

# 大規模言語モデルと海馬モデルによるホームサービスロボット向け 知識獲得システム

水谷 彰伸<sup>†</sup> 田中悠一朗<sup>††</sup> 田向 権<sup>†,††</sup>

立野 勝巳<sup>†,††</sup> 野村 修<sup>†,††</sup> 森江 隆<sup>†,††</sup>

<sup>†</sup>九州工業大学大学院生命体工学研究科 〒808-0196 福岡県北九州市若松区ひびきの2-4

<sup>††</sup>九州工業大学ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター

〒808-0196 福岡県北九州市若松区ひびきの2-4

E-mail: <sup>†</sup>{mizutani.akinobu515}@mail.kyutech.jp,

<sup>††</sup>{tanaka-yuichiro,tamukoh,tateno,nomura,morie}@brain.kyutech.ac.jp

**あらまし** 家庭内で人間の生活を支援することが求められるホームサービスロボットに必要な知識には、常識に相当する共通の知識とロボットが各家庭での経験を通じて得る固有の知識がある。本稿では、大規模言語モデルを用いて取得した共通の知識をもとに固有の知識を海馬モデルに記憶しロボットの行動生成を行うシステムを提案する。

**キーワード** 海馬, 脳型人工知能, エピソード記憶, 大規模言語モデル, ホームサービスロボット

## A knowledge acquisition system with a large language model and a hippocampus model for home service robots

Akinobu MIZUTANI<sup>†</sup>, Yuichiro TANAKA<sup>††</sup>, Hakaru TAMUKOH<sup>†,††</sup>,

Katsumi TATENO<sup>†,††</sup>, Osamu NOMURA<sup>†,††</sup>, and Takashi MORIE<sup>†,††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

2-4 Hibikino, Wakamatsu, Kitakyushu, Fukuoka 808-0196 Japan

<sup>††</sup> Research Center for Neuromorphic AI Hardware, Kyushu Institute of Technology

2-4 Hibikino, Wakamatsu, Kitakyushu, Fukuoka 808-0196 Japan

E-mail: <sup>†</sup>{mizutani.akinobu515}@mail.kyutech.jp,

<sup>††</sup>{tanaka-yuichiro,tamukoh,tateno,nomura,morie}@brain.kyutech.ac.jp

**Abstract** A home service robot, which is required to support human life in the home, needs two types of knowledge: common knowledge, which corresponds to common sense, and specific knowledge, which the robot acquires through its experience in each home. In this paper, we propose a system that stores specific knowledge in a hippocampal model based on common knowledge acquired using a large-scale language model, and generates robot actions.

**Key words** hippocampus, brain-inspired artificial intelligence, episodic memory, large language model, home service robot

### 1. はじめに

家庭内で私たちの生活を支援するホームサービスロボットの開発が進められている。ホームサービスロボットに求められるタスクの例として、ユーザーから頼まれたものを探索し、把持して運搬する、部屋の片付けや食事の支度をすることが挙げられ、家庭内で自律的に動作する必要がある。ホームサービスロボットがタスクを遂行するために必要な知識には、多くのロボット間で共有可能な「共通の知識」と家庭ごとに異なる「固

有の知識」がある。「共通の知識」には物体を判別するための知識、ユーザーの発話を聞き取るための知識などがある。これらの知識は深層学習により獲得することができ、物体を識別するための YOLO [1] や GroundingDINO [2], 発話を聞き取るための Whisper [3], 自然言語から行動を生成するシステムなどがロボットに組み込まれている [4], [5]. また、これらのロボットの性能は RoboCup@Home [6] や World Robot Challenge [7] などの競技会にて評価され、ホームサービスロボットの社会実装に向けた開発を促進している。

一方、固有の知識は家族の好みや部屋のレイアウトなどが相当する。これらの固有の知識は家庭ごとに異なるゆえ事前に大量のデータを用いて学習することは困難であり、ユーザーとのやり取りや家庭内での経験を通じてロボット自ら獲得する必要がある。こうした固有の知識の獲得は、ディープラーニングとは学習パラダイムが異なる。固有の知識獲得のアプローチとして、記憶を司る海馬を中心とした脳機能を模倣した人工知能（本稿では海馬モデルと呼称する）による手法が提案されている [8]~[10]。固有の知識を獲得するためにはロボットの経験のみでなく、一般常識に相当する共通の知識を用いることで、より知識の獲得を効率化できる場面がある。例えば、ロボットが新たに水が置かれている場所に関する知識を獲得する際、初めからユーザーに教示してもらおうのではなく、まず初めに一般的に水が置かれていそうな場所の探索を行うことで、ロボットが人間から教示を受ける頻度を減らすことができると考える。本稿では、大規模言語モデルを大量のテキストデータを通じて世の中の常識に相当する共通の知識を獲得したモデルと捉え、このモデルと固有の知識を取り扱う海馬モデルを組みわせることで、既存の海馬モデルの機能を拡張する仕組みを提案する。

