

空間の意味表現

Spatial Semantic Representation

松尾 豊*1
Yutaka Matsuo

高木 朗*1
Akira Takagi

橋田 浩一*1
Kôiti Hasida

中島 秀之*2
Hideyuki Nakashima

*1 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*2 公立はこだて未来大学

Future University - Hakodate

This paper proposes a spatial functional representation intended to explicitly describe spatial meaning in our daily life and to utilize it for advanced location-based information services. The merit of our representation is threefold: (i) it considers a space as an artifact; a space is described from its function, property and structure. (ii) a space has different meanings to different persons; thus our representation conditions a spatial function by user type. (iii) not only physical function but also social function is considered; a space has a social meaning, and our representation describes spatial meaning both physically and socially. Our representation is useful for advanced navigation, called spatial function retrieval, and user modeling in a ubiquitous environment.

1. はじめに

近年、多くのコンピュータやセンサが環境や機器に埋め込まれ、多様な情報通信インフラがシームレスに接続されるユビキタスネットワークを実現するための研究が行われている。特に、ユーザの情報収集を支援・代行するユビキタスエージェント技術や、利用者の好みや行動履歴に基づきサービスをカスタマイズするパーソナライズドシステム技術 [総務省 01] においては、ユーザの文脈に応じた情報支援が課題となっている。マイボタン [中島 01] で目指すように、携帯端末からの情報アクセスが、高度にそして容易になるにしたがって、ユーザの位置情報や活動情報、欲求、嗜好などからユーザの文脈を推定する必要性が高まってくるだろう。

ユーザの位置を計測する技術は着実に進展しており、車や携帯電話では、GPS により十数メートルの誤差で位置情報を取得することが可能であり、さらに高精度の DGPS では、GPS より 10 倍程度 (数十センチメートル) の精度も実現されている。また、RDIF 技術を使った RF タグを利用し、マイクロ波により位置情報を得ることも可能である。複数の赤外線カメラと赤外光反射板を用いてユーザの位置を計測し、インタラクティブな情報支援を行う CoBIT と呼ばれる小型情報端末の開発も進んでいる [西村 03]。現在、GIS を利用したサービスとしてナビゲーションやシティツアーなどが一般的である。

現在の GIS 技術は、基本的にベクターまたはラスターと呼ばれるデータ構造を用いる。これまで GIS システムに関する多くの研究が行われているが、応用を強く意識したものが多く、空間をどう記述するか、空間が人間にとって持つ意味などについて十分に議論されていない。想定したユーザにとって重要な地点はランドマークと呼ばれるが、ランドマークを決めるプロセスの中に、その空間が想定したユーザになぜ重要かという空間の意味に関する処理が無意識に含まれてしまっている。一方、定性推論や空間推論 (spatial reasoning) と呼ばれる領域では、空間的な重なりや隣接性などを扱う枠組が議論されているが、数学的な色合いが強く、実際にユーザにとっての空間の意味にまで議論が及んでいない。したがって、空間の意味に関して、応用的な側面と基礎的な側面で非常に大きなギャップがあると考えられる。

連絡先: 松尾 豊, 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター, 〒135-0064 東京都江東区青海 2-41, 03-3599-8327, y.matsuo@carc.aist.go.jp

本稿では、「空間の意味」を扱う。我々は、空間は意味を持つと考える。言い換えれば、空間にはさまざまな含意がある。例えば、ある人がラウンジにいるとしよう。そこでは、その人は他の誰かとリラックスしておしゃべりしているのかもしれないし、タバコを吸いながら何か考えているのかもしれない。こういった行為は、このラウンジでは社会的に許容されている。また、ある人が教室にいるとしよう。教室では、講義を行うのに必要な設備が整っている。学生は講義を受けることができるし、教師は講義を行うことができる。講義中は、学生はリラックスしたり、食事をしたり、おしゃべりをしたりすることは普通は許可されない。このように、ある人がある空間にいるということを知りただけで、我々は多くのことを推測することができる。つまり、知らず知らずのうちに、空間には多くの意味が込められているのである。

