

# 応用数理分野 7研究室紹介

山下研究室 (数理最適化[連続最適化])

澄田研究室 (組合せ最適化)

横井研究室 (離散数学・ゲーム理論)

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)

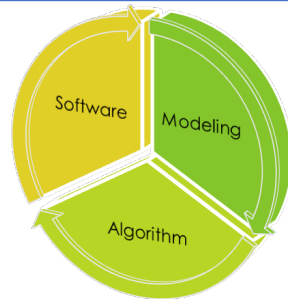
中野研究室 (確率論・確率微分方程式)

# 数理最適化[連続最適化] (山下研究室)

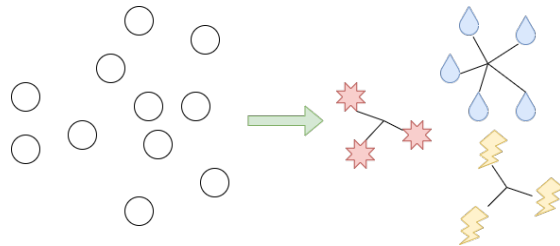
山下真・Liu Tianxiang

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

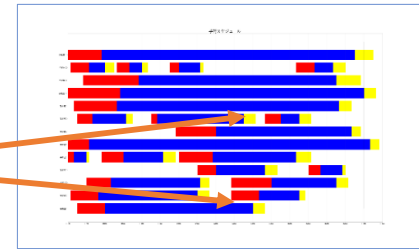


(1) 半正定値計画問題などの理論を利用して  
データ相関から自動的にクラスタリング



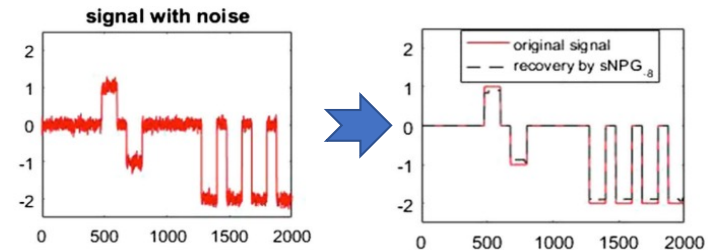
(2) 手術室割り当てスケジュール

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



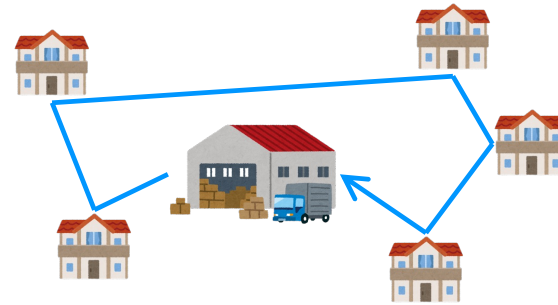
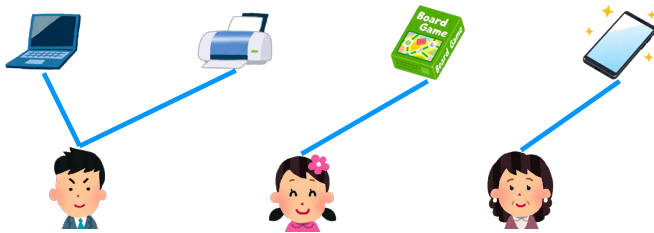
同じ医者が同時間に別の部屋に  
ならないように割り当て

(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



# 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



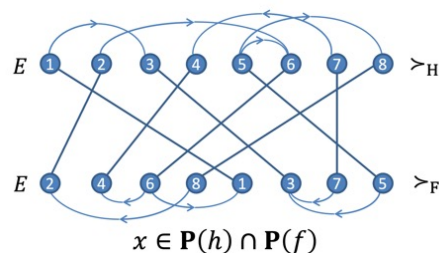
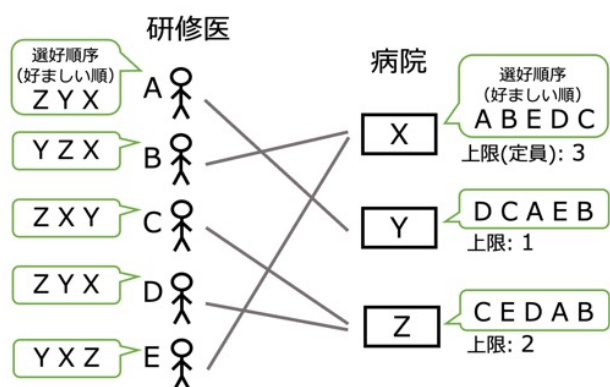
## 主な研究テーマ：

