

## 文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

### 第89回 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 (2024.7.12)

- |                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| 12:05 – 12:10(5分)  | : | 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所の概要<br>所長 梶原 健司   |
| 12:10 – 12:25(15分) | : | 「数学パワーで全力支援：<br>競争から共創への物流改革」<br>吉良 知文 准教授<br><br>「位相的データ解析と機械学習」<br>池 祐一 准教授 |
| 12:25 – 12:45(20分) | : | 質疑応答  |

## マス・フォア・インダストリ

純粋・応用数学を再編して  
社会や産業からの要請に応えることで  
生まれる数学としても価値ある  
数学の新研究領域

多様な数学研究に  
基礎を置く世界に類のない  
産業数学の研究所  
(2011創設)



Joint Research Center for Advanced and  
Fundamental Mathematics-for-Industry  
文部科学省共同利用・共同研究拠点

所員：35名 (R6.7.1現在)  
うち外国人4名、女性2名

## 研究の実績

世界一の高速計算技術  
スーパーコンピュータ富岳等を用いて  
Graph500ベンチマークテストで  
7期連続世界1位を達成 (通算17期)



オーストラリア分室

数学による切実な社会課題の解決  
大規模保育所マッチング問題の効率的な割り当て  
技術の開発：1000時間→数秒  
ソフトウェアとして商品化・自治体で活用



Forum "Math-for-Industry"

## 国際連携活動

アジア太平洋産業数学  
コンソーシアム



## 公募型共同利用研究

研究集会(I),(II)  
産業界からの参加が必須  
短期共同研究  
1週間程度の集中的な共同研究  
産業界からの参加が原則必須  
短期研究員  
1~2週間の滞在で九大教員と  
共同研究

×

一般研究  
プロジェクト研究  
国際プロジェクト研究  
女性研究者活躍支援研究  
若手・学生研究

産学共同研究・社会実装  
(令和5年度)

共同研究	受託研究
19件	6件
7,500万円	4,800万円

## 人材育成



大学院数理学府



マス・フォア・イノベーション  
関係学府

Joint Graduate School of Mathematics for Innovation



スタディグループ・  
ワークショップ

## 出版事業

## マス・フォア・インダストリ・プラットフォーム

AIMaP: 数学アドバンスイノベーションプラットフォーム  
(2017-2021年度文科省委託事業) 後継事業

社会のニーズに数学コミュニティ全体で応えるための  
オールジャパンプラットフォーム：研究マッチング、博  
士課程大学院生研究インターンシップマッチング…



International Journal  
of Mathematics for  
Industry



既刊14巻  
(含前身)

Springer Series  
Mathematics for  
Industry



既刊34巻  
2

## 研究費獲得状況(R5年度)

科研費 代表39件, 分担25件 125,176,139円  
 受託・共同研究 25件 123,465,859円

## 産学連携支援活動(R5年度)

企業とのコンタクト数 145件  
 IMIコロキウム 10回・381名・6社  
 スタディグループ・ワークショップ参加者 85名・6社

## 成果（論文等）(R5年度)

ジャーナル論文 82編  
 受賞 10件（うち学生5件）

## 社会への波及効果

保育園入所選考マッチング技術(H29.9)  
 製薬会社グループ全体の工場のスマート化(R4.10)  
 物流改革：共同輸送マッチングシステム(R6.1)

## 共同研究状況(R5年度)

複数のIMI所員の共著論文 4編  
 IMI所員以外との共著論文 70編  
 国際共著論文 18編

## 国際展開

オーストラリア分室（教員共同雇用） H27. 3～  
 アジア太平洋産業数学コンソーシアム：事務局運営  
 国際産業数理・応用数理評議会：運営に参画

## 異分野融合研究状況(R5年度)

教員の異分野融合研究数 45件  
 学生の異分野融合研究数 47件  
 ネットワーキングイベント 3件





## IMIの事業 マス・フォア・イノベーション関係学府

社会で「大」活躍する数学人材育成  
マス・ファイブ・フォースを備えた高度数学モデリング人材を  
分野横断型プログラムで育成



- ▶ **数学創発モデリング**  
異分野教員・学生を  
数学モデリングで指導
- ▶ **共創力強化  
インターンシップ**  
産学・異分野・国際
- ▶ **数学共創モデリング**  
異分野ラボで共同研究

**マス・フォア・イノベーション  
プロフェッショナル**

国際的に優れた数学力・統計力を  
知識基板上に、**数学モデリング**を構築し  
組織や分野の垣根を超えて各分野で  
**共創**して、大学でも企業でも  
イノベーションを**創発**する  
卓越した数学博士人材

**卓越社会人博士課程制度** **日本初!**  
博士離れを解決する革新的新制度導入

文部科学省卓越大学院プログラム  
中間評価：「S」 (令和6年3月)