特に都市空間で生活する人間は、日常、多くの人工物に囲まれている。本稿では、空間もひとつの人工物であると考え、空間は多くの場合、人間によって特定の機能を持つように注意深く設計されている。したがって、空間の意味を、機能という点から捉えることができる。例えば、ラウンジは「飲むものを提供する」「飲むことを可能にする」「座ることを可能にする」などの機能から捉えることができる。教室は「学生に講義を受けることを可能にする」「教師に講義を行うことを可能にする」などの機能がある。

これらの機能は、空間に存在するものの機能によって実現されている。コーヒーサーバは「コーヒーを提供する」という機能がある。いすは「座ることを可能にする」という機能がある。そしてこの機能は、ラウンジにおいて休憩することを可能にするという機能、教室において授業を行うことを可能にするという機能に貢献している。しかし、空間の機能は、しばしば、その空間中に存在するものの機能以上のものになる。例えば、いすが部屋の一角に積み上げられていたとしたら、その部屋は「座ることを可能にする」という機能を提供しない。黒板と机といすがあっても、それらが適切に配置されていなければ、「教師に講義を行うことを可能にする」という機能を提供しない。さらに、それらが適切に配置されていたとしても、壁や窓がない広場の真中では講義を行うことは難しいだろう。空間の「閉じ込め」という性質も教室の機能に貢献している。

笹島らによれば、機能とは装置の振る舞いを目標のもとで解釈したものである [笹島 96]。しかし、空間の中に人間がいて何らかの行為をするという現象においては、通常、振る舞う

のは人間だけである（いくつかの例外は、乗物などの移動する空間や、ステージのカーテンや可動式パーティションのような空間である。）したがって、空間の機能を、振る舞いではなく性質という点で捉えることにする。つまり、空間の機能は、空間の構造によってもたらされる性質を目標のもとで解釈した結果である。

したがって、空間の機能は必然的に現象に参画する人間にも依存する。異なったユーザのタイプに対して、空間は異なった機能をもつ。例えば、教室における教師と学生や、病院における医師と患者である。また、階段は通常は上下階に移動する機能を持つが、車椅子の人に対しては持たない。このように、空間の機能は、ユーザのタイプによって条件付けられるべきであると考えられる。

さらに、我々は、空間の機能は、物理的機能と社会的機能の2つに分けられると考える。例えば、ある部屋にイスとテーブルと灰皿があるとして、喫煙が物理的には可能であっても、その部屋では喫煙は許可されていないかもしれない。しかし、喫煙室では、喫煙は物理的にも社会的にも可能である。言いかえれば、「喫煙を物理的に可能にする」と「喫煙を社会的に可能にする」とは分けて考えるべきである。他の例を挙げると、あなたは上司の部屋に許可なく入ることができるだろうか？もしドアに鍵がかかっているのなら、それは物理的にその部屋に入れないということである。しかし、ドアが開いていても、通常はその部屋には入ることは社会的に可能ではない。もし上司の秘書がいて、今上司はいませんが入ってもいいですよ、と言ってくれば、その部屋に入ることができる。その場合、秘書のいるデスク空間は、「部屋に入る許可」という社会的属性を提供する機能があると考えられる。

ここまで述べたように、空間の機能を細かく考えていくことは労力のかかることである。しかし、知識の再利用のために知識をできるだけ明示化することの重要性は広く認識されている。本稿では、空間の意味を機能的な側面から捉え、適用可能性と再利用性の高い形で記述する空間の意味表現を提案する。空間の意味表現を構築することは、人間がどのように空間を認識しているかを構成的に明らかにすると同時に、より高度な空間情報システムの基盤になると考えている。

2. 関連研究

現在、地理情報の記述のために G-XML という仕様の策定が進んでいる。G-XML は、道路情報などの GIS 情報を対象とした JIS の規格であり、国際標準への活動も進められている。「部屋の中」「ある物の周り半径 3m」「多角形で囲まれた領域内」といった指定を行うことができ、また相対的内地による指定も可能である。