## 2. 関連研究

### 2.1 エピソード記憶

エピソード記憶は古くから「what」に相当する経験の内容、「where」と「when」に相当する経験した場所と時間に関連する記憶であると定義されている [11]、また、経験した内容そのものつまり「what」だけでなく、出来事を経験した時の周囲の環境すなわち時間・空間的文脈、その時の自己の身体的・心理的状態などの付随情報が含まれているとも定義されている [12], [13]。

### 2.2 大規模言語モデル

Google 社の BERT [14] や OpenAI 社の GPT [15], [16] など Transformer を用いた大規模言語モデルが翻訳や対話などの分野で活用されている。例えば、OpenAI 社の GPT-3 はウェブから収集したデータを用いて、ある単語に続く最も相応しい単語を予測するように学習されている。ChatGPT に代表されるように、ユーザーとの自然な対話ができるほか翻訳や要約などの自然言語処理を行うことができる。さらに、GPT は世の中の一般的な知識を有しているとの見方もある [17]。

## 3. 先行研究

著者らは、ロボットが家庭内で固有の知識を獲得し活用することを旨とした海馬モデルを提案した [18]。このモデルはオブジェクトに紐づくロボットの行動から得られるエピソード記憶をロボットの経験をもとに蓄積するもので、場所に紐づくエピソードを形成する短期記憶部、ロボットがタスクの遂行に成功して得られる正のエピソードやロボットがタスクの遂行に失敗して得られる負のエピソードを記憶する長期記憶部からなる。このモデルを用いることで、ロボットはタスクの遂行に成功するたびにより鮮明な記憶を獲得し繰り返し実行することができる。タスクの遂行に失敗した場合はその経験を鮮明に記憶し、同じ失敗を繰り返さないような行動を生成することができる。

たとえば、ロボットはペットボトルの水が保管されている場所に関する知識を経験をもとに獲得し、同じ失敗を繰り返さないように水をユーザーの元に届けることができるようになる。このモデルにおいて、ロボットが新しいオブジェクトに対する記憶を獲得する際、ユーザーに場所を教えてもらう必要がある。例えば、コーヒー豆の保管場所に関する知識を獲得していないロボットがユーザーから「コーヒー豆をとってきて」と頼まれた場面において、ロボットはユーザーに対し、コーヒー豆の置かれている正確な場所を尋ねる必要がある。

## 4. 提案モデル

本稿ではロボットが場所に関する新たなエピソード記憶を獲得する際、ユーザーに教示を求める前に、共通の知識を利用してオブジェクトの探索を試みるモデルを提案する。

共通の知識を大規模言語モデルから引き出し、その知識を活用して行動し、タスクの遂行に成功した場合はその知識を固有の知識として獲得する仕組みを導入する。これにより例えば、コーヒー豆の保管場所に関する知識を獲得していないロボットがユーザーからコーヒー豆をとってくるように頼まれた際、常識的に考える場所の候補を推測し行動し、固有の知識の獲得する。

### 4.1 共通の知識の引き出し

世の中の膨大なテキスト情報から知識を獲得した大規模言語モデルを共通の知識を保存したモデルとみなし、このモデルから常識に相当する知識を引き出す仕組みについて説明する。

大規模言語モデルに以下のようなプロンプトをタスクの説明として与え、一般的にオブジェクトが保管されていると考えられる場所の候補地を得る。

プロンプト

```
You are an assistant in a home. Your house has a ROOM_NAME. The ROOM_NAME.LIST has LOCATION_NAME.LIST... Tell the user exactly three possible exact location names in a given room. You do not need to explain the reason. You do not need to explain the reason. The answer format is '1: LOCATION_NAME [ROOM_NAME], 2: LOCATION_NAME [ROOM_NAME], 3: LOCATION_NAME [ROOM_NAME]'. Just reply to the list in a given format.
```