博士前期課程修了後、**企業が採用、同時に社会人として博士後期課程に進学**

- ☑ 経済的支援、キャリア構築、産学連携強化、**大学・企業間人材往還促進**等、複数の課題が一挙に解決
- ☑ **富士通株式会社 富士通研究所**を中心に連携実績のある他企業とも協力、本卓越大学院で日本初の制度化へ
- ☑ 毎年3名に制度適用を目指す

文部科学省と国立大学附置研究所・センター  
個別定例ランチミーティング(2024年7月12日)



# 数学パワーで全力支援： 競争から共創への物流改革

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 = IMI  
(リエゾン戦略部門)  
吉良 知文



# 私(達)の研究トピック



## ■ 現場と協働して社会課題へ挑戦

- 事例研究賞 (日本OR学会, 2023年9月)
- 現場イノベーション賞 金賞 (人工知能学会, 2019年6月)
- 実施賞 (日本OR学会, 2017年3月)



福岡県糸島市 移住・定住支援  
(機械学習)



全国民の生活に関わる  
物流インフラを改善

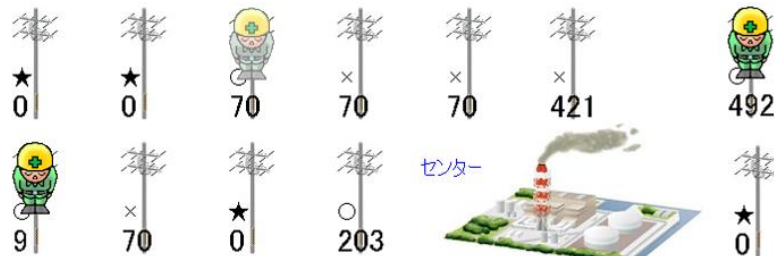


物流網の効率化  
(最適化/ゲーム理論)

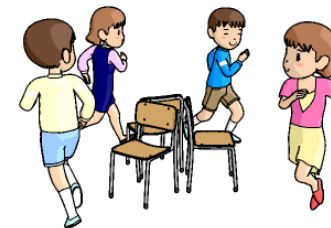


動的警備計画の基礎研究  
(ゲーム理論)

福岡空港における旅客満足度向上  
(待ち行列/シミュレーション)



災害復旧スケジューリング (最適化)

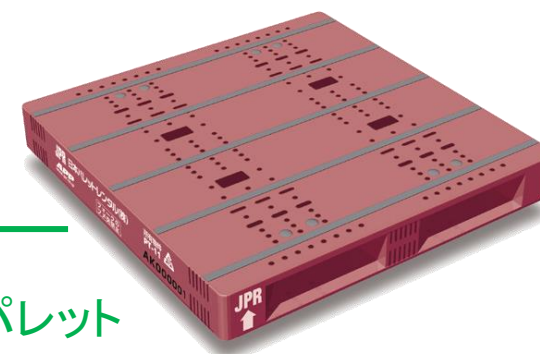
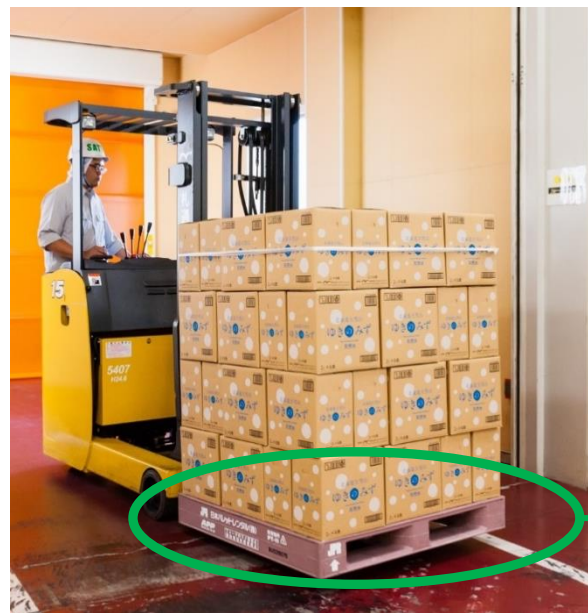


第1希望 ○○保育所  
第2希望 □□保育所

さいたま市など  
多くの自治体で採用

きょうだいを考慮した保育所選考 (マッチング)





事例紹介 数理最適化の応用

# パレット共同利用システムの最適化

共同研究者:

吉良知文(群馬大学, 九州大学 IMI)

榎崎朴郎、寺島伸男、田中元、柄目茜 他(日本パレットレンタル株式会社 = JPR)

山本広高(株式会社THINCESS)

# パレット輸送のメリット



- パレットの標準化・利用の推進 ※**総合物流施策大綱**(2021年度～2025年度)
- 商品の荷主が変わる際にも、パレットごと引き継げば、効果絶大
  - ・企業ごとにパレットを保有するよりも、**標準化パレットを全国でシェア**した方がよい



