

# 応用数理分野 9研究室紹介

山下研究室 (数理最適化[最適化理論])

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)

田中(健)研究室 (数値解析・数値計算アルゴリズム)

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)

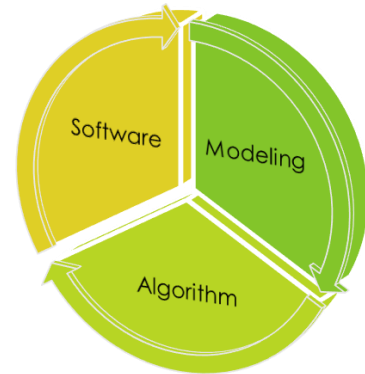
# 数理最適化[連続最適化] (山下研究室)

山下真・東悟大

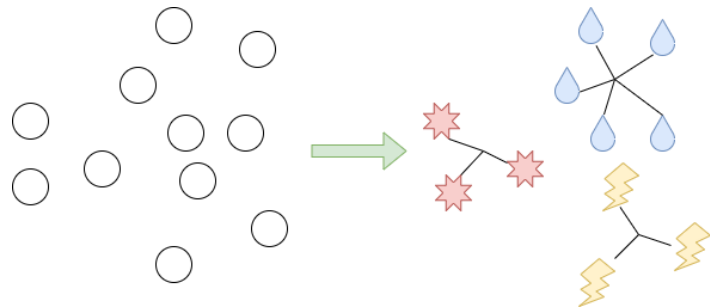
制約の中で最大となるものを  
数学的アプローチで見つける

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

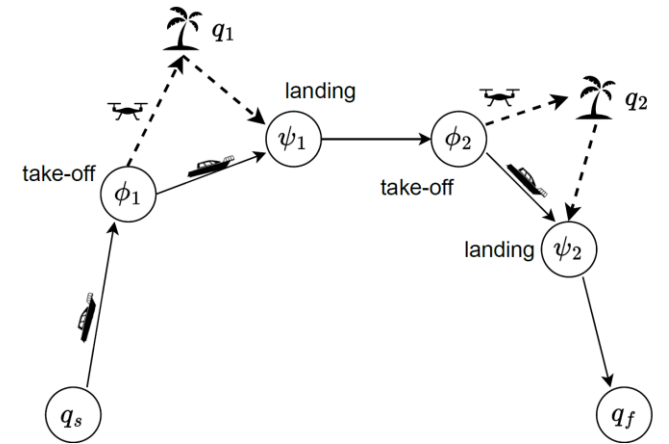
理論的研究と  
最適化ソフトウェア実装の  
2つを進めています



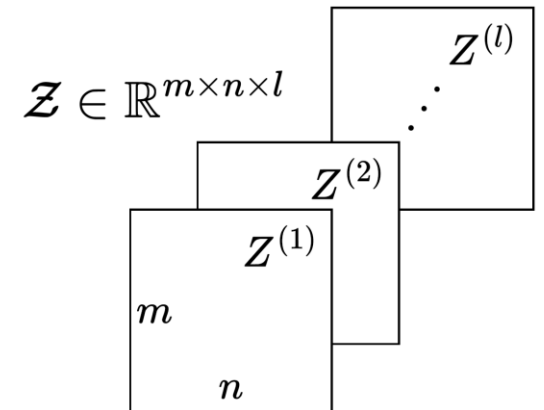
(1) 半正定値計画問題などの理論を利用して  
データ相関から自動的にクラスタリング



