

ビッグデータ時代におけるシステム工学

～ 最適化を中心に ～

安田 恵一郎

- 工学博士(1989年3月:北海道大学)
- 東京都立大学 教授(2026年3月まで)
- 電気学会 第110代会長(2023年5月～2024年5月)
- 進化計算学会 会長(2024年10月～現在)
- 日本学術会議 連携会員(2023年10月～現在)
- 日本工学会フェロー(2025年5月～現在)

最適化問題の定式化と分類

【最適化】 所与の条件の下で最適な決定を求めること

$$\begin{array}{ll}\min & f(x) \\ \text{subj. to} & g(x) \leq 0 \\ & h(x) = 0\end{array}$$

狭義の最適化
最適化問題

- 目的関数・制約関数の線形性・非線形性
 - 線形計画問題, 非線形計画問題(高次元・多峰性)
- 制約条件の有無
 - 無制約最適化問題, 有制約最適化問題
- 目的関数のスカラー・ベクトル
 - 単一目的最適化問題, 多目的最適化問題(多数目的)
- 決定変数の連続・離散
 - 連続最適化問題, 離散最適化・組合せ最適化問題(大規模・NP困難), 混合整数計画問題

最適化を取り巻く環境と実用化における課題

広義の最適化(工学的最適化)

狭義の最適化



最適化手法に合致したモデリング

→ 実システム・モデル・手法間

のバランスの困難さ

モデルと実システムとの乖離

→ 得られた解の実行可能性・

最適性が不十分

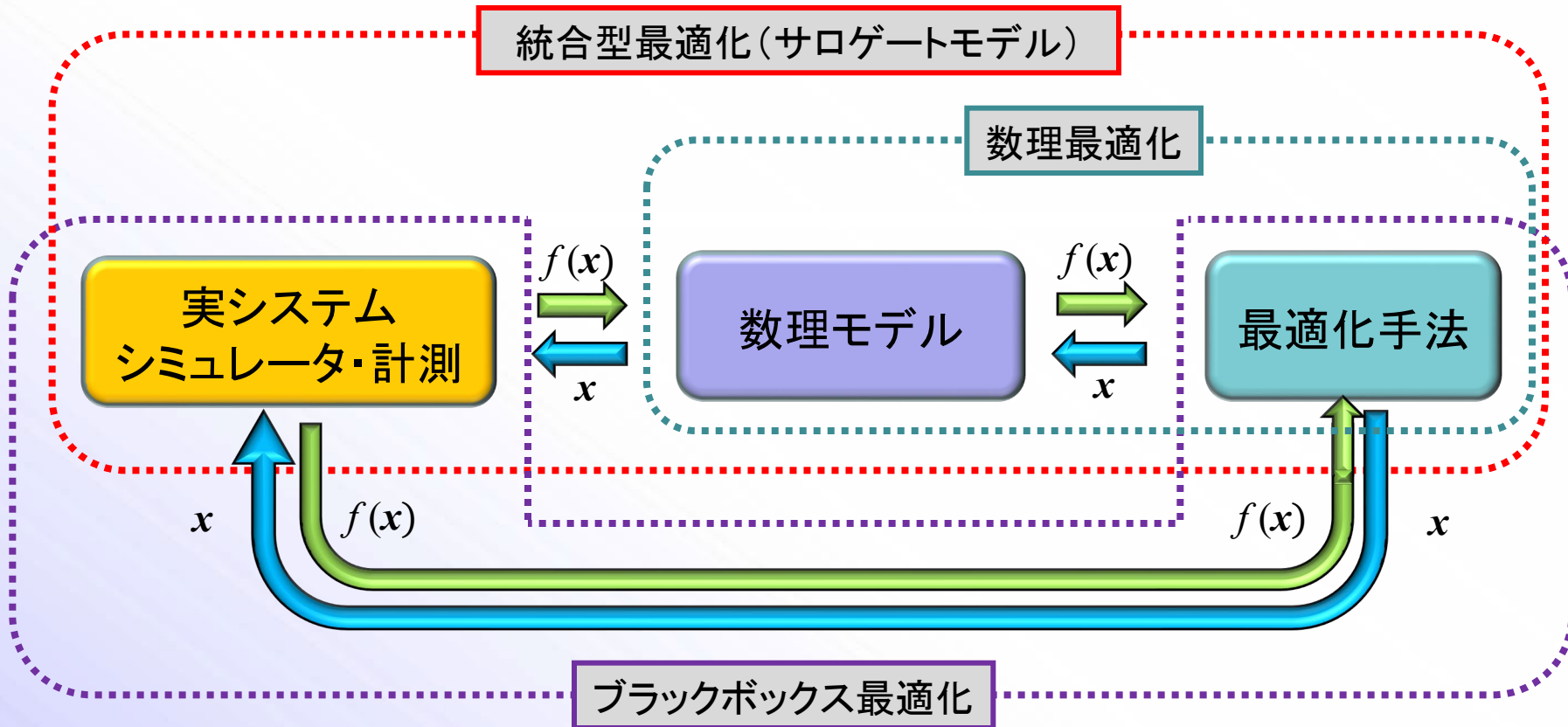
最適化を取り巻く環境の変化と課題

- 実システムの大規模・複雑化 ⇒ 高次元・多峰・NP困難・多目的・有制約
- シミュレーション・計測技術の発達 ⇒ Big Data・IoT・シミュレータ
- コンピュータパワーの飛躍的増大 ⇒ 列举的・統合的アプローチ



