

## 研究テーマの概要

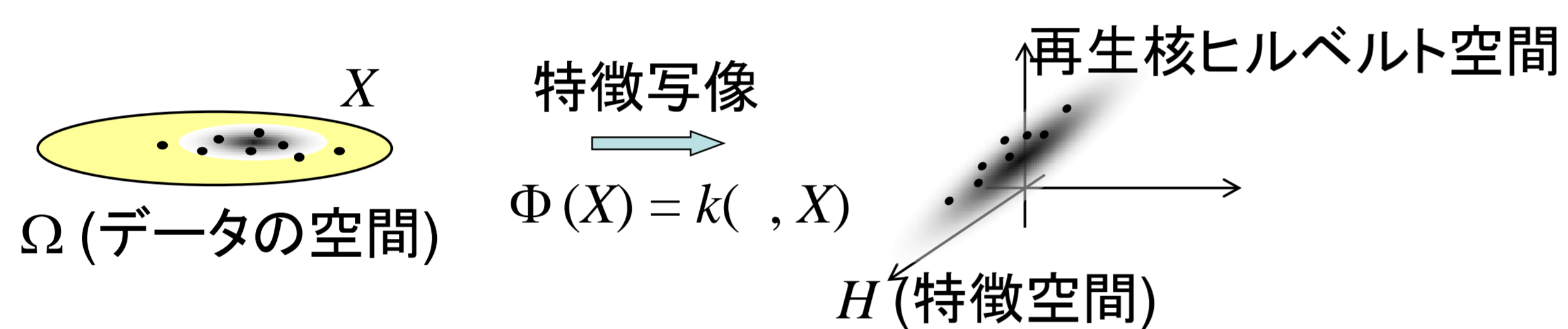
新しい統計的推論の方法とそのための計算に関する数理と応用

- ◆ カーネル法の理論と応用.  
正定値カーネルと再生核ヒルベルト空間を用いた新しい統計的推論の方法とその応用に関する研究 → (A)
- ◆ 計算アルゴリズムの幾何学的研究.  
確率計算アルゴリズムのグラフ理論的, 幾何学的研究 → (B)
- ◆ 特異モデルの統計学.  
特異点を持つ統計モデルの理論的研究

## (A) カーネル法の理論と応用

### ■ カーネル法

データの非線形性, 高次モーメントを取り込むための新しい方法論  
効率的な計算を重視



特徴空間上で線形の解析手法を適用 → 線形手法の非線形化  
カーネル主成分分析, カーネル判別分析  
サポートベクターマシン

カーネルトリック: 特徴空間での内積計算が容易

$$\langle \Phi(x), \Phi(y) \rangle = k(x, y) \quad \dots \text{正定値カーネル}$$

### ■ カーネル法の新しい展開: 共分散作用素を用いた方法

特徴空間における共分散作用素 → **独立性**の特徴づけ

特徴空間における条件付共分散 → **条件付独立性**の特徴づけ

正定値カーネルを用いた統計的推論の基礎理論と方法論を構築

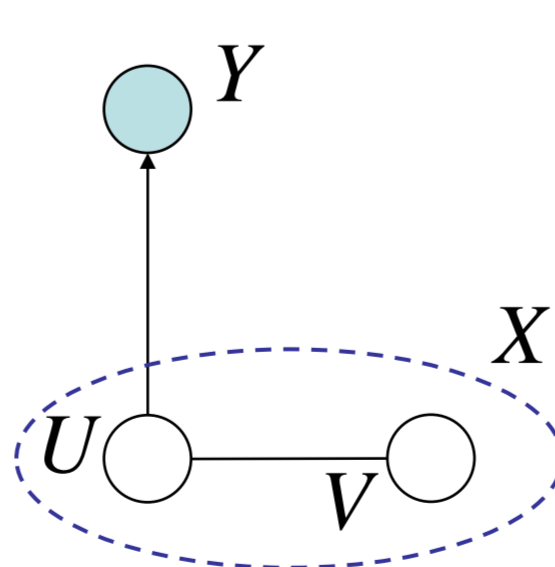
応用 カーネルを用いた(条件付)独立性尺度  
ノンパラメトリックな(条件付)独立性検定への応用

Fukumizu et al. *NIPS* 21 (2008)  
Gretton, Fukumizu et al. *NIPS* 21 (2008)

