミオがジュリエットに指輪をあげるだろう」を例として, 本手法の処理例を示す. まず, システムは入力文に対し解析を行い, 格フレームを作成する. また, 文末表現の持つ信頼度を表 5 から求め, この概念の初期活性化値とする. この例では「だろう」という表現から, 活性化値 0.678 が得られる.

入力概念		活性化値
格フレーム表現		
述語:	あげる	0.678
主体:	ロミオ	
客体:	指輪	
目標:	ジュリエット	

次に, この概念に適合する入力概念テンプレートを見つけ, 適用する. この例では C_{19012} が適合する.

概念テンプレート C_{19012}	要素
述語:	あげる
主体:	S
客体:	O
目標:	OT
	= あげる
	← ロミオ
	← 指輪
	← ジュリエット

適合する入力概念テンプレートがあれば, 表 4 の活性化ベクトルを用いて, 因果関係にある出力概念テンプレートを探す. この例では, C_{02009} と C_{02014} が適合する.

C_i	C_j					
	C_{01001}	C_{01002}	...	C_{02009}	C_{02014}	...
C_{19012}	0	0	0	0.8	0.8	0

因果関係にある 2 つの出力概念テンプレートの内容を, 入力概念の内容をもとに作成する. 作成された出力概念の活性化値は, 式(2), (3)によって算出される.

出力概念テンプレート C_{20008}				
	述語	主体	客体	目標
入力概念	あげる	ロミオ	指輪	ジュリエット
入力概念テンプレート	あげる	S	O	OT
出力概念テンプレート	失う	S	O	
出力概念	失う	ロミオ	指輪	

出力概念テンプレート C_{20014}				
	述語	主体	客体	目標
入力概念	あげる	ロミオ	指輪	ジュリエット
入力概念テンプレート	あげる	S	O	OT
出力概念テンプレート	得る	OT	O	
出力概念	得る	ジュリエット	指輪	

活性化概念	活性化値
ロミオは指輪を失う	0.542 (=0.678×0.8)
ジュリエットは指輪を得る	0.542 (=0.678×0.8)

このようにして, 2 つの概念が新たに活性化される. 活性化された概念は概念リストに加えられ, 次のサ

イクルで繰り返し因果ルールを適用される。なお、本論文では因果ルール適用によって出力概念が「生成された」と記述している。しかし繰り返しのたびに新しい概念が加われば、その時点で系が変わるため、収束することが保障されない。そこで本研究では出力概念が新たに生成されたのではなく、既に活性化値0で存在していた出力概念がルール適用により活性化されたと解釈することで、繰り返し中も系が維持されているものとみなす。

4. 実験

我々は本手法の妥当性を検出するためシステムを構築し、シミュレーション実験を行った。メインプログラムにはJava、形態素解析にはMeCab[6]、係り受け解析にはCaboCha[7]を用いた。また因果ルールに関するデータはPostgreSQLによって管理している。今回因果ルールに使用した概念テンプレート数は、入力、出力合わせて207個であった。

我々は一般知識に関するシミュレート例として、「ロミオとジュリエット」のシナリオから23個の概念を抽出し、本手法を適用した。図2の閾値関数については、 $\alpha=0$ 、 $\beta=1$ という値に設定した。

システム適用の結果、6回の繰り返しで収束し、71個の概念が活性化された。そして活性化した全ての概念について人手で判断したところ、入力概念の内容と矛盾した概念が生起してはいなかった。表6と図6にシミュレーション結果の一部を示す。これより、1つの概念がその語義に沿って複数の概念へと展開されていることがわかる。

表6 入力概念と活性化された概念

No.	概念
I1	ロミオはロザラインに振られた
I2	ロミオはパーティに出席した
I3	ロミオは息を引き取った
I4	ロミオは死んでしまった
O5	ロミオはロザラインに恋していた
O6	ロザラインはロミオを振った
O7	ロミオはパーティに出た
O8	ロミオは居なくなった
O9	ロザラインはロミオを退けた
O10	ロザラインはロミオを嫌った
O11	ロミオはパーティに来た

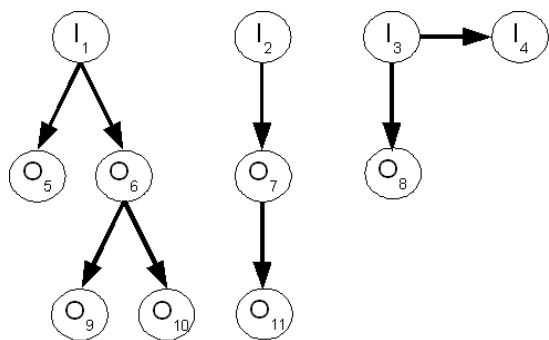


図6 言葉の意味の範囲

5. まとめ

本論文では、入力概念が事前に予測できないような問題を扱えるように、具体的な入力概念の記述を行わずとも因果ルールを適用できるような手法を提案した。本手法では、因果ルール内の入力概念を空白を含む格フレーム（概念テンプレート）を用いて記述することで、さまざまな格要素を持つ概念でも共通の因果ルールで扱えるようにした。また、入力概念の内容に合わせた出力概念を生成するため、因果ルールの出力概念の部分にも概念テンプレートを適用した。これらの因果ルールは国語辞典の語義説明文を元に作成され、同義語やis-a関係といった関係の強度に応じて、ルールの活性化強度を定義した。

本手法の妥当性を調べるため、システムを構築しシミュレーション実験を行ったところ、23個の初期入力概念から71個の概念が活性化された。新たに活性化された概念の内容は、いずれも初期入力概念と矛盾しないものであった。

今後の課題としては、語義説明文には記述されないような一般的な推論規則について、コーパスの解析などの手法を用いて自動的に獲得することを目指す。また、事例からの活性化強度行列Eの自動学習についても研究を進める予定である。

参考文献

- [1] E.I. Papageorgiou, P.P. Spyridonos, et al.: "Advanced soft computing diagnosis method for tumour grading," *Artificial Intelligence in Medicine*, Volume 36, Issue 1, January, pp. 59-70 (2006)
- [2] Athanasios K. Tsadiras, et al.: "Using Fuzzy Cognitive Maps as a Decision Support System for Political Decisions," *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 172 - 182 (2003)
- [3] 岡田直之: 語の概念の表現と蓄積, 電子情報通信学会, 1991
- [4] Jose Aguilar, "A Survey about Fuzzy Cognitive Maps Papers," *International Journal of Computational Cognition*, Vol.3, No.2, (2005)
- [5] 青山広: 真偽判断と確信度, 計量国語学, Vol.21, No.1, pp.1-10, 1997
- [6] MeCab: Yet Another Part-of-Speech and Morphological Analyzer, <http://chasen.org/~taku/software/mecab/>
- [7] CaboCha: Yet Another Japanese Dependency Structure Analyzer, <http://chasen.org/~taku/software/cabocha/>

連絡先

目良 和也
E-mail: mera@its.hiroshima-cu.ac.jp