

Natural Logic を用いた日本語テキストの含意関係認識

Natural Logic for Japanese Textual Inference

増田涼良^{*1}
Ryosuke Masuda

杉本徹^{*2}
Toru Sugimoto

^{*1} 芝浦工業大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

^{*2} 芝浦工業大学 工学部
College of Engineering, Shibaura Institute of Technology

We propose a method to recognize textual entailment using natural logic. Natural logic is a system of logical inference which operates over natural language, and is effective in textual inference involving monotonicity. This approach has been studied for texts written in English so far. This paper presents a method for Japanese textual inference using natural logic. Our system first analyzes dependency structures of texts and identifies word concept and monotonicity. Second, it establishes an alignment between text1 (premise) and text2 (hypothesis). Third, it calculates entailment relation between aligned phrases. Finally, it deduces textual entailment relation from monotonicity, dependency structures and calculated entailment relation between phrases. We evaluated our system with a test set composed of 377 pairs. As a result, we achieved 50.4% accuracy, which is higher than a baseline system using morpheme overlap.

1. はじめに

テキストの含意関係認識とは、テキスト間における含意、換言、矛盾などの関係を認識することである。この技術は、情報検索、テキスト要約、質問応答など幅広い応用分野に必要であることから、近年注目を集めており、様々な評価型ワークショップが行われている。英語のテキストを対象とした評価型ワークショップには RTE [Dagan 06] がある。また、2011 年には、日本語と中国語のテキストを対象とした評価型ワークショップ RITE [Shima 11] が開催された。

RITE では、2 つのテキスト(t1, t2)を入力とし、t1 から t2 が真であると推論できるか否かを出力するタスク(バイナリクラス)が設定されている。また、それに加え、含意の方向や矛盾を検出するタスク(マルチクラス)もある。以下にバイナリクラスの訓練データから例を挙げる。これは、t1 から t2 が真であるとは推論できないと出力しなければならない例である。

表 1 RITE バイナリクラスサブタスクの問題例

t1	乾燥に強いユーカリは、2 週間水を与えなくても枯れない。
t2	乾燥に強いユーカリは、水を与えなくても枯れない。
含意関係	NO

テキストの含意関係認識の実現手法としては、含意関係認識を 2 値分類の問題と見なし、テキスト対から抽出した認識に必要な素性を組み合わせ学習するという、機械学習を用いた手法が多く研究されている [Pham 11]。

一方、MacCartney ら [MacCartney 07] は、単調性を含むテキストの推論に優れた手法として、Natural Logic を用いた手法を提案している。Natural Logic とは、自然言語のレベルで 1 つの

テキストからもう 1 つのテキストを推論するための論理体系である。自然言語を述語論理式に変換する必要がないため、より自然な形で推論することができる。

これまで、Natural Logic を用いる手法は、英語のテキストを対象として研究されてきた。本論文では、日本語テキストの含意関係認識に、この Natural Logic を用いる方法を提案する。

2. 提案手法

本手法は先行研究 [MacCartney 07] で開発されたシステムの処理の流れに従う。しかし、各々の処理のアルゴリズムなどは、先行研究とは異なる。これは、日本語のテキストを解析する際、複数の形態素を文節という単位にまとめあげる作業を行うためである。本手法では、この文節と係り受け関係を利用し含意関係を導出する。図 1 に、本手法の処理の流れを示す。

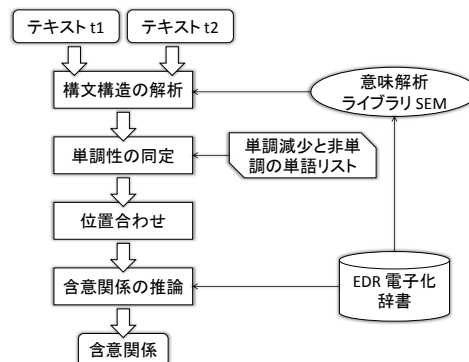


図 1 本システムの処理の流れ

初めに、システムへ 2 つのテキスト(t1, t2)を入力する。システムは、意味解析ライブラリ SEM [安達 11] を用いて、入力されたテキストの構文構造を解析する。解析した結果から文節をノードとするグラフを t1 と t2 について、それぞれ生成する。次に、事前に作成した単調減少と非単調の単語リストを参照して、各文節の単調性を求める。その後、2 つのテキストの文節の位置を