モデルを搭載したロボットは部屋の地図および部屋に置かれている家具の名称や位置はすべて正確に把握しているものとし、これらの情報を大規模言語モデルへ与える（上記プロンプトのうち ROOM\_NAME.LIST や LOCATION\_NAME.LIST が実際の部屋の名称や家具名に置き換わる。）知識を引き出す際は、オブジェクト情報を Where can I find TARGET.OBJECT?として与えることで、そのオブジェクトの保管場所の候補を3つ取り出す。実行時には TARGET.OBJECT が目的のオブジェクト名に置き換わる。オブジェクトが置かれている場所に関する情報を推定した際の理由は不要であるため、指定数の場所名のみを出力するよう指示するプロンプトを加えた。

### 4.2 海馬モデルとの組み合わせ

ユーザーにオブジェクトを指定されたロボットは、まず海馬

表 1 地図中の番号と家具名の対応

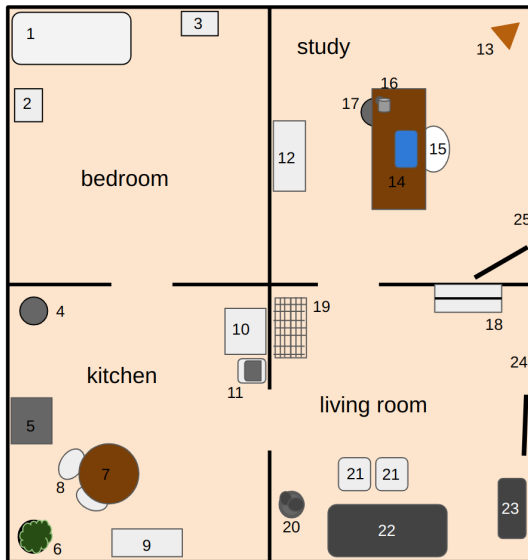


図 1 RoboCup 2023 @Home league の部屋のレイアウト

モデルから固有の知識を取り出すことを試みる。すでにオブジェクトに紐づく知識を獲得している場合は、その知識に基づいて行動する。オブジェクトに紐づく知識を獲得していない場合、大規模言語モデルより常識を得たロボットは候補地を順に巡り、目的オブジェクトの探索を試みる。候補地にて目的オブジェクトを見つめることができた場合、その地点からユーザーの場所やユーザーに指定された場所などの目標地点までの経路を海馬モデルに記憶する。いずれの候補地点からも目的オブジェクトを見つめることができなかった場合は、大規模言語モデルから得られた知識を元に探索することを諦め、ユーザーにオブジェクトが保管されている場所について尋ね、タスクを遂行し、候補地にて目的オブジェクトを見つめることができた場合と同様、タスクを遂行して得られた知識を海馬モデルに蓄積する。

## 5. 実験

RoboCup 2023 Bordeaux [19] で使用された部屋のレイアウトやオブジェクトを例に、提案モデルの評価実験を行った。

図 1 に RoboCup 2023 @Home league で使用された部屋のレイアウト図を示す。地図中の番号と家具名の対応を表 1 に、使用されたオブジェクト一覧を 2 に示す。なお、オブジェクトリスト中では Living room を Living と省略して表記する。

### 5.1 RoboCup

実験では自律移動型ロボットによる国際的な競技会、RoboCup 2023 @Home league で指定されたオブジェクトリストや環境を参考にした。競技において、オブジェクトの位置は表 1 のようにあらかじめ決められており、ロボットは競技開始前にオブジェクト名や保管場所を把握し、タスクを遂行する。

実験においてもロボットはあらかじめ部屋の地図を取得していると仮定し、大規模言語モデルに以下に示す部屋名と家具名

| 番号 | 部屋名          | 家具名           | 番号          | 部屋名         | 家具名          |
|----|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| 1  |              | bed           | 12          |             | cabinet      |
| 2  | Bedroom      | bedside table | 13          |             | coatrack     |
| 3  |              | shelf         | 14          | Study       | desk         |
| 4  |              | trashbin      | 15          |             | armchair     |
| 5  |              | dishwasher    | 16          |             | desk lamp    |
| 6  |              | potted plant  | 17          |             | waste basket |
| 7  | Kitchen      | kitchen table | 18          |             | TV stand     |
| 8  |              | chairs        | 19          | Living room | storage rack |
| 9  | pantry       | 20            | lamp        |             |              |
| 10 | refrigerator | 21            | side tables |             |              |
| 11 | sink         | 22            | sofa        |             |              |
|    |              |               | 23          |             | bookshelf    |

