

- 探索

探索問題は状態と、状態から状態へと遷移させる行動（作用素）によって構成される状態空間によってモデル化される。また、離散システムは、状態を表すノードと遷移を表す有向辺で構成されるグラフ表現により記述する事ができる。初期状態から目的状態に至る経路を最適経路と呼ぶ。探索アルゴリズムには様々あるが、オープンリストの中のデータの管理方法が異なる。オープンリストを予測評価値でソートするものは最良優先探索であり、ゴールまでのコストでソートするものは最適探索である。これらをバランスよく用いるものはA\*アルゴリズムである。

- 確率とベイズの定理

確率の基本式は不確実性を扱う人工知能の構成においては至る所で活用される。同時確率である  $P(A, B)$  が  $P(A, B) = P(A|B)P(B)$  と書き換えられることを乗法定理と呼ぶ。これを  $A$  について周辺化すると、 $P(B)$ になる。また、確率変数間の依存関係を図式的に示したものはグラフィカルモデルと呼び、 $P(A|\partial A, B) = P(A|\partial A)$ で定義されるノードの集合  $\partial A$  をマルコフブランケットと呼ぶ。

# ベイズの定理は、結果の事象に対する原因の確率である事後確率を尤度と事前確率から求めることである。

- 学習と認識

知能に適応性をもたせようとするときには機械学習を用いる事が現代では一般的である。機械学習はフィードバック情報の扱い方によって強化学習と教師あり学習、教師なし学習に三分類される事が多い。ロボットが迷路を抜けるタスクでゴールに辿り着いた時のみ報酬を与えることで、正しい道のは教えずにゴールまでの道のを学習させようとするのは強化学習であり、ニューラルネットワークにBPアルゴリズムを用いて回帰問題を解かせるのは通常教師あり学習である。また、教師なし学習は主にクラスタリングや次元データの低次元化に用いられる。分類問題へのアプローチは大きく分けて生成モデルと識別モデルがあるが、ナイ

ープベイズは生成モデル，サポートベクトルマシンは識別モデルによるアプローチである．

- 動的計画法、多段決定

多段階決定問題では常に有限個の選択肢がある場合，解の種類が指数オーダーで増加する．これを抑えるために動的計画法が用いられる．動的計画法では各状態にその時点での評価値をメモ化することで解探索を効率化することができる．最適経路は，最大の評価値を得る状態を逆順にたどる事で得られる．また，動的計画法の応用として文字列と文字列の異なり具合を測る尺度として編集距離がある．これに対して，単純に異なっている文字列の数をカウントする関数としてハミング距離がある．

# 状態遷移が確率的な場合は強化学習が用いられるがあるが，強化学習では環境の状態遷移をマルコフ決定過程としてモデル化し累積報酬を最大化するように方策の学習が行われる．

- 記号論理

命題変数と 5 つの論理記号で構成された基本的なものが命題論理である．これに特定の個体を表す定数記号，任意の個体を表す変数記号，個体間の関係を表す関数記号，個体の性質や状態を表す述語記号，「任意の」や「ある」を表す限量記号などを加えたものが述語論理である．限量記号には全称記号である  $\forall$  や存在記号である  $\exists$  などがある．記号論理では，言葉の意味をとらえるのではなく，その文の真偽性のみを問題とする．

- 人工知能の基礎

人工知能の研究は 1950 年代半ばに開催されたダートマス会議でマッカーシーが Artificial Intelligence という言葉を使ったのが始まりだったと言われる．また，1980 年代までの形式主義的な人工知能の研究は「古き良き AI」と呼ばれる．人工知能では様々な基本問題とよばれる哲学的要素を含んだ問題がある．その中でもチューリングテストは有名であり，文に拠る応答を通して知能の有無を検証しようというものである．チューリングテストに対する批判として中国語の

部屋がある。記号接地問題は表象と現実の意味をいかに結びつけるかという問題である。また、問題に関わる対象の数が膨大になり実時間で解くことが困難になるとい う問題をフレーム問題と呼ぶ。

- 証明と質問応答

論理式を節形式に変換するときに同値記号と含意記号を除去するが、 $p \equiv q$  は  $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$  に  $p \rightarrow q$  は  $\neg p \vee q$  に置き換えられる。与えられた述語論理式が常に正しいことを恒真式というが、これを示すために導出原理が用いられる。これを行うために述語論理式の否定形を節集合に変換する。節集合から出発し導出原理の適用を繰り返し空節が得られれば、節集合は充足不能と判定され、結果的に恒真式であることが示される。この時、リテラルを選言だけで結合させた論理式を節と呼ぶ。また、異なるリテラルを一つのリテラルに統一する置換を単一化と呼ぶ。

- 自然言語処理

自然言語処理は様々な要素技術を持つが最も基本的なものに形態素解析と構文解析がある。形態素解析は文の分かち書きを行い品詞の推定を行う。構文解析は単語間の係り受け関係や句構造を推定する。形態素解析では辞書などを用いて分割された単語の候補をグラフ状に示した単語ラティスが生成される。コスト最小法は単語ラティスの全てのノードとリンクにコストを与えてコストの合計が最小なパスを最適解として求めるが、この探索には動的計画法が用いられることが多い。構文解析を正しくするためには文の意味内容を正しく解釈する必要があり、そのために意味解析が行われる事がある。また、文書トピックの解析には、単語の出現回数をカウントした Bag-of-Words 表現が用いられる。

- 知能を「つくる」ということ

知能において身体の役割は重要である。1986 年にブルックスはサブサンクション・アーキテクチャを提案し、従来の直列的な意思決定のアプローチに疑問を投げかけた。生物の身体は各部位が自律分散的に環境と相互作用するなかで脳・身体・環境の相互作用を通して創発的に形成されるパターンであると捉えられる。

人工生命の研究では環境との相互作用を通した、進化的な身体（形態）の形成過程が構成論的に論じられた研究もあった。言語理解においても身体は重要な役割を果たす。私たちの形成している概念は私たちの視覚，触覚，聴覚等から得るマルチモーダル情報に支えられているのだ。人工知能研究は，工学の研究であるとともに，人間の知能のモデルを作る事によって理解する構成論的アプローチの研究でもある。

- 位置推定

位置推定とは、これまでの行動と不確実な観測に関する情報を用いて現在のロボットの自己位置を推定するものである。部分観測マルコフ決定過程は、ロボットの自己位置が確率的に遷移し、その各状態において観測が不確実に得られるという過程を表現できる。推定においては、モデルの仮定以外に近似を用いずに確率の基本式のみを用いて情報を統合して自己位置を確率的に計算するアルゴリズムであるベイズフィルタが用いられる。ベイズフィルタは、ベイズ則の適用によって行動と観測から隠れた状態を推定する。