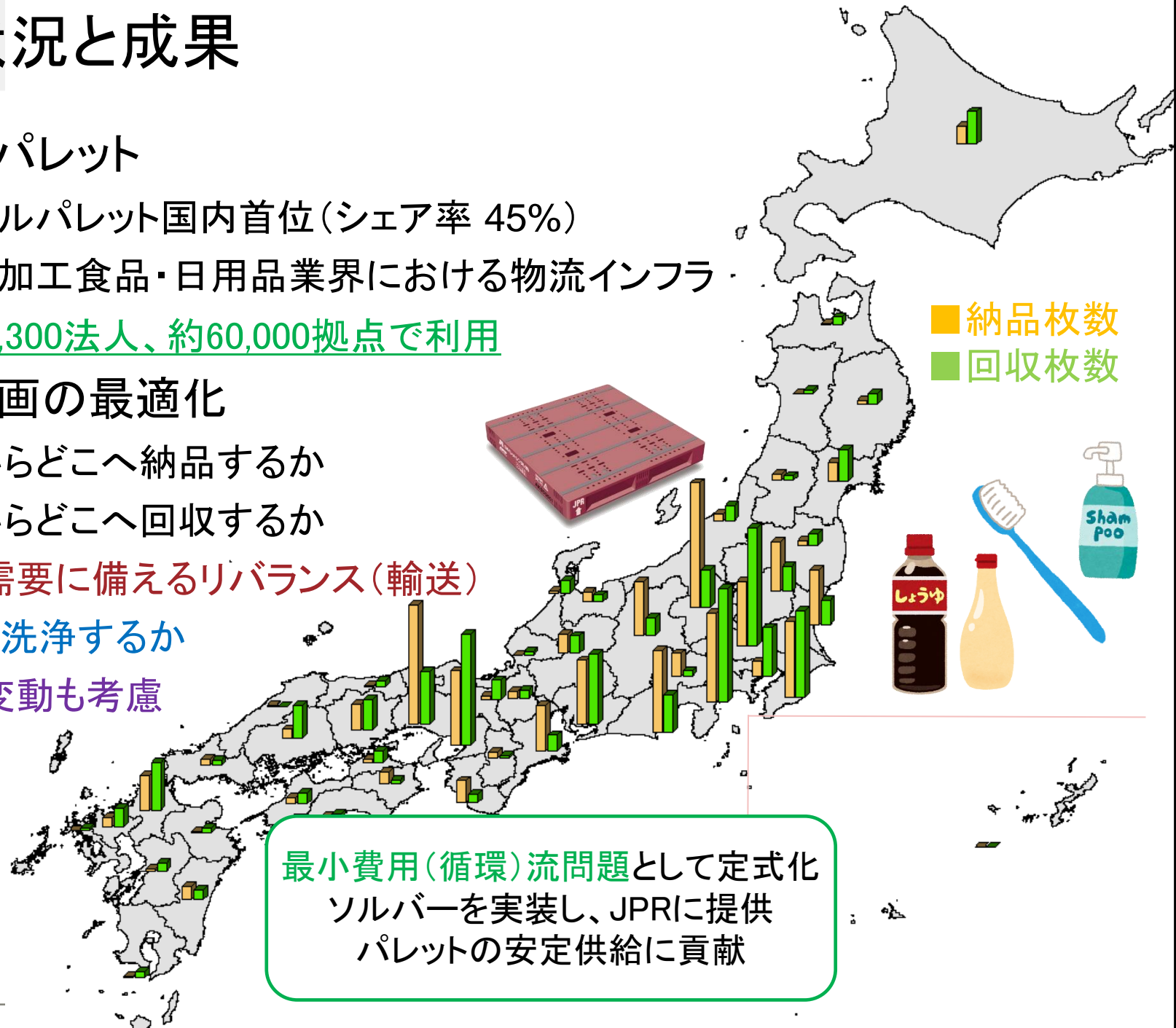
# 問題状況と成果

## ■ JPRのパレット

- レンタルパレット国内首位(シェア率 45%)
- 食品・加工食品・日用品業界における物流インフラ
- 全国3,300法人、約60,000拠点で利用

## ■ 運用計画の最適化

- どこからどこへ納品するか
- どこからどこへ回収するか
- 次の需要に備えるリバランス(輸送)
- どこで洗浄するか
- 季節変動も考慮



最小費用(循環)流問題として定式化ソルバーを実装し、JPRに提供パレットの安定供給に貢献



事例紹介 数理にもとづく高速列挙

## 共同輸送マッチング

事例研究賞 (日本OR学会, 2023年9月)

共同研究者:

吉良知文 (群馬大学, 九州大学 IMI)

寺島伸男、渡邊安彦 (日本パレットレンタル株式会社=JPR)

山本広高 (株式会社THINCESS)

アドバイザー (NEDO助成事業):

神山直之、藤澤克樹 (九州大学 IMI)