^{*1} 連絡先: 増田涼良, 芝浦工業大学大学院 理工学研究科
〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5
E-mail: ma12098@shibaura-it.ac.jp

合わせる処理を行う。そして、求めた位置関係に従って、t1 と t2 の対応付けられた文節どうしを比較し、文節単位で含意関係を導く。このときに、EDR 電子化辞書 [日本電子化辞書研究所 01] における概念の上位下位関係を用いる。さらに、導かれた文節単位の含意関係を統合し、テキストごとに文全体の含意関係を推論する。最後に、テキストごとの含意関係を組み合わせ、表 2 で定義した含意関係のいずれであるかを判断して出力する。ここで、「t1→t2:○」とは、t1 から t2 が真であると推論できることを表す。

表 2 含意関係の定義

含意関係	定義
=	t1→t2 : ○ かつ t2→t1 : ○
<	t1→t2 : ○ かつ t2→t1 : ×
>	t1→t2 : × かつ t2→t1 : ○
?	t1→t2 : × かつ t2→t1 : ×

2.1 構文構造の解析

テキストの構文構造の解析には、意味解析ライブラリ SEM [安達 11] を利用する。SEM は、まず、MeCab* と CaboCha** を用いて、テキストの形態素解析、係り受け解析を行う。その後、各単語に EDR 電子化辞書の概念識別子を概念として付与する。そして、概念間の深層格を求める。この解析の結果から、文節をノードとするグラフを生成する。

2.2 単調性の同定

ある単語を、テキスト対の同じ位置に同じように付け加えたとき、含意関係が保たれるならば、その単語を単調増加 (upward-monotone) という。また、含意の方向が反転する (< から > または > から <) ならば、その単語を単調減少 (downward-monotone) という。そして、単調増加でも単調減少でもない単語を非単調 (non-monotone) という。

単語の多くは単調増加である。また、「ない」のように、存在や動作を否定する単語は単調減少である。そして、「最も」のように、最上級を表す単語は非単調である。

表 3 含意関係が変わる例と変わらない例

t1	t2	含意関係
東京にいる。	日本にいる。	<
今、東京にいる。	今、日本にいる。	<
東京に <u>いない</u> 。	日本に <u>いない</u> 。	>

本研究では、単調減少の単語のリストと、非単調の単語のリストを作成した (表 4)。そして、リストに含まれない単語を単調増加とした。

表 4 単調減少と非単調の単語のリスト

単調性	単語
単調減少	ない, 無い, たら, と (接続助詞), は (文末は過去形以外), 禁止, ...
非単調	最も

上記のリストを用いて、まずテキスト中の各単語の単調性を求め、続いて各文節の単調性を求める。文節は数個の単語から形成されている。単調増加の単語を+1, 単調減少の単語を-1, 非単調の単語を 0 とし、文節を構成する単語の単調性を掛け合わせる。そして、求めた積をその文節の単調性とする。

2.3 位置合わせ

生成したグラフを用い、2 つのテキスト (t1, t2) の文節の対応付けを行う。図 2 は、テキスト t1 「太郎が公園で野球をした。」とテキスト t2 「太郎が卓球をした。」のグラフである。

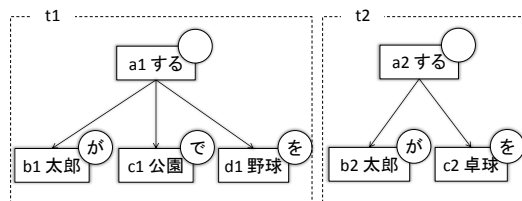


図 2 t1 と t2 のグラフ

対応付け f とは、t1 の文節集合から t2 の文節集合への部分写像であり、単射かつ文節の親子関係を保つものを言う。ここで親子関係を保つとは、f(a1) = a2 かつ f(b1) = b2 である場合に、b1 が a1 の子である時、かつそのときに限り b2 が a2 の子である、という意味である。

文節の対応付け f に対して、そのスコアを次式で定義する。

$$score(f) = \sum_{b \in dom(f)} score(b, f(b))$$

ここで、score(b1, b2) は 2 つの文節 b1, b2 の間の類似度を表すスコアであり、b1 と b2 の表層格が等しいか主辞の基本形が等しい場合にそれぞれ 1 が加算される。

