

# 大規模言語モデルの仕組みと 実世界への応用

産総研 人工知能研究センター  
知識情報研究チーム 研究チーム長  
高村大也 (Hiroya Takamura)

# 産総研 人工知能研究センター 知識情報研究チーム

## Researchers



Hiroya  
Takamura



Edison  
Marrese  
Taylor



Chen  
Chung-Chi



Tatsuya  
Ishigaki



Erica Kido  
Shimomoto



Ziwei Xu



Tomoki  
Tsujimura



Yun Liu



Goran Topic



\* Mohammad  
Golam Sohrab



\* Matiss  
Rikters

## Research Assistants

Shota Koyama  
Muxuan Liu  
Takehiro Takayanagi  
Riku Takahashi  
Yuki Tanaka  
Yuichiro Mori  
Kakeru Hattori  
Masanari Ohi

## Technical Staff

Kuniko Nakano  
Taiga Someya  
Mizuki Arai  
Chikara Tanaka

## Assistants

Ai Tomobe  
Yuki Banno

## Visiting Researchers

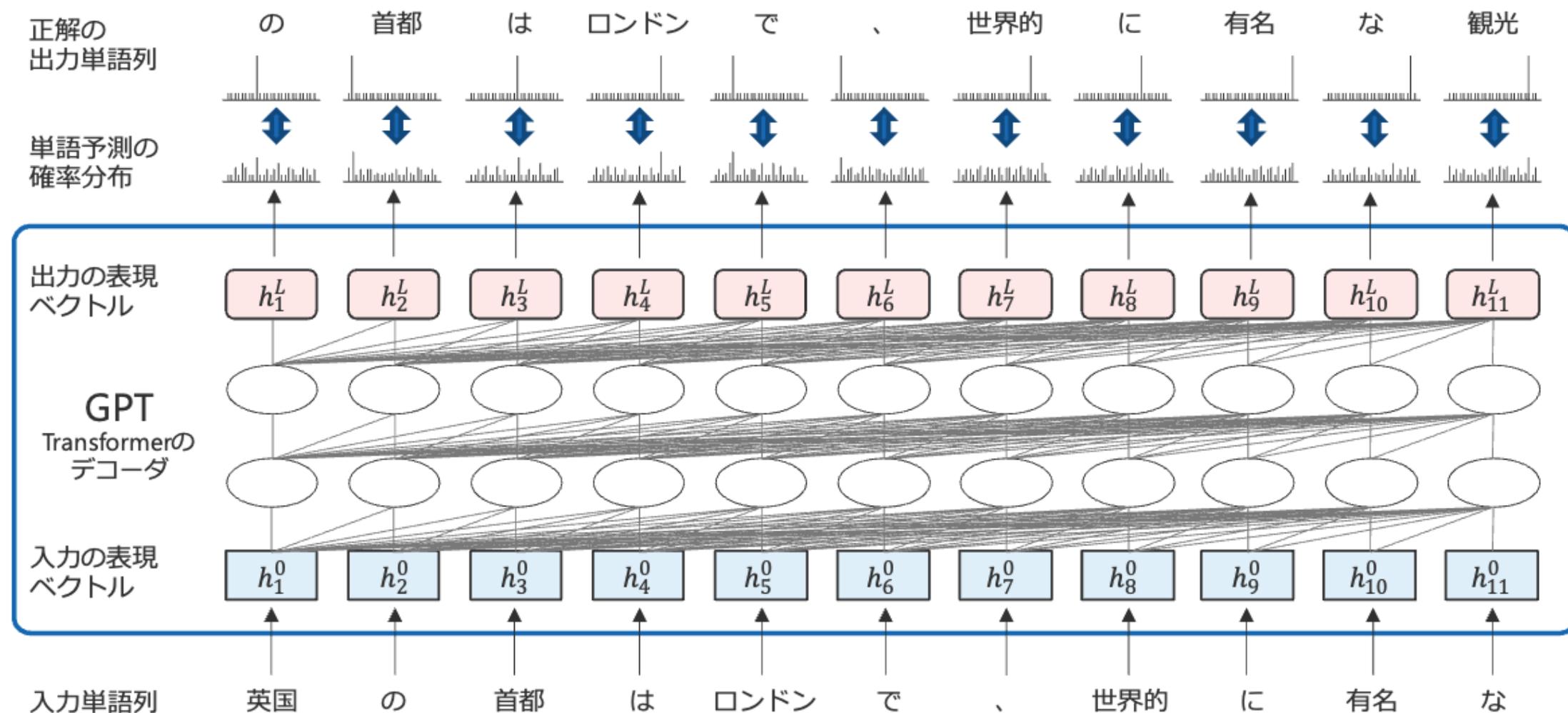
Yusuke Miyao  
Ryutaro Ichise  
Ichiro Kobayashi  
Hideki Nakayama  
Makoto Miwa  
Naoaki Okazaki  
Ryo Nagata  
Sakae Mizuki

# 目次

- LLMの仕組みと継続学習
- 実世界データの言語化
  - 数値データの言語化
  - リアルタイム性のある言語生成
- LLMの能力拡張

# Generative Pre-trained Transformer (GPT) (Radford+ 2018)

本やウェブから収集した大規模なテキストで次の単語を予測できるようにTransformerを学習する



# 学習(パラメータ推定)の流れ

事前学習

大量の文章データを集めてそれらが生成できるようになることで基盤となる知識を得る

指示チューニング

指示-応答ペアデータを学習することにより、人間の指示に従ったり、質問に答えたりできるようになる

アラインメント

選好データで学習することで、攻撃的な応答や差別的な応答を控え、人間の価値観に合った応答ができるようになる

# 事前学習

## 文章データを正しく再現しようとする 知識や読解力が必要になる

甲府盆地は、山梨県中央部に位置する盆地。やや東西に長い逆三角形の盆地形状、扇状地になっている。面積は375平方km。長野県の松本盆地や諏訪盆地と続く構造盆地。中心部に県庁所在地甲府市が位置するほか、甲州市や山梨市など、多くの市域を含む。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/甲府盆地> より抜粋

