

Structured Learning Team

Yoshinobu Kawahara

構造的学習チーム 河原 吉伸



Center for
Advanced Intelligence Project

【構成メンバー】

- ・河原吉伸（チームリーダー(PI)）
- ・M. Weissenbacher, 波多野大督(2名の特別研究員), 西村能輝(テクニカルスタッフ)
- ・梅谷俊治, 藤井慶輔, 武石直也, 小西卓也(4名の客員研究員)
- ・その他, 1名の研究パートタイマー(修士課程学生)

2021年度中の主要な成果

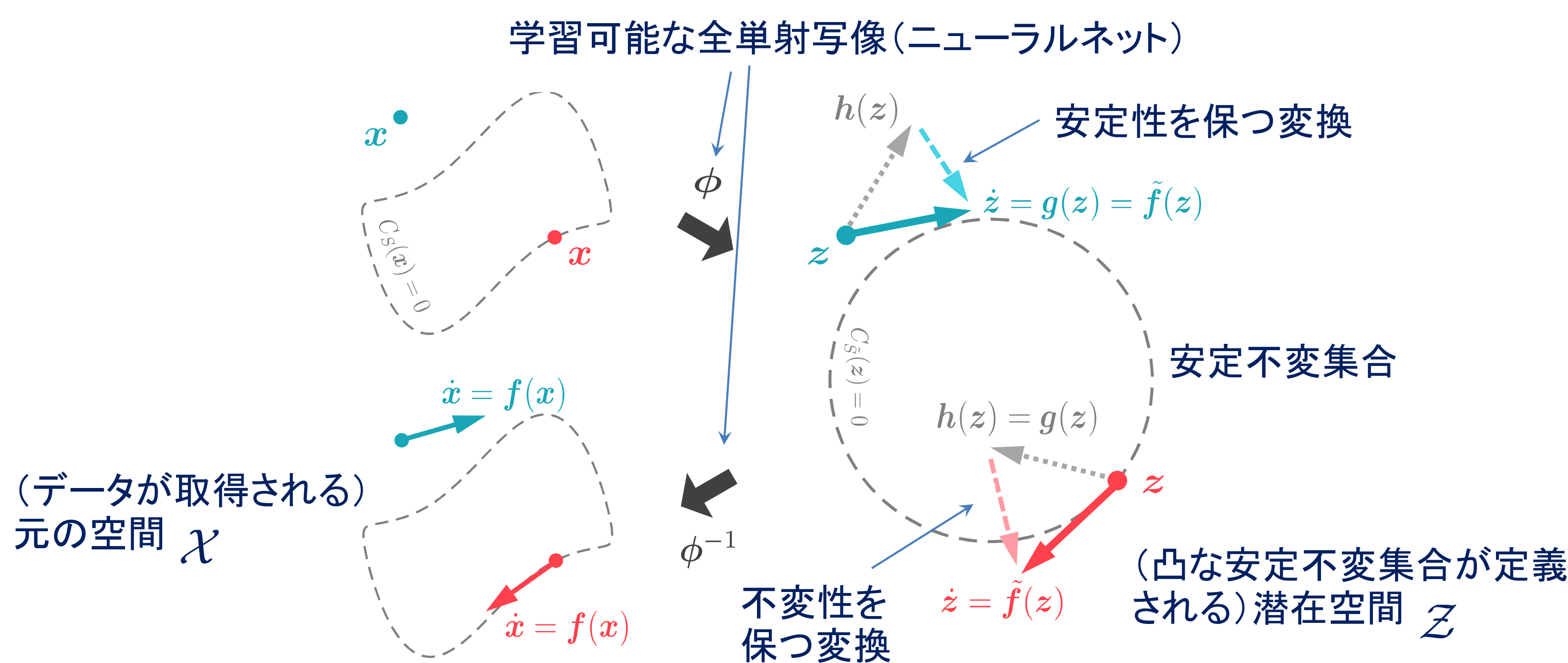
- 【1】安定不変集合に拘束されるダイナミクス・モデルの学習法の提案 [1]
- 【2】再生核ヒルベルトC*加群の導出と平均埋め込みの提案 [2]
- 【3】集団行動における因果的な相互作用推定のための学習モデルの提案 [3]
- 【4】畳み込みオートエンコーダを用いた動画のための動的モード分解法の提案 [4]