- 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・…

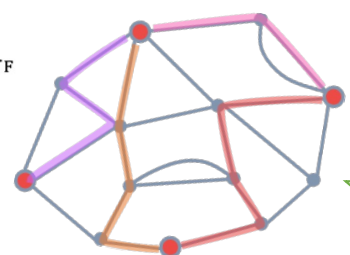
# 離散数学・ゲーム理論 (横井研究室)

- 離散的な対象の構造的・アルゴリズム的性質の解析
- ゲーム理論的 (多数の主体がいる) 問題における効率性や公平性についての数理的研究, 戦略的側面の分析



マッチング理論の基本モデル

ポリマトロイド上の安定割当アルゴリズム



ターミナル間パス詰め込み問題

**キーワード:** マッチング理論, マトロイド, グラフ, 安定性, 無羨望性, etc.

研究はもっぱら理論です.

問題の定式化, 数理構造の解析, アルゴリズム設計, 等を行います.

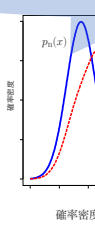
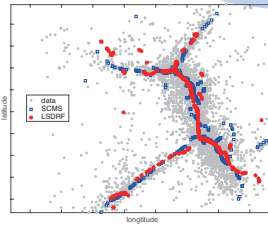
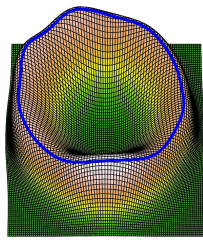
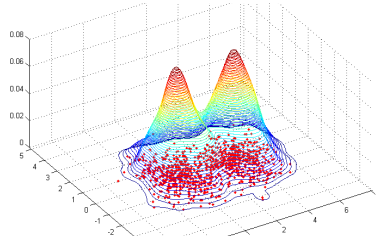
# 機械学習・統計学(金森研) 金森敬文・川島孝行

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  $e_i \in \mathbb{R}^d$  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

$$\lim_{t \rightarrow 0} \|f_{\xi+t e_i} - f_{\xi}\| = 0, \quad (5)$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left\| \frac{f_{\xi+t e_i} - f_{\xi}}{t} - \frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_i} \right\| = 0 \quad (6)$$

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

*Proof.* We prove (6) for  $i = 1$ . The equation (5) is similarly proved. Suppose that  $f(x) = \sum_{\alpha} c_{\alpha} x^{\alpha}$  with  $\sum_{\alpha} \frac{(\alpha!)^2}{w_{\alpha}} c_{\alpha}^2 < \infty$ . Note that both  $f_{\xi+t e_1} - f_{\xi}$  and  $\frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_1}$  are included in  $\mathcal{H}_k$ . Using the equality

$$\frac{f_{\xi+t e_1}(x) - f_{\xi}(x)}{t} - \frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_1}(x) = \sum_{\alpha} c_{\alpha} \left\{ \frac{(\xi_1+t)^{\alpha_1} - \xi_1^{\alpha_1}}{t} - \alpha_1 \xi_1^{\alpha_1-1} \right\} \xi_2^{\alpha_2} \dots \xi_d^{\alpha_d} x^{\alpha},$$

we have

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left\| \frac{f_{\xi+t e_1} - f_{\xi}}{t} - \frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_1} \right\|^2 \leq \lim_{t \rightarrow 0} \sum_{\alpha} \frac{(\alpha!)^2}{w_{\alpha}} c_{\alpha}^2 \left\{ \frac{(\xi_1+t)^{\alpha_1} - \xi_1^{\alpha_1}}{t} - \alpha_1 \xi_1^{\alpha_1-1} \right\}^2. \quad (7)$$