表 2 競技会で使用されたオブジェクト一覧

| Food: Pantry [Kitchen]          | Drinks: Cabinet [Study] | Toys: Bookshelf [Living]           |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 tuna                          | 15 red wine             | 30 tennis ball                     |
| 2 tomato soup                   | 16 juice pack           | 31 soccer ball                     |
| 3 spam                          | 17 cola                 | 32 rubiks cube                     |
| 4 mustard                       | 18 tropical juice       | 33 dice                            |
| 5 strawberry jello              | 19 milk                 | 34 baseball                        |
| 6 chocolate jello               | 20 iced tea             | Snacks: Side tables [Living]       |
| 7 coffee grounds                | 21 orange juice         | 35 pringles                        |
| 8 sugar                         | Fruits: Desk [Study]    | 36 cornflakes                      |
| Dishes: Kitchen table [Kitchen] | 22 pear                 | 37 cheezit                         |
| 9 spoon                         | 23 plum                 | Cleaning supplies: Shelf [Bedroom] |
| 10 plate                        | 24 peach                | 38 sponge                          |
| 11 cup                          | 25 lemon                | 39 cleanser                        |
| 12 fork                         | 26 orange               |                                    |
| 13 bowl                         | 27 strawberry           |                                    |
| 14 knife                        | 28 banana               |                                    |
|                                 | 29 apple                |                                    |

のリストを事前知識として与えた。使用した大規模言語モデルは OpenAI 社の GPT-4 [16] である。

Your house has a bedroom, kitchen, study and living room. The bed room has bed, bedside table, and shelf. The Kitchen has trashbin, dishwasher, potted plant, kitchen table, chairs, pantry, refrigerator, and sink. The study has cabinet, coatrack, desk, armchair, desk lamp, and waste basket. The living room has tv stand, storage rack, lamp, side tables, sofa, and bookshelf.

### 5.2 実験 1

競技会で用いられたオブジェクトリストを使用し、それぞれの保管場所の候補を大規模言語モデルから引き出せるかどうか、またその妥当性について評価した。

大規模言語モデルにオブジェクトリスト内のオブジェクトを順に入れ、候補地を 3 つ取り出した。また、RoboCup 2023 で使用されたオブジェクトの配置位置を家庭環境にて想定される物体の配置位置の一例とし、取り出された候補地と競技会で用いられた配置位置を比較した。結果を表 3 に示す。候補地と競技会での配置位置が一致した個所は太字で表す。なお、家具名 [部屋名] のように場所情報を表記した。

競技会で指定された保管場所は Food カテゴリ (ID: 1-8)、Dishes カテゴリ (ID: 9-14) のオブジェクトの推定結果 3 つのうちいずれかと一致した。そのほかの推定結果は競技会で指定された保管場所と一致しなかったが、Drinks, Fruits および Snaks の食品系カテゴリはすべてキッチンの家具が推定された。Toys および Cleaning supplies カテゴリの推定された部屋にはばらつきが生じていた。