- 知識
  - ✓ 甲府盆地は375平方km
- 読解力
  - ✓ 主題は何か？

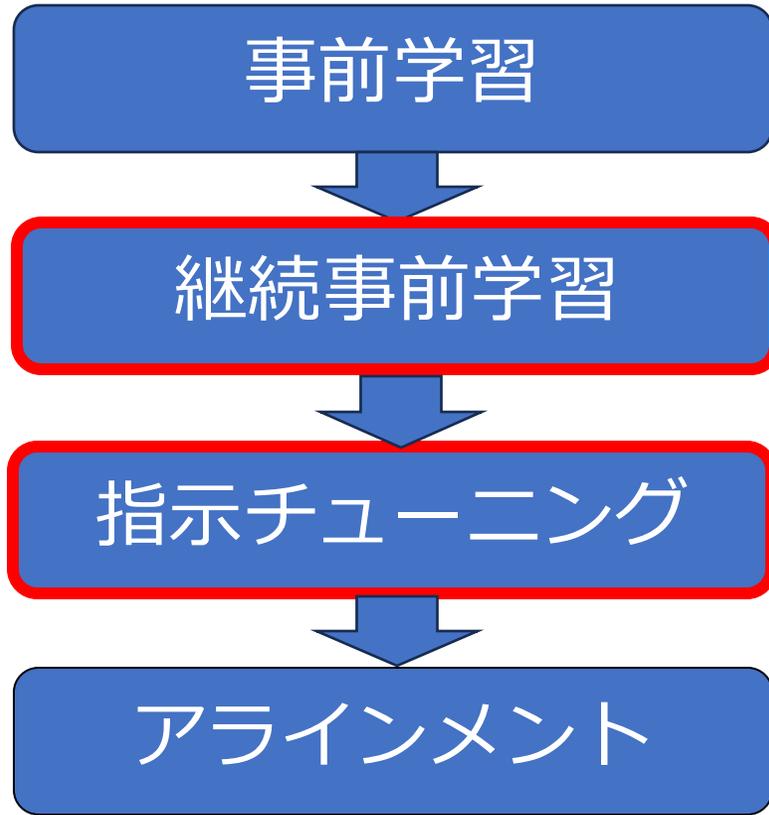
# 指示チューニング

## 指示とそれに対する応答のペアを用い、人間の言うことを聞くように訓練

- Q: オリンピック史上、最も多くの金メダルを獲得した個人は? A: マイケル・フェルプス選手は歴代最多の23個の金メダルを獲得しています。
- Q: ゴールデンレトリバーの平均寿命は? A: ゴールデンレトリバーの平均寿命は12~13歳です。
- Q: アリスの両親には3人の娘がいる: エイミー、ジェシー、そして三女の名前は? A: 三女の名前はアリス
- Q: 美しさは客観的なものなのか、主観的なものなのか。 A: この質問に対する意見は、人によってさまざまです。統計的に、人々が何を美しいと表現するかについては、好みのパターンが容易に見て取れます。この現象の顕著な例が、女性と男性の美の基準です。社会は、肉体的、内面的にどのような特徴があれば、その人が美しいと判断するのかについて同意しているようです。また、美の基準は人間だけでなく、例えばキャットショーのような動物にも投影されます。美しさと完璧さとの間には、関連性があるようです。例えば、花びらの数が多く、破れや傷のないバラは、花びらの数が少なく、目に見えて傷んでいるものより美しいと思われるのが一般的です。しかし、完璧を定義することは困難であり、不可能であるという問題もある。美しさは、必ずしも完璧を意味しない。例えば、統計的に大きな目は魅力的とされるが、生物学的な目的からすれば、小さな目より優れているわけではない。したがって、美しさも完璧さも、対象を観察する視点や目的によって決まるのです。さらに、何が美しいとされるかは、世紀や文化によって明らかに変化していることも考慮に入れる必要があります。例えば、ファッションのトレンドやアートスタイルは常に変化しています。また、多様な意見があることから、万人が美しいと思うものは存在しないとも言えます。