位置合わせの処理では、考えられる全ての対応付け f に対してスコアを算出し、最もスコアが大きいものを最適な対応付けとして採用する。図 2 の例では、最適な対応付けはスコアが 5 となる f = {(a1, a2), (b1, b2), (d1, c2)} である。

2.4 含意関係の推論

(1) 文節単位の含意関係の導出

まず、対応付けられた文節どうしの含意関係を求める。概念間には階層的な関係があり、次のように、文節の含意関係を求める。

- 両方の文節の概念識別子が等しいとき、含意関係を = とする。
- 両方の文節の概念識別子が上位下位関係にあるとき、含意関係を、t1 の文節が下位ならば <, 上位ならば > とする。

また、概念どうしが上位下位の関係にない場合、EDR 概念見出しレコード (表 5) を利用して、文節の上位下位関係を求める。

表 5 概念見出しレコードの例

概念識別子	概念見出し	概念説明
108d5c	哺乳類	哺乳類に属する動物

以下に示す場合のうち、いずれかに当てはまれば、文節どうしに上位下位関係があると見なす。

- 一方の文節の概念から共通の親概念までの概念見出しまたは概念説明の中に、他方の文節の概念見出しまたは概念説明が含まれている場合。
- 一方の文節の概念から共通の親概念までの概念説明を SEM で解析し、その中に、他方の文節の概念が含まれている場合。

* <http://mecab.sourceforge.net/>

** <http://code.google.com/p/cabocha/>

そして、以上の処理を、文節を入れ替えて行い、どちらの場合も上位下位関係があると見なされた文節の含意関係を = とする。

(2) 文全体の含意関係の導出

文節単位の含意関係を組み合わせ、文全体の含意関係を導出する。以下に、そのアルゴリズムを示す。

まず、単調性を考慮した文節単位の含意関係を求める。文節単位の含意関係は、対応付けられた文節間の単調性の差異によって変化することがわかった(表 6)。例えば、単調増加の文節「男である」と、単調減少の文節「男でない」とを比較する。文節単位での含意関係は「=」であるが、単調増加と単調減少とで異なるため、ここでの含意関係は「?」となる。

表 6 単調性を考慮した含意関係

含意関係	単調性 (t1, t2)			
	(1, 1)	(1, -1)	(-1, 1)	(-1, -1)
=	=	?	?	=
<	<	?	?	>
>	>	?	?	<
?	?	?	?	?

次に、テキストごとに文全体の含意関係を求める。各テキストの係り受け構造をもとに、単調性を考慮した文節単位の含意関係を組み合わせる。組み合わせ方は、受け側でない文節(例:テキストの先頭の文節)から、係り先の文節へ組み合わせる。組み合わせの結果、導出される含意関係を表 7 に示す。ここで、括弧内の関係は、係り先の文節の単調性が単調減少であるときの含意関係を表す。この処理を 2 つのテキストについてそれぞれ行い、各テキストの含意関係を求める。

表 7 含意関係の組み合わせ

	受け側の含意関係			
	=	<	>	?
係り側の含意関係	=	<	>	?
<	<(>)	<(?)	?(>)	?
>	>(<)	?(<)	>(?)	?
?	?	?	?	?

最後に、最終的な含意関係を求める。各テキストの文全体の含意関係を組み合わせ、導出された含意関係を 2 つのテキストの最終的な含意関係とする。その際、組み合わせ方は表 7 と同じだが、ここでは、係り側、受け側、単調性は考慮しない。

(3) 例

本節で述べた手順に従い、含意関係の推論を行う例を、表 8 の例題を用いて説明する。

表 8 例題

t1	ツバメが低く飛ぶと雨が降る。
t2	鳥が低く飛ぶと豪雨が降る。
含意関係	>

ここで、位置合わせの処理により、「ツバメが」と「鳥が」、「低く」と「低く」、「飛ぶと」と「飛ぶと」、「雨が」と「豪雨が」、「降る。」と「降る。」が、対応付けられたものとする。

まず、対応付けられた文節単位の含意関係を導出する。「低く」、「飛ぶと」、「降る。」には、t1 側と t2 側とで、同一の概念が付与されているため、含意関係が「=」となる。そして、「雨が」の概念と「豪雨が」の概念は、上位下位関係にあるため、含意関係が「>」となる。「ツバメが」と「鳥が」は、「ツバメが」に付与され