位相的安定性を取り入れたダイナミクス・モデルの学習 (【1】)

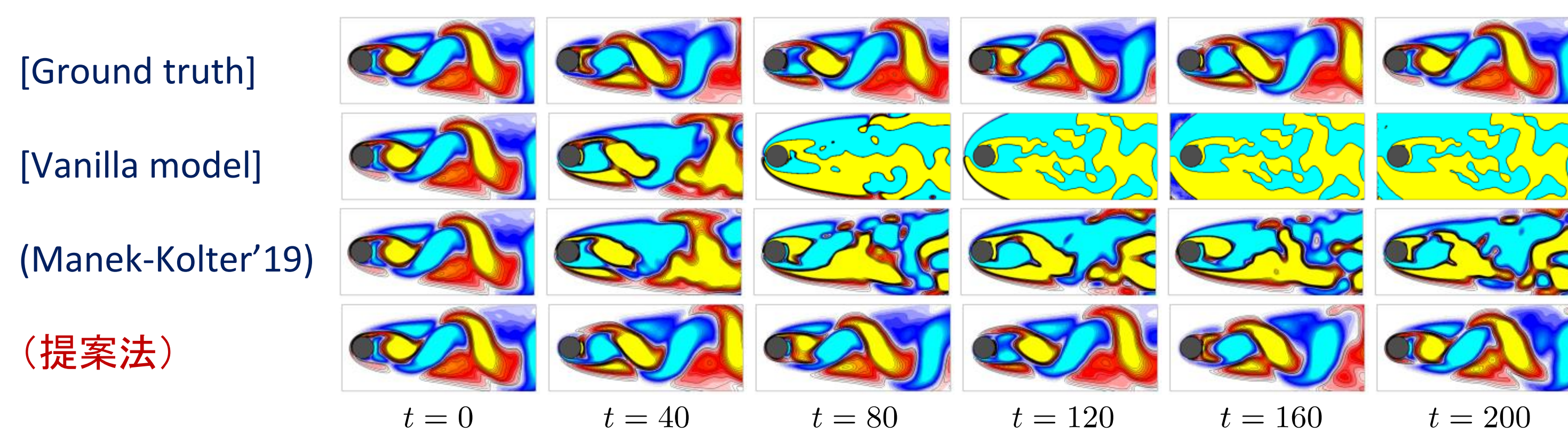
安定不変集合に拘束されるダイナミクス・モデルの学習法を提案

=> (局所)安定性を取り入れたモデル学習 (Manek-Kolter, NeurIPS19) を大域安定性へ拡張

=> 位相的に安定な現象のより長期的な予測の大幅な高精度化を実現

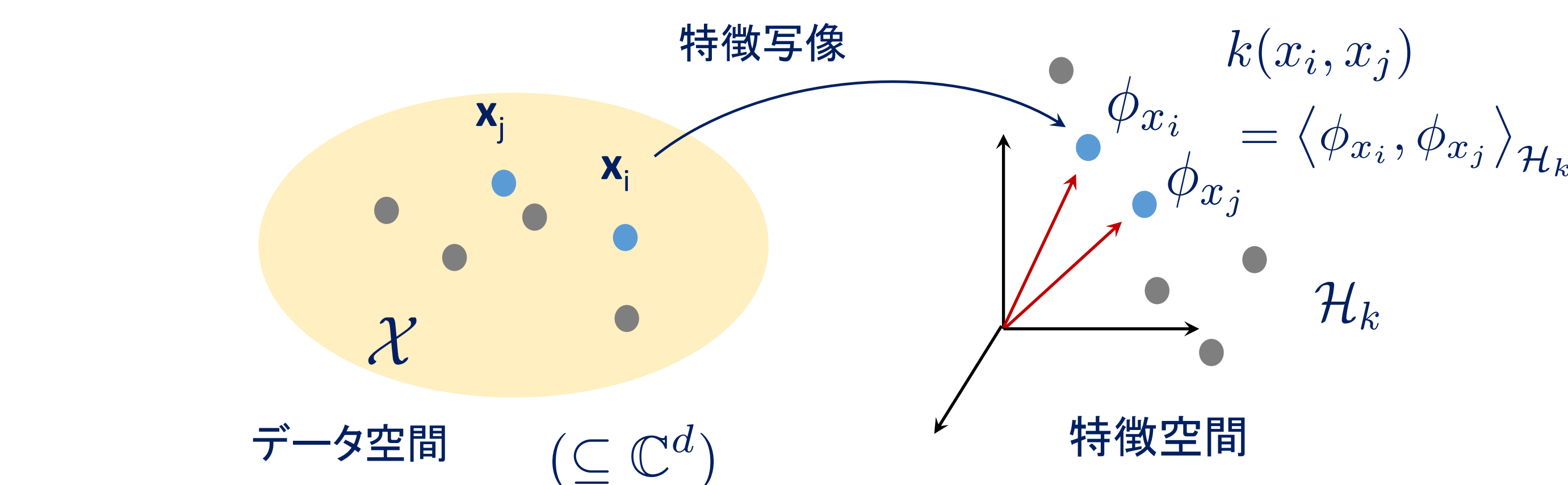


流体现象(シリンダー周りの流れ)への適用例:



再生核ヒルベルトC*加群の導出と平均埋め込み (【2】)

再生カーネルを用いたデータ解析の理論を, 作用素環論に基づきC*加群へ拡張



特徴空間(内積が定義されアルゴリズム構築が可能な空間) $\mathcal{H}_k$:

- 従来: $\mathcal{H}_k$ はスカラー値関数の空間(RKHS)とベクトル値関数の空間(vvRKHS)の和空間として定義される。提案した枠組み: 作用素値関数(再生核ヒルベルトC*加群)を用いて特徴空間 $\mathcal{H}_k$ を定義する。論文では, データ空間が分布や測度の場合の解析も可能にする, カーネル平均埋め込みの理論も構築。

従来から広く用いられてきたカーネル法を, (汎用的な理論に基づき)ベクトル値/関数値関数や量子データなど, より複雑な構造を持つデータの解析へ適用可能に。

集団行動における因果的な相互作用推定のための学習モデル (【3】)

動物行動学の理論モデルと深層学習を組み合わせたモデルにより, 生物集団の移動軌跡から(因果的な)相互作用の規則性の推定を実現

動物行動学の方程式モデル(概念的に構成)

$$p_{t+1} = f_U(f_M(\Omega, f_N(\Phi, r_t, w_t, p_t), r_t, w_t, p_t))$$

[Nathan et al., PNAS (2008)]