表 3 推定された保管場所

| ID | オブジェクト名          | 候補 1                           | 候補 2                           | 候補 3                           | 保管場所                      |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1  | tuna             | Refrigerator [Kitchen]         | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]          |
| 2  | tomato soup      | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Kitchen Table [Kitchen]        | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]          |
| 3  | spam             | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]          |
| 4  | mustard          | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]          |
| 5  | strawberry jello | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]          |
| 6  | chocolate jello  | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]          |
| 7  | coffee grounds   | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Kitchen Table [Kitchen]        | Sink [Kitchen]                 | Pantry [Kitchen]          |
| 8  | sugar            | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Kitchen Table [Kitchen]        | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]          |
| 9  | spoon            | Dishwasher [Kitchen]           | Pantry [Kitchen]               | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Kitchen Table [Kitchen]   |
| 10 | plate            | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Pantry [Kitchen]               | Sink [Kitchen]                 | Kitchen Table [Kitchen]   |
| 11 | cup              | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Sink [Kitchen]                 | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]   |
| 12 | fork             | Dishwasher [Kitchen]           | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Sink [Kitchen]                 | Kitchen Table [Kitchen]   |
| 13 | bowl             | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Pantry [Kitchen]               | Dishwasher [Kitchen]           | Kitchen Table [Kitchen]   |
| 14 | knife            | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Sink [Kitchen]                 | Dishwasher [Kitchen]           | Kitchen Table [Kitchen]   |
| 15 | red wine         | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 16 | juice pack       | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 17 | cola             | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 18 | tropical juice   | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 19 | milk             | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 20 | iced tea         | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 21 | orange juice     | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Cabinet [Study]           |
| 22 | pear             | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Desk [Study]              |
| 23 | plum             | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Desk [Study]              |
| 24 | peach            | Bedside Table [Bedroom]        | Desk [Study]                   | Kitchen Table [Kitchen]        | Desk [Study]              |
| 25 | lemon            | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Desk [Study]              |
| 26 | orange           | Refrigerator [Kitchen]         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Desk [Study]              |
| 27 | strawberry       | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Desk [Study]              |
| 28 | banana           | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Desk [Study]              |
| 29 | apple            | Kitchen Table [Kitchen]        | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Desk [Study]              |
| 30 | tennis ball      | Bedside Table [Bedroom]        | Storage Rack [Living Room]     | Desk [Study]                   | Bookshelf [Living room]   |
| 31 | soccer ball      | Soccer ball [Bedroom]          | Soccer ball [Study]            | Soccer ball [Living Room]      | Bookshelf [Living room]   |
| 32 | rubiks cube      | Shelf [Bedroom]                | Storage Rack [Living Room]     | Cabinet [Study]                | Bookshelf [Living room]   |
| 33 | dice             | Dishwasher [Kitchen]           | Cabinet [Study]                | Storage Rack [Living Room]     | Bookshelf [Living room]   |
| 34 | baseball         | Shelf [Bedroom]                | Cabinet [Study]                | Storage Rack [Living Room]     | Bookshelf [Living room]   |
| 35 | pringles         | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Refrigerator [Kitchen]         | Side tables [Living room] |
| 36 | cornflakes       | Pantry [Kitchen]               | Kitchen Table [Kitchen]        | Refrigerator [Kitchen]         | Side tables [Living room] |
| 37 | cheezit          | Pantry [Kitchen]               | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]        | Side tables [Living room] |
| 38 | sponge           | Sink [Kitchen]                 | Dishwasher [Kitchen]           | Pantry [Kitchen]               | Shelf [Bedroom]           |
| 39 | cleanser         | Sink [Kitchen]                 | Pantry [Kitchen]               | Cabinet [Study]                | Shelf [Bedroom]           |

### 5.3 実験 2

共通の知識を引き出すための大規模言語モデルと固有の知識を記憶するための海馬モデルの組み合わせを模した実験を行った。

ユーザーから頼まれたオブジェクトをロボットが部屋の中から持ってくるという状況を想定し、ロボットの移動やタスクの遂行に要するコストを数値として表現し簡易的な検証を行った。なお、部屋の中での物体の保管場所は一意に定められており、ロボットは部屋の地図を取得しており確実に目的地までの移動や物体の認識・把持ができると仮定する。

共通の知識のみを活用するシステム、固有の知識のみを活用するシステムおよび共通の知識と固有の知識を組み合わせで活用するシステムを比較する。共通の知識のみを活用するロボットは、ユーザーから取得した目的のオブジェクト情報を大規模言語モデルに与え、出力された候補地を順番に巡りオブジェクトが見つかったらそのオブジェクトを持って再びユーザーの元へ移動する。これを3回繰り返す。物体が見つからなかった場合はユーザーに教示してもらい、固有の知識のみを活用するモデルは、ロボットが経験したことのない物体を要求された場合はまずユーザーに保管場所を教示してもらい、海馬モデルに経路情報と共に記憶する。すでに経験したことがあるオブジェクト情報が与えられた場合は、その記憶を想起し行動する。共通の知識と固有の知識を組み合わせる、本稿での提案モデルはロボットが経験したことのないオブジェクト情報が与えられた場

合、まず初めに共通の知識を活用し候補地を取得し、その候補地でのオブジェクトの探索を試みる。候補地でオブジェクトが見つかった場合はその場所および経路情報を海馬モデルに記憶する。オブジェクトが見つからなかった場合はユーザーに保管場所を教示してもらい、その時の経験を海馬モデルに記憶する。すでに経験したことがあるオブジェクト情報が与えられた場合は、その記憶を想起し行動する。

本実験では、ユーザーの場所から目的地までの移動にかかるコストを一律で1、ユーザーに保管場所の教示を依頼するコストを10と設定した。ユーザーに場所を教示してもらうためには、ユーザーがロボットとなんらかのインタラクションを取る必要がある。ホームサービスロボットには極力ユーザーに助けを求めることなく自律的に動作することが求められるため、ユーザーに教示してもらう際のコスト（ペナルティ）を大きく設定した。

本実験で与えたオブジェクトの順番と大規模言語モデルが出力した保管先一覧および実際の保管先を表4に示す。各オブジェクトを探索し運搬するために必要としたコストおよびその合計を表5に示す。

