

応用数理分野 8研究室紹介

山下研究室 (数理最適化[連続最適化])

藤澤研究室 (数理最適化・グラフ解析・深層学習)

澄田研究室 (組合せ最適化)

横井研究室 (離散アルゴリズム)

金森研究室 (機械学習・統計学)

高邊研究室 (情報統計力学・信号処理)

三好研究室 (確率モデル)

中野研究室 (確率論・確率微分方程式)

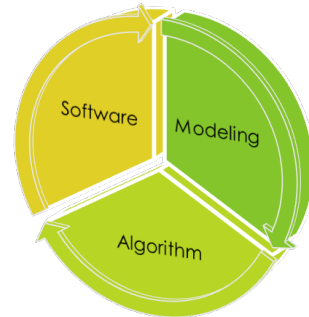
数理最適化[連続最適化] (山下研究室)

山下真・Liu Tianxiang

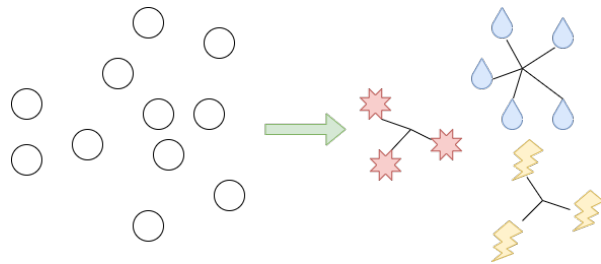
制約の中で最大となるものを
数学的アプローチで見つける！

$$\text{maximize: } f(x) \quad \text{subject to: } x \in S$$

理論的研究と
最適化ソフトウェア実装の
2つを進めています

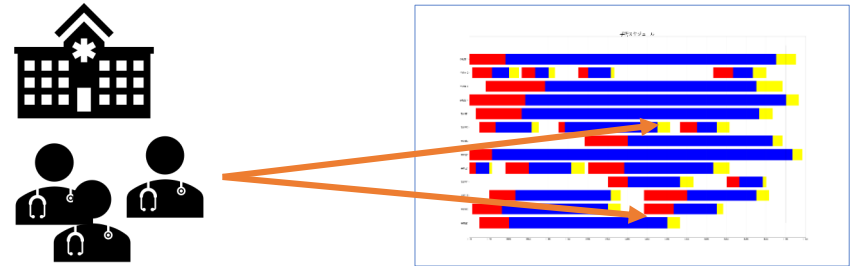


(1) 半正定値計画問題などの理論を利用して
データ相関から自動的にクラスタリング



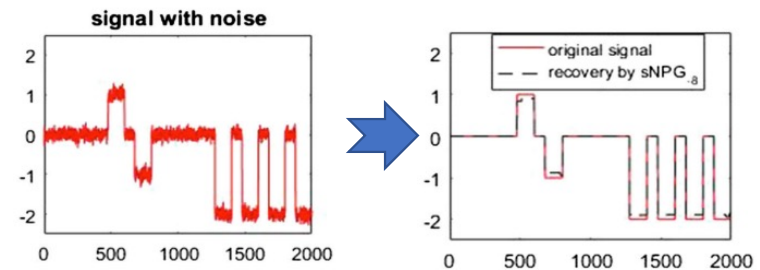
(2) 手術室割り当てスケジュール