(2) ドローンのルート計算  
ドローンと船の場合の  
離発着点を  
錐最適化理論で  
計算

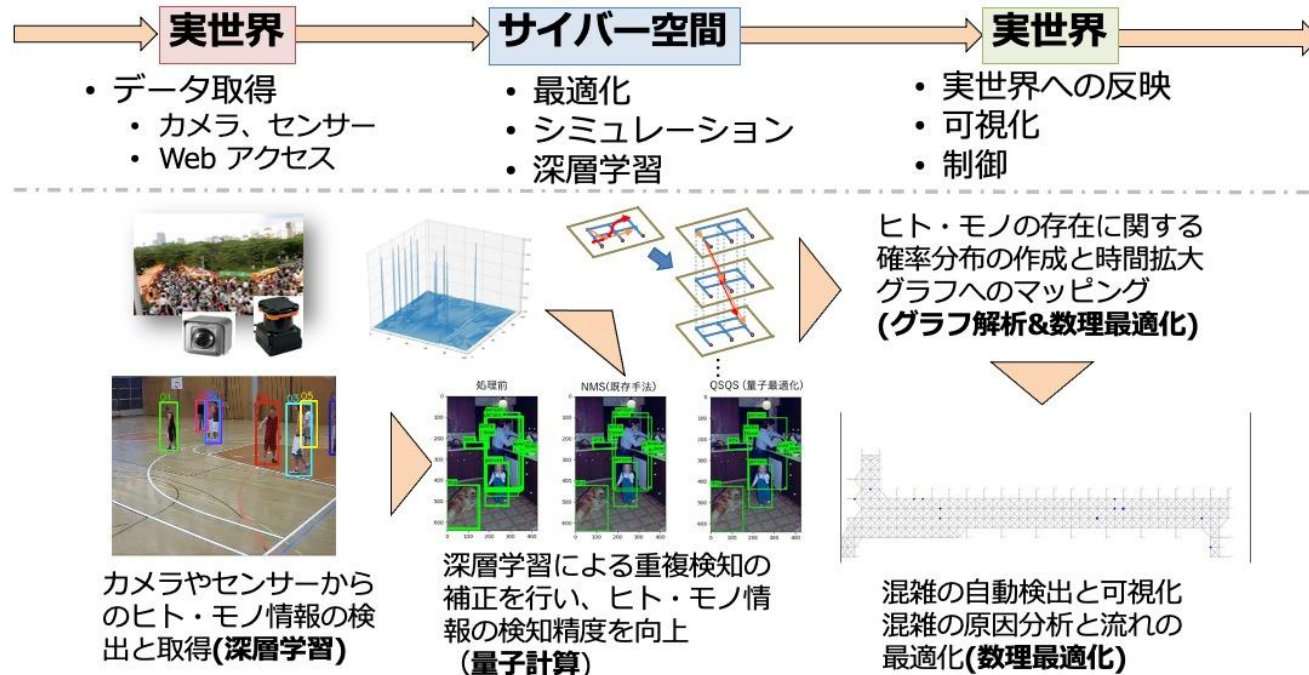


(3) 行列を拡張した  
3次元テンソルで  
計算時間短縮

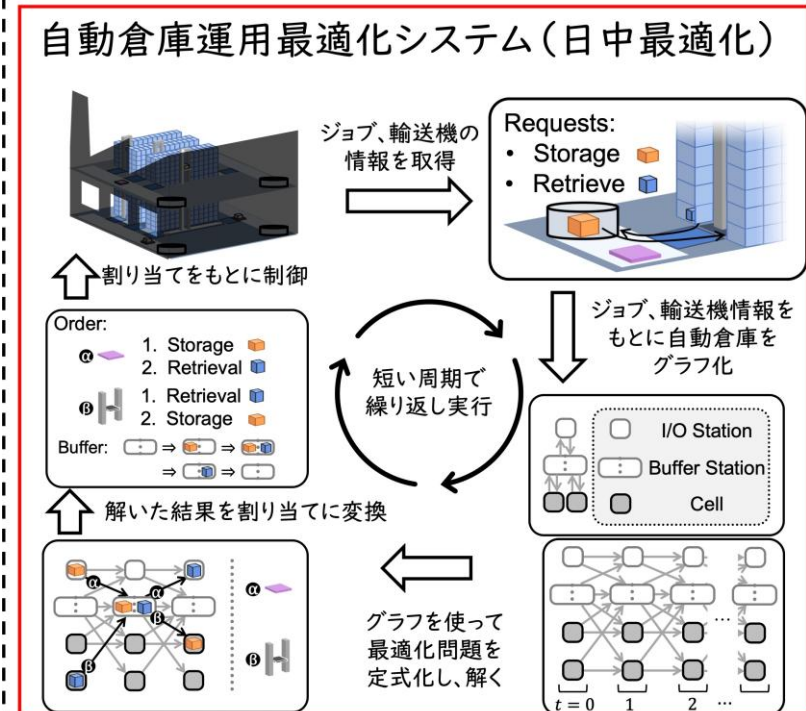


# 藤澤研究室 (藤澤克樹 教授, 瀧迅 特任准教授, 吉田明広, 山村圭一郎 特任助教)

- 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



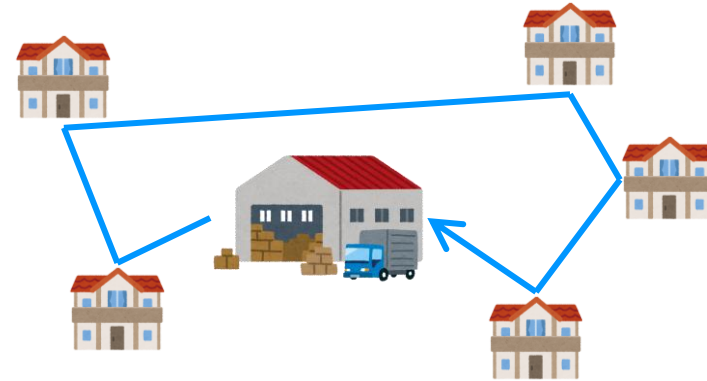
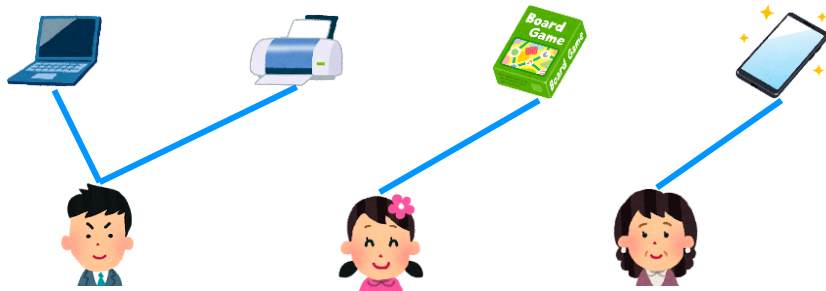
モビリティ最適化システムの開発と産業応用



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



