

意思決定と制御 - 計画数理学講座



研究室紹介

藤崎泰正*, 奥原浩之**

Decision and Control - Division of Operations Research

Key Words : Control systems theory, Robust optimization,
Soft computing, Operations research

1 はじめに

計画数理学講座は、大阪大学大学院情報科学研究科の情報数理学専攻に属し、計画を立てる - 意思決定 (Decision) と計画を実行する - 制御 (Control) について、数学的理論および工学や社会科学の諸問題への応用を研究しています。例えばロバスト最適化やソフトコンピューティングなど、意思決定と制御のための数理的アプローチを、工学や社会科学における真に有用な方法論およびツールとして確立することを目指しています。

本講座に所属する教員は、現在、制御理論を専門とする教授の藤崎泰正 (2010年10月着任) と、ソフトコンピューティングを専門とする准教授の奥原浩之 (2006年4月着任) の2名です。研究室にはさらに、情報科学研究科情報数理学専攻に所属する博士前期課程の大学院生が5名、アンゴラと中国から来た研究生が2名、工学部応用自然科学科応用物

理学科目の学部生 (卒研究生) が3名、あわせて10名の学生がいます。

研究室のある場所は、吹田キャンパスにある大学本部の南西、大阪大学コンベンションセンターの西隣に位置する (2008年12月に竣工した、まだ真新しい雰囲気が残る) 建物、情報科学研究科B棟です。その2階にある居室を中心に、研究活動を行っています (図1参照)。

以下では、計画数理学講座における研究内容について、各教員より紹介します。



図1: 研究室の風景



*Yasumasa FUJISAKI

1964年1月生
神戸大学 大学院工学研究科 修士課程
システム工学専攻修了 (1988年)
現在、大阪大学 大学院情報科学研究科
情報数理学専攻 計画数理学講座 教授
博士(工学) 制御工学、システム工学
TEL : 06-6879-7868
FAX : 06-6879-7871
E-mail : fujisaki@ist.osaka-u.ac.jp



** Koji OKUHARA

1968年9月生
広島大学 大学院工学研究科 博士課程
後期システム工学専攻修了 (1996年)
現在、大阪大学 大学院情報科学研究科
情報数理学専攻 計画数理学講座 准教授
博士(工学) 数理工学、システム工学
TEL : 06-6879-7877
FAX : 06-6879-7877
E-mail : okuhara@ist.osaka-u.ac.jp

2 動きをデザインする「制御理論」

まず、藤崎の研究する制御理論についてです。制御理論の目的は、動きをデザインすることにあります。これを身近な例を通して説明します。

それでは、ヨーヨーを一つ用意してください。適当な紐におもりをぶら下げたものでも構いません。まず、ヨーヨーの紐を伸ばした状態で手からぶら下げ、空中の適当な位置に静止させます。そして、手を左から右へ動かします (図2参照)。いま、左側

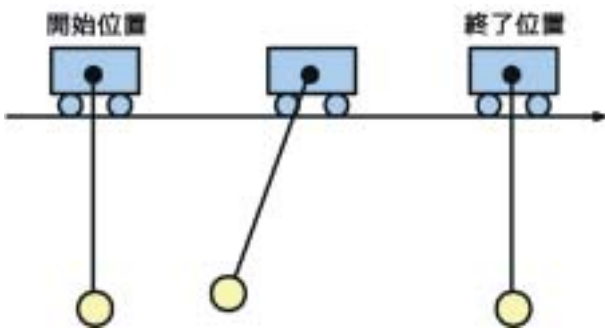


図2：ヨーヨーの移動

の指定された位置で静止しているヨーヨーを、右側の指定された位置で再び静止させることを制御の目的とするとき、手をどのように動かせば、ヨーヨーの移動時間が最小になるでしょうか。

ヨーヨーは、手を動かしても直ちに動きませんし、逆に手を止めても直ちに止まりません。つまり、これらの動きは現時刻のみの瞬間的な関係により決まるのではなく、過去どのように動いて来たかという履歴に依存して決まります。この性質をダイナミクス（動特性）と呼びます。ダイナミクスを知るには動きの（時間に関する）履歴を詳しく見る必要があります。ヨーヨーの最短時間制御問題の答えがすぐに思い浮かばないのは、そのためです。