機械学習で手術時間を予測して残業時間の最小化に反映



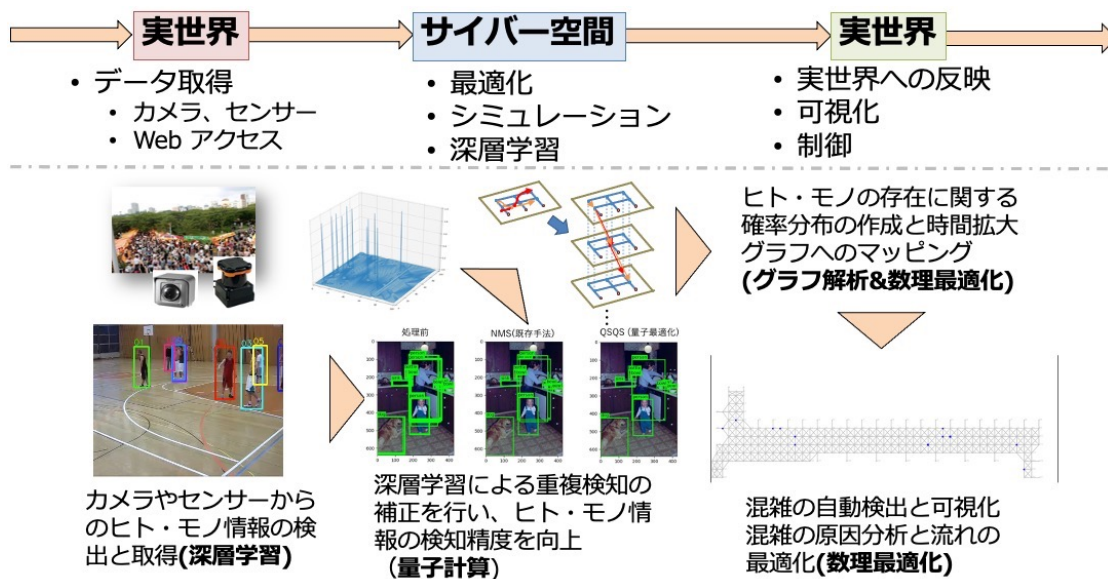
同じ医者が同時に別の部屋に
ならないように割り当て

(3) 連続最適化で活発に研究されている非凸非平滑最適化などで
受信信号からのノイズ除去

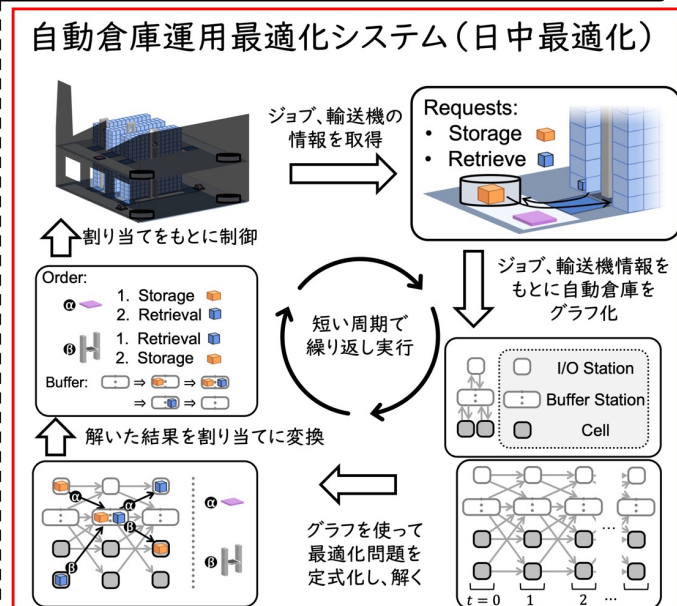


藤澤研究室 (藤澤克樹 教授, 石倉弘貴 特任助教)

- 研究分野 数理最適化, グラフ解析, 機械学習, 深層学習, 高性能計算
- 研究目的・意義 デジタルツインの実現による都市や地域及び産業界の抱える諸課題の解決
- 最近の研究課題
 - デジタルツイン実現による産業アプリケーションの創出
 - モビリティ最適化に対する数理モデルの構築とアルゴリズムの開発
 - 生産現場における深層学習と量子計算の活用
 - 深層学習を用いた移動体の検知及び追跡技術の開発
 - スーパーコンピュータを用いた大規模データ解析



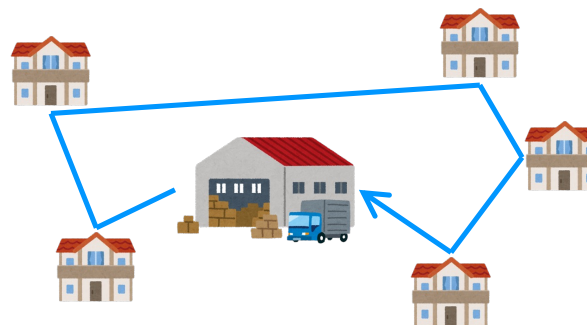
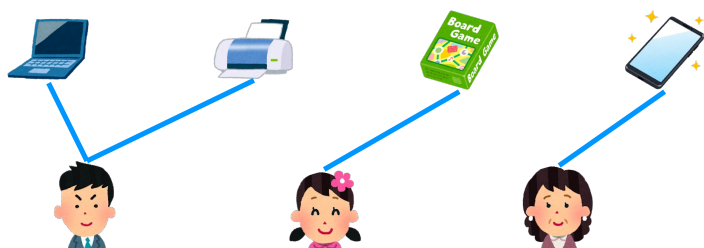
モビリティ最適化システムの開発と産業応用