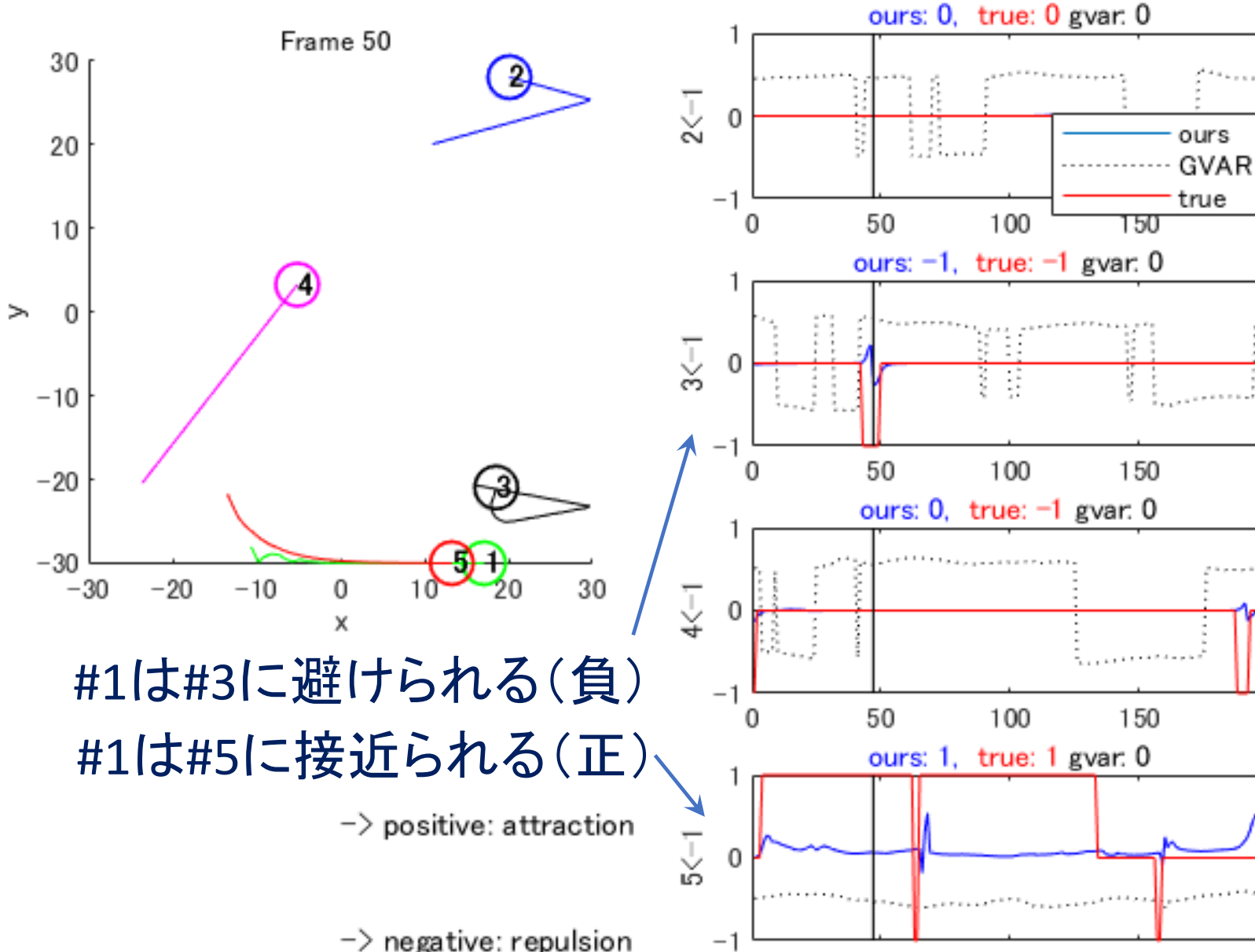
深層ニューラルネットで構成する関数を推定

$$x_t^i = \sum_{k=1}^K (F_N^{i,t,k}(h_{t-k}^i) \odot F_M^{i,t,k}(h_{t-k}^i)) h_{t-k}^i$$

各個体が, どの別の個体の(Granger因果的な意味での)相互作用で動くかを解釈可能

集団行動モデル(Boidモデル)への適用例:

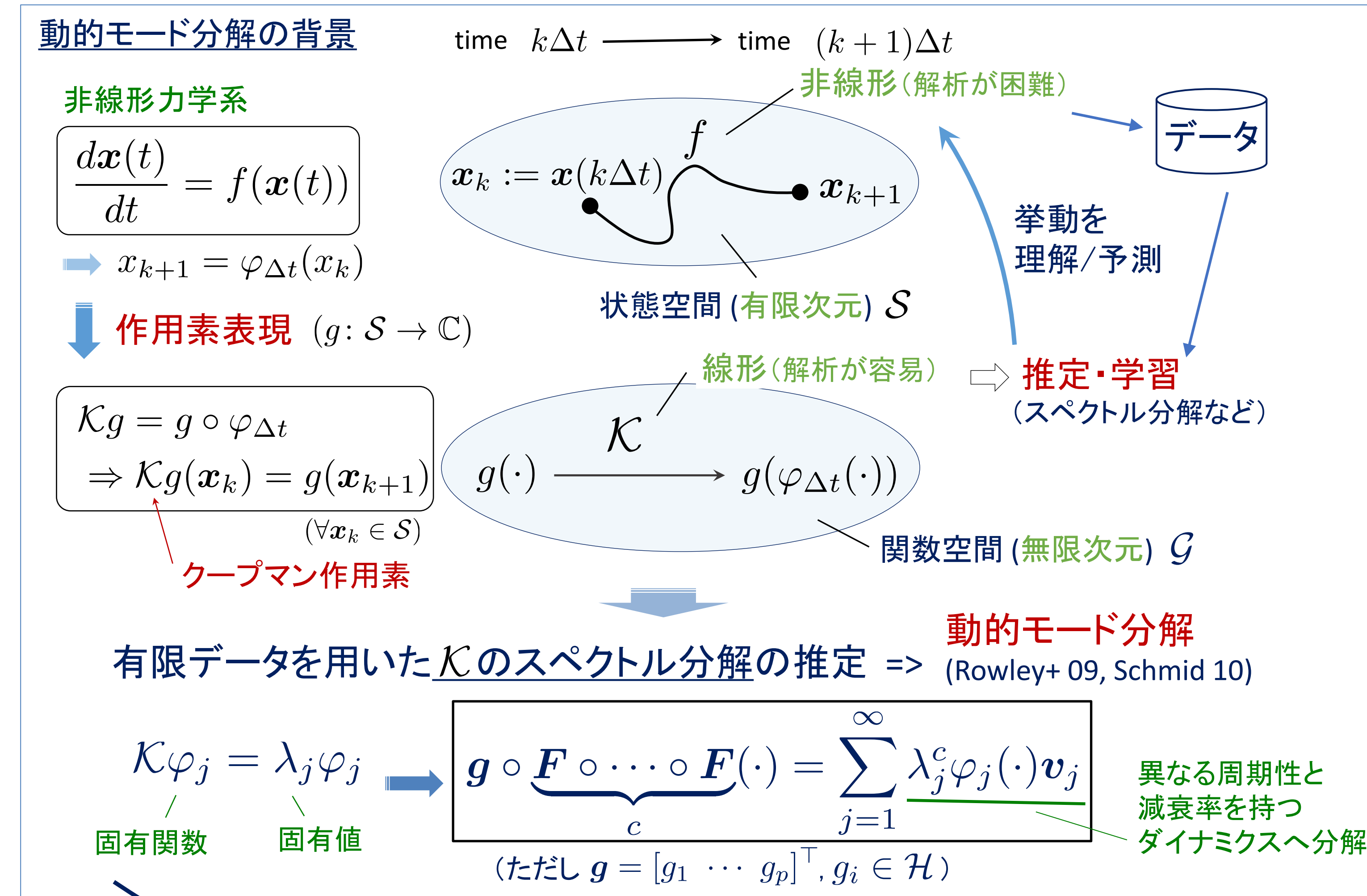
=> 個体の行動の原因(接近・回避)を正しく推定



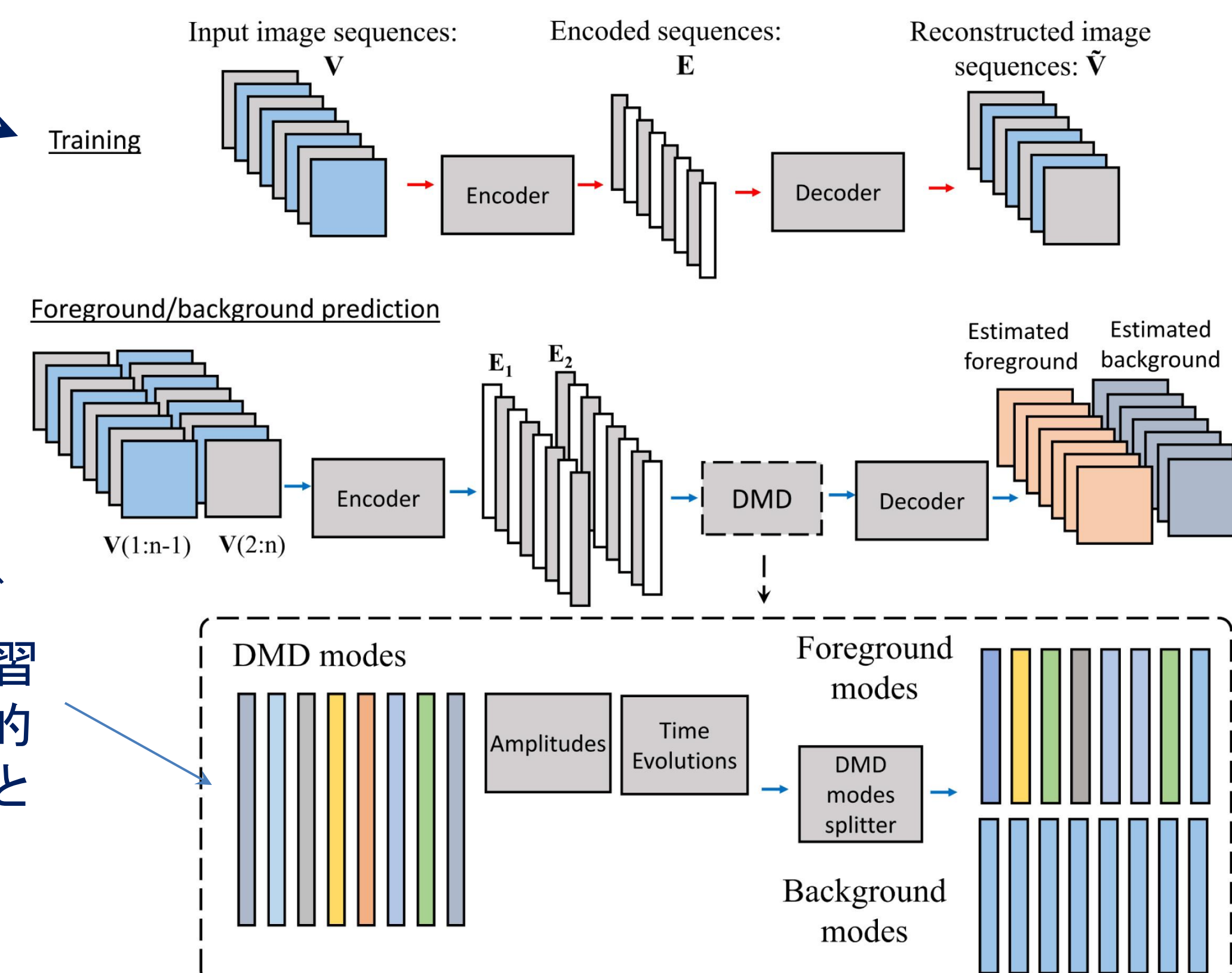
論文では, マウスや鳥, コウモリ, ハエの群れのデータに対して, その集団としての行動(構成する個体間の相互作用)の解析に対して有効性を確認

畳み込みオートエンコーダを用いた動的モード分解法 (【4】)

畳み込みオートエンコーダにより観測量(クーブマン作用素を定義する空間)を適応的に推定しつつ実行可能な, 動画データに対して有効な動的モード分解(DMD)の提案



データが動画の場合に有効な観測量 g を, 畳み込みオートエンコーダを用いて学習可能に



推定されたDMDモードは, 教師あり/なし学習における(データの動的特性を反映した)特徴として利用可能

主要な発表文献

2重下線=> チームメンバー
下線=> AIP内の他の共同研究者

- [1] N. Takeishi and Y. Kawahara, "Learning dynamics models with stable invariant sets," *Proc. of the 35th AAAI Conf. on Artificial Intelligence (AAAI'21)*, pp.9782–9790, 2021.
- [2] K. Fujii, N. Takeishi, K. Tsutsui, E. Fujioka, N. Nishiumi, R. Tanaka, M. Fukushima, K. Ide, H. Kohno, K. Yoda, S. Takahashi, S. Hiryu, and Y. Kawahara, "Learning interaction rules from multi-animal trajectories via augmented behavioral models," *Advances in Neural Information Processing Systems 34 (Proc. of NeurIPS'21)* (accepted).
- [3] Y. Hashimoto, I. Ishikawa, M. Ikeda, F. Komura, T. Katsura, and Y. Kawahara, "Reproducing Kernel Hilbert C*-Modules and Kernel Mean Embeddings," *Journal of Machine Learning Research*, Vol.22, No.267, pp.1-56, 2021.
- [4] I. Ul-Haq, T. Iwata, and Y. Kawahara, "Dynamic mode decomposition via convolutional encoders for dynamics modeling in videos," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.216, Article Number 103355, 2022.