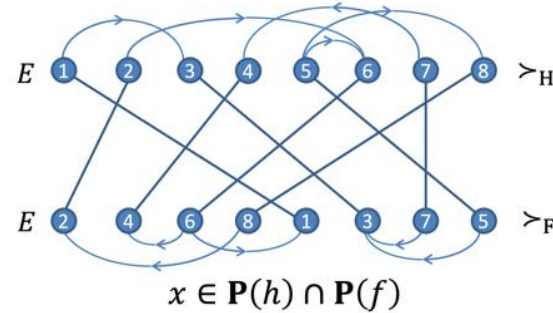
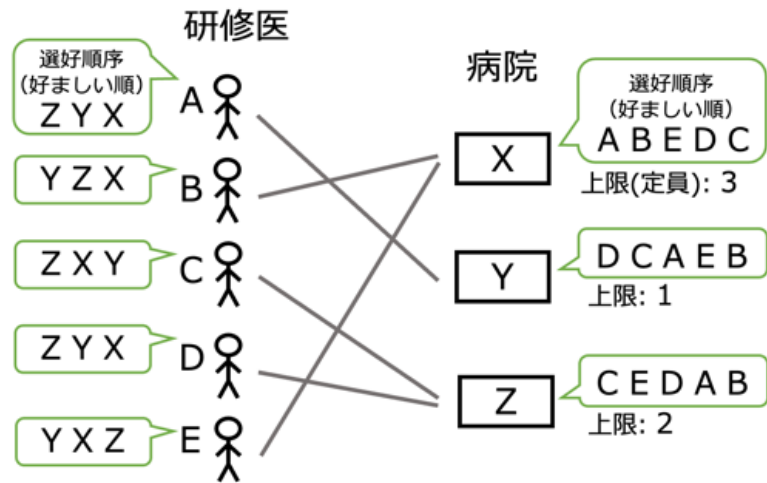
## 主な研究テーマ：

- 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・...

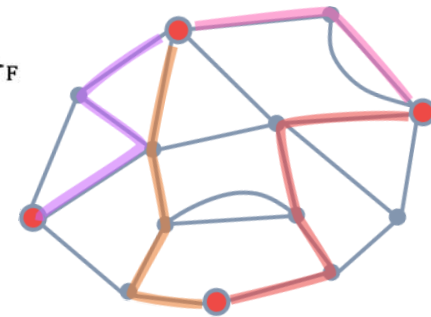
# 離散アルゴリズム (横井研究室)

- 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



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, 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。