スマート工場構築と数理最適化の応用

組合せ最適化（澄田研究室）

↓
制約を満たす中で最も良い組み合わせ（集合, 順列, ...）を見つけること



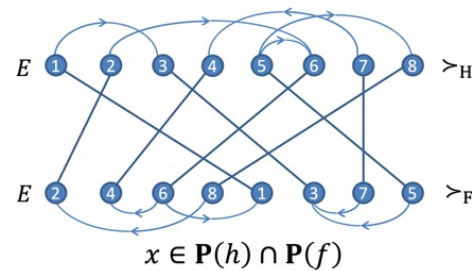
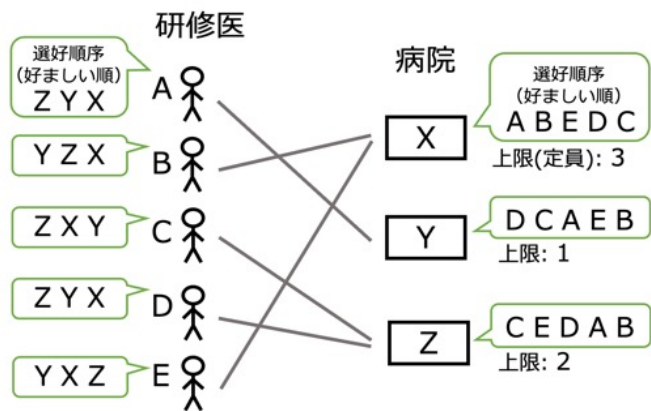
主な研究テーマ：

- 効率的なアルゴリズムの構築と理論保証
- 組合せ最適化問題のもつ離散構造の解析
- 周辺分野に現れる問題への適用

人工知能・機械学習・アルゴリズム的ゲーム理論・...

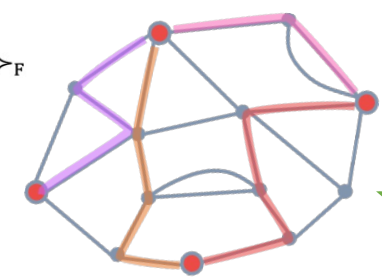
離散アルゴリズム (横井研究室)

- 離散的な対象の構造的・アルゴリズム的性質の解析
- 多数の主体の選好が絡む問題 (マッチングや割当など) での効率性や公平性についての数理的研究



ポリマトロイド上の安定割当アルゴリズム

マッチング理論の基本モデル



ターミナル間パス詰め込み問題

キーワード: マッチング, マトロイド, グラフ, 安定性, 公平性, etc.
理論研究がメインです。
問題の定式化, 数理構造の解析, アルゴリズムの設計, 等を行います。

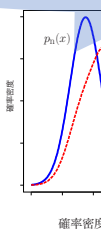
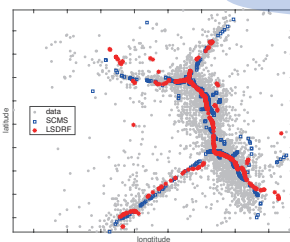
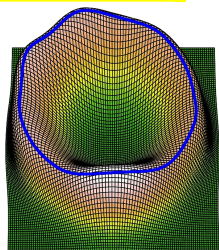
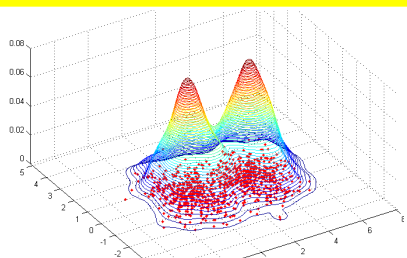
機械学習・統計学(金森研) 金森敬文・川島孝行

現代のAI (人工知能) 技術：データから推定・予測・生成を行う

テーマ：理論的に性能が保証された学習アルゴリズムの研究

- 例： i) データ数と予測精度の関係を説明 ii) 適切なデータ表現の学習法を開発

さまざまなタイプの統計的問題:



理論的解析

Lemma 5. Let us consider the RKHS \mathcal{H}_k endowed with the PS kernel k . We define $\mathbf{e}_i \in \mathbb{R}^d$ as the unit vector with one in the i -th position and zeros otherwise. For $f \in \mathcal{H}_k$ and $\xi \in (0, 1)^d$, we have

$$\lim_{t \rightarrow 0} \|\mathbf{f}_{\xi+t\mathbf{e}_i} - \mathbf{f}_{\xi}\| = 0, \quad (5)$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left\| \frac{\mathbf{f}_{\xi+t\mathbf{e}_i} - \mathbf{f}_{\xi}}{t} - \frac{\partial \mathbf{f}_{\xi}}{\partial \xi_i} \right\| = 0 \quad (6)$$

for $i = 1, \dots, d$.