Jordan らは、空間の機能をアフォーダンスという側面から捉えている [Jordan 98]。タスク、ユーザに応じて空間のアフォーダンスが変わるという概念を提案している。考え方の根本は本研究と近いものの、ユーザのタイプで条件づける、物理的機能と社会的機能など、本研究で提案する多くの部分は含まれていない。

[来村 02] では、機能的知識の記述について考察されている。世界を規定する概念を定義するトップレベルオントロジーを最も基礎的なものとし、因果オントロジー、物理世界オントロジー、物理プロセスオントロジーがその上に構築される。拡張デバイスオントロジーは、物理世界を「装置」を中心として捉えたときの概念を定義し、「装置」「振る舞い」「機能達成方式」などの概念が規定される。デバイスオントロジーでは、対象を

```
<space>
  <Rectangle>
    <coordinates> 200,120 340,180 </coordinates>
  </Rectangle>
  <user>
    <aattr type="position">staff</aattr>
  </user>
  <pprov>coffee</pprov>
</space>
```

図 1: 空間機能の記述例

入力を処理して利用者が要求するものに変換して出力するデバイスの合成としてみなす考え方である。対象世界に存在するものを大きく「装置」と「対象物」に分類し、装置は入出力ポートを介して他の装置と接続される。振る舞いは、視点の違いから、B0 的振る舞い～B3 的振る舞いに分類される。機能概念オントロジーは、装置の機能を表現する概念を定義し、振る舞いや構造に結びつける。機能は所詮人間の解釈を中心とした概念レベルのもので、機能レベルの推論（考察）が実体設計に意味を持つためには、機能概念を振る舞い、もしくは構造と密接な関係を付け得ることが必須となる。本研究は、こういった機能的知識の記述を参考に、装置ではなく空間を対象としたものである。

Keuneke は、機能のタイプを ToMake, ToMaintain, ToPrevent, ToControl の 4 つに分けている [Keuneke 91]。また、笹島らは、機能間に必須な因果関係が存在している場合の「供給」「駆動」「可能」、機能の副作用を保証する「防止」「許容」、さらに補助的な貢献をする「制御」「向上」「増強」などを議論している [笹島 96]。本研究でも、空間の機能に関してこのような分類と関係が深い分類が得られている。

本研究で用いる空間の意味表現は、次のような点で新規性が高い。

- 空間を人工物と捉え、その機能を表現する。
- 空間の機能をユーザタイプと関連付けて記述している。
- 空間の機能を、物理的機能（行為を可能にする）、社会的機能（行為を不可能にする）という点に分けて記述している。

特に、社会的な制約を物理的な制約と分けて書くことで、自然で柔軟な推論ができる。災害時などの緊急時には、社会的な制約を外して考えることもできる。実は、空間の意味として社会的機能が大きな働きを担うがゆえに、子供は大人では考えられないような、その空間では不適切な行動を行うこともある。

3. 空間の表現とユーザの表現

本研究では、空間の機能的な側面に着目し、「ある領域内で」「どんなユーザタイプに」「どのような機能を提供するか」という点から空間の意味を記述する。領域の記述は、前述の G-XML の記述法を用いる。さらに、どんなユーザタイプにどのような機能を提供するかを、ユーザタイプの表現法と空間の機能表現法にしたがって記述する。詳細は、空間の意味表現記述仕様書 [松尾 04] に詳しいが、ここではその概要を述べる。図 1 は、ある領域において「スタッフにはコーヒーを提供する機能がある」ことを記述する空間の意味表現の例である。XML 形式で記述される。