実用的な最適化手法・枠組みが必要

最適化の多様な枠組み



メタヒューリスティクス(発見的最適化手法)

➤ ヒューリスティクス(Heuristics)

- ヒューリスティック : 発見的, 理論的な証明がない
- ヒューリスティクス: 発見的教授法

➤ メタ(Meta)の概念

- 個別の要素を構造的に司る上位概念
- メタ推論(人工知能), メタフォント, など

➤ メタヒューリスティクス(Metaheuristics)

- 発見的知識(ヒューリスティクス)に基づく最適化アルゴリズムの枠組み
- アルゴリズム内のパラメータの調整により, 多様な問題を解き得る汎用的最適化
- 決定変数・評価値情報のみで最適化(実システム・モデル・最適化手法の独立性)



- 高次元・多峰構造の連続最適化問題の実用的解法
- 大規模組合せ最適化問題の実用的解法
- シミュレータ・計測技術と結合した実用的最適化
- ブラックボックス最適化
- 多目的・多数目的最適化の実用的解法

代表的なメタヒューリスティクス

	年代	名称	提案者	現象	
60's ~ 80's	1960	Evolution Strategy	Rechenberg	生物の進化	進化計算
	1970	Genetic Algorithm	Holland	生物の進化	
	1983	Simulated Annealing	Kirkpatrick et al.	金属焼き鈍し	
	1989	Tabu Search	Fred Glover	人間の記憶過程	
90's	1995	Particle Swarm Optimization	Kennedy/Eberhart	鳥・魚の群行動	Nature-Inspired
	1996	Differential Evolution	Storn/Price	生物の進化	
	2005	Artificial Bee Colony Algorithm	Karaboga et al.	蜂	
	2008	Firefly Algorithm	Xin-She Yang et al.	蛍	
00's	2009	Cuckoo Search	Xin-She Yang et al.	カッコウ	
	2010	Bat Algorithm	Xin-She Yang et al.	コウモリ	
	2010	Wind Driven Optimization	Z. Bayraktar et al.	大気	
	2011	Brain Storm Optimization	Yuhui Shi	思考	
	2011	Spiral Optimization	K. Tamura/K. Yasuda	渦	
	2012	Wolf Search Algorithm	Xin-She Yang et al.	狼	
	2013	Flower Pollination Algorithm	Xin-She Yang et al.	花粉媒介	
10's	2015	Locust Search Algorithm	C. Eric et al.	バッタ	

人工知能（AI）ブレークスルーの要因

【優れた学習の実現に必要な条件】

■ 写像能力と学習アルゴリズム

- 写像能力（非線形性）の向上
- 学習アルゴリズム・最適化手法の開発

■ 学習データ（質・量・多様性）

- 信頼性・精度の高いデータの獲得
- 大量・多様なデータの処理

■ ハードウェアと周辺技術

- コンピュータパワーの向上
- 情報通信技術の向上



要因	内容
① 深層学習技術の確立	ニューラルネットの飛躍的性能向上
② データと計算力の進化	ビッグデータ × GPU・クラウド等の爆発的成長
③ Transformerの登場	自然言語処理・生成AIの質的転換点



■ 第三次AIブーム

- 厳密性を諦め、「大体合っていればよい」
- 全件処理、質より量、因果から相関

人工知能(AI)の学習と最適化

【機械学習】

➤ 汎用的なルールやパターンを学習データに基づいて獲得する手法

1. 教師あり学習

正解ラベルを付けた学習データを用いてAIに学習させる方法

2. 教師なし学習

正解ラベルのないデータを用いてAIに学習させる方法

3. 強化学習

報酬を与えて、試行錯誤させながら最適な行動をAIに学習させる方法



- 「進化計算」は試行錯誤しながら最適方策を探索する「ブラックボックス最適化」
- 「強化学習」における方策の最適化は「ブラックボックス最適化」の一種
- 「進化計算」の「強化学習」への適用(共進化)

ビッグデータ時代におけるシステム工学

システムとシステム思考

- システムとは、「複数要素」＋「相互作用」＋「目的」を持つ。
- システム思考とは、構造を持ったシステムとして対象を捉え、部分ではなく全体を、要素だけでなく、その繋がりや関係性を重視すること。
- 個別要素では実現できない多様な振る舞いや新たな価値の創造（創発、群知能など）を実現。

大学の役割（教育と研究）

- 「知の最先端」を担う（開拓する）こと
- 「最先端の知」を「生身の人間の条件・文化」との均衡・調和を保つように統合すること
- 自然科学および人文・社会科学の教養と専門知識を有する人材の育成

ビッグデータ時代におけるシステム工学

- ビッグデータ・AI時代を踏まえたシステム理論・方法論の開拓
- 数学・自然科学の原理・法則，人文・社会科学の広く・深い理解と経験に基づく賢慮
- システム思考に基づく，社会システムの「善き目標設定」（グランドデザイン）