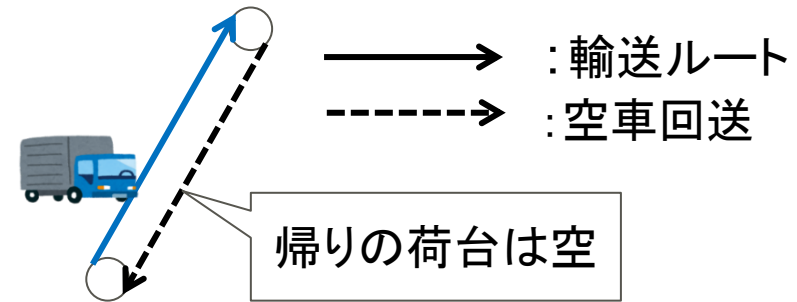
川崎英文 (九州大学 数理)

# 問題状況



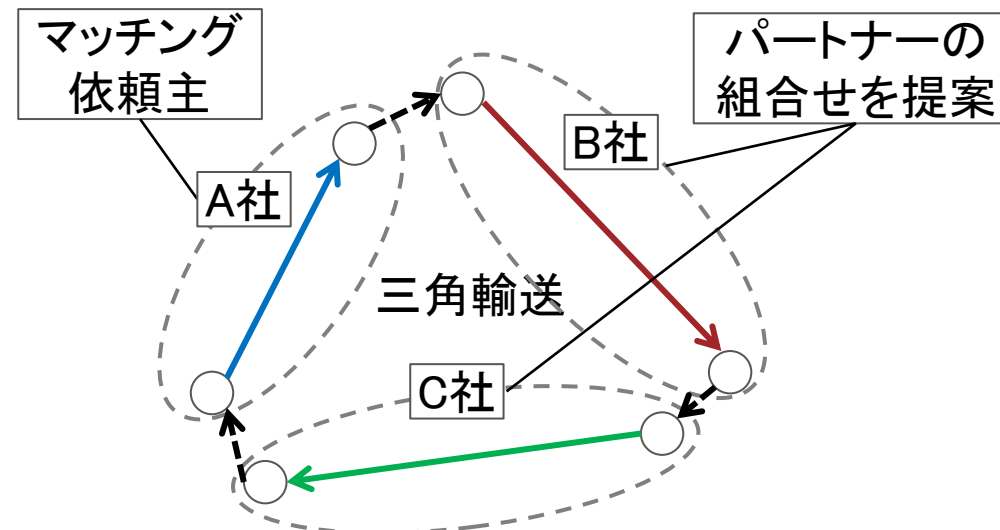
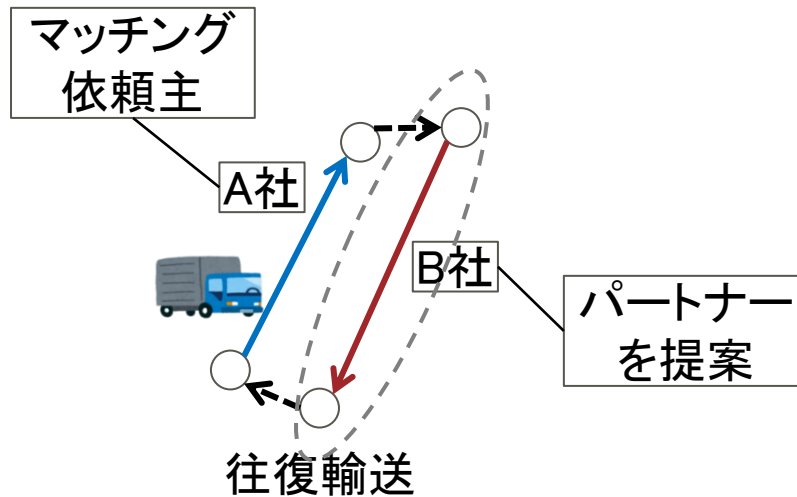
## ■ 物流業界

- 人手不足で物流クライシスが危惧
- 一方で、積載効率は40%未満
  - ・競争から共創へのシフトが求められている



## ■ JPRからの相談

- 物流データから協力効果が高い共同輸送を提案するシステムを作れないか？
  - ・AI等を活用したマッチングの効率化 ※**総合物流施策大綱**(2021年度～2025年度)



## ■ ホワイト物流を実現する業界横断型マッチングサービス

### ■ 提案手法(アルゴリズム)

- 協力効果が高い三角輸送や混載輸送を瞬時に全列挙
- 総当たりでは無理!!

→三角輸送: **4千倍の高速化**

混載輸送: **3万倍の高速化**

※特許取得(特許第 7373169 号)

### ■ 使う道具

- 大学教養数学(多変数関数の増減)
- 距離の公理(三角不等式)
- 優先度付きキュー(二分ヒープ)

### ■ JPRが製品化(TranOpt) →[Link](#)

- **200社を超える企業がユーザーとして利用中**  
(2023年12月時点)
- 実際に多くの共同輸送が成立



国土交通省の  
物流DX導入事例集にも掲載→[Link](#)

経済産業省の  
物流デジタルサービス事例集  
にも掲載→[Link](#)