3.1 ユーザタイプの定義

ユーザタイプは、ユーザの持つ属性と属性値の組によって記述する。ユーザ属性には、大きく物理的属性および社会的属性がある。物理的属性はセンサによって観測できるが、社会的属性は、センサによっては観測することは難しい*1。ユーザの物理的属性は主に空間の物理的機能に、ユーザの社会的属性は空間の社会的機能の条件となる場合が多い。以下、各タグについて説明していく。

pattr は物理的属性であり、次の 2 タイプがある。

- belongings: 所持品 (カードキーや身分証, チケットなど)
- devices: 所持デバイス (端末や CoBIT, 携帯電話など)

この 2 つを区別する理由は、後者はユーザが情報を受け取る手段を変化させる可能性があるためである。

aattr は社会的属性であり、次のようなタイプがある。

- position: 身分を表す属性。例えば、大学における学生、教授、来客、業者、病院における患者、医者、看護婦、来客、セールスマンなどのように、ドメイン固有で安定である。
- interest, knowledge: 主に「情報を提供する」機能に影響を与える属性であり、ドメイン固有で変化し得る。
- gender, age など: ドメインにあまり依存せず、安定である。
- permission, appointment, payment など: 許可や約束、支払い。ドメインにあまり依存せず、変化し得る。
- ability: 車椅子である、目が見えないなど、障害者に対するアクセシビリティを考慮するための属性。

3.2 空間機能タイプの定義

空間の機能は「提供」機能と「可能にする」機能の大きく 2 つあり、それぞれに物理的 / 社会的があるので計 4 つ、すなわち pprov, apro, enable, permit がある。その他に、移動できる機能を表す access, 人が介在したサービスを表す service, 典型的な機能を表す place, 空間の性質を表す property などのタグが必要である*2。

pprov は具体物 (コーヒーやカードキーなど) を提供する機能である。

apro は抽象物 (許可や情報など) を提供する機能である。

enable は、ユーザのある行為を物理的に可能にする機能である。例えば、会議室は「会議を可能にする」機能を提供する。行為は通常、部分行為に分けられる。会議という行為は、座る、話す、メモを取る、情報を共有するなどに分けられ、それぞれいす、机、プロジェクタとスクリーンなどによって可能になっている。もちろん、行為を部分行為に分ける方法は無数にあるが、ここでは空間的な側面から行為を分解する。つまり、ある行為が他の部分空間を必要とするなら、その行為と部分空間を区別する。したがって、会議は、座る (いすを利用)、メモを取る (机を利用)、情報を共有する (プロジェクタとスク

*1 社会的属性に関する情報を発信するタグなどを身につけていればセンサによって観測することは可能である。

*2 さらに、ある機能がものに由来していることを表す utilize タグ、ある機能が部分空間の機能によって実現されていることを示す achievedby タグ、ある行為が部分行為から構成される consistsof タグなどがある。まだ仕様が決まっている段階ではない。

リーンを利用)などに分解される。enable の逆は disable である。

permit は、ユーザのある行為を社会的に可能にする機能である。上位空間で許可されている / 禁止されている行為に対して、新たにその空間で許可 / 禁止されている行為を記述する。例えば、外では喫煙が可能だが、館内では喫煙が不可であり、喫煙室では喫煙が可能であるといったように、差分を記述する。なお、しばしば「物理的に可能にする」は「社会的に可能にする」とセットになっている場合も多い。むしろ、灰皿が置いてある、柵があるという「物理的に可能に (不可能に) にする」機能が、喫煙してよい、立ち入ってはいけないといった「社会的に可能に (不可能に) する」機能のシンボルとなっている場合もある。

access は、ある空間から他の空間に移動できるという機能であり、物理的に可能にする機能のひとつである。しかし、我々の意味表現は空間を対象としているため、access は enable とは分けて記述する。

service は、ユーザの要求に答えるために人間が介入している空間の機能である。案内サービス、受付サービスなどがあり、その空間の提供機能や可能にする機能を利用して行う。