コストの合計は、共通の知識のみを用いた場合が最も大きく、共通の知識と固有の知識を組み合わせた場合が最も低くなった。また、モデルへ問い合わせるたびに、出力される候補地の順番が異なった。例えば、Spoonの候補地1は問い合わせるたびにDishwasher, Kitchen table, Dishwasherと変化した。

表 4 与えたオブジェクトの順番と大規模言語モデルの出力

| 対象オブジェクト    | 候補地 1                          | 候補地 2                          | 候補地 3                      | 保管場所                    |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Tuna        | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]    | Pantry [Kitchen]        |
| Spoon       | Dishwasher [Kitchen]           | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Pantry [Kitchen]           | Kitchen table [Kitchen] |
| Tennis ball | Bedside table [Bedroom]        | Storage Rack [Living Room]     | Desk [Study]               | Bookshelf [Living room] |
| Spoon       | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Dishwasher [Kitchen]           | Pantry [Kitchen]           | Kitchen table [Kitchen] |
| Sponge      | Sink [Kitchen]                 | Dishwasher [Kitchen]           | Storage Rack [Living Room] | Shelf [Bedroom]         |
| Tuna        | <b>Pantry [Kitchen]</b>        | Refrigerator [Kitchen]         | Kitchen Table [Kitchen]    | Pantry [Kitchen]        |
| Spoon       | Dishwasher [Kitchen]           | <b>Kitchen Table [Kitchen]</b> | Pantry [Kitchen]           | Kitchen table [Kitchen] |
| Sponge      | Sink [Kitchen]                 | Dishwasher [Kitchen]           | Storage Rack [Living Room] | Shelf [Bedroom]         |

表 5 モデルごとのコスト比較

| 回数      | 1  | 2  | 3  | 4 | 5  | 6 | 7 | 8  | 合計 |
|---------|----|----|----|---|----|---|---|----|----|
| 共通のみ    | 2  | 4  | 18 | 2 | 18 | 2 | 4 | 18 | 68 |
| 固有のみ    | 12 | 12 | 12 | 2 | 12 | 2 | 2 | 2  | 56 |
| 共通 + 固有 | 2  | 4  | 18 | 2 | 18 | 2 | 2 | 2  | 50 |

表 6 Spoon を 10 回連続でモデルに与えた結果

| 回数 | 候補 1                    | 候補 2                    | 候補 3             |
|----|-------------------------|-------------------------|------------------|
| 1  | Dishwasher [Kitchen]    | Kitchen Table [Kitchen] | Sink [Kitchen]   |
| 2  | Dishwasher [Kitchen]    | Kitchen Table [Kitchen] | Sink [Kitchen]   |
| 3  | Kitchen Table [Kitchen] | Dishwasher [Kitchen]    | Pantry [Kitchen] |
| 4  | Dishwasher [Kitchen]    | Kitchen Table [Kitchen] | Sink [Kitchen]   |
| 5  | Kitchen Table [Kitchen] | Dishwasher [Kitchen]    | Pantry [Kitchen] |
| 6  | Kitchen Table [Kitchen] | Dishwasher [Kitchen]    | Sink [Kitchen]   |
| 7  | Dishwasher [Kitchen]    | Kitchen Table [Kitchen] | Pantry [Kitchen] |
| 8  | Dishwasher [Kitchen]    | Kitchen Table [Kitchen] | Sink [Kitchen]   |
| 9  | Kitchen Table [Kitchen] | Dishwasher [Kitchen]    | Pantry [Kitchen] |
| 10 | Dishwasher [Kitchen]    | Kitchen Table [Kitchen] | Pantry [Kitchen] |

推定された家具の頻度

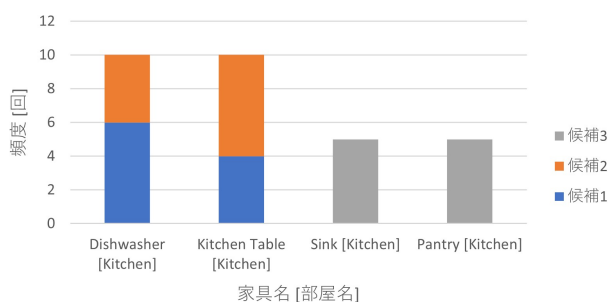


図 2 推定された保管場所の頻度 (Spoon)

### 5.4 実験 3

実験 2 では、大規模言語モデルへ問い合わせるたびに、出力される候補地の順番が異なった。同じオブジェクト名を与え候補地を出す操作を 10 回繰り返して、大規模言語モデルから引き出される情報のランダム性について検証した。