# 位相的データ解析と機械学習

2024-07-12

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所

池 祐一

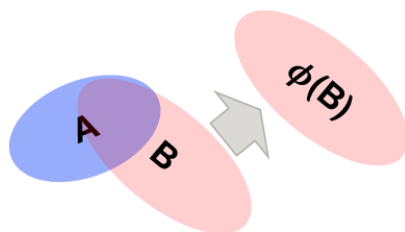
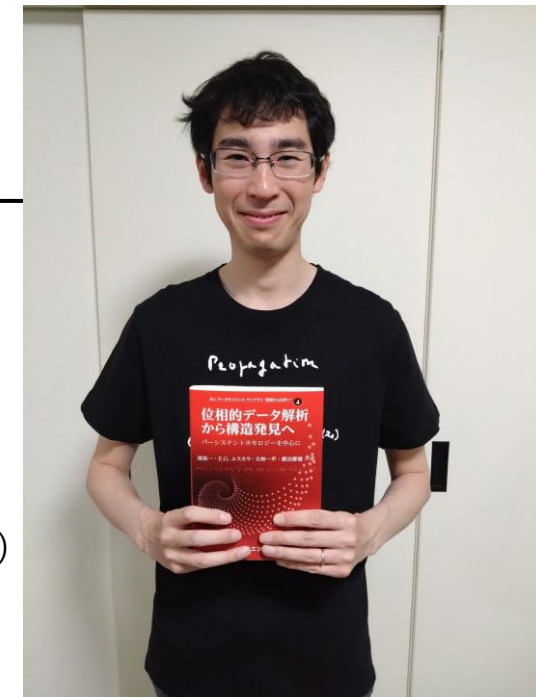
# 経歴

池 祐一 (いけ ゆういち) 1990年新潟生まれ

- 東大数理で博士取得  
(層理論とシンプレクティック幾何)
- 富士通研究所入社  
(位相的データ解析の研究開始)

■東京大学に異動

- 九州大学に異動
- 教科書を出版  
(分野で10年ぶりの和書)