# 英語ベースのLLMから日本語LLMへの適応

e.g., LlamaからのSwallowの構築



大量の文章データを集めてそれらが生成できるようになることで基盤となる知識を得る

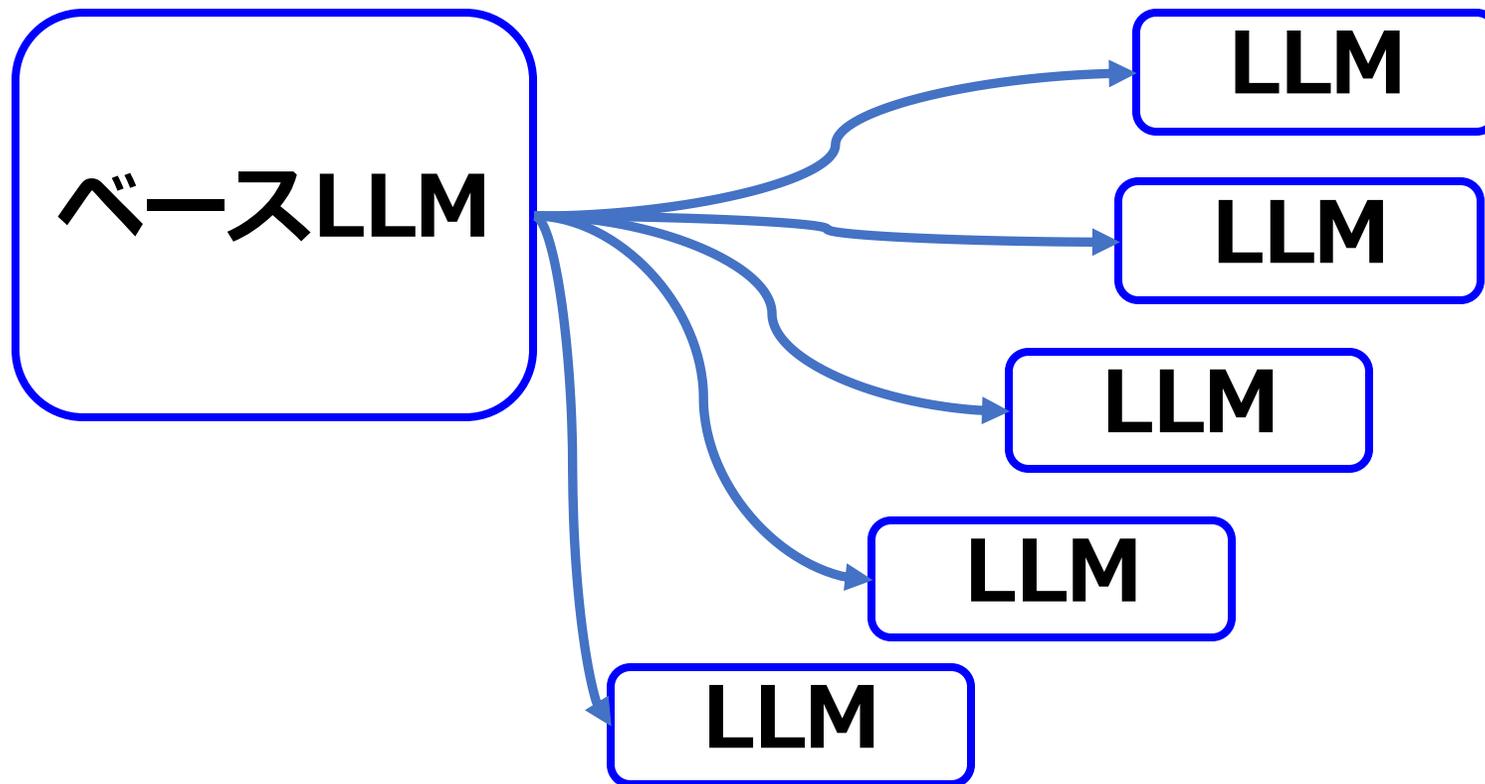
**日本語データ**で上と同じことを行う

**日本語**の指示-応答ペアデータを学習することにより、人間の指示に従ったり、質問に答えたりできるようになる

**(日本語)** 選好データで学習することで、攻撃的な応答や差別的な応答を控え、人間の価値観に合った応答ができるようになる

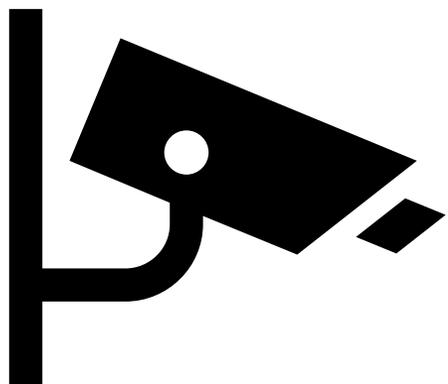
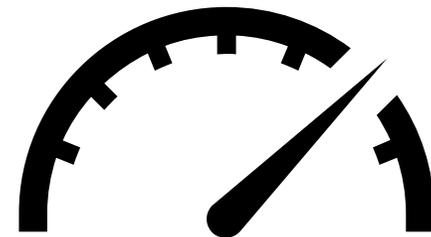
# 継続学習

- 既存モデルから継続して学習し新しいモデルを構築する
- 既存モデルの学習は非常に高コストなのに対し、継続学習は低コスト
- LLMは、実世界応用を考えると、分野特化モデルなど多くのモデルが必要になる
- 継続学習により、高い**可搬性**が実現できる（そのためのレシピが重要！）



# 目次

- LLMの仕組みと継続学習
- 実世界データの言語化
  - 数値データの言語化
  - リアルタイム性のある言語生成
- LLMの能力拡張



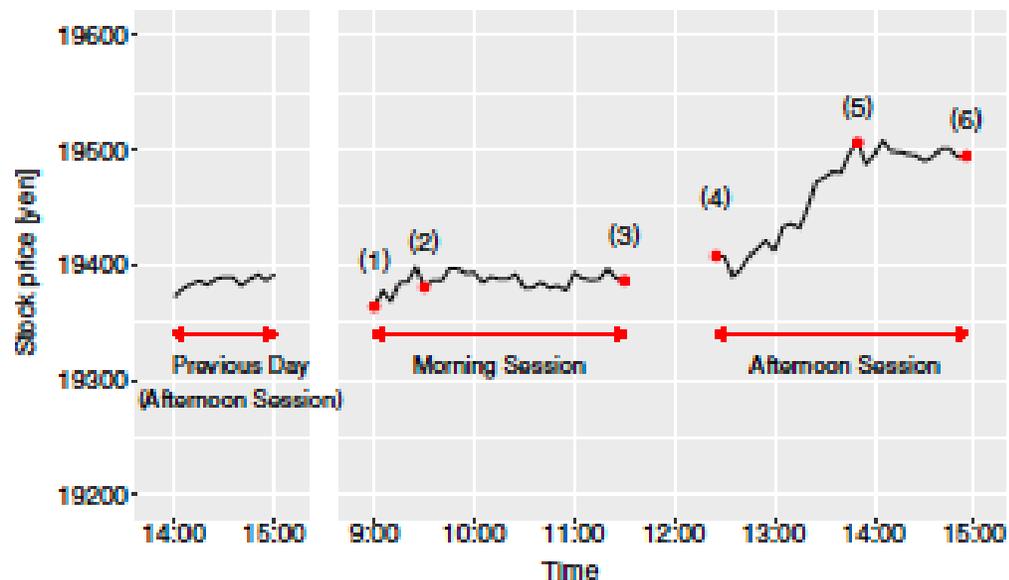
## LLMによる実世界の状態の把握

- 実世界応用のためには、その状態を把握する能力が必要
- 種々のセンサーからの数値が理解できる必要

非言語入力を処理できるのか？

# 数値データの言語化 株式市況コメントの生成

時系列数値データ (日経平均株価)