た概念の概念説明である「燕という鳥」を SEM で解析し、その中に「鳥が」の概念が含まれているため、含意関係は「<」となる。

そして、単調性を考慮した文節の含意関係を、テキストごとに組み合わせ、文全体の含意関係を導出する。図 3 に、t1 の文全体の含意関係を導出する過程を示す。

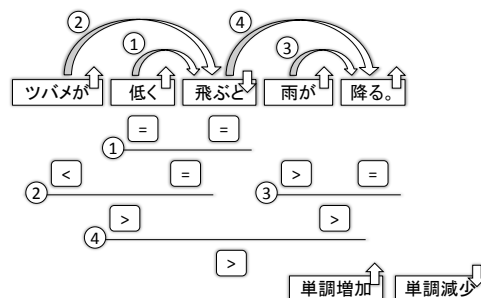


図 3 t1 の文全体の含意関係の導出

初めに、受け側でない文節である「低く」の含意関係「=」と、その係り先である「飛ぶと」の含意関係「=」から含意関係「=」を導出する(①)。次に、「ツバメが」の含意関係「<」と、①で求めた含意関係「=」から含意関係「>」を導出する(②)。ここで、係り先である「飛ぶと」が単調減少であることに注意する。そして、次の受け側でない文節「雨が」の含意関係「>」と、係り先である「降る。」の含意関係「=」から「>」を導出する(③)。そして、最後に、②で求めた含意関係「>」と③で求めた含意関係「>」から、含意関係「>」を導出する(④)。これが、t1 の文全体の含意関係となる。t2 の方も同様の手順により、文全体の含意関係を「>」と導出できる。

最後に、表 7 より、t1 の含意関係「>」と t2 の含意関係「>」から最終的な含意関係「>」を導出し、含意関係の推論を終了する。

3. 評価実験

3.1 テストセット

本研究では、テキスト対 (t1, t2) と含意関係(表 2)からなる問題データ 377 問からなるテストセットを作成した。これらの問題データは、RITE タスクのバイナリクラスサブタスクの訓練データ [Shima 11], 京都大学 Textual Entailment 評価データ [小谷 08], THE FRACAS TEXTUAL INFERENCE PROBLEM SET [MacCartney 07] から単調性に関する推論を含む問題を抽出したものである。

3.2 評価方法

本研究では正解率をシステムの性能として評価する。正解率は正解数 ÷ 問題数で定義する。ここで、正解数とは、テストセットの含意関係とシステムの出力した含意関係が一致した数である。

また、比較対象となるシステムとして、形態素の一致率に基づいて含意関係を認識するシステムを作成した。これは、一方のテキストの形態素が他方のテキストの形態素に含まれている割合を算出し、その値が閾値よりも高ければ含意と判断するという手法である。

3.3 実験結果

表 9 に Natural Logic を用いたシステムの結果を示す。また、表 10 に形態素の一致率を用いたシステムの結果を示す。正解率はそれぞれ、Natural Logic を用いたシステムが 0.504 (正解

数:190), 形態素の一致率を用いたシステムが 0.491(正解数:185)であった。ここで, 形態素の一致率を用いたシステムの閾値は, 正解率が最も高かった 0.99を採用した。

表 9 Natural Logic を用いたシステムの結果

		正解				計
		=	<	>	?	
システム	=	12	1	2	10	25
	<	4	68	1	19	92
	>	12	3	2	6	23
	?	30	89	10	108	237
計		58	161	15	143	377

表 10 形態素の一致率を用いたシステムの結果

		正解				計
		=	<	>	?	
システム	=	1	0	0	4	5
	<	4	87	4	43	138
	>	13	1	1	0	15
	?	40	73	10	96	219
計		58	161	15	143	377

4. 考察

4.1 構文構造の解析

テキスト対の文節を対応付け, 文節に付与された概念から, 文節単位の上位下位関係を導出した。SEM では, 文節の主辞には概念を付与するが, それ以外の単語には概念は付与されない。そのため, 文節の主辞どうしの比較のみで含意関係を導出した。例えば, 「ポルトガルワインを」という文節の主辞は「ワイン」であり, 「ワイン」を意味する概念が付与される。その結果, 「ワインを」という文節と同じ意味であると判別し, 含意関係を誤った。このことから, 主辞でない単語にも何らかの概念を付与し, 単語単位で含意関係を導出することが必要である。

