

## 論文の内容の要旨

### 探査ロボットの行動計画のための環境理解に関する研究

江尻 理帆

人間は、環境の変化に柔軟に適応し、適切に行動する術を見つけることができる。しかしながら、ロボットにはその柔軟性がなく、環境や目的によって様々なロボットを開発し、使い分けているのが現状である。そのため、ロボットの開発にあたっては、環境がロボットに与える影響を考慮し、それに沿って環境に適応して目的を遂げる手法を考えることが必要不可欠となる。

一方で、人間が環境を把握するとき、目からの情報を一番多く使っていると言える。視覚で取得した環境情報を脳で理解し、次の行動を導く。では、人間は脳の中でどのように環境理解を行っているのだろうか。「環境を理解する」ということは、どういうことなのだろうか。本論文は、「探査ロボットの行動計画」という観点から、環境理解がどういうことなのかを明らかにすることを大目的とする。

探査ロボットが移動する環境は、未知である環境、既知である環境、自然環境、人工物に囲まれた環境などがある。環境理解が必要となる環境は、未知である環境が多い。さらに、人工物に囲まれた環境よりも自然環境の方が未知であることが多く、ロボットによる探査要求も多くなる。そこで、本論文では、未知かつ自然環境を移動するロボットに焦点を絞ることにする。

未知かつ自然環境を移動するロボットの例として、火星探査ロボットや海底探査ロボットなどがある。そのような環境を移動するロボットには、電源容量・探査期間・通信遅れなどの制限がある場合がある。よって、それらの移動ロボットには、効率良く目的地へ移動する能力が求められる。さらに、できるだけ自律的に長距離移動するためには、グローバルもしくはローカルな自己位置推定が必要となる。あらかじめロボットが動く環境が既知で、マップを持っていれば、そのマップを用いて自己位置推定を行うことができる。しかしながら未知環境を動く場合、もしくは保有マップが不完全な場合、環境マップの構築も必要不可欠となる。

従来の未知環境を対象とした移動ロボットのナビゲーション手法では、レーザレンジファインダやステレオビジョンなどを用いて詳細なマップを構築している。それらのセンサを用いることで、比較的正確な近傍の距離情報を得ることができ、確実に障害物を回避することができる。しかし、未知環境において長距離を効率的に移動するロボットに関しては、従来手法に対して以下のような疑問がある。

- ・ センシング範囲が数 m であるレーザレンジファインダやステレオビジョンのみのナビゲーション手法は、長距離移動に適しているかどうか
- ・ 効率的に移動するにあたり、詳細なマップ構築が常に必要となるのかどうか

ここで、人間が長距離移動するときどのような処理を行っているかを考えてみる。人間はまず、遠距離にある目的地を把握し、近傍から遠方までの環境の把握を行う。その際、通れる範囲と通れない範囲の把握や、移動時に追従可能となるようなランドマークの抽出も行っていると考えられる。このことから、長距離移動におけるナビゲーションには、近距離の環境情報だけでなく、遠距離の環境情報も必要となると考えられる。広範囲の環境情報を取得することで、遠くの障害物をあらかじめ回避するルートを計画することが可能となる。また、ランドマーク候補となるものが増えるため、マッチングなどによって情報更新をする場合、マッチングの確実性を上げることにもなる。また、ロボットが遠距離移動するために必要な環境情報は、障害物やランドマークの位置と大きさと種類であると考えられる。障害物やランドマークの位置と大きさと種類を把握することで、詳細なマップを常に構築しなくても、十分なナビゲーションを行うことができる。そこで、ナビゲーションに必要な広範囲の環境情報を取得した結果から構成する環境マップの構築が、長距離移動のナビゲーションに有効となると考えられる。

以上のことから、本論文では、未知である自然環境を効率的に長距離移動するロボットを対象とし、行動計画のための環境理解とは何かを明らかにする。また、実際に探査ロボットの画像に基づく環境理解手法と行動計画手法を提案する。

第2章では、提案する環境理解手法の概要について述べる。提案手法では、環境理解のために、広範囲の環境情報が含まれるカメラから得た画像を用いる。本論文では、環境理解の指標となる環境マップを新たに導入する。まず、一枚の取得画像から、注視すべき領域の抽出を行い、知識ベースで各注視領域に対する地形を推定する。ここで用いる知識は、画像中の地形特徴に対する知識である。次に、地形推定結果から、環境マップを構築する。探査ロボットは、移動しながら環境マップの更新を行う。行動計画を行う際には、更新した最新のマップを用いる。さらに、本論文では、探査ロボットの応用の1つとして、月・惑星環境を取り上げる。対象環境を月・惑星環境としているのは、未知かつ自然環境であるので、本手法の対象環境として適切な環境であるためである。月・惑星環境の画像は、濃淡値が変化することはあっても、カラーが顕著に変化することはない。よって、カラー画像ではなく濃淡画像を用いる。

第3章では、環境マップ構築手法を提案する。まず、注視すべき領域の抽出を行う手法について述べる。抽出には、「月・惑星環境において、注視すべきものがある画像中の領域は、濃淡値が大きく変化し、エッジが現れる領域である」という知識を用いる。次に、抽出した各注視領域に対し、地形推定を行う手法について述べる。地形推定においても、あらかじめ用意した月・惑星環境における地形特徴に関する知識を用いる。地形推定のカテゴリーは、rock, crater, convexity, concavity, complex の5種類である。さらに、環境

マップのデータ構造について述べる。環境マップは表形式のデータ構造をとり、注視領域の画像中の位置、大きさ、地形推定結果、ランドマーク候補となる番号などのデータを保有する。

第4章では、環境マップの更新手法について述べる。あらかじめ構築したマップと、移動後に構築したマップを比較し、データの更新を行う。環境マップの更新によって、地形推定の信頼度を上げ、濃淡画像中のあいまい情報を少なくしている。

第5章では、行動計画手法を提案する。行動計画とは、ルート計画とセンシング計画を行うことである。構築した環境マップを用いて、目的地までのルートをだまかに計画する手法について述べる。さらに、計画したルートに対し、どのようなセンシングを行いながら移動するかを計画する、センシング計画手法について述べる。

第6章では、環境理解について考察をまとめる。提案手法がどのように他環境へ応用できるかを示し、行動計画のための環境理解について述べる。

以上のように本論文では、探査ロボットが行動計画を行うための環境理解を取り扱っている。提案手法では、主に未知かつ自然環境を移動するロボットを対象としている。そして、移動ロボットが効率良く行動計画を行い、遠距離移動するための、知識を用いた環境理解手法を提案している。提案手法では、広範囲の環境情報を含む画像センサを用いている。画像は遠距離情報になればなるほどあいまいな情報が多くなるが、移動時に環境マップを更新することであいまい情報を少なくすることが可能である。環境理解を行うにあたり、従来手法のように詳細なマップを構築せず、画像に基づいた行動計画のための環境マップを提案している。さらに、そのマップから行動計画を行う手法も提案している。本論文では、探査ロボットの行動計画という観点から、環境理解とはどういうものかについて示唆を与えている。