自動生成

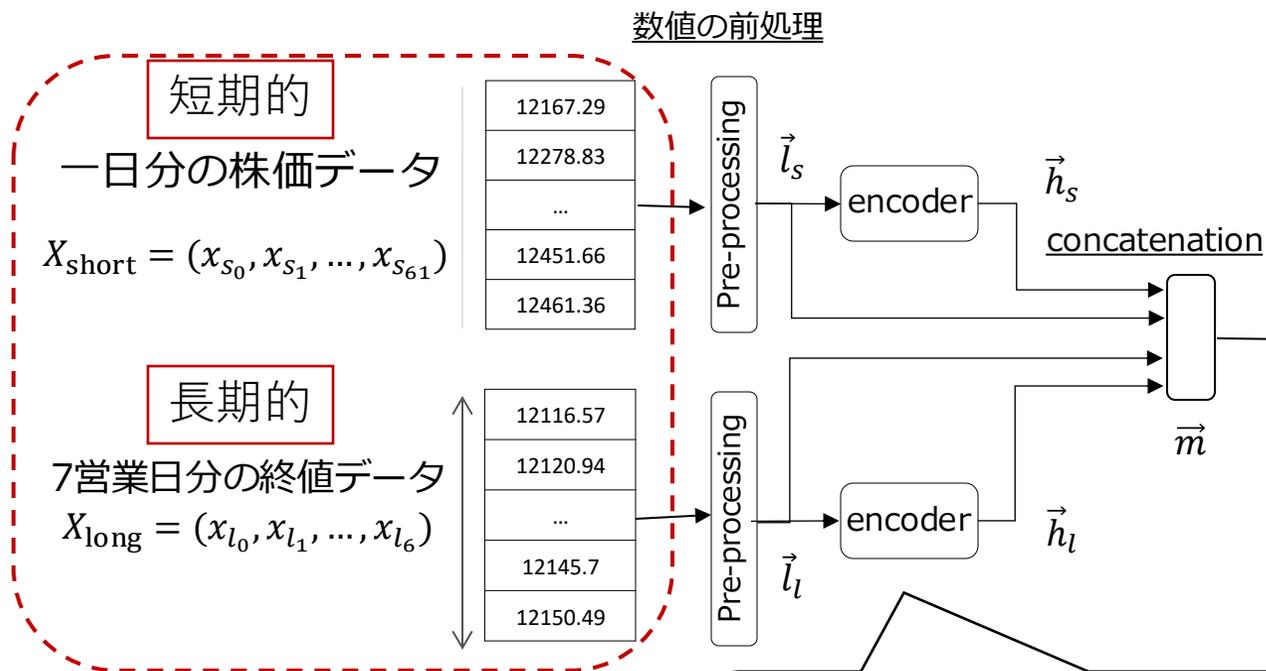
日経平均、大幅反発 大引けは  
1069円高の16022円

# 数値データの言語化 株式市況コメントの生成

[Murakami et al., 2017]

過去の履歴への言及

## (1) 時系列数値データのencode手法

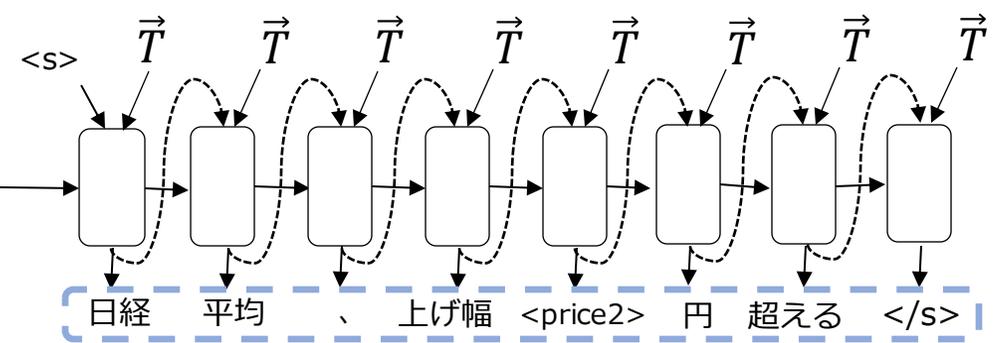


入力

- encoder
  - 多層パーセプトロン (MLP)
  - 畳み込みニューラルネットワーク (CNN)
  - 再帰的ニューラルネットワーク (RNN)

時間に依存した表現

## (2) テキスト生成時の時間帯の考慮 RNNLM



## (3) 数値の演算操作の推定 数値への言及

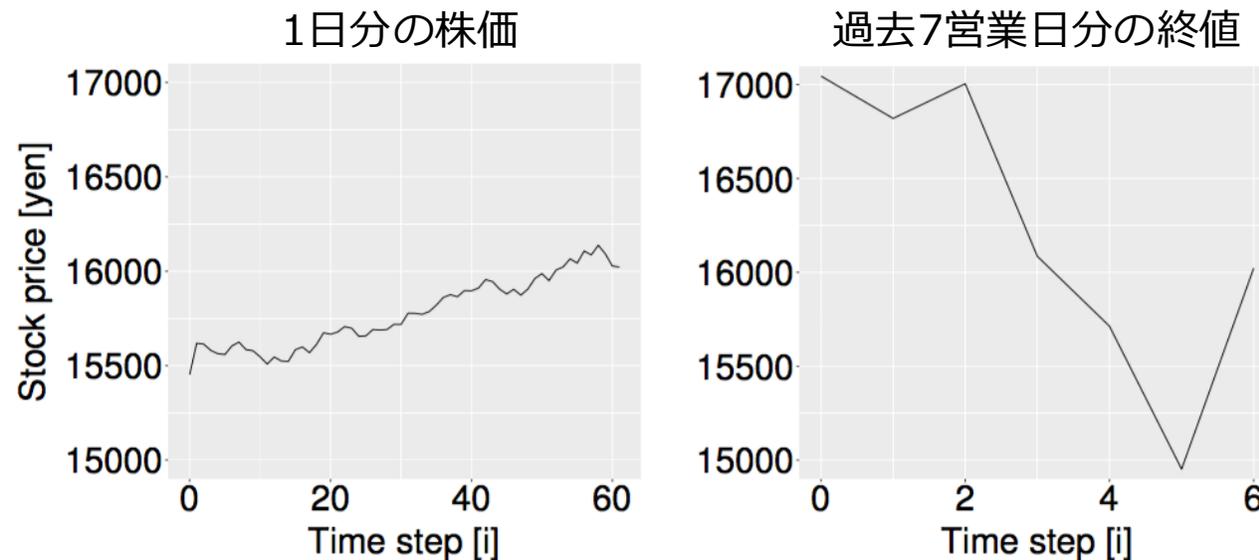
日経平均、上げ幅300円超える

出力

# 数値データの言語化 株式市況コメントの生成

## 出力例

テキストの配信時刻： 2016/2/15 15:00



日経平均、大幅反発 大引けは1069円高の16022円

## 数値データの言語化

# 株式市況コメントの生成

LLMではうまくいくのか？ [Kawarada et al., 2024a, 2024b]

プロンプト

Generate a market comment at the current time in the form of a <comment>market comment</comment>.

