

氏名：有泉 亮

所属専攻・職名：機械理工学専攻・博士後期課程1年

派遣国：アメリカ合衆国

派遣先(研究機関名)：カーネギーメロン大学

受入研究者(職・氏名)：Prof. Howie Choset

派遣期間：2012年9月7日～2012年12月28日(101日間)

派遣先での研究テーマ：一様でないノイズを含む観測結果に基づく多目的最適化

(Pareto optimization with consideration of heteroscedastic noise)

## 【研究実施概要】

申請者はこれまで、ヘビ型ロボットのエネルギー効率最適化に基づくサイドワインディング推進の創発を目標とし、シミュレーションに基づきエネルギー効率と推進速度の関係について研究を行ってきた。しかし、ヘビ型ロボットおよびその環境との相互作用の複雑さから、目的関数の勾配に基づく一般的な最適化手法は適用困難である。また、シミュレーション困難な複雑な環境における動きの最適化を行える手法が望まれている。

そのような中で派遣先の研究室では、EGO アルゴリズム[1]と呼ばれる最適化アルゴリズムをノイズの存在する環境においても適用できるよう改良した手法を用い、ヘビ型ロボットの運動の最適化を行う研究がなされてきた。この手法は、応答局面法と呼ばれる手法の一種であり、実験などにより得られた比較的少数のデータから目的関数の関数形状を推定し、最適解であると期待されるパラメータ設定を探索し、その設定における目的関数を評価する、という手順を繰り返すという大域最適化手法の一つである。さらに、この手法を修正し、多目的最適化に用いる研究もなされている。この研究における手法は、観測にノイズが存在する場合にも適用できるという点で、既存の応答局面に基づく多目的最適化法と異なっており、また、数十回程度の少ない関数評価によりパレートフロントを求められる点で、数千回に上る評価を必要としていたこれまでのノイズを考慮した多目的最適化法より優れている。

本研究では、この手法をさらに拡張し、より広いクラスのノイズに対応できる手法を提案することを目的とする。上記の研究においては、ノイズとして独立同一分布に従うガウシアンノイズを仮定している。しかし、一般に実験におけるノイズの強度はパラメータの関数となっている。このノイズ強度に関して事前に知見が得られている場合には、その知識をガウシアン回帰を行う際の事前確率分布に反映させることで、応答局面の推定精度を向上させ、良好な実験計画を行うことができると考えられるが、一般にはそのような事前知識は期待できない。そのため、本研究においてはノイズ強度に関してもガウシアン過程に従うと仮定し、ガウシアン回帰を適用することを考える。

## 【研究成果概要】

本派遣期間中にはノイズ強度がガウシアン過程に従うとする場合の回帰法を数値シミュレーションに実装し、その有効性を確認するとともに、解決すべき問題点を発見することができた。

ノイズ強度がガウシアン過程に従う場合のガウシアン回帰については近年活発に研究がなされている。この場合の困難は標準的なガウシアン回帰と異なり周辺尤度関数が解析的に評価できない点にある。この問題に対し、MCMC(マルコフチェーンモンテカルロ)を用いる方法[3]、MAP(最大事後確率分布)推定を用いる方法[4]などが提案されてきた。MCMCを用いる方法では一般に非常に良好な回帰が得られるが、収束が遅く計算コストが大きい上、首足の判定が難しいという問題がある。またMAP推定ではパラメータに関して得られる知識全てを有効に活用することができず、過剰適合の危険性が大きくなる。

これらの問題を解決するため、本研究では変分ベイズ法を用いたガウシアン回帰[5]を適用する。この方法は計算量を標準的なガウシアン回帰の数倍程度に抑えつつ、MCMCに匹敵する良好な回帰を得ることができると指摘されている。

この方法を実装した多目的最適化の数値例においては、初期データ数が十分に多い状況では、標準的なガウシアン回帰を用いる従来手法に比べ質の高い解を得ることに成功した。また、計算時間は十分に短く抑えることに成功して

いる。一方で、初期データ数およびその分布によっては従来手法を用いた場合より質の低い結果が得られることが分かった。十分な質の結果を得るために必要となる実験回数は、探索空間が2次元の場合で、従来法より5~10回ほど増えると予想される。

なお、1月から再び別予算で渡航することを予定しており、その期間においては実験回数の増加の問題についての解決策を提案し、ヘビ型ロボットを用いた実機実験により提案手法の有効性の検証を行う予定である。

#### 【外国語のスキルアップ・コミュニケーション能力の向上、海外におけるネットワークづくり】

英語のスキルアップ・コミュニケーション能力の向上については、研究室には教授をはじめ日本語が分かる方が数名いたほか研究室全体を対象として研究の進捗を報告するといった活動がなかったため、研究を通じたものよりも、日常生活を通じて得られた部分が多いと思う。妻も一緒に連れて行っていたこともあり、日常生活においても英語を使う機会は限定的であったが、アパートの契約や妻の通院、同じアパートの居住者の方々との会話を通して日常で困らない程度のコミュニケーション能力は身についたと思っている。声質などによってはまだまだ相手の声が聞き取れないということもあり、また、長い話を聞いてそれを記憶しておくことは難しいことが多いが、渡航前とくらべればかなり聞き取れるようになっていると思う。

海外におけるネットワークに関しては、本派遣期間では満足できる程度に広げることができなかったと思っているが、自分の滞在期間自体はまだ半年残っており、この期間で広げていきたいと考えている。

#### 【派遣の感想】

学会や競技会以外の目的で海外渡航することは今回が初めてであり、英会話に自信もなかったもので、現地に到着するまではかなり不安があったが、現地に着てみると簡単な挨拶さえできれば日常生活で困るようなことはほとんどなく安心できた。研究に関する議論は未だに難しいが、研究室のメンバーはこちらの発信する内容に関しては辛抱強く聞いてくれ、また、聞き返せば説明しなおしてくれるので、何とか研究を進めることはできた。これに関しては、留学生を多く迎えている研究室の特徴なのかもしれないが、中国など他のアジア系の留学生にも英語を苦手としている人は多く、それでも研究活動は十分できていることから、英語力に関してはあまり心配する必要はないのかもしれないと思っている。