3.21 place place は場所を表すタグである。場所とは、特定のユーザのための機能が集まった典型である。例えば、トイレを記述するのに、いちいち全てのトイレに対して細かい記述をするよりも、place タグを用いて、ここはトイレという場所である (つまり典型的なトイレに対するユーザタイプ / 機能の組がある) と記述する。なお、この場合、典型的なトイレの機能は別に記述しておく。

property は空間の性質を示し、次のものが挙げられる。

- 内部の媒体の性質: 温度や湿度、においなど。
- 他との連結性に関する性質: 外から入れない、中から入れない、ロック可能である、光が通過しない、音が通過しないなど。
- 社会的性質: 所有者、利用者、占有可かなど。

3.3 空間機能タイプについての議論

空間の機能を「提供」機能と「可能にする」機能でなぜ表すことができるのだろうか。この 2 つは、機能を、入出力の点から捉えるか、プロセスにより捉えるかという違いに基づいている。したがって、例えば同じ機能を「缶ジュースを提供する」とも書けるし「飲むことを可能にする」とも書くことができる。しかし、提供機能は、ユーザの属性の変化を明示的に記述し、プランニングに用いることができるので、提供機能として記述できるものはそちらを優先する。「可能にする」機能は、その行為自体が目的となる場合に用いることができる。

3.4 他の知識

空間の意味記述中で用いる語彙を処理するため、次のような知識ベースが必要である。ものの関係を表す知識 (pattr, pprov, apro の語彙の関係を表す)、行為の関係を表す知識 (enable の語彙の関係を表す) 社会的制約の関係を表す知識 (permit の語彙の関係を表す) 情報の関係を表す知識 (aattr の語彙の関係を表す) である。

4. 空間の意味表現の利用

空間の意味表現は、ユビキタス環境において高度な情報支援を行う際に欠くことのできない「空間の意味」を扱うことを意

図している。したがって、仕様が確定しその実用性が示されれば、さまざまな空間に関する情報支援システムに利用可能であると考えているが、当面は空間機能検索システム、およびユーザモデリングという2つの利用を考えている。

4.1 空間機能検索システムの概要

空間機能検索システムとは、ユーザの問題を解決するために必要な空間の機能を検索して提示するシステムである。例えば、ユーザが「のどが渇いた」と思ったときに、コンビニまでの経路を知りたいと思い、目的地をコンビニと入力することで経路を提示するナビゲーションは従来からあるが、「のどが渇いた」というユーザの問題を解消する手段は他にも、自動販売機の場所を提示する、カフェの場所を提示する、無料の給湯設備の場所を提示するなど複数考えられる。ナビゲーションを利用するユーザはその場所に不慣れな場合も多いわけであるから、具体的にユーザの要求を解消できる場所や設備をユーザが知っているとは限らない。本システムでは、ユーザの要求を入力すると、それに応えられる可能性のある空間機能を提示する。これは、従来のナビゲーションをより曖昧なユーザの要求に対応できるようにしたものと考えられ、

空間機能検索を行うには、(i) ユーザの要求を解釈し、検索すべき空間機能を求める。(ii) その空間機能を空間データベースから検索し、プランを生成する。という2つのステップが必要である。前者は、簡単なテーブルのマッチングによって行う^{*3}。一方、後者の空間機能の検索には、簡単なものから順に、次のようなフェーズが考えられる。

1. 直接検索フェーズ 要求に直接応える「場所」を検索する。
2. 機能への分解・検索フェーズ ユーザの要求を、必要となる空間機能に分解し、検索する。
3. 機能への分解・クエリ拡張検索フェーズ ユーザの要求を、必要となる空間機能に分解し、クエリを拡張した上で検索する。例えば、場所のデフォルト知識を利用して、その機能が含まれているであろう場所を検索する、対象物のオントロジーを利用して、入手するものの上位概念のものを入手できる場所を探すなどである。
4. 性質への分解・検索フェーズ ユーザの要求を、必要となる空間機能に分解し、さらにそれが依拠している空間やものの性質に分解し、その性質を空間から検索する。
5. 性質への分解・クエリ拡張検索フェーズ ユーザの要求を、必要となる空間機能に分解し、さらにそれが依拠している空間やものの性質に分解し、その性質の類似性やオントロジーを用いてクエリを拡張した上で、空間から検索する。