2018

2020

2022

2024

2019

2021

2023

- フランスInriaとの共同研究のため2ヶ月フランス滞在
- JST ACT-Xに採択

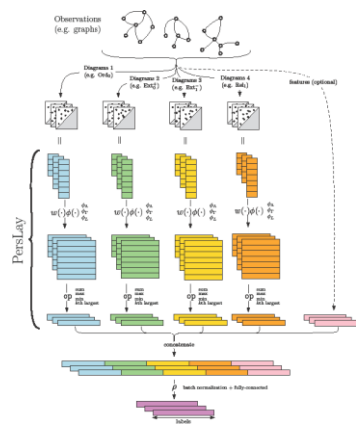


東京大学

富士通

東京大学

九大IMI



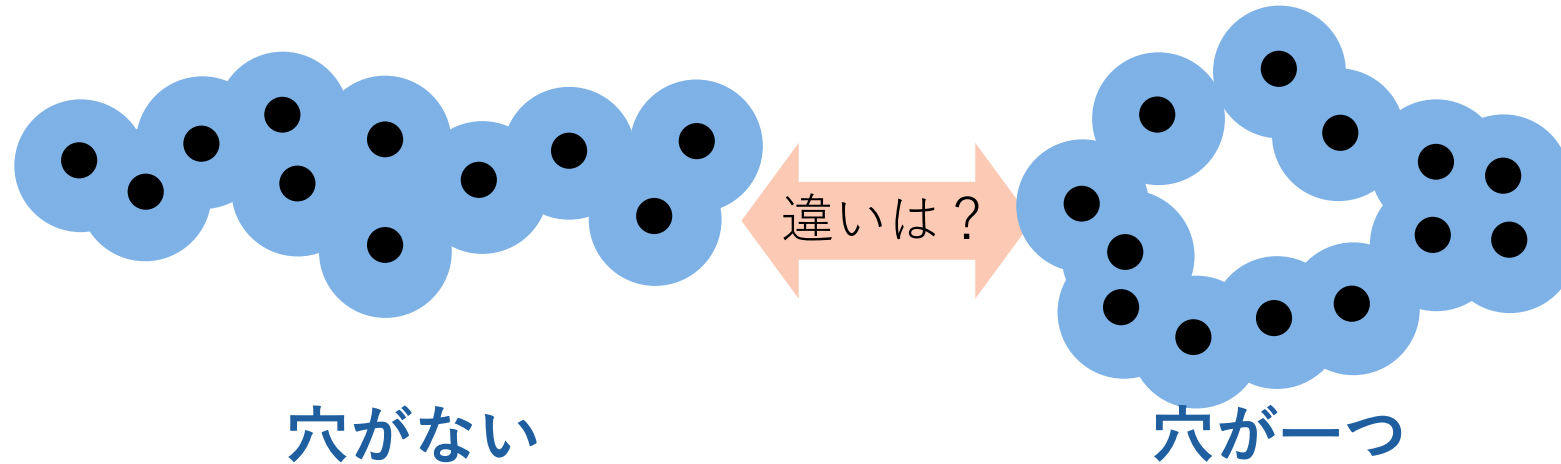
研究分野

- 位相的データ解析
- 層理論
- 幾何学

# データの「形」を特徴量にする

## ■位相的データ解析 (Topological Data Analysis, TDA)

- データの幾何的な特徴を抽出する比較的新しい手法
- データの大きな「形」, 「トポロジー」(塊や穴の数)に着目

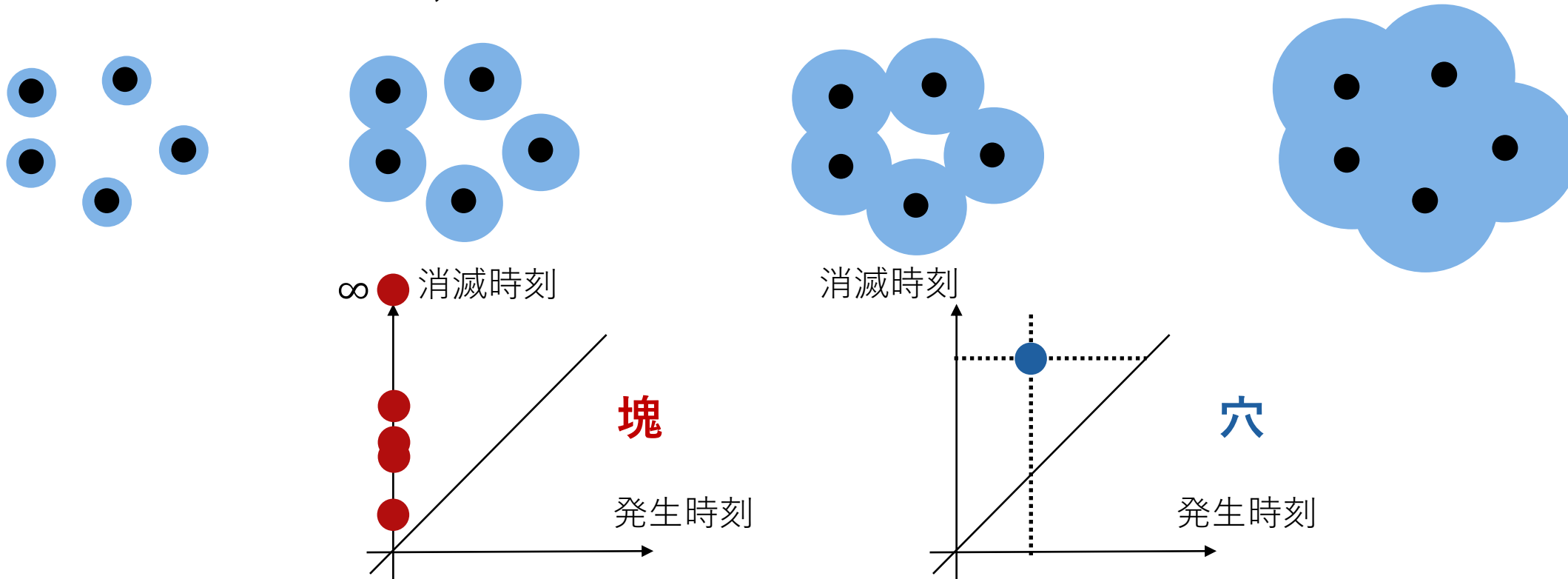


- データ点中心の球の集まりの「形」を見る  
→どのように半径を設定すればよいか分からない
- 球を大きくしていくときの「形」の変化を追跡する  
パーシステントホモロジーと呼ばれる道具

