

運転指示文における時空間的意味構造の抽出への取り組み

稲子明里[†]

塚原裕史[‡]

小林一郎[†]

[†] お茶の水女子大学

[‡] 株式会社デンソーアイティラボラトリ

[†]{g1320504,koba}@is.ocha.ac.jp, [‡]htsukahara@d-itlab.co.jp

1 はじめに

近年、車の自動運転の実用化に向けた動きが活発化している。車を運転できない人でも自動運転車を操作するために、より操作を容易にする手法の開発が期待されている。なかでも、口頭指示による対話的な操作は、車への意思疎通を行う手段として今後必要になることが予想される。そこで我々は、自然言語で表現された操作指示内容と実世界との対応づけ(グラウンディング)を目的とし、操作指示内容を車の操作へと結びつける意味記述の生成を目指す。先行研究では、駐車指示から空間意味記述 [1] を生成する手法を提案した [2]。これまでは操作指示として駐車指示文のみを対象にしていたため、駐車場所の推定に焦点が当てられており、時間の経過や環境の変化まで考慮する必要はなかった。しかし、駐車指示以外の操作指示は、動的な環境下で出される場合もあり、時間概念を含めた意味記述の生成が必要になる。これを踏まえて本研究では、空間意味記述を時空間意味記述に拡張する手法について提案する。

2 事象間の時間順序関係

動的な環境における自動運転車への操作指示の理解には、操作指示に含まれるイベントの時間順序関係の同定が必要である。そこで我々は、BCCWJ-TIMEBank[3]を参考にし、イベント間の時間順序関係の識別を行うことにする。このコーパスでは、Allenの時区間論理 [4] に基づき 17 種類の時間順序関係ラベルをコーパスに付与している。本研究では、運転指示に必要なレベルで時間順序関係を区別できれば良いと考え、吉川ら [5] と同様に、ラベルを AFTER, BEFORE, OVERLAP, OVERLAP-OR-AFTER, OVERLAP-OR-BEFORE, VAGUE という 6 種類に簡略化して扱う。まとめると、図 1 のようになる。¹

¹VAGUE は、時間順序関係が分からない場合に付与されるラベルなので、図 1 には表記されていない。

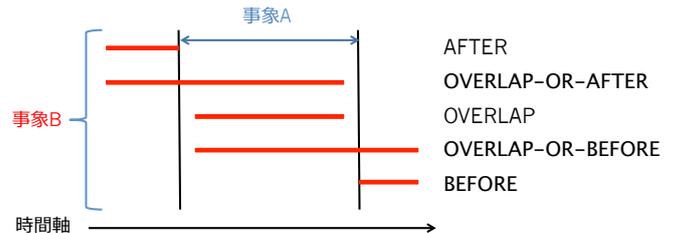


図 1: 時間順序ラベル一覧

3 操作指示文の解析

今回、我々は、複数のイベントを含む自動運転車への操作指示のコーパスをクラウドソーシング上で収集した。ワーカー数は 200 人で、文数は 5020 である。我々は、VAGUE を除く各時間順序関係に対して 3 個ずつ例文を作成した。ワーカーには、各時間順序関係ごとに、それらの例文に対する言葉や表現の言い換えとそれらとは異なる指示を自由作文してもらった。表 1 に、各時間順序関係ラベルにおける自由作文の例を載せる。まず AFTER に関しては、「たら」「後」という時間的な表現が多く使用されていた。「後」という表現は、他の時間順序関係においては使用されることがなかったが、「たら」という表現は、OVERLAP-OR-AFTER で使用されることがあった。しかし、このような例は AFTER とも解釈できる場合が殆どである。例えば、表 1 の「左手に駐車場が見えたら、左側の車線に移動して」という操作指示は、事象 A「左手に駐車場が見える」というイベントが事象 B「左側の車線に移動」するまで継続していると見なせば、2つのイベントの関係は OVERLAP-OR-AFTER となるが、左手に駐車場が見えた時点でイベントが終了したと見なせば AFTER となる。さらに、「安全確認をしながら、右後方に下がって」という指示も、OVERLAP-OR-AFTER とも OVERLAP とも解釈することができる。OVERLAP-OR-AFTER はこのような複数の時間順序関係の解釈ができる操作指示が多い傾向にあった。一方、OVERLAP

