

テキストからの物理モデル生成に向けて

横野 光, 稲邑 哲也

国立情報学研究所

{yokono, inamura}@nii.ac.jp

1 はじめに

我々はテキストを読む際に、そこに書かれてある状況を思い浮かべながら内容を理解することがある。この状況とは、小説では登場人物がどうしているところにいるのか、そしてどう動いていくのか、といったような状況に現れている要素やその位置関係などのようなものである。

本研究では、そのようなテキストに書かれた物体の位置関係などの物理的な状況とその遷移を形式的表現によって記述することを目的とする。この“ある空間における物体の位置関係と、その遷移を形式的に記述したもの”を物理モデルと呼ぶ。ここでの位置関係の遷移を引き起こす要素としては空間中の物体に対する操作などが考えられる。

テキストから物理モデルが獲得できると、ある時点での状態をシミュレータに与え、それに対してどのような操作を行うと状態がどう変化するかをシミュレーションすることが可能になる。このシミュレーションはいわば次の行動を予測していることに対応する。テキスト中に現在の状態、それに対する操作、そしてその次の状態が記述されているときに、現在の状態と操作をシミュレータに与え次の状態を予測し、記述されている状態と比較することでテキストの自然さの評価などが可能になると考えられる。

しかし、あらゆるドメインのテキストを考慮することは困難である。そこで本研究ではまず大学入試問題に対象を絞り、このドメインにおいて詳細な物理モデルの生成を目指す。そして、ここで得られた知見を元に対象とするテキストを広げていく。大学入試問題は必要とされている知識が基本的に高校までに学ぶものに限定でき、また、問題には必ず答えが存在し、そこに辿り着くまでの解法は合理的である[1]。そのため、物理モデルに必要な情報を問題の解答に必要な情報と限定し、定義することができる。我々は必要となる知識と出力すべき情報の範囲を限定することで、意味解析に必要な要素をより深く追求できると考えている。

大学入試には複数の科目が存在するが、特に物理の試験に焦点を当てる。物理では特に力学や電磁気などの分野の問題においてテキストと図で説明された実験設定における物体の動きなどを取り扱うことが多く、本研究が目的とする物理モデル生

成に適しているためである。

2 関連研究

テキストの意味を形式的に表現するということは、より深い意味処理や推論のために必要であり、広く研究がなされてきた[2, 3]。例えば、Zettlemoyerらは文脈を考慮した文から論理式への変換手法を提案している[4]。また、自然言語では同じ意味であっても様々な形式で記述されることがあるため、それらの表層的な違いを吸収する必要がある。この問題に対して、Poonらは述語と項をクラスタリングすることで同じ意味の表現をまとめる手法を提案している[5]。

テキストに書かれている状況を認識するためには、それが実際に起きたことなのかどうか、ということも考慮する必要がある。例えば、仮定で述べられているような事象は実際には起きていないため、状況には反映されない方が好ましい。テキスト中の事象の真偽にはモダリティや否定表現などが影響しており、これらの言語表現と関係を明らかにするための言語資源の構築が行われている[6]。また、事実性の認識に関して成田らは手がかり表現と語彙知識と文の事実性との関係の分析を行っている[7]。

3 テキストからの物理モデル生成

本研究では物理モデルを用いた応用として、物理シミュレータによる状態遷移の予測を想定している。そのため、物理モデルは最終的には入力するシミュレータの言語で表現する必要があるが、汎用性を考慮して、その前段階の中間表現として一階述語論理での形式的表現を考える。即ち、物理モデル生成とは自然言語のテキストをそれに対応する形式的表現に変換するタスクであるとみなせる。