###

Input:

**Time:09:55 09:50 09:45 09:40 09:35 09:30 09:25 09:20 09:15 09:10 09:05 09:00**

**Nikkei225:17824.15 17840.80 17843.82 17834.70 17810.21 17843.83 17887.05 17872.57 17920.74 17929.57 17941.85  
17956.04**

Output:

<comment>Nikkei rebounds and closes up 102 yen to 19,494 yen </comment>

###

Input:

**Time:09:20 09:15 09:10 09:05 09:00**

**Nikkei225:16635.37 16764.97 16650.57 16596.51 16869.56**

Output:

コメント例

生成対象

# 数値データの言語化 株式市況コメントの生成

LLMではうまくいくのか？ [Kawarada et al., 2024a, 2024b]

プロンプト

```
Generate a market comment at the current time in the form of a <comment>market comment</comment>.
```

```
###
```

```
Input:
```

```
Time:09:55 09:50 09:45 09:40 09:35 09:30 09:25 09:20 09:15 09:10 09:05 09:00
```

```
Nikkei225:17824.15 17840.80 17843.82 17834.70 17810.21 17843.83 17887.05 17872.57 17920.74 17929.57 17941.85  
17956.04
```

```
Output:
```

```
<comment>Nikkei rebounds and closes up 102 yen to 19,494 yen </comment>
```

```
###
```

```
Input:
```

```
Time:09:20 09:15 09:10 09:05 09:00
```

```
Nikkei225:16635.37 16764.97 16650.57 16596.51 16869.56
```

```
Output:
```

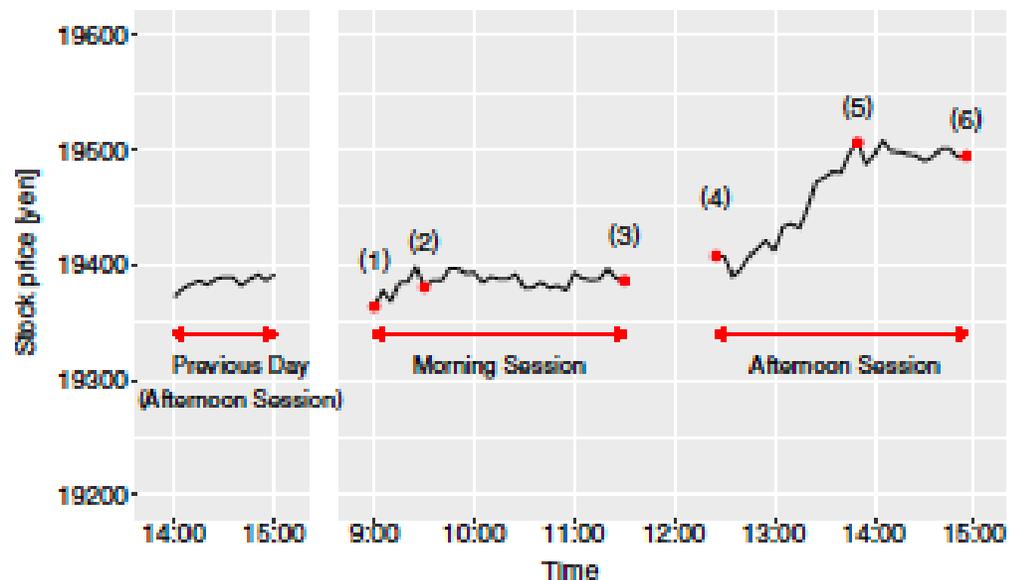
コメント例

生成対象

- 株価時系列が生成対象と類似したコメント例を選択することで性能向上
- 全体として、LLMの数値時系列解釈能力には改善の余地あり
- 数値時系列の解釈能力を正しく評価する必要性 [新井ら, 2024]

# 数値データの言語化 株式市況コメントの生成

時系列数値データ (日経平均株価)



自動生成

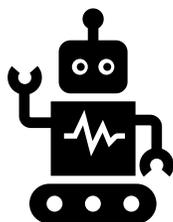
日経平均、大幅反発 大引けは  
1069円高の16022円

# 目次

- **LLMの仕組みと継続学習**
- **実世界データの言語化**
  - 数値データの言語化
  - リアルタイム性のある言語生成
- **LLMの能力拡張**

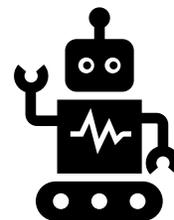
# リアルタイム性

- 実応用が進むにつれて、リアルタイム性が重要になってくる
- “応答速度”の問題だけでない。何を、いつ、どの程度の簡潔さで言うのか



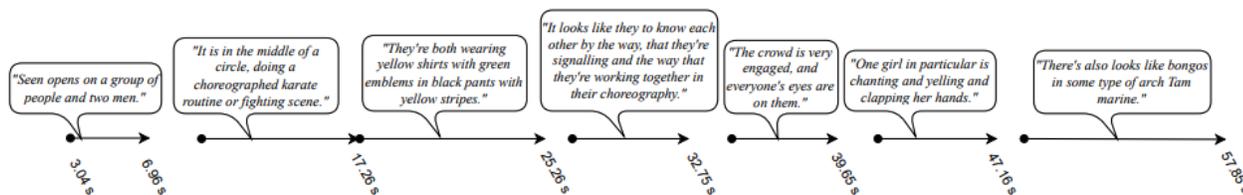
「前方に停車している車両があり、その向こう側においてこちらから見えない歩行者が、道路に飛び出そうとしているので注意が必要です」