表 1: 収集した操作指示コーパスの一部

時間順序関係	例文
AFTER	次の交差点を左折した後、右側の車線に入ってください 次のインターチェンジがきたら止まって、ガソリンを給油して コンビニの手前の交差点を右に曲がってから、道に沿ってずっと進んで 左側に停まっているタクシーのところまで行ったら、その後ろに停車して そのまま道なりに進んで、ショッピングセンターが見えたら、そこに入って
OVERLAP-OR-AFTER	ウインカーを出しながら右車線に入って 前の車についていき、次の信号を右に曲がって 安全確認をしながら、右後方に下がって トンネルに入る前にライトを付けて、トンネルに入ったら減速して 左手に駐車場が見えたら、左側の車線に移動して
OVERLAP	追い越すときは自転車を避けて 左側にバイクが通れる空間を確保しつつ左折して 左にウインカーを出しながら、道路の路肩に車を寄せて 本線の車の動きを見ながら合流して 歩行者に注意しながら、横断歩道の前で停車して
OVERLAP-OR-BEFORE	次の交差点で曲がりたので、後ろに注意しながら、左に寄っておいで ここからくねくね道が続くから、スピードは落として 次のサービスエリアで止まるから、左車線に入って 前方のミニバンと同じ道を行くから、次の交差点で左折して 子供が多くて他の道を通りたいから次の信号を右に曲がって
BEFORE	コンビニに寄る前にガソリンスタンドで給油して 車両を発進させる前に方向指示器を右に出してください 隣車線に移る前に後ろのセダンを先に行かせて 踏切の遮断機がおりないうちに、線路を渡ってしまって 本屋さんが見えてくる前に車を停めて

は、「ながら」や「つつ」という表現が多く使用されていた。OVERLAP-OR-BEFORE に関しては、「から」や「ので」という表現が多く使用されていた。これらの表現は、時間順序関係の他にも、後ろのイベントが前のイベントのトリガーになっていること（またはその反対）を表していると考えられる。BEFORE に関しては、「前に」という表現が殆ど使用されていた。

4 時空間意味記述への拡張

Kollar ら [1] の研究では、空間的な情報のみを対象にして、自然言語から意味構造を生成していた。一方、時間的な順序関係を持つ自動運転車への操作指示を実行するためには、空間意味記述に時間概念を導入することが不可欠と考える。そこで我々は、SDC に新たに time t というフィールドと新しいタイプを追加するこ

とにより、時空間意味記述 Spatial Temporal Description Clause (STDC) への拡張を行った。以下に追加するタイプについて記述する。

4.1 TIME

TIME は時刻などの直接的な時間表現を表す。このタイプを追加することにより、「11時に駅に向かって」とのような時刻が含まれる操作指示が扱えるようになる。ここで、t は時間概念を含んだイベント、TIME 自体は、常に time フィールドに属する。TIME は EVENT の入れ子となり、relation フィールドに属する時間表現を持つ。時刻が EVENT によって参照される場合には、TIME の下に入れ子になる可能性がある。図 3 に TIME を含む STDC の例を示す。

```
EVENT(r=向かって
      l=PLACE(r=こ
              l=OBJ(f=駅))
      t=TIME(r=11時に))
```

図 2: TIME の例

4.2 PROCESS

PROCESS は、イベントや状態間の時間順序関係で合成したイベントを表し、連続するイベントや状態を合成する。このタイプを追加することにより、「目の前の車が出たらそこに停めて」のような複数のイベントが連なっている指示を扱えるようになる。構造としては、PROCESS 自体が landmark フィールドにイベントや状態を子として持つ形になる。また、イベントが 3 つ以上ある場合には、PROCESS の下に、EVENT や PROCESS が入れ子構造になって合成される。図 3 に PROCESS を含む STDC の例を示す。

```
PROCESS(r=後に
        l=EVENT(r=停めて)
        l2=EVENT(r=が出た
                 l=OBJ(f=車
                       r=PLACE(r=目の前の))))))
```

図 3: PROCESS の例

PROCESS を含む STDC を生成する場合は、識別モデルを用いてクラス分類を行い、時間順序関係ラベルの推定を行う。また、先行研究 [2] では、CCG 解析により空間意味記述の生成を行う手法を提案し、規則としては関数適用規則のみを使用していた。一方、時間的な順序関係を持つ複数のイベントから成る操作指示の中には、時間表現が省略されている場合もある。そのような場合に対処するために、CCG の組み合わせ規則の 1 つである等位接続規則: $X \text{ CONJ } X \Rightarrow X$ を CCG 解析で用いる。ここで X は任意のカテゴリで、CONJ は “and” や “or” を意味する言葉のカテゴリとして使用される。等位接続規則では、同じカテゴリを持つ構成要素を合成することができるので、操作指示において 2 つのイベント間の時間的な順序関係を意味する表現が省略されていても、イベントのカテゴリ同士を合成すること