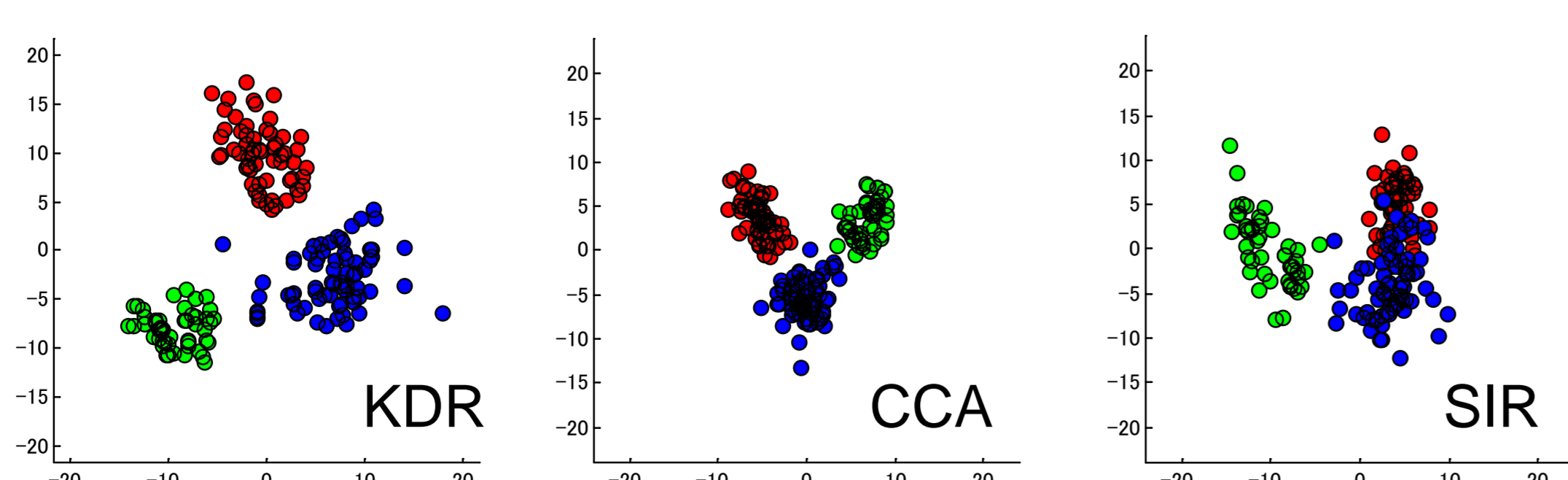
### ■ 応用1: 回帰における次元削減 - カーネル次元削減法 (KDR)