塊や穴という概念をちゃんと定めて計算するには, **ホモロジー**という抽象数学の道具を使う

# 情報縮約・可視化：パーシステンス図

■各塊や穴に対して，**発生・消滅時刻**を見つけて2次元にプロット



こうしてプロットされた図を**パーシステンス図**という

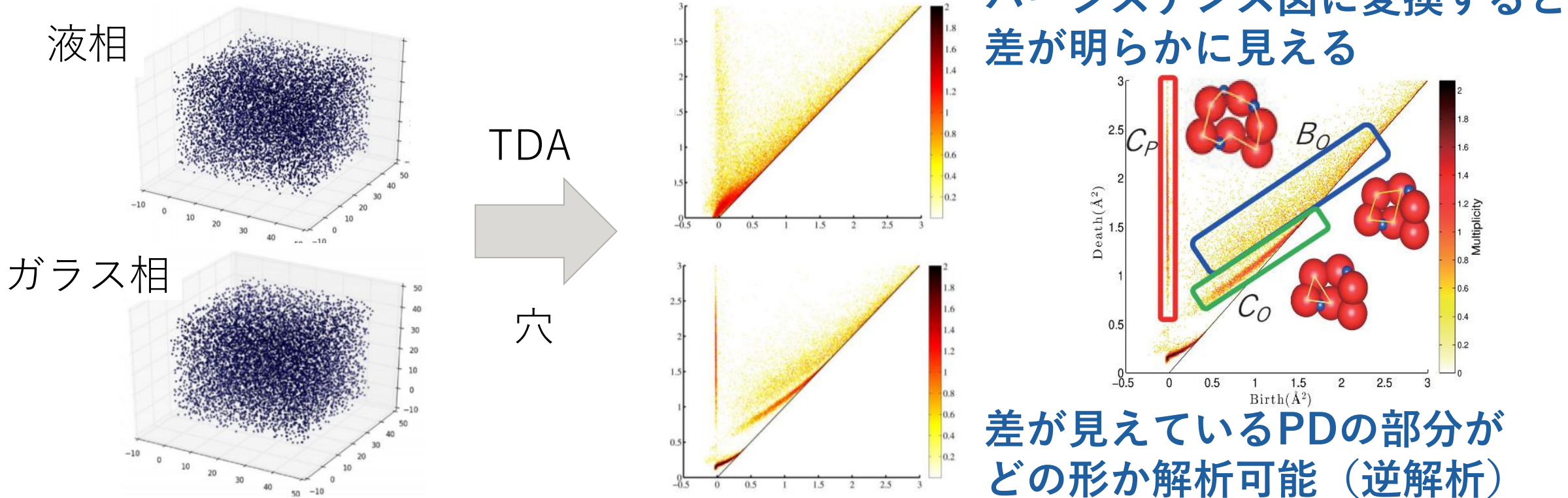
■**対角線から遠くの点**が**本当の「形」**をあらわす→データの形が区別可能

※計算高速化にはトポロジーという分野の定理をたくさん使う



# 使い方：シリカガラスの解析

- SiO<sub>2</sub>の液相とガラス相の違いを原子配置から理解したい
- アイデア：点群をPDに変換して，それらを調べる

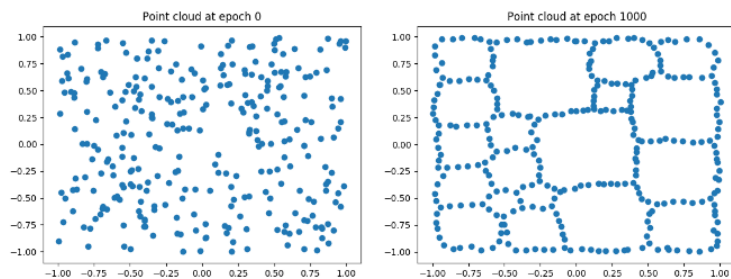


※点が多いのでPDを密度で表示 ※SiとOで球の半径を変えて計算

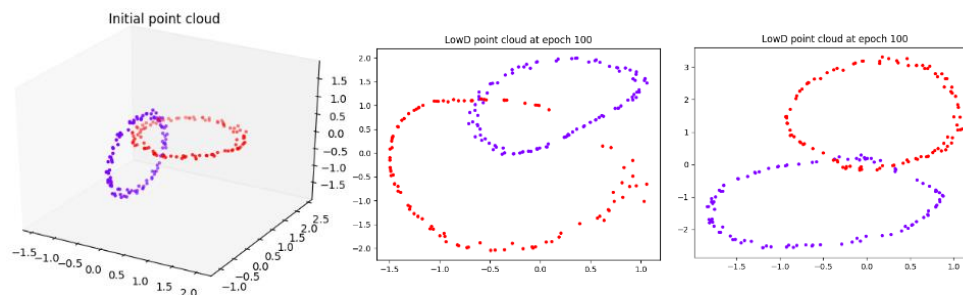
# 近年の機械学習への応用の仕方

- 近年はTDAを使ってデータの変形や機械学習を行う研究が盛ん

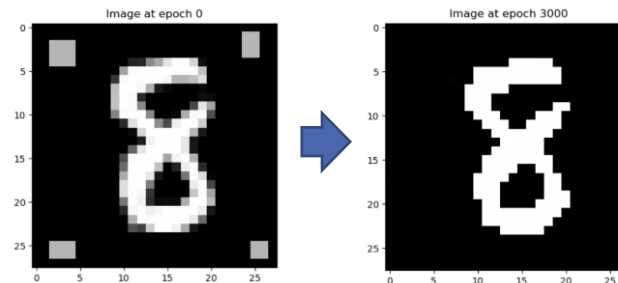
点群の変形



形を保つ次元圧縮



画像の変形 など



- Carrière, Chazal, Glisse, I., Kannan, and Umeda, Optimizing persistent homology based functions, ICML2021

