

# 実社会の問題発見・解決 OptLab. (高橋研究室)

大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻

情報理工学域 **I類** 情報数理工学プログラム

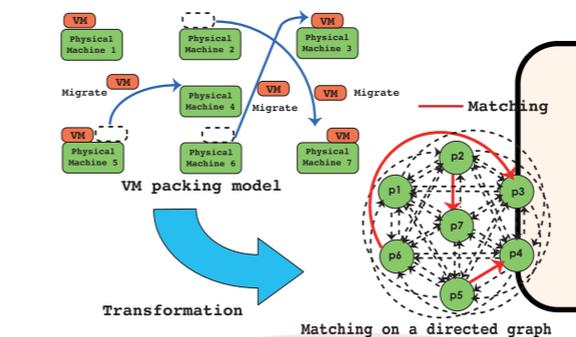
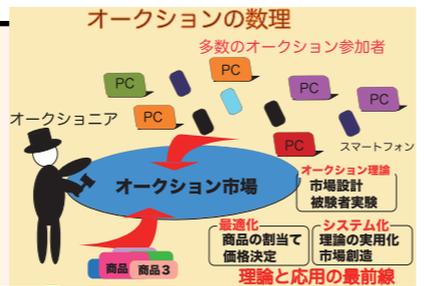
准教授 高橋里司 博士 (工学)



国立大学法人  
電気通信大学  
Unique & Exciting Campus

高橋研究室では、**数理最適化** + **情報技術**を使って、  
社会にある様々な実問題の解決を目指しています

**実用的オークション  
システムの開発**



**データセンターの  
省電力化**

- **オークション理論**
- **ゲーム理論**
- **数理&実験経済学**

- **仮想化技術**
- **ハードウェア**
- **マッチング理論**

**情報技術 数理最適化**

**いろいろな分野に顔を出す**

- **スケジューリング**
- **データ工学**
- **シミュレーション**
- **材料工学**
- **高分子化学**
- **サプライチェーン**

配送計画問題  
物資共有計画

コミュニティ抽出

**ホテルスタッフの  
スケジューリング**

航空滑走路

ディズニーランド

**マテリアルデザイン  
のための配合最適化**

**実験第一で扱ったJ8の応用**

- どのようなイメージを持ちますか？

$\log_e \sin x$  **数学なんでしょ？**  $\sum_{i \in N} \int_0^x f(y) dy$

**難しそう！**

**わからなくても生きていけるよ！**

数理最適化 = Mathematical Optimization

- 数理最適化

- 「○○をうまく決めて■■■を最小化(最大化)したい」

- 「○○」を「道路経路」、「■■■」を「走行距離」とすれば、カーナビゲーションシステムの問題

- 「○○」を「生産計画」、「■■■」を「利益」とすれば、工場の生産計画問題

## 数理最適化

組合せ最適化  
(離散最適化)

連続最適化

- オペレーションズ・リサーチ（以下OR）はもともと、第二次世界大戦中にイギリスが**軍事研究**として使ったのが始まり。
- オペレーションは「作戦」，リサーチは「検証」。
- 互いに干渉しあう複数の作戦が最適な方法で，効率的に実行可能かどうか，検証する，そういう目的で使われ始めた科学。
- 様々な環境，次々に変化する状況において，数学や統計学を用いた数理的なモデルに落とし込み，分析することで最適なアプローチを導く。

社会  
ビジネス

OR

金融工学

待ち行列

数理最適化

統計

## 業務データ

- 人事評価
- 業務実績
- 取引データ
- 顧客データ
- 競合企業
- 報告書・日報
- 技術報告

## データサイエンス

- データマイニング
  - ビッグデータ処理
  - 統計モデル
  - 機械学習・人工知能
- 

## 最適化モデル

- 生産計画
- 資源配分
- スケジューリング
- 業務効率化
- 人員配置
- 成長戦略
- 収益予測

ビジネス現場

データ  
要件  
情報

数理最適化はブラックボックス  
として扱う

最適化  
システム

数理エンジニア  
が活躍!!