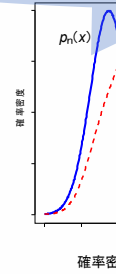
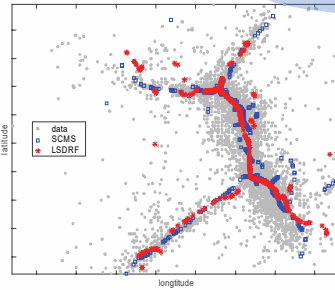
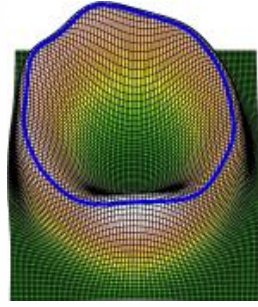
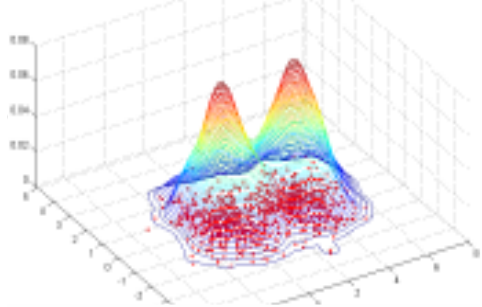
# 機械学習・統計学(金森研) 金森敬文・川島孝行

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解明 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

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

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

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  $\frac{f_{\xi+te_1} - f_{\xi}}{t}$  and  $\frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_1}$  are included in  $\mathcal{H}_k$ . Using the equality

$$\frac{f_{\xi+te_1}(x) - f_{\xi}(x)}{t} - \frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_1}(x) = \sum_{\alpha} c_{\alpha} \left\{ \frac{(\xi_1 + t)^{\alpha_1} - \xi_1^{\alpha_1}}{t} - \alpha_1 \xi_1^{\alpha_1 - 1} \right\} \xi_2^{\alpha_2} \dots \xi_d^{\alpha_d} x^{\alpha},$$

we have

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left\| \frac{f_{\xi+te_1} - f_{\xi}}{t} - \frac{\partial f_{\xi}}{\partial \xi_1} \right\|^2 \leq \lim_{t \rightarrow 0} \sum_{\alpha} \frac{(\alpha!)^2}{w_{\alpha}} c_{\alpha}^2 \left\{ \frac{(\xi_1 + t)^{\alpha_1} - \xi_1^{\alpha_1}}{t} - \alpha_1 \xi_1^{\alpha_1 - 1} \right\}^2. \quad (7)$$

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

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



## **数値解析** …… 計算機による数値計算で数理的問題を解く方法論

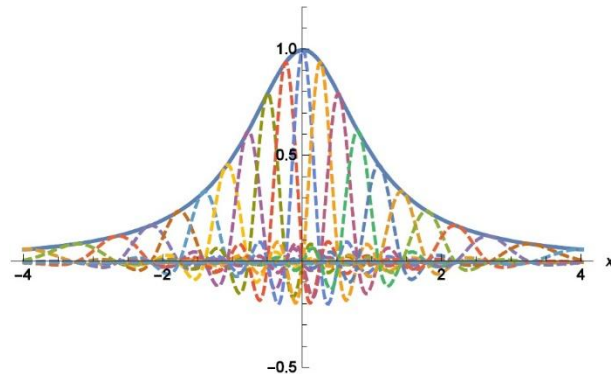
- 科学・工学の数理的問題の多くは、厳密解を求めることが困難
- データ科学が重要性を増す現代では不可欠
  - ◆ 近年はニューラルネットを「関数近似器」として使う  
数値計算法の研究も盛ん



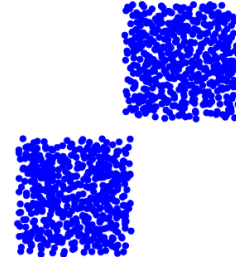
## **本研究室の主な研究課題**

### 関数・積分などの近似理論や, 計算公式の最適設計

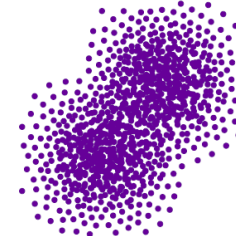
1. 解析関数に対する近似公式の設計/数学的解析
2. 最適化による(高次元)関数近似/数値積分の設計
  - a. カーネルハーディング (関数空間版最適化法) の加速法・数学的解析
  - b. (標本点生成のための) 粒子勾配流の加速法・数学的解析