Proof. We prove (6) for $i = 1$. The equation (5) is similarly proved. Suppose that $f(\mathbf{x}) = \sum_{\alpha} c_{\alpha} \mathbf{x}^{\alpha}$ with $\sum_{\alpha} \frac{(\alpha!)^2}{w_{\alpha}} c_{\alpha}^2 < \infty$. Note that both $\frac{\mathbf{f}_{\xi+t\mathbf{e}_1} - \mathbf{f}_{\xi}}{t}$ and $\frac{\partial \mathbf{f}_{\xi}}{\partial \xi_1}$ are included in \mathcal{H}_k . Using the equality

$$\frac{\mathbf{f}_{\xi+t\mathbf{e}_1}(\mathbf{x}) - \mathbf{f}_{\xi}(\mathbf{x})}{t} - \frac{\partial \mathbf{f}_{\xi}}{\partial \xi_1}(\mathbf{x}) = \sum_{\alpha} c_{\alpha} \left\{ \frac{(\xi_1 + t)^{\alpha_1} - \xi_1^{\alpha_1}}{t} - \alpha_1 \xi_1^{\alpha_1 - 1} \right\} \xi_2^{\alpha_2} \dots \xi_d^{\alpha_d} \mathbf{x}^{\alpha},$$

we have

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left\| \frac{\mathbf{f}_{\xi+t\mathbf{e}_1} - \mathbf{f}_{\xi}}{t} - \frac{\partial \mathbf{f}_{\xi}}{\partial \xi_1} \right\|^2 \leq \lim_{t \rightarrow 0} \sum_{\alpha} \frac{(\alpha!)^2}{w_{\alpha}} c_{\alpha}^2 \left\{ \frac{(\xi_1 + t)^{\alpha_1} - \xi_1^{\alpha_1}}{t} - \alpha_1 \xi_1^{\alpha_1 - 1} \right\}^2. \quad (7)$$

$$\left\{ \frac{\|\hat{\theta}_N^* - \theta_S^*\|^{1/2}}{\rho^{3/4}} + \frac{1}{n\rho} + \rho \right\}$$

アルゴリズム開発

Algorithm 1 Two-stage kernel-based estimator with INING.

Input: Training samples, and regularization parameters, λ and η .

Step 1: Find the kernel-based estimator \hat{f} by solving (1).

Step 2: Let us define $\hat{f}_{\xi}(z) = \hat{f}(\xi \circ z)$. Find the optimal garrote parameter $\hat{\xi}$ by solving

$$\min_{\xi} \hat{L}(\hat{f}_{\xi}) + \eta \|\xi\|_1, \quad \text{s.t. } \xi \in [0, 1]^d.$$

Output: The estimator $\hat{f}_{\hat{\xi}}(z)$.