システム利用者  
経営者  
システム担当者  
マネージャー

業務効率化  
ビジネス応用

データとビジネス  
のバイパスを作る

データ  
要件  
情報

最適化  
システム

業務効率化  
ビジネス応用

数理最適化研究者は  
ブラックボックスを開発する

数理モデル, アルゴリズム, システム開発

# 何を最適化するのか



サービス品質：min  
制約：max  
客の効用：？



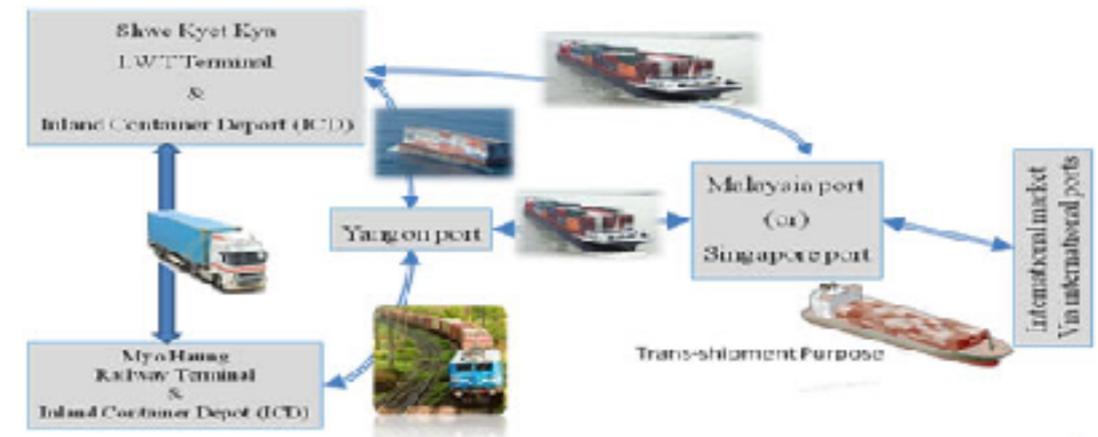
サービス品質：max  
制約：？  
客の効用：max

- 数理モデル化
  - 抽象化
  - 定式化
  - アルゴリズム開発
  - フィードバック



**抽象化**

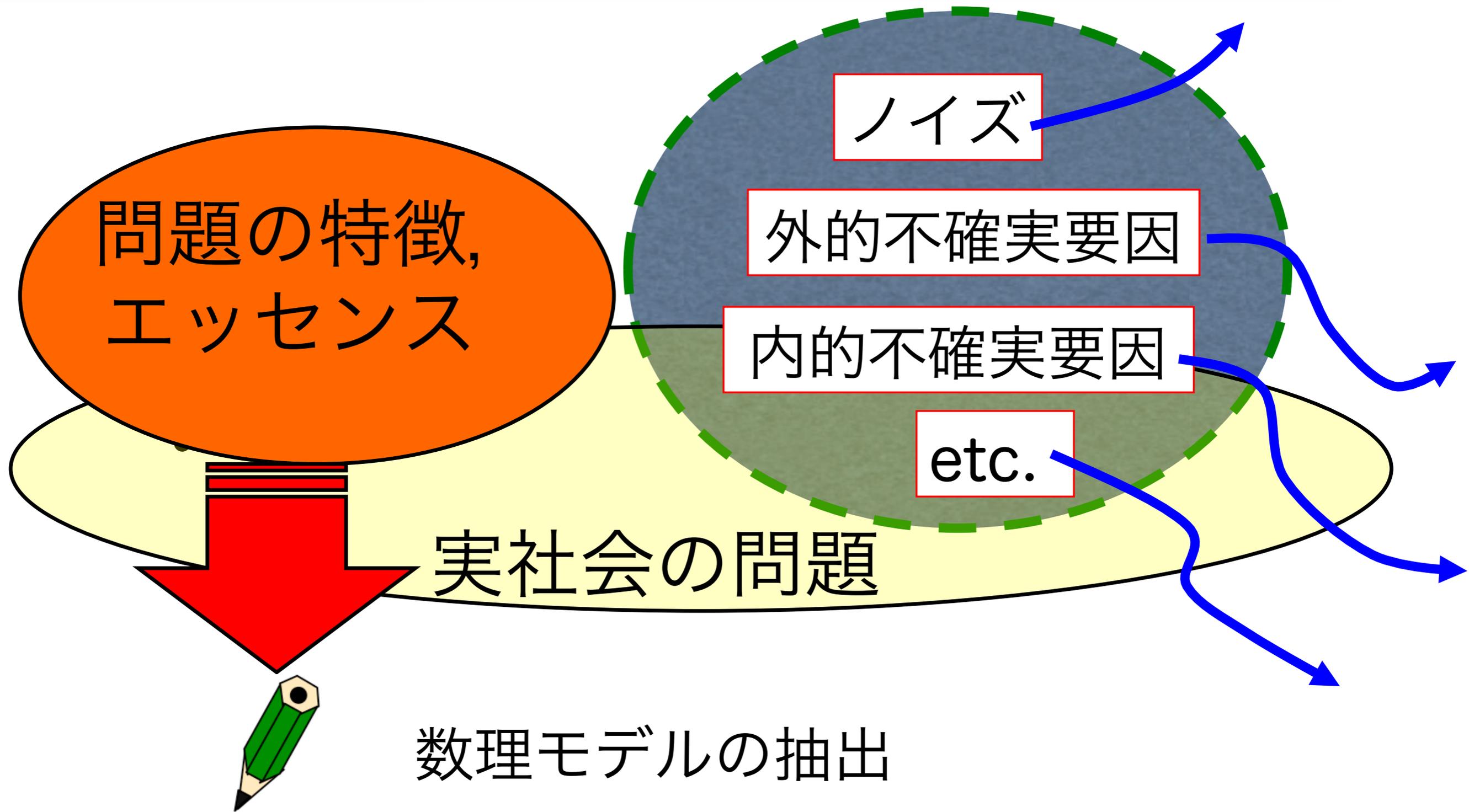
**適用**



$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{i=1}^P f_i Y_i + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq i}^P \sum_{k=1}^P c_{ij}^{TS} (S_{jt} + U_{jt}) + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq i}^P \sum_{k=1}^P c_{ij}^{IF} F_{jt} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq i}^P \sum_{k=1}^P (c_i^{IS} + c_j^{IS}) (S_{jt} + U_{jt}) + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq i}^P \sum_{k=1}^P (c_i^{IF} - c_j^{IF}) F_{jt} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^P h_k^S (I_{kt}^S + I_{kt}^U) + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^P h_k^F I_{kt}^F + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^P b_k^S I_{kt}^S \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^P b_k^F I_{kt}^F + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^P p_k^{in} G_{kt}^{in}
 \end{aligned}$$

(1)

**定式化**



**近年は不確実性も考慮=ロバスト最適化**

## 資源配分+意思決定問題

利水権取引      税率設計      球根取引  
国債取引      研修医配属      中古車販売  
公共財の受益者負担      **オークション**

問題ごとに

**デザイン**

数理最適化  
ゲーム理論

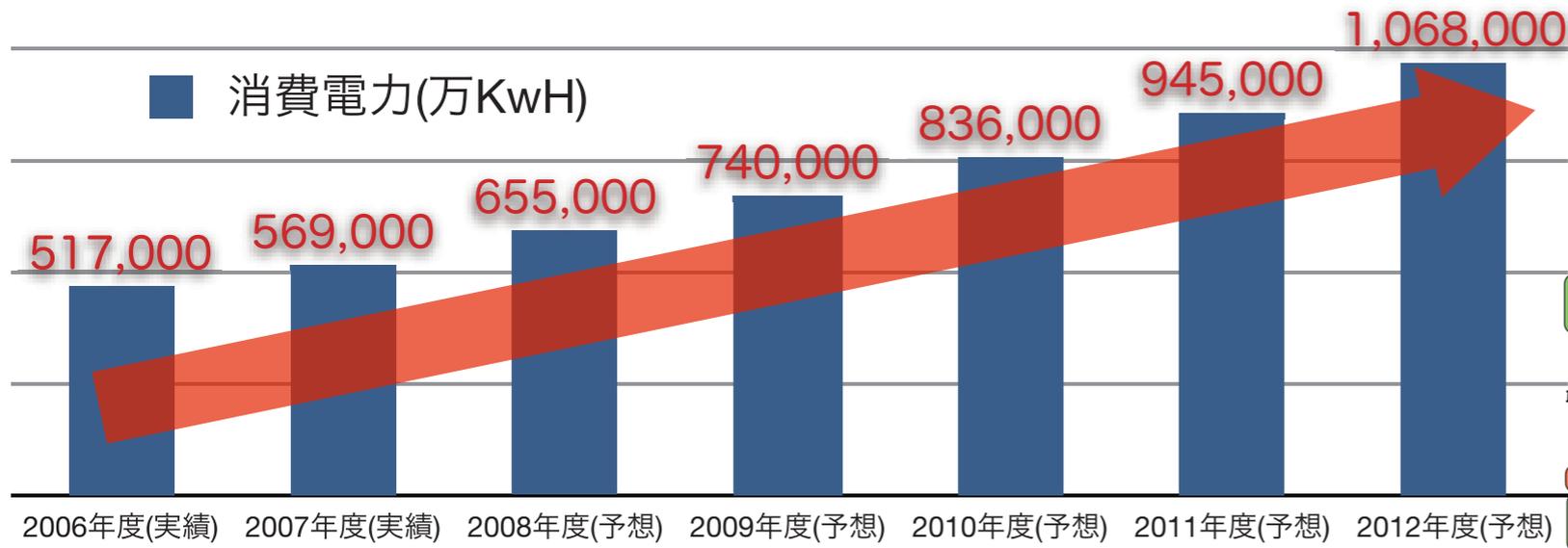


経済的に望ましい方法 (=メカニズム) を設計 (=デザイン)