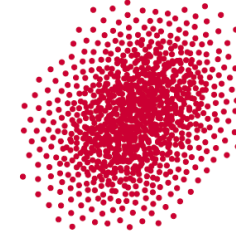
$t = 0.0$



$t = 0.4$



$t = 0.8$

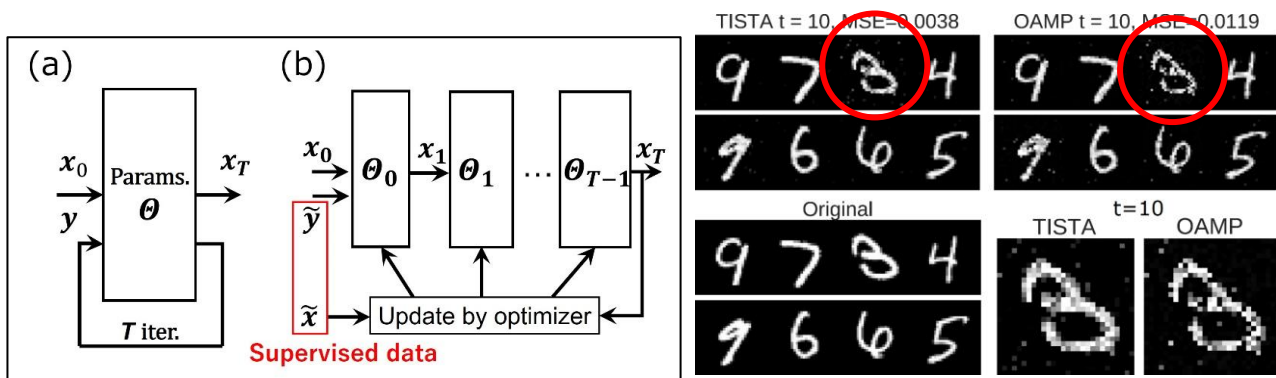


## すこし変わった手法を用いた大規模情報処理手法の開発と解析

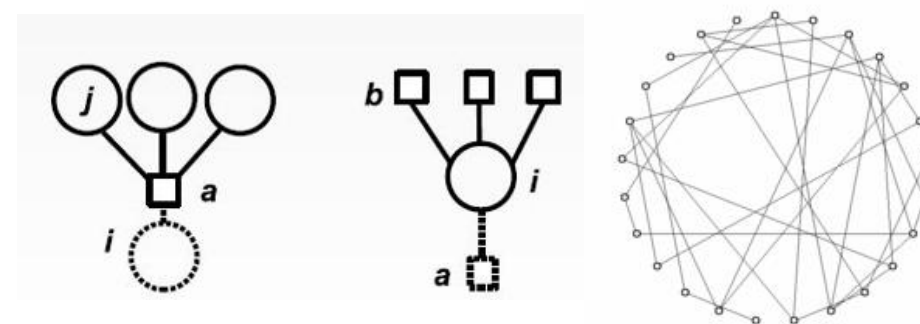
### 研究テーマ

- (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や手法開発

他のキーワード: 分布からのサンプリング, 量子 (インスパイア) 計算による最適化



(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

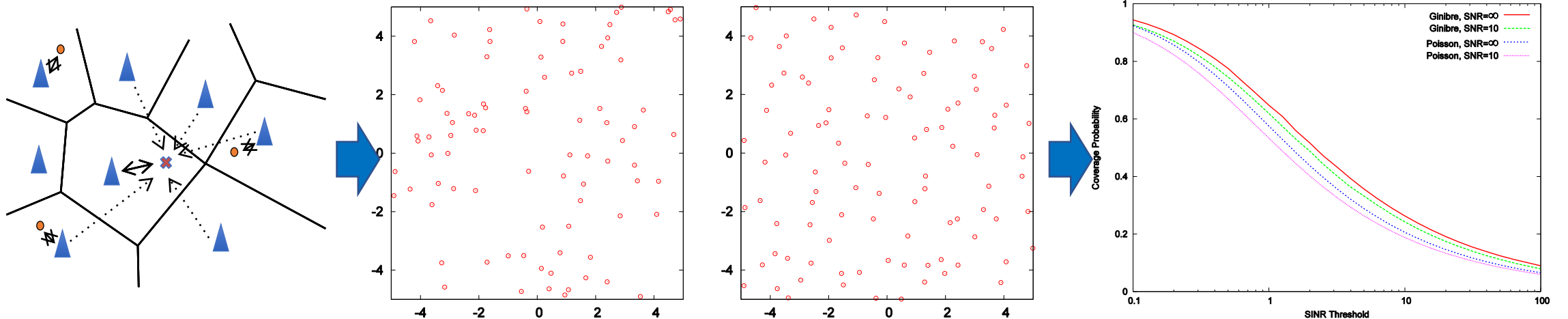
# 確率モデル（三好研究室）

三好 直人 教授・岡崎 郁也 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 → 現実の**不確実性**を含む問題

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
  - ・ 逆時間確率微分方程式 → 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