このヨーヨーの制御は、港のガントリークレーンの制御において、荷物の積み卸しにかかる時間を短くしたい場合を想定したものです。ただ、実際の状況では、荷物を吊下げるワイヤーを巻き上げながら移動させるなど、より複雑なダイナミクスを扱う必要があります。したがって、実際に試しながら考察を進めるだけでは限界があります。

制御理論とは、ダイナミクスの解析と設計のための体系的な方法を与えるものです。その基本となる考え方は、制御対象となるシステムを、数理モデルとして表すことにあります。つまり、動きを物理（力学）の知識などを用いて、微分方程式や差分方程式として記述します。そして、数理モデルの性質を数学的に調べることによって、システムのダイナミクスを理解し、制御系を設計する方法を導きます。

このように制御理論は、動きのあるシステム全般を対象とするものですが、これを特定の制御対象に対して再構成することにより、実際の工学問題を解決することができます。藤崎自身が取り組んだ例としては、鉄鋼生産設備を対象に、連続圧延機で圧延

中の板のスタンド間張力を調整するルーバ装置の制御法や、連続鋳造機における2次冷却制御のシミュレータベース設計などがあります。また、制御理論は、いわゆる制御のためだけでなく、データ解析にも用いることもでき、動的システムから得られる速度や加速度などの時系列データに基づくオンライン故障診断技術の構築などにも取り組んで来ました。

以上のような実問題への取り組みとともに、制御理論の適用範囲を広げることを目指した基礎研究を行っています。現在特に注力しているのはロバスト制御（robust control）であり、制御対象の変動を事前に考慮することにより、性能のばらつきを抑える制御系を設計する問題です。

ロバスト制御のイメージをつかんで頂くために、航空機の姿勢制御を例としたシミュレーションを用意しました。図3は標準的な最適制御により姿勢制御する場合、図4はロバスト制御による場合です。ここで(a)は制御対象の物理パラメータが公称値の場合の姿勢の振る舞い（横軸は時間、縦軸は姿勢）であり、(b)は公称値から変動したときの応答の例を、いくつか重ね書きしたものです。このように、パラメータが変動すれば振る舞いもばらつくのですが、その変動の範囲や大きさなどの事前情報に基づいて適切に制御則を設計すれば、パラメータが変動しても振る舞いのばらつかない（ロバストな）制御系が得られます。

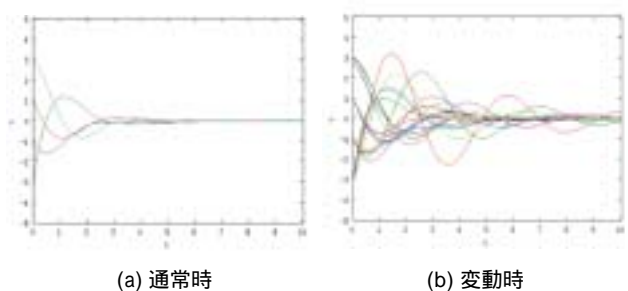


図3：標準的な「最適制御」

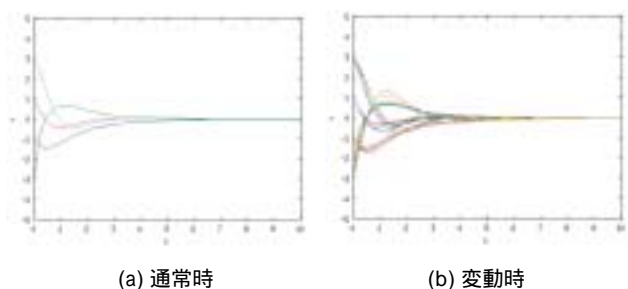


図4：ばらつきを抑える「ロバスト制御」

なお、この設計には、藤崎らが開発中のランダムイズドアルゴリズムを用いています。その特徴は、複雑・大規模な数理モデルでも扱うことができること、設計結果に（確率的な意味で）厳密な精度保証があること、設計に必要な計算量が小さいことなどです。