説明変数の次元削減 → 条件付独立による定式化  
カーネル法による次元削減/特徴抽出

強い仮定が不要な汎用性の高い次元削減法



Wineデータ(13次元) 2次元特徴空間へのプロット

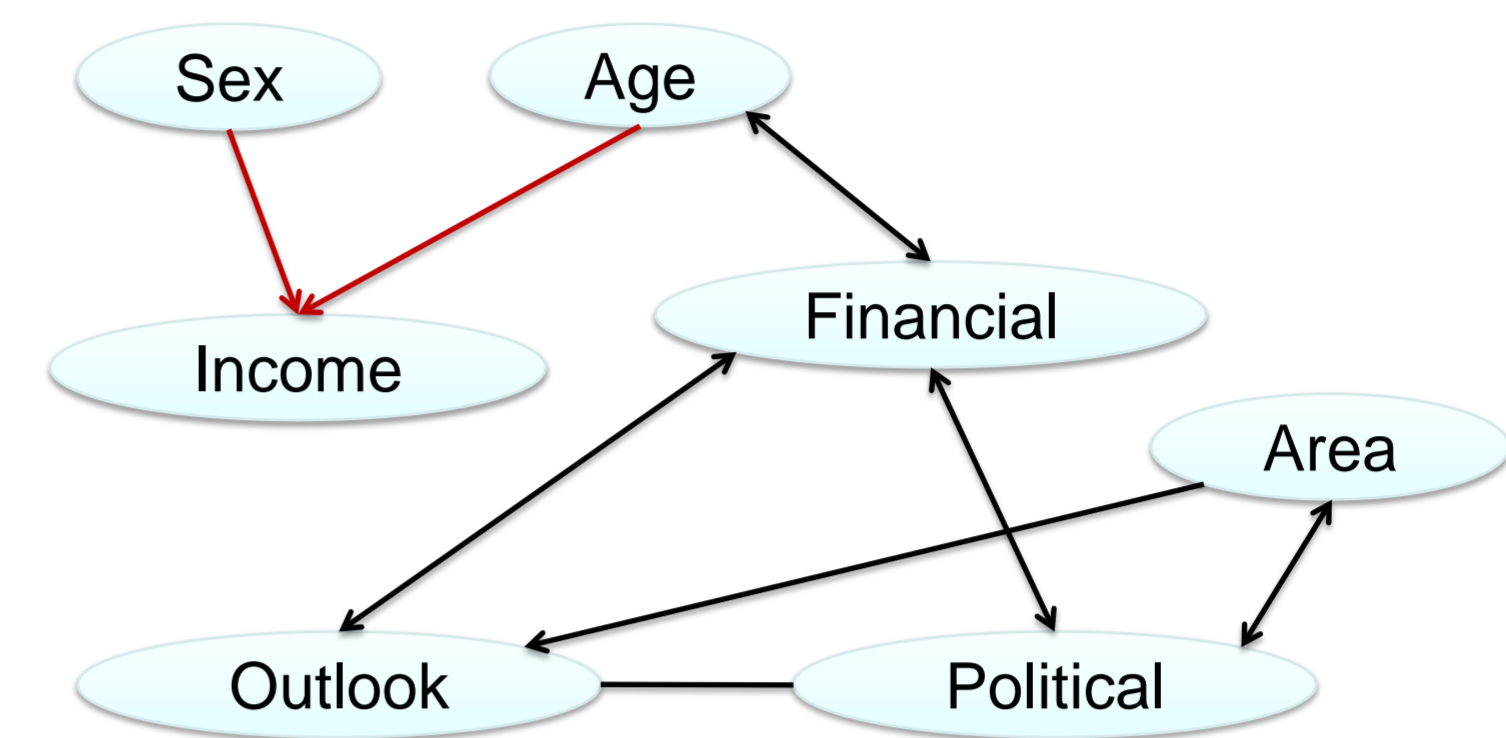


Fukumizu, Bach, Jordan *JMLR* 2004, *Ann. Stat* 2009

### ■ 応用2: 因果ネットワークの推論

条件付独立性の検定を利用  
受動的(非実験的)なデータからの因果推論

Example: Montana economic outlook poll (1992)



Sun, Janzing, Schölkopf, Fukumizu (*ICML*2007)

### ■ その他

- ・ 正定値カーネルによる無限次元情報幾何
- ・ 正定値カーネルによる確率分布間の距離の理論的研究

## (B) アルゴリズムの幾何学的研究

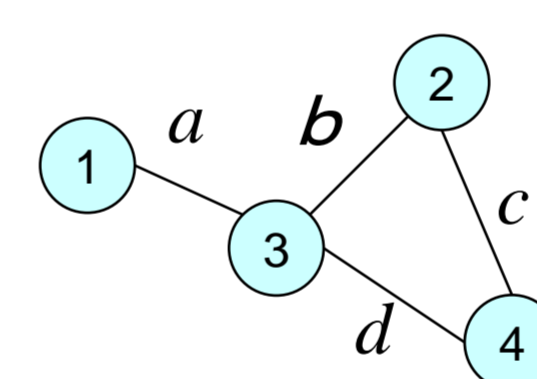
### ■ 確率伝搬法の数理的研究

**確率伝搬法:** グラフにより定義された確率分布から, 周辺分布を効率的に求める繰り返しアルゴリズム

グラフ  $G = (V, E)$  に対し, 確率変数  $(X_a)_{a \in V}$  の同時分布:

$$p(X) = \frac{1}{Z} \prod_{(a,b) \in E} \psi_{ab}(X_a, X_b),$$

例



$$p(X) = \psi_a(X_1, X_3) \psi_b(X_2, X_3) \times \psi_c(X_2, X_4) \psi_d(X_3, X_4)$$

問題: 各周辺分布  $p(X_2)$  や事後確率  $p(X_2 | X_4)$  などをも求めたい.

離散分布に対して, 変数の数に対して指数オーダーの計算

確率伝搬法は, 効率的な(近似)計算アルゴリズム

木に対しては有限ステップで厳密な結果を与える.

ループがある場合の性質は未解決. 収束性, 近似精度など

### 数学的, 幾何学的アプローチによる確率伝搬法の性質の解明

#### ◆ ループ展開による解析

分配関数( $Z$ ) のループ展開法を考案し, グラフのループと近似解との関係を明らかに.

Watanabe Fukumizu, *J. Physics A* (2009)

#### ◆ グラフゼータ関数からのアプローチ

グラフ上で定義されるゼータ関数と, 確率伝搬法のダイナミクスとの密接な関係を明らかに.  
→ 収束解の一意性への応用

Watanabe Fukumizu, *submitted* (2009)

## ともに研究してみませんか?

福水研究室では研究を共にする学生・共同研究者を募集しています.  
研究テーマは, 純粋な理論から応用的な課題まで幅広くあります.  
また, カリフォルニア大学バークレー校, Max-Planck研究所, CMU  
など世界の一流の研究機関と共同研究を推進しています.  
興味のある方は, 直接 福水(部屋231)又は fukumizu@ism.ac.jp  
まで