物理モデルを生成するためにはテキストから以下の情報を抽出する必要がある。

- 出現する物体
- 物体間の位置関係
- 物体の動作

¹ 長さ L の質量が無視できる棒の一端を、鉛直面内でなめらかに回転できるように支点に取り付け、他端におもりを取り付けた。² 支点の鉛直上方でおもりを静かに離すと、棒は重力によって鉛直面内で図 2 のように反時計回りに回転し始めた。³ 鉛直上方から測った棒の角度 θ とおもりの速さ v との関係を表すグラフとして最も適当なものを、下の①～④のうちから一つ選べ。⁴ ただし、グラフには $0^\circ < \theta \leq 180^\circ$ の範囲が示されている。⁵ 重力加速度の大きさを g とし、空気の影響は無視できるものとする。

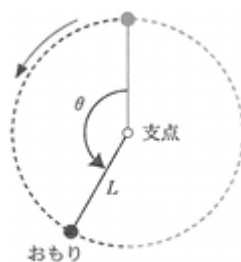


図 2

図 1: 2011 年度大学入試センター試験物理 I より引用

このうち、本稿では前者の 2 つに焦点を当てる。以下、図 1 に示す 2011 年度大学入試センター試験物理 I の問題を例に、解くべき問題について検討する¹。

3.1 物体に関する情報

テキスト中に出現する全ての名詞が物体を表すというわけではなく、何を物体と見なすかという基準が必要である。一つの基準として物理的な実体を持てばそれは抽出すべき物体であると考えることができ、そのための言語資源としては日本語語彙大系 [8] などがある。しかし、本研究では図 1 に出現する支点のような実体を伴わないものに関しても抽出対象としている。そこで物体の性質ではなく位置関係の記述に関与している要素を物体と見なす。

さらに、単にどのような物体が出現しているかだけでなく、質量や大きさといった出現している物体の特徴についても抽出する必要がある。多くの場合は、これらの特徴はテキストに出現しているが、テキストに書かれてある以外の特徴も物体は有している。それは一般的な常識やドメイン固有の常識である。前者は例えば、“支点は動かない”といったようなものであり、後者は今回対象としているドメインの場合、“大きさが記述されていない場合、その物体は点と見なす”といったようなものである。

そもそも、物体が持つ特徴とは何か、それをどのように記述すれば良いのかということは非常に難しい問題である。これに対して、本研究はドメインを限定しているため、それに必要な特徴をあらかじめ決定しておき、それに関するもののみを記述する。例えば、物体には色や表面の形状などのような特徴も存在するが、位置関係の記述、また物理問題の解釈では特に必要がないため考慮しない。

3.2 物体の位置関係に関する情報

物体間の位置関係は一般的には“がある”のような存在を表す動詞や“置く”などのような動詞によって表現される。例えば、“棒を支点に取り付ける”という文から棒と支点という物体が接続していることを読み取ることができる。これらの表現を手がかりに物体間の位置関係を抽出するためには、その動詞に係っている項を同定する処理である述語項構造解析が必要となる。

また、物体の位置関係の記述は必ず一文で表現されるというものではない。従って、テキスト中のどの表現とどの表現が同じ物体を指すのかということと同定する共参照解析が必要である。一般的な共参照解析は名詞句を対象として行われるが、それ以外の参照関係も存在する。例えば、図 2 中の“その両端”はその前にある“図 2 のように 2 個直列に接続し”てできた回路であり、これはテキスト中には明示的に現れていない。このような関係も正しく捉える必要がある。

¹ 文頭の上付き数字は文番号を表す。

図1の電圧と電流の関係を示す白熱電灯を、図2のように2個直列に接続してその両端に100Vの電圧を加えた。

図2: 2011年度センター試験物理Iより引用

これらの技術を用いて位置関係を理解するためには、まずどのような述語によって位置関係が描写されるのかを知識として持つておかなければならない。さらに、“AがBの右にある”といったような相対的な位置関係や、物体が接触している場合、物体のどこに何が接触しているのかといった、より詳細な位置関係も捉える必要がある。