下のフェーズにいくほど、空間の記述のコストは高いが、ユーザの要求に応えられる可能性が高くなる。現在のナビゲーションやレコメンデーションシステムは第1フェーズだけであるが、本研究では、第4、第5フェーズも視野にいれた上で、第3フェーズまで実装した検索システムの構築を目指している。

4.2 位置情報からのユーザモデリング

空間の意味記述を用いることで、ユーザの位置を、ユーザが存在する空間の機能に変換することができる。空間の意味記述を別に用意して位置履歴を解析するメリットは次のように述べることができる。

*3 自然言語の入力文からユーザの意図を推定するには、本来はかなり難しい意味理解の処理が必要であるが、それは本稿の主旨ではないので、ここのマッチングの問題は本稿の範囲外と考える。

- どのような空間の機能を用いているかという点からユーザの状況を理解することが可能である。
- センサ情報を処理する手続きの中に暗黙的に空間に関する知識を入れるのではなく、再利用可能な形で空間に関する知識を記述、修正していくことができる。

我々は、産業技術総合研究所 臨海副都心センターにおいて、2004年2月に1週間の期間、来客約200名、スタッフ約50名の位置情報を取得する実験を行った。現在、空間の意味記述を用いた解析を進めている。

5. まとめ

本稿では、空間を人工物として捉え、その意味を機能という点から記述することについて議論し、現状での記述法を示した。また、この空間の意味記述の利用法として、ユーザの空間機能に対する要求に柔軟に応える、空間機能検索システムおよびユーザモデリングについて簡単に紹介した。

空間にはさまざまな意味があるが、他の常識的な知識と同じく、我々は無意識のうちにそれを理解し行動している。しかし、ユビキタス環境において、ユーザの位置情報を用いて何らかの高度な処理を行うためには、我々が無意識のうちに処理している空間の意味を、明示的な形で再考する必要があるだろう。本研究を進めていくことで、再利用性の高い形で空間の意味表現が蓄積されれば、ユビキタス環境における情報支援がより効果的なものになるのではないだろうか。

参考文献

- [Jordan 98] Jordan, T., Raubal, M., and Gartrell, B.: An Affordance-based model of Place in GIS, in *8th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'98)* (1998)
- [Keuneke 91] Keuneke, A. M.: A Device Representation: the Significance of Functional Knowledge, *IEEE Expert*, Vol. 24, pp. 22-25 (1991)
- [中島 01] 中島, 橋田, 森, 伊東, 本村, 車谷, 山本, 和泉, 野田: 情報インフラに基づくグラウンディングとその応用 - サイバーアシストプロジェクトの概要 -, *コンピュータソフトウェア*, Vol. 18, No. 4, pp. 48-56 (2001)
- [総務省 01] 総務省 : ユビキタスネットワーク技術の将来展望に関する調査研究会報告書 (2001)
- [笹島 96] 笹島 宗彦, 来村 徳信, 池田 満, 溝口 理一郎: 機能と振る舞いのオントロジーに基づく機能モデル表現言語 FBRLの開発, *人工知能学会誌*, Vol. 11, No. 3, pp. 420-431 (1996)
- [松尾 04] 松尾 豊: 空間の意味表現, <http://www.carc.aist.go.jp/~y.matsuo/sfr/> (2004), 仕様策定中
- [西村 03] 西村 拓一, 伊藤 日出男, 中村 嘉志, 山本 吉伸, 中島 秀之: 位置に基づくインタラクティブ情報支援のための無電源小型情報端末, *情報処理学会*, Vol. 44, No. 11 (2003)
- [来村 02] 来村 徳信, 溝口 理一郎: オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み, *人工知能学会論文誌*, Vol. 17, No. 1, pp. 61-72 (2002)