or



「あぶない！」

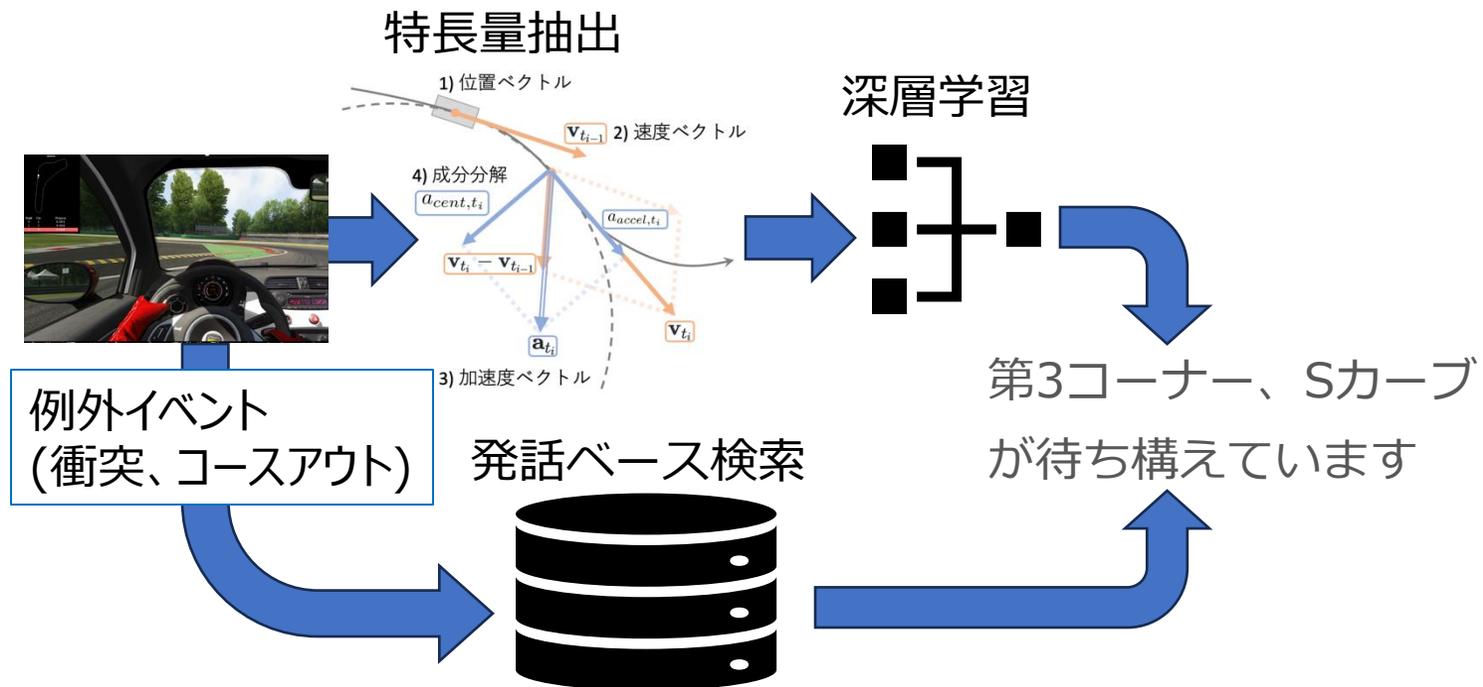
- リアルタイム性の考慮を必要とする研究課題：実況生成 [Marrese-Taylor et al., 2022]



# リアルタイム性のある数値からの言語生成課題 レーシングゲーム実況生成

## ■ レーシングゲーム実況生成

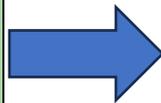
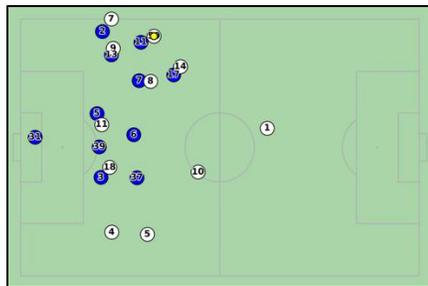
- 時系列数値データ(位置、ハンドル角度など)、メタ情報(サーキット情報など)から発話を生成
- 曲率**や**加速度**など、言語表現と接続する特徴量を利用
- 衝突などの**例外イベント**の処理



# リアルタイム性のある数値からの言語生成課題 トラッキングデータからのサッカー実況生成

## ■ サッカー実況生成

- トラッキングデータ(各時刻における選手およびボールの位置データ)から実況発話を生成
- メタ情報もプロンプトに追加してLLMによるin-context learning/fine-tuning



指示:  
以下に入力されるのは、あるシーンに対応するボールと選手の位置データです。  
このデータを基に、自然で流暢な日本語の実況を生成してください。  
生成された実況には、チーム名や選手名を適切に含め、試合の状況を的確に表現してください。

例:  
ここは、相手陣内深くまで入っていきましたけれども、一旦戻します  
中野ボールを追いかける  
しかし、体を使ってボールを奪いました山本です  
ファンソッコから、少し下がった位置に来た松岡

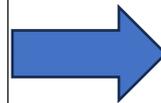
注意:  
・パスやプレーの流れを正確に反映してください。  
・敵味方を混同しないように注意してください。  
・プレーの場所や方向は特に注意してください。  
・実況1つのみを生成しそれ以外のことは何も言わないでください。  
・実況は、10文字から30文字程度かそれより短いものを生成してください。  
・Frame 1, 2, 3 と時系列になっていることに注意してください。

前半 21 分 16 秒  
スコア: 横浜FC 0-1 サンフレッチェ広島

Frame 1  
ボール: (0.32, 0.98) 速度: 3.27 m/s  
サンフレッチェ広島 (攻撃方向: 左 ユニフォーム: 白):  
東 俊希 (DF 24): (0.33, 0.98) 速度: 0.84 m/s (最もボールに近い選手)  
森島 司 (MF 10): (0.34, 0.78) 速度: 2.07 m/s  
エゼキエウ (MF 14): (0.24, 0.81) 速度: 1.41 m/s  
川辺 駿 (MF 8): (0.43, 0.82) 速度: 3.39 m/s  
今津 佑太 (DF 33): (0.52, 0.67) 速度: 0.59 m/s  
ドウグラス ヴィエイラ (FW 9): (0.23, 0.49) 速度: 1.54 m/s  
柴崎 晃誠 (MF 30): (0.27, 0.46) 速度: 2.27 m/s  
荒木 隼人 (DF 4): (0.48, 0.40) 速度: 0.31 m/s  
大迫 敬介 (GK 38): (0.75, 0.51) 速度: 0.32 m/s  
野上 結貴 (DF 2): (0.38, 0.18) 速度: 1.48 m/s  
浅野 雄也 (MF 29): (0.22, 0.15) 速度: 1.22 m/s