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

アルゴリズム開発

**Algorithm 1** Two-stage kernel-based estimator with INNG.

**Input:** Training samples, and regularization parameters,  $\lambda$  and  $\eta$ .

**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  $\hat{f}_{\hat{\xi}}(z)$ .

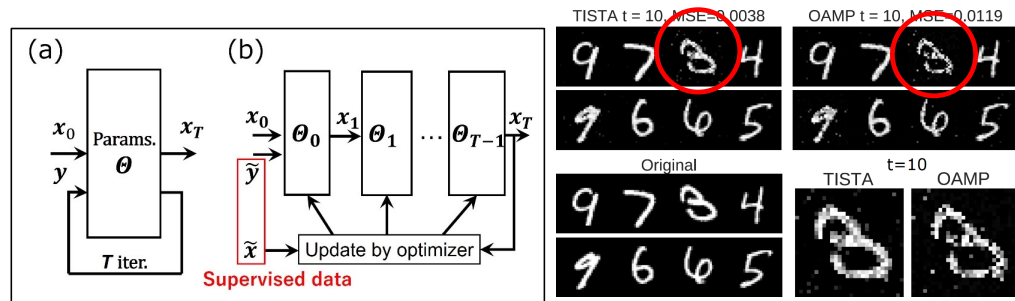


# 高邊（たかべ）研究室

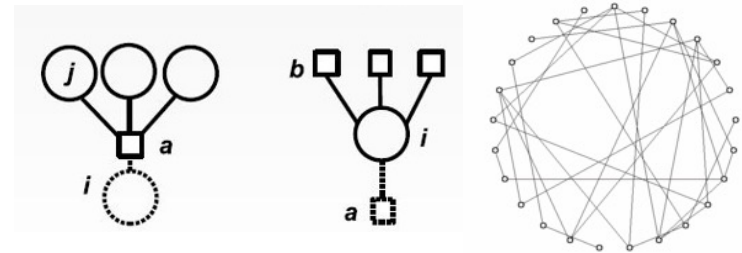
すこし変わった手法を用いた大規模情報処理手法の開発と解析

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

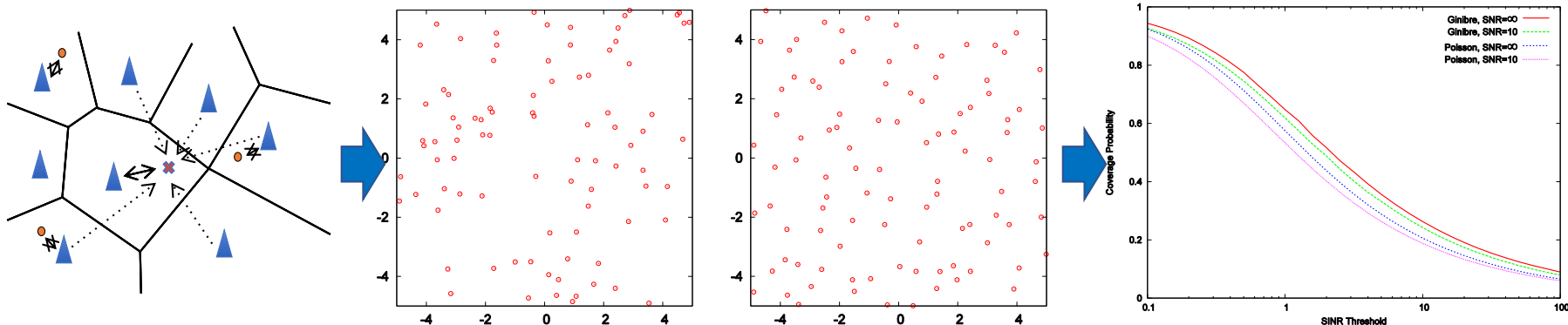
# 確率モデル（三好研究室）

三好 直人 教授, 矢島 萌子 助教

現実の**不確実性**を含む問題 → **確率**を用いてモデル化  
↓  
解析（数値計算, シミュレーション） → 評価

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
- 感染症モデル
- シュレディンガー問題, 最適輸送問題
  - ・ 逆拡散過程 → 生成AI
- 確率解析の純粹数学的研究
  - ・ マリアヴァン解析, ラフパス理論, 正則構造理論