によって、補完することが可能である。

4.3 TRANSITION

さらに、3 章の OVERLAP-OR-BEFORE の指示の例のような、前のイベントと後ろのイベントの間に依存関係がある場合に対応するために、STDC に TRANSITION という新しいタイプを追加する。TRANSITION はイベントや状態間の依存関係や因果関係を含むイベントを表し、片方の状態やイベントがトリガーやゴールになる様な 2 つの状態やイベントの合成を行う。また、イベントがトリガーと目標のどちらにあたるかについての識別も行う。この識別は、イベントの時間的な順序関係の識別だけでなく、その後の操作指示の文脈の判断にも有用であると考えられる。TRANSITION は PROCESS にタイプとして含まれていて、構造としては、PROCESS と同じ形になる。図 4 に TRANSITION を含む STDC の例を示す。

```
TRANSITION(r=ので
            l=STATE(r=がある
                    l=OBJ(f=コンビ))
            l2=PROCESS(r=たら
                       l=EVENT(r=寄って)
                       l2=EVENT(r=なっ
                                c=STATE(r=が青に
                                         l=OBJ(f=信号))))))
```

図 4: TRANSITION の例

5 関連研究

時間表現についての研究については、中村 [6] は、日本語の述語および副詞句のなう時間表現について、それらが正しい意味解釈を受ける過程をモデル化している。Jackendoff [7] は、時間に関する語彙は大きく明示的に時刻を示す語と時間的な関係を表す語に分類できるとし、時間関係の表現と空間関係の表現との類似性について言及している。小西ら [3] は、『現代日本語書き言葉均衡コーパス』の新聞記事の部分集合に対して、動詞や形容詞の事象表現に時間的な順序関係をアノテーションしている。イベントの内部構造の研究については、イベント構造が知られている [8, 9, 10]。この

理論では, STATE, PROCESS, TRANSITION という基本の3つのイベント構造があり, TRANSITION を複数のイベントからなる一つのイベントとして定義されている. また今回は STDC について提案したが, 最終的には STDC を元にグラフィカルモデルを生成し, 操作指示のグラウンディングをする予定である. その際に, グラフィカルモデル Temporal Grounding Graph[11] を参考にすることを考えている.

6 おわりに

本研究では, SDC に時間概念を取り入れ STDC に拡張することで, 動的な環境下における操作指示を扱えるように試みた. 今後の課題としては, イベント間の時間順序関係を推定する手法の考案, 操作指示データから STDC の生成を行う実験とその評価の実施, STDC を元にしたグラウンディンググラフの構築が挙げられる.

参考文献

- [1] Tomas Kollar, Stefanie Tellex, Deb Roy and Nicholas Roy. Toward understanding natural language directions. In Proceedings of 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). IEEE, 2010.
- [2] 稲子明里, 塚原裕史, 小林一郎. 自動運転の駐車指示を対象とした空間的意味記述の生成への取り組み. 人工知能学会全国大会 (第 32 回), 2018.
- [3] 小西光, 浅原正幸, 前川喜久雄. 『現代日本語書き言葉均衡コーパス』に対する時間情報アノテーション. 自然言語処理, Vol. 20, No. 2, pp. 201-222, 2013.
- [4] James Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. In Communications of the ACM, 1983.
- [5] 吉川克正, 浅原正幸, 飯田龍. BCCWJ-TimeBank を対象とした時間的順序関係の推定. 言語処理学会第 20 回年次大会, 2014.
- [6] 中村ちどり. 日本語の時間表現. くろしお出版, 2001.
- [7] Ray Jackendoff. Foundations of Language. Oxford University Press. 2003.
- [8] Marc Moens, Mark Steedman. Temporal ontology and temporal reference. Computational Linguistics, 14(2): 15-28, 1988.
- [9] Terence Parsons. Events in the Semantics of English. Cambridge, MA: MIT Press.
- [10] James Pustejovsky. The syntax of event structure. Cognition, 41(1-3), pp. 47-81, 1991.
- [11] Rohan Paul, Andrei Barbu, Sue Felshin, Boris Katz, Nicholas Roy. Temporal Grounding Graphs for Language Understanding with Accrued Visual-Linguistic Context. In Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 4506-4514, 2017.