本研究で現在対象としているドメイン固有の特徴であるが、問題テキストには設定の記述以外に解答の指示なども含まれており、テキスト中の全ての文が物理モデル生成に必要というわけではない。従って、前処理としてどの文が設定の記述であるかの同定も必要となる。図1の場合、1の文は状況の記述、2の文は状況に対する操作、3の文は問題として問われている内容を表し、4は解答候補の追加説明、5は実験条件である。従って、このテキストでは1のみが状況の構築に必要となる。

また、2節で述べたように位置関係を示す述語が用いられていたとしても、それが実際に空間上での位置関係を示すとは限らない。例えば、条件節にそのような述語が含まれている場合はそれは既に起こった出来事ではないため、物理モデルには反映すべきではない。そのため、各述語に対しての事実性判断も行わなければならない。

3.2.1 位置関係を表す述語

位置関係を表す述語に関する情報は例えば竹内らの動詞項構造シソーラス [9] から取得することができる。このシソーラスには動詞の語義が階層的に記述されており、この階層的な分類から位置関係を表す動詞を取得できる。しかし、例えば“ぶら下げる”と“取り付ける”、“置く”という動詞は同じ“状態変化あり-位置変化-位置関係の変化(物理)-除去/付着-付着”という分類に属しているが、実際にこれらが示す状況は異なる。“AをBにぶら下げる”という表現には“AはBの下にある”ということが含意されているが、“AをBに取り付ける”という表現にはそのような意味は含意されない。また、“置く”と“取り付ける”では“置く”の場合、それらに参与する要素は接触はしているが状況によっては離れることがある。一方、“取り付ける”では参与する要素は接続され、以降は1つの物体とし

て動く。

このように単に位置関係を表す動詞に注目するだけでなく、それらの間の意味の異なりも考慮する必要がある。これらをどう記述するかという問題に対して、本研究では上述の例に示したような参与する要素の上下左右の関係、接触か接続か、という2つの属性に焦点を当ててこの意味の異なりを記述する。

3.2.2 相対的な位置、接触する位置の指定

物体は質点のように大きさを考慮しない場合もあるが、一般的には形状を有しており、接触・接続という関係において、ある物体が他方の物体のどこに接続しているのか、ということを考慮しなければならない。例えば、図1のテキストにあるように、おもりは棒の“一端”で接続していることを理解できなければ正確な状況は構築できない。

この“一端”や“右側”といったようにある基準点に対して相対的な関係を持つ名詞を相対名詞と呼ぶ。相対名詞には時間や空間、事象に関するものが存在するが、本研究では空間の相対名詞についてのみ考慮する。相対名詞は非飽和名詞の一種であり述語の必須格と同様にノ格を必須格とする名詞である。相対名詞のノ格は述語の格と同様に省略されることがある。“その”などの指示連体詞として現れることがある。そのために相対名詞を対象とした項構造解析、共参照解析が必要となる。

動詞や事態性名詞を対象とした述語項構造解析では対象の動詞がどの格を取り得るのかという情報が必須であり、それに対する言語資源として格フレームなどが存在する。同様に相対名詞を対象とした項構造解析では必須格はノ格で固定できるが、そもそもどの名詞が相対名詞かを識別する必要がある。動詞の場合と同じような言語資源を用意する必要があるが、名詞は数が多いため全ての名詞をチェックし必須格の有無を手で記述することはコストが掛かる。そのため、頻度情報を元にした相対名詞の自動判別を行う [10] などのような、相対名詞を自動的に獲得する手法が必要である。

3.3 物理モデルの形式的表現

物理モデルでは物体の位置関係の状態と遷移を記述するが、本稿では物体の位置関係の記述についてのみ述べる。

位置関係の状態は一階述語論理での記述が考えられる。物体を述語 $Object(x)$ で表し、接続関係を述語 $Joint(x, y)$ で表す。属性も $Length(x, n)$ のように述語として表現する。前節で述べたように物体のどこに他の物体が接続しているかを記述する