Spoon の保管場所の候補を 10 回連続で引き出した際の結果を表 6 に示す。また、物体が出力された頻度を図 2 に示す。実験 2 と同様に、Dishwasher と Kitchen table が候補 1 あるいは候補 2 として、Pantry は候補 3 として出力された。また、候補 3 として Pantry も出力された。出力された部屋名はいずれも Kitchen であった。

## 6. 考察

### 6.1 実験 1 の考察

モデルの推定結果と RoboCup の競技で使用された保管場所が一致しないカテゴリが多くあった。競技会では、用意された 4

つの部屋にオブジェクトが分散されるように保管位置が定められているため、書斎に果物が保管されていた。また、保管場所にはロボットが把持しやすい場所が選ばれていた。モデルの推定結果には、例えばコーラは冷蔵庫か食品保管庫あるいはキッチンテーブルなど妥当と考えられる出力が見られた。しかし、さいころが食洗器の中、pringles (ポテトチップス) が冷蔵庫の中など我々の直観とは反するような結果も見られた。

競技会にて用いられた保管場所と差が生じている箇所のモデルの出力が妥当でないとは言い切れない。また、今回大規模言語モデルに与えた情報はオブジェクトの名前のみである。例えば、同じ tuna でも、缶に入ったものは保管庫へ、さらに移したものは冷蔵庫に入れるであろう。このようにオブジェクトに関する詳細情報を与えるとより正確に推定することができる。また、ツナの缶詰を頼まれたとき、皿に盛られたツナを頼まれた時でそれぞれロボットがとるべき行動も変わると考えられる。これらを例えば依頼の頻度に応じて異なるオブジェクトとしてとらえるか、同じオブジェクトとしてとらえるかの判断を海馬モデルにより行うことを今後の課題とする。

### 6.2 実験 2 の考察

共通の知識のみを用いるシステムの方が、固有の知識のみを用いるシステムと比較し大きなコストを必要とする結果となった。例えば Tennis ball を共通の知識のみを用いて探索する場合、3 つの候補地を順に巡る必要があり、ここで移動のコストが必要となる。さらに最終的には人間に場所を尋ねる必要があるため、最初から人間に保管場所を尋ねる固有の知識のみを活用するシステムと比較し、大きなコストが必要となった。しかし、tuna のように最初の候補地での探索に成功した場合は固有の知識のみを用いる際と比較し低いコストで探索を行うことができる。さらに、これらのモデルを組み合わせて一度獲得した経験を記憶することでより低いコストでタスクを遂行することができるようになった。

今回はロボット実機を用いず、あらかじめ定めた数値を用いてコストの見積もりを行った。実機のロボットを用いて、実際にオブジェクトをとってくるまでの時間等を利用してコストを見積もることを今後の課題とする。また、今回は RoboCup で用いられた保管場所を例として使用したが、これらは実際に人間が生活する中で定められていく。このような人間の生活を考慮した実験を行うことも今後の課題である。

### 6.3 実験 3 の考察

今回の実験では、大規模言語モデルの出力のランダム性を決定するパラメータ temperature は規定値の 1 に設定した。実験結果からも読み取れる通り、大規模言語モデルの出力はある

程度安定して結果を出力するが、出力にはある程度ばらつきが生じた。今回の提案モデルでは大規模言語モデルはオブジェクトの保管位置の候補地を出力するために用いる。毎回決まった出力をするのではなく、我々の「ひらめき」に相当するような出力を行うことで、思いがけないところからの探索が役に立つという場面も想定されうる。このばらつきを活用することで物体探索においても有利に機能すると考える。一方、大規模言語モデルからの出力は安定せず、最初に問い合わせた時は候補地 1 として出力された場所が次は候補地 3 として出力され、探索にコストがかかる場合がある。また、いつも決まった場所へ移動するにもかかわらずその移動先の候補地を毎回出力することは非効率的である。候補地のうち探索に成功したものを脳型人工知能モデルに蓄積することで、その家庭に固有の知識を獲得していくことが有用であると考えられる。

## 7. おわりに

共通の知識を活用することで人間とのやり取りを通じて知識を学ぶという、コストのかかる処理の回数を減らすことができ、一度学習した経験を記憶することで、より効率的にタスクを遂行することができた。大規模言語モデルはある程度妥当な場所を候補地として出力するが、その場所がどの家庭にも当てはまるとは限らない。また、大規模言語モデルの出力にはばらつきが生じることがある。知識を獲得するための参考情報として共通の知識を用い、ロボットが実際に経験して得られた知識をエピソード記憶として海馬モデルへ蓄積する提案システムを用いることで既存の海馬モデルをより効率化できると考える。