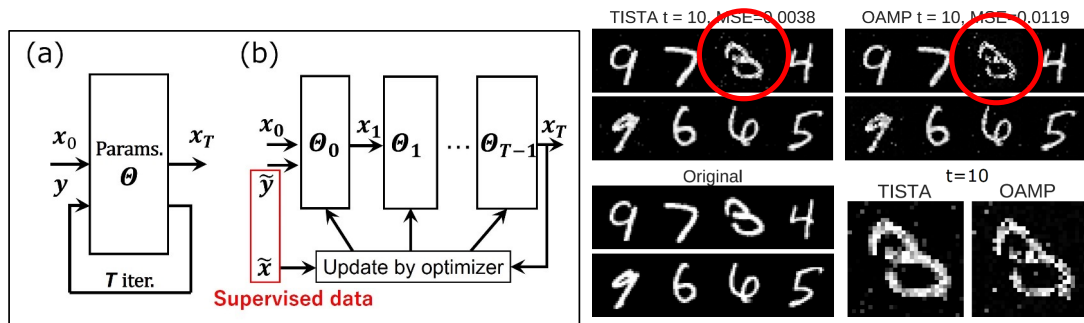


高邊（たかべ）研究室

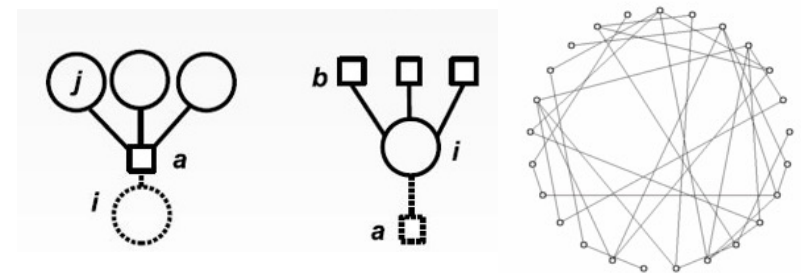
すこし変わった手法を用いた大規模情報処理手法の開発と解析

研究テーマ

- (1) 深層学習手法を利用した無線通信等の信号処理手法開発
- (2) 最適化問題や誤り訂正符号，ランダムネットワークに対する情報統計力学的解析



(1) 深層展開を利用した高性能信号処理手法の開発



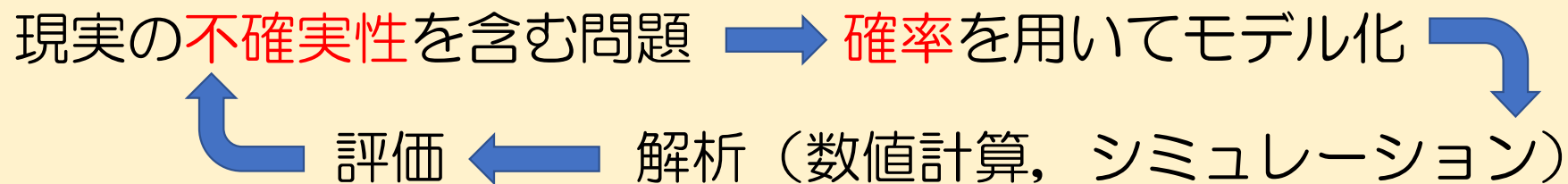
(2) 大規模ランダムシステムに対する情報統計力学的解析



研究室HPのQRコード

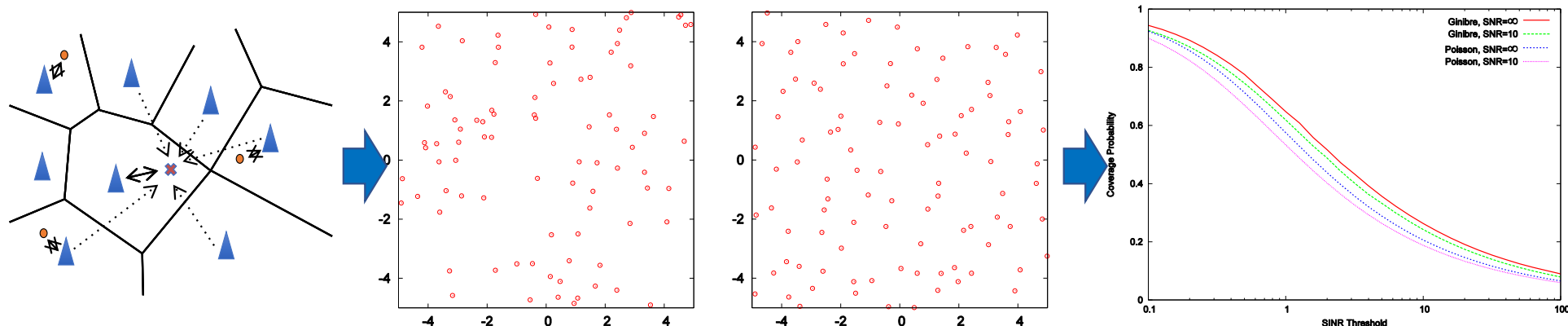
確率モデル（三好研究室）

三好 直人 教授, 矢島 萌子 助教



最近の主な対象：無線ネットワーク，コールセンタ etc.

主な道具：点過程理論，待ち行列理論，マルコフ連鎖，...



確率過程に対する理論的な研究＋応用を意識した研究

中野研究室

研究テーマ: 確率論, 確率微分方程式

$$dX_t = b(t, X_t)dt + \sigma(t, X_t)dW_t$$

研究室で出来ること

- 確率制御問題の数値解析
 - ・ 深層学習によるHJB方程式, 後退確率微分方程式の近似
- 数理ファイナンス
- 個体数変動モデル
- シュレディンガー問題, 最適輸送問題
 - ・ 逆時間確率微分方程式 → 生成AI
- 確率解析の純粋数学的研究
 - ・ マリアヴァン解析, ラフパス理論, 正則構造理論