横浜FC (攻撃方向: 右 ユニフォーム: 水):  
ジャーマイン 良 (FW 14): (0.32, 0.88) 速度: 4.25 m/s  
安永 玲央 (MF 15): (0.28, 0.79) 速度: 0.93 m/s  
岩武 克弥 (DF 22): (0.21, 0.82) 速度: 0.70 m/s  
渡邊 千真 (FW 39): (0.38, 0.74) 速度: 1.88 m/s  
手塚 康平 (MF 30): (0.28, 0.62) 速度: 0.93 m/s  
田代 真一 (DF 5): (0.21, 0.63) 速度: 1.83 m/s  
中村 俊輔 (MF 10): (0.37, 0.56) 速度: 1.73 m/s  
韓 浩康 (DF 26): (0.21, 0.50) 速度: 1.44 m/s  
袴田 裕太郎 (DF 3): (0.21, 0.36) 速度: 0.98 m/s  
松尾 佑介 (FW 37): (0.31, 0.32) 速度: 0.81 m/s  
南 雄太 (GK 18): (0.04, 0.49) 速度: 0.52 m/s

Frame 2  
...



横浜FC、中村がキープして前を狙う。

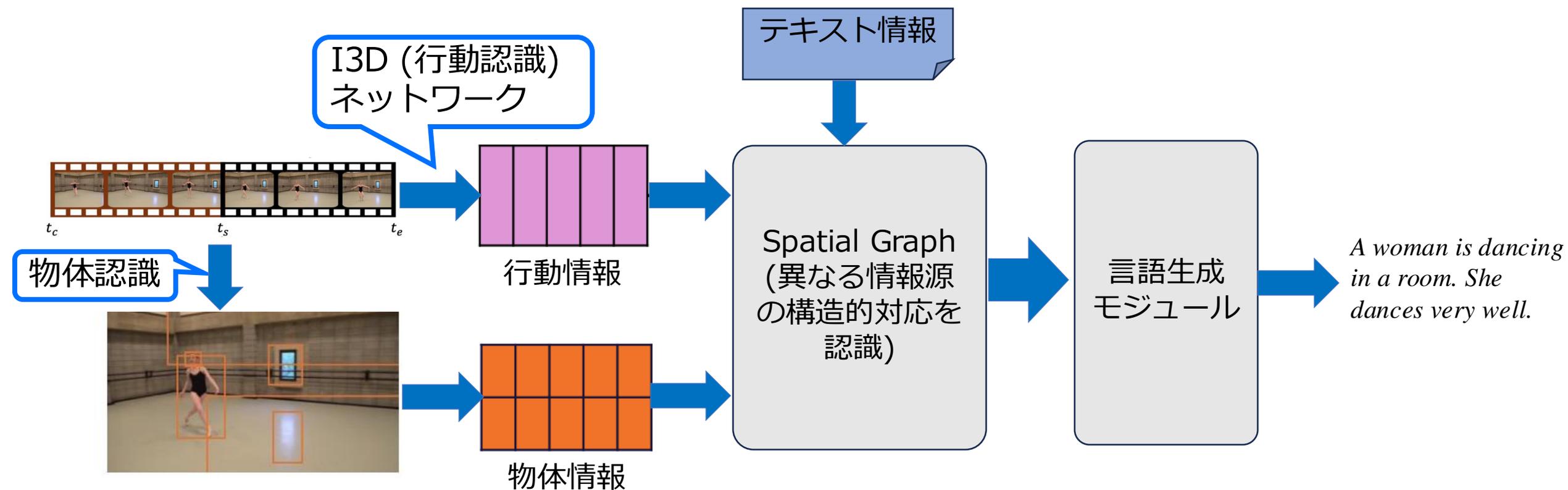
# 一般ドメイン動画実況生成

何が難しいのか？

- 入力は動画のみ
- 言及すべき事柄が広範囲



動画内の物体や行動に着目した情報を抽出  
(e.g., 誰が何をしている?)



# 目次

- **LLMの仕組みと継続学習**
- **実世界データの言語化**
  - 数値データの言語化
  - リアルタイム性のある言語生成
- **LLMの能力拡張**