## 謝 辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16007) の結果得られたものです。本研究は、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2154 の支援を受けたものです。また、本研究は JSPS 科研費 22K17968 の助成を受けたものです。

## 文 献

- [1] C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy and H.-Y. M. Liao: “Yolov7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors” (2022).
- [2] S. Liu, Z. Zeng, T. Ren, F. Li, H. Zhang, J. Yang, C. Li, J. Yang, H. Su, J. Zhu and L. Zhang: “Grounding dino: Marrying dino with grounded pre-training for open-set object detection” (2023).
- [3] A. Radford, J. W. Kim, T. Xu, G. Brockman, C. McLeavey and I. Sutskever: “Robust speech recognition via large-scale weak supervision” (2022).
- [4] T. Shiba, T. Ono, S. Tokuno, I. Uchino, M. Okamoto, D. Kanaoka, K. Takahashi, K. Tsukamoto, Y. Tsutsumi, Y. Nakamura, Y. Fukuda, Y. Hoji, H. Amano, Y. Kubota, M. Koresawa, Y. Sakai, R. Takemoto, K. Tamai, K. Nakahara, H. Hayashi, S. Fujimatsu, A. Mizutani, Y. Mizoguchi, Y. Yoshimitsu, M. Suzuka, I. Matsumoto, Y. Yano, Y. Tanaka, T. Morie and H. Tamukoh: “Hibikino-Musashi@Home 2022 team description paper”, arXiv:2211.06696 (2022).
- [5] Y. Obinata, N. Kanazawa, K. Kawaharazuka, I. Yanokura, S. Kim, K. Okada and M. Inaba: “Foundation model based open vocabulary task planning and executive system for general purpose service robots” (2023).
- [6] M. Matamoros, V. Seib and D. Paulus: “Trends, challenges and adopted strategies in RoboCup@Home”, 2019 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC) (2019).
- [7] H. Okada, T. Inamura and K. Wada: “What competitions were conducted in the service categories of the World Robot Summit?”, *Advanced Robotics*, **33**, 17, pp. 900–910 (2019).
- [8] Y. Tanaka, T. Morie and H. Tamukoh: “An amygdala-inspired classical conditioning model implemented on an FPGA for home service robots”, *IEEE Access*, **8**, pp. 212066–212078 (2020).
- [9] Y. Tanaka, H. Tamukoh, K. Tateno, Y. Katori and T. Morie: “A brain-inspired artificial intelligence model of hippocampus amygdala and prefrontal cortex on home service robots”, 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020), pp. 138–141 (2020).
- [10] A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, Y. Katori, K. Tateno and T. Morie: “Brain-inspired neural network navigation system with hippocampus, prefrontal cortex, and amygdala functions”, 2021 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS) (2021).
- [11] N. S. Clayton and A. Dickinson: “Episodic-like memory during cache recovery by scrub jays”, *Nature*, **395**, 6699, pp. 272–274 (1998).
- [12] 川崎伊織, 藤井俊勝: “エピソード記憶”, *脳科学辞典* (2016). Accessed on February 6, 2023.
- [13] 心理学用語の学習: “心理学用語集: 記憶”. Accessed on February 6, 2023.
- [14] J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee and K. Toutanova: “BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding”, arXiv:1810.04805 (2018).
- [15] T. B. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, P. Shyam, G. Sastry, A. Askell, S. Agarwal, A. Herbert-Voss, G. Krueger, T. Henighan, R. Child, A. Ramesh, D. M. Ziegler, J. Wu, C. Winter, C. Hesse, M. Chen, E. Sigler, M. Litwin, S. Gray, B. Chess, J. Clark, C. Berner, S. McCandlish, A. Radford, I. Sutskever and D. Amodei: “Language models are few-shot learners”, arXiv:2005.14165 (2020).
- [16] OpenAI: “GPT-4 technical report”, arXiv:2303.08774 (2023).
- [17] C. D. Manning: “Human language understanding & reasoning”, *Daedalus*, **151**, 2, pp. 127–138 (2022).
- [18] 水谷彰伸, 川島一郎, 田中悠一郎, 田向権, 立野勝巳, 野村修, 森江隆: “海馬モデルによる経験の蓄積と想起に基づくホームサービスロボットの行動生成”, *信学技報* (2022).
- [19] RoboCup@Home: “Bordeaux2023”, <https://github.com/RoboCupAtHome/Bordeaux2023> (2023). Accessed on September 13, 2023.