必要もあるが、この接続する場所を関数として記述する (e.g. $one_side(x)$). 例えば、図 1 から得られる物理モデルとして図 3 のような論理式の集合を想定している。必要な述語や関数、正確な記述

- $Object(a)$
- $Object(b) \wedge Stick(b) \wedge Length(b, L)$
- $Object(c) \wedge Point(c)$
- $Joint(a, one_end(b))$
- $Joint(the_other_end(b), c)$

図 3: 形式表現の例

の定義に関しては、今後議論を行っていく。

4 おわりに

本稿ではテキストからの物理モデル生成において解くべき問題を議論した。

テキストの意味解析ではどのような知識が処理に必要となり、それをどうやって獲得するのかという問題がある。対象とするドメインが大きいと全てを手で記述することは困難であり、このような問題に対して Web などの大規模なコーパスから自動的に知識を獲得するという手法が提案されている [11]。本研究においても最終的には知識を自動的に獲得する手法を考慮する必要があるが、まず人手による構築から物理モデル生成においてどのような知識をどこまで記述できるかを明らかにする。

現在はテキストのみを対象としているが、そもそもテキストだけでは完全な物理モデルを生成できない場合も存在する。例えば、物体がどのような順番で置かれているかが図で表現されているという場合である。試験問題では多くの場合、図が併記されておりその情報を利用する必要がある。位置関係は図が解釈できれば可能であるが、その図中で表現されているものが実際には何であるのかは図から理解することは困難であり、テキストに記述された情報を利用する必要がある。そのため、まずテキストから物理モデルを獲得し、曖昧性がある、或いは要素が足りないという場合に図から情報を補完するといった手法も検討する必要がある。

参考文献

- [1] 宮尾祐介, 川添 愛, 松崎拓也, 横野 光: 言語処理技術の統合的評価基盤としての大学入試問題, 言語処理学会第 18 回年次大会 (2012).
- [2] 田中穂積, 元吉文男, 山梨正明: LISP で学ぶ認知心理学 (3) 言語理解, 東京大学出版会 (1983).
- [3] 石川 勉: 自然言語文からの論理式生成と推論, 人工知能学会誌, Vol. 22, No. 5, pp. 613–620 (2007).
- [4] Zettlemoyer, L. and Collins, M.: Learning Context-Dependent Mappings from Sentences to Logical Form, *Proceedings of the Joint Conference of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP*, pp. 976–984 (2009).
- [5] Poon, H. and Domingos, P.: Unsupervised Semantic Parsing, *Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, pp. 1–10 (2009).
- [6] 川添 愛, 齊藤 学, 片岡喜代子, 崔 榮殊, 戸次大介: 様相・条件・否定表現の言語学的分析に基づく確実性判断のためのアノテーション済みコーパスの構築, 言語処理学会第 17 回年次大会, pp. 143–146 (2011).
- [7] 成田和弥, 水野淳太, 乾健太郎: 日本語事実性解析課題の経験的分析, 情報処理学会自然言語処理研究会 研究報告 NL-204 (2011).
- [8] 池原 悟, 宮崎正弘, 白井 諭, 横尾昭男, 中岩浩巳, 小倉健太郎, 大山芳史, 林 良彦: 日本語語彙大系, 岩波書店 (1997).
- [9] 竹内孔一, 乾健太郎, 竹内奈央, 藤田 篤: 意味の包含関係に基づく動詞項構造の細分類, 言語処理学会第 14 回年次大会 (2008).
- [10] 阿辺川武, 奥村 学: 頻度情報を利用した相対名詞の判別, 言語処理学会第 9 回年次大会, pp. 373–376 (2003).
- [11] 土田正明, Saeger, S. D., 鳥澤健太郎, 村田真樹, 風間淳一, 黒田 航: 単語分布類似度を用いた類推による単語間の意味的關係獲得法, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 4, pp. 1761–1776 (2011).