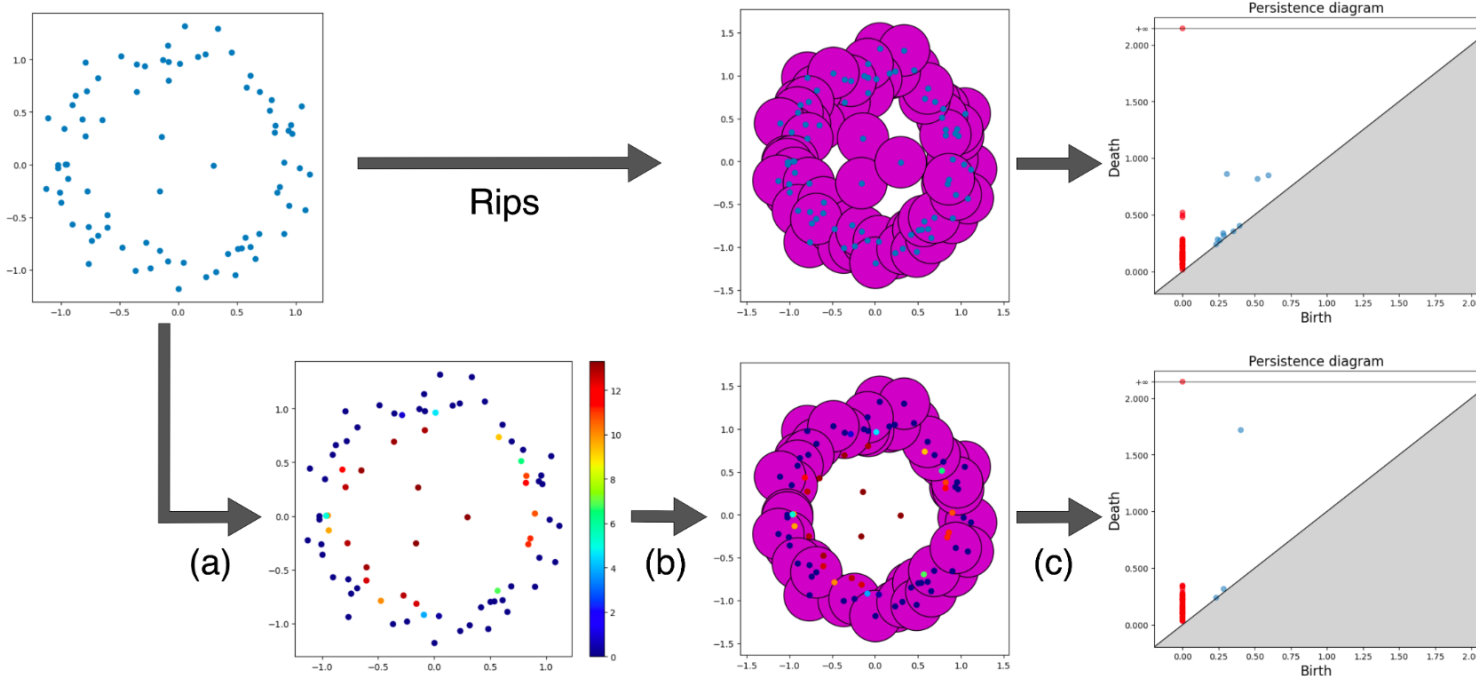
- 広いクラスのTDA的損失関数について確率的劣勾配降下法がほとんど**確実に収束**することの数学的保証を与えた
- 今後は収束の保証を気にせずに損失関数の設計に注力できる

Figures from [M. Carrière et al., Optimizing persistent homology based functions, ICML2021, 2021]

# 点群分類タスクへの応用

Nishikawa, I., and Yamanishi, Adaptive Topological Feature via Persistent Homology: Filtration Learning for Point Clouds, NeurIPS2023

- 分類タスクに応じてTDAを使う際の球の膨らませ方を学習
- 球の膨張の開始時刻を点ごとに学習



球の膨らませ方を  
データから自動的に学習

タンパク質分類の精度

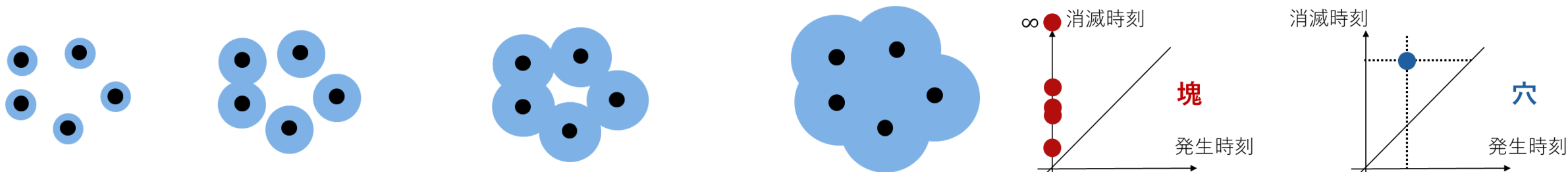
DistMatrixNet	Rips	DTM	Ours
65.0 ± 12.0	79.9 ± 3.0	78.0 ± 1.6	<b>81.9 ± 2.1</b>

# まとめ

## ■位相的データ解析 (TDA)

■データの「形」を抽出して解析する比較的新しい技術

■塊や穴の継続時間を見て重要な「形」かどうか判断可能



## ■TDAと機械学習

■TDAを使って「形」に注目したデータの変形や機械学習ができる

■点群の変形・形を保つ次元圧縮 などなど

■よく使われるTDA的損失関数について最適化の収束の数学的保証を与えた

■応用として点群分類タスクの精度を向上できた