3 不確かさを考慮した「意思決定」

次に、奥原の研究している内容についてです。現在までに生物の遺伝子、神経回路網や人間が行っている自律分散的な進化、柔軟な情報処理や学習の機構をモデル化し、応用することを研究してきました。具体的にはニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズム、ファジィ推論、ラフ集合、セルオートマトンなどのソフトコンピューティング技術を活用した統計数理解析手法の開発、ならびに開発手法のデータマイニングへの適用、これらを組み込んだ使い勝手の良いシステムの実用化に取り組んできました。また、工学や経営科学がかかえる問題解決のために、積極的に新しい理論や情報技術を活用した研究を展開してきました。

具体的には、サプライチェーンなどの複数の企業間での生産管理やスケジューリングの問題に対応できる Java Server Pages (JSP) と MySQL を組合した Web 情報システムの開発、品種選定などの食糧・農業の問題へ活用できる C プログラムによるデータマイニングシステムの開発、アンケート分析などの経営・マーケティングの問題へ適用できるラフ集合を用いたテキストデータマイニングシステムの

提案、土壌汚染などの環境の問題へ利用できるセルオートマトンによる可視化システムの開発、食育のための C++ プログラムによる献立作成支援システムの開発を行ってきました。

そこに組み込まれている手法は、確率論、数理統計学やラフ集合分析を基礎としたソフトコンピューティング手法やオペレーションズ・リサーチの手法を個別の目的に応じて改善したものです。総じて、不正確さを含む数値データから意思決定に利用可能な信頼性・確度の高い情報を抽出して、高品質・効率的な仕組み作りの支援です。そのような取り組みの中で 2006 年に、スケジューリング学会から技術賞を受賞させていただきました。

現在は、大きく二つのことに取り組んでいます。まず一つ目ですが、統計数理研究所、国立情報学研究所と産業環境管理協会と共同で、環境政策における Evidence-Based Design を実現する WEB LCA による ICT 連携の構築を目指しています。環境をあらゆる政策の基本とする環境共生型都市を目指し、環境モデル都市でもある京都市において、京都発 CO₂ マイナスプロジェクトを成功に導くためには、Evidence-Based Design に基づいた政策が望まれています。CO₂ 排出量 10% 削減モデル事業の評価のためには客観的指標が必要であり、脱温暖化パートナーシップへ参画する事業体を増やすためにも、プロジェクトでは WEB LCA の提案により、インターネット上で稼動する楽で、簡易で、共通した ICT により連携できる仕組みを実現する取り組みです（図 5 参照）。負荷を下げる仕組みを理論的に構築して、



図5 : WEB LCA

それを組み込んだシステムを社会で使ってもらうため、行政、企業、政治も巻き込んだ社会実験の枠組みが構築されつつあります。京都市でうまくいくとアジアへの普及も視野に入ると考えています。

もう一つは、純粋に理論的な興味で、基礎的なダイナミクスの根底に適者生存的な振る舞いが機能しているのではとの直感がどの程度、当てはめられ、応用できるかということです。これは複製方程式と位相軌道同値なのですが、回帰分析の係数の決定のような基礎的な仕組みもその枠組みで理解できます。アナロジー的な発想で理解できる範囲、活用できる領域を広げていけるように思っています。

4 おわりに

以上のように、計画数理学講座では、意思決定と制御のための数理的アプローチに関する研究を行っています。制御理論やソフトコンピューティングを駆使し、工学や社会科学における諸問題の解決に取り組んでいます。そして、本講座が所属する情報科学研究科情報数理学専攻の他の研究室、非線形数理

講座、情報フォトリクス講座、システム数理学講座、知能アーキテクチャ講座と協力しながら、数理科学と応用物理学の融合による情報数理学の確立を目指して、研究と教育を進めています。

ところで、ヨーヨーの最短時間制御問題について、答えがまだでしたが、結局、どのように手を動かせばよいのでしょうか。実は、それに答えるには、手をどのくらい素早く動かせるかに関する制約を知る必要があります。その情報が与えられたとき、それに依存して、手をどのように動かせばよいかが決まります。制御理論は、このような原理原則とともに、手の具体的な動かし方を求める手段を提供します。ただし、ヨーヨーの制御問題自体は比較的単純なので、じっくり考えると、どのように手を動かせばよさそうかを想像できます。皆さんも、目の前でヨーヨーを左右に揺らしながら、考えてみてください。ゆらゆらと揺れるヨーヨーも、よく見ると、静止する一瞬がありますね...
なるほど!! ...だとすると...?!