4.2 単調性の同定

人手で単調減少と非単調の単語のリストを作成したため, それらの単語を十分に収集できたとはいえない。とくに, 非単調の単語については, 事例を収集し, 調査することが必要である。また, 文末表現など, テキストの細かい部分を見なければならない例があった。これらについて, 整理し, 考える必要がある。

4.3 位置合わせ

2つのテキストの文節を対応付ける際, 構文構造を考慮し, 親子関係を保つという制約を設けた。この制約を満たすテキスト対は, 構文構造が部分グラフとなっていなければならないため, 多少構文構造が違っただけでも, 位置合わせに失敗してしまう。この問題に対処するには, 制約を緩和するなどの工夫が必要である。

また, 「退職する」, 「仕事を辞める」など, t1 の単語が t2 で, 複数の単語で言い換えられている場合があった。本手法では, t1 と t2 の文節を一对一に対応させるため, 正しく位置合わせすることができなかった。今後は, 一对多, 多対多での位置合わせを行う必要がある。そのためには, 位置合わせの処理のときに, t1 と t2 の単語の類義表現などを見つながら位置合わせするという方法が考えられる。

4.4 含意関係の推論

文節単位での含意関係の導出において, EDR 電子化辞書の概念体系を用いた手法を提案した。比較する 2 概念が上位

下位関係にない場合が多くあり, 概念見出しレコードを利用する必要があった。この原因として, EDR 電子化辞書の概念体系が, 上位下位関係を求めるためのシソーラスとして必ずしも適切でないということが考えられる。とくに, 動詞に関しては, 上位下位関係を求めることが難しく, 概念間の類似度も低く算出されることが多かった。

文節単位の含意関係を組み合わせる推論手法について, 文全体の含意関係を正しく導出できない例があることがわかった。それは, 表 11 のように, t1 の文末に単調減少の単語を含み, t2 には含まない例である。提案した推論手法では, t1 の文全体の含意関係を「<」, t2 の文全体の含意関係を「=」と導出し, 最終的な含意関係を「<」と導出してしまふ。このようなテキストに対して正しく推論できるようにアルゴリズムの再考が必要である。

表 11 正しく推論できない例

t1	ITEL が 1992 年に契約をしたことは虚偽である。
t2	ITEL は 1992 年に契約をした。
システム	<
正解	?

5. おわりに

日本語テキストの含意関係認識に Natural Logic を用いる手法を検討した。本研究では, 文節や係り受け構造などを用いた推論手法を考案し, 単調性を含むテキスト対の含意関係を認識するシステムを作成した。377 ペアからなるテストセットを作成し, このシステムの評価を行った結果, 正解率が 50.4%であった。

結果を分析したところ, 現在の手法には, それぞれの処理において問題があることがわかった。今後, それらの問題を解決していきたい。また, RITE タスクの評価データのように, 推論の要因となりうる要素が複数混在するテキスト対に対して, どのように対応するか検討していく。

参考文献

- [Dagan 06] I. Dagan, O. Glickman, and B. Magnini: The PASCAL Recognising Textual Entailment Challenge, Machine Learning Challenges, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3944, pp.177-190, 2006.
- [Shima 11] Hideki Shima, Hiroshi Kanayama, Cheng-Wei Lee, et al.: Overview of NTCIR-9 RITE: Recognizing Inference in TExt, In Proceedings of the 9th NTCIR Workshop, 2011.
- [Pham 11] Quang Nhat Minh Pham, Le Minh Nguyen, Akira Shimazu: A Machine Learning based Textual Entailment Recognition System of JAIST Team for NTCIR9 RITE, In Proceedings of the 9th NTCIR Workshop, 2011.
- [MacCartney 07] Bill MacCartney and Christopher D.Manning: Natural Logic for Textual Inference, In ACL-07 Workshop on Textual Entailment and Paraphrasing, 2007.
- [安達 11] 安達昌吾, 杉本徹: EDR 電子化辞書を用いた深層格解析手法の改良と評価, 第 94 回 人工知能学会 知識ベースシステム研究会, 2011.
- [日本電子化辞書研究所 01] 日本電子化辞書研究所: EDR 電子化辞書 2.0 版 仕様説明書, 2001.
- [小谷 08] 小谷通隆, 柴田知秀, 中田貴之, 黒橋禎夫: 日本語 Textual Entailment のデータ構築と自動獲得した類義表現に基づく推論関係の認識, 言語処理学会 第 14 回年次大会 発表論文集, pp.1140-1143, 2008.