**あなた:** 掛川市に隣接する自治体で一番面積が大きいものは何ですか？

目的達成のためにまず何をするか考えている

**LLM:** まずは掛川市に隣接する自治体を調べる必要があります

**検索** "掛川市 隣接"

**検索結果.** "掛川市は静岡県西部に位置し、袋井市、島田市、菊川市、御前崎市、周智郡森町に隣接している。江戸時代には掛川宿が東海道..."

**LLM:** 掛川市に隣接する自治体として森町です。次に、袋井市の面積を調べる必要があります。

外部ツール(検索エンジン)へアクセス

**検索** "袋井市 面積"

**検索結果.** "袋井市は静岡県西部に位置する面積108.33平方キロメートルの市である..."

**LLM:** 次に、島田市の面積を調べる必要があります。

**検索** "島田市 面積"

**検索結果.** "島田市は面積315.70平方キロメートルであり..."

**LLM:** 次に、菊川市の面積を調べる必要があります。

**検索** "菊川市 面積"

**検索結果.** "菊川市は面積94.19平方キロメートルであり..."

**LLM:** 次に、御前崎市の面積を調べる必要があります。

**検索** "御前崎市 面積"

**検索結果.** "御前崎市は面積65.57平方キロメートルであり..."

**LLM:** 次に、周智郡森町の面積を調べる必要があります。

**検索** "周智郡森町面積"

**検索結果.** "周智郡森町は面積133.84平方キロメートルであり..."

**LLM:** これらの面積を比較すると、315.70平方キロメートルが一番大きく、つまり、掛川市に隣接する自治体で一番面積が大きいものは島田市であることがわかります。

# 大規模言語モデルの思考力 x 外部ツール

<https://arxiv.org/html/2404.04249v1>

- 外部ツールとしてロボットを使えば、考えて行動するロボットになる

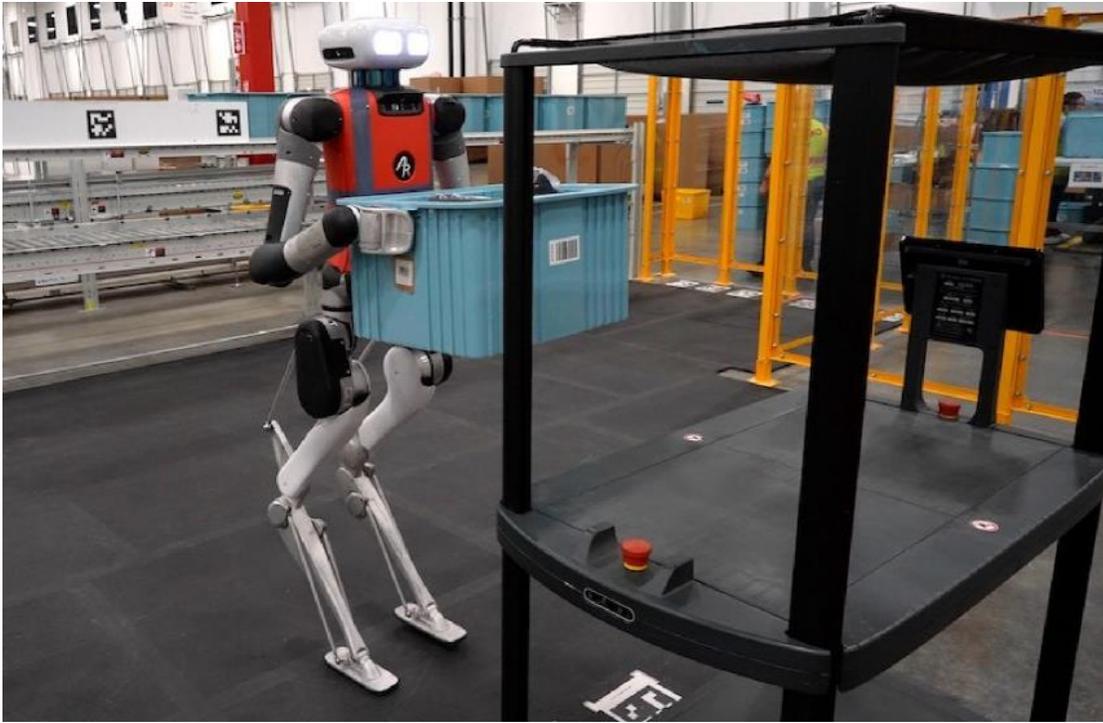


Figure 4: Digit is moving full totes from mobile robots to a conveyor. Credit: Agility Robotics.

<https://arxiv.org/pdf/2402.01246v2>

- 外部ツールとして自動車を使えば、賢い自動運転が実現できる

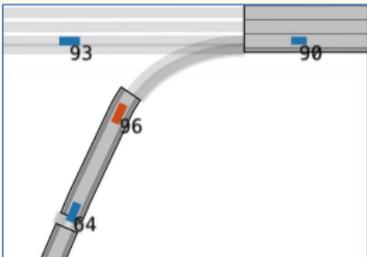
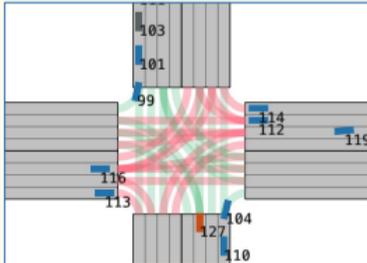
Ramp	Intersection
<p><b>Prompt:</b> <b>Description</b> [...]<b>Next lane description:</b> The type of next road is junction without a traffic light. The stop line at the junction is 5.775 meters ahead of you. [...] <b>Nearby vehicles description:</b> - Vehicle '93' is driving on the same junction as you and will have collision with you. [...] <b>Navigation</b> Passing through the junction ahead. <b>BEV:</b></p> 	<p><b>Prompt:</b> <b>Description</b> [...]<b>Next lane description:</b> The type of next road is junction with a traffic light. The stop line at the junction is 2.228 meters ahead of you. The traffic light is currently green. <b>Your current state:</b> [...]<b>speed is 0.887 m/s, acceleration is -1.675 m/s^2[...]</b> <b>Navigation</b> Passing through the junction ahead. <b>BEV:</b></p> 
<p><b>Driver Agent:</b> First, there is an impending collision with Vehicle '93' in the same junction as me. [...]Third, the stop line at the junction is only 5.775 meters ahead of me, which is less than the safe distance to halt for an approaching junction. [...]To prevent collision and align with the general rules of driving which states that vehicles already in the junction have the right to pass first, deceleration is the best decision to allow Vehicle '93' enough time to clear the junction. <b>Response to user: Decelerate</b></p>	<p><b>Driver Agent:</b> [...]<b>I'm driving at 0.887 m/s while the speed limit is 13.89 m/s, which means I'm well below the speed limit. Looking at my proximity to the junction, I'm 2.228 meters away and the traffic light at the junction is green. [...]</b> The optimal action would be to accelerate to a suitable speed. <b>This speed should be within the speed limit and allow me to pass the junction while the light is still green.</b> <b>Response to user: Accelerate</b></p>

Fig. 3. Prompts and driving decisions for critical scenarios. Green highlights the right answer from the GPT-4.

# 参考文献

- Murakami et al. “Learning to Generate Market Comments from Stock Prices”. *ACL*. 2017.
- Aoki et al. ”Generating Market Comments Referring to External Resources”. *INLG*. 2018.
- Ishigaki et al., “Generating racing game commentary from vision, language, and structured data”. *INLG*. 2021.
- Tatsuya Ishigaki, Goran Topić, Ichiro Kobayashi, Yusuke Miyao, Hiroya Takamura. “Audio Commentary System for Real-Time Racing Game Play”. *INLG*, 2023.
- Kawarada et al. “Prompting for Numerical Sequences: A Case Study on Market Comment Generation”. *LREC-COLING*. 2023.
- Kawarada et al. “Few-shot Selections for Numerical Time Series Data-to-Text”. *EMNLP, Findings*. 2024.
- 染谷、石垣、高村、 “トラッキングデータからのサッカー実況生成”, 言語処理学会年次大会, 2025.
- Erica Shimomoto, Edison Marrese-Taylor, Ichiro Kobayashi, Hiroya Takamura, Yusuke Miyao. “Introducing spatial information and a novel evaluation scheme for open-domain live commentary generation”. *Findings-EMNLP*, 2024.