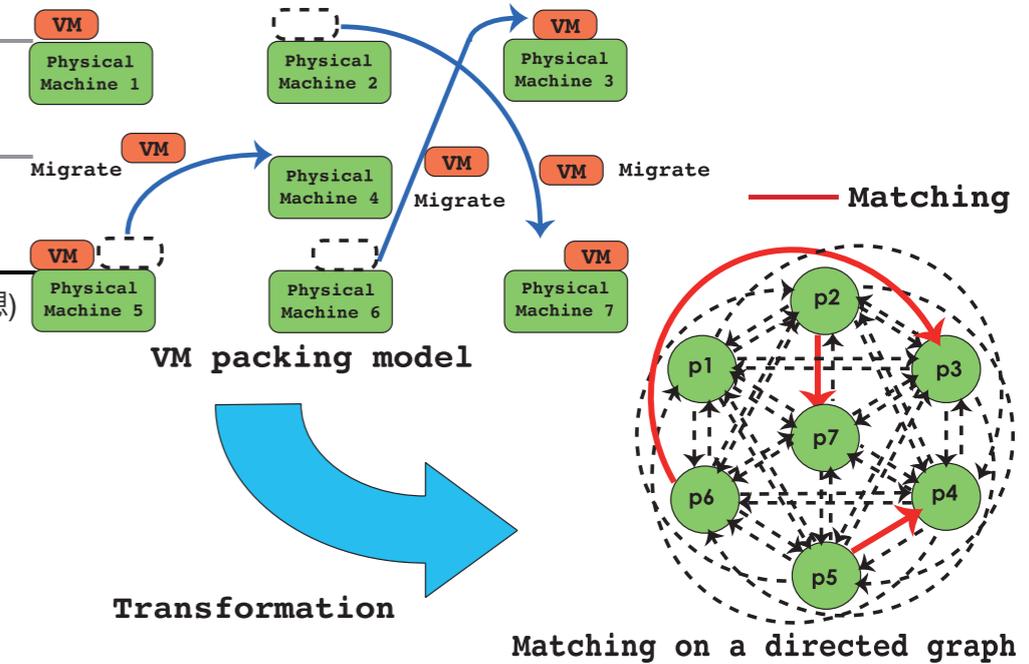
## オークションメカニズム

財の配分方法, 支払い価格方法を設計

- 経済的に望ましい性質を満たす
- 唯一のオークションメカニズム：  
**VCG(Vickrey, Clarke, Groves)メカニズム (1973)**



## グラフを用いてモデル化

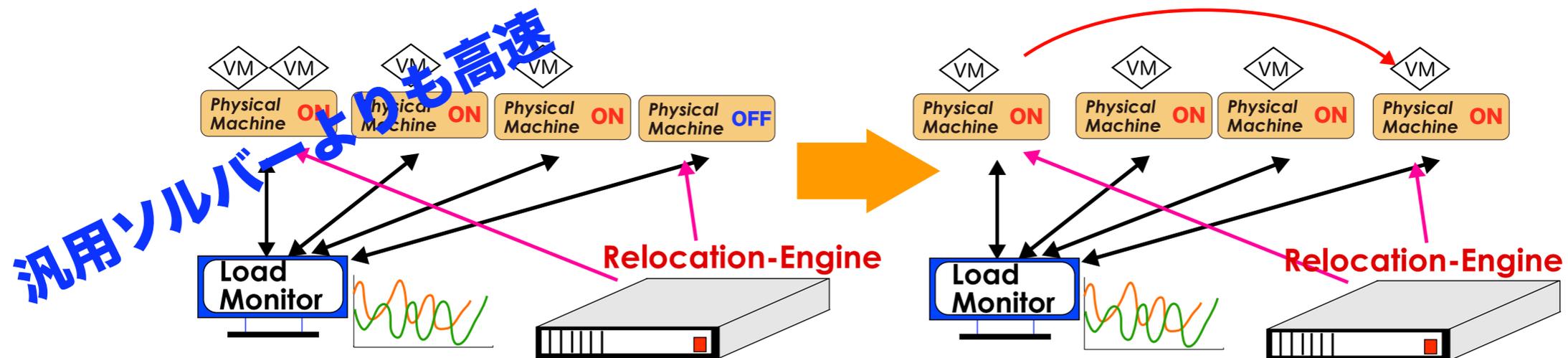


経済産業省経済研究所, データセンターの消費電力とグリーンIT化に関する調査結果(2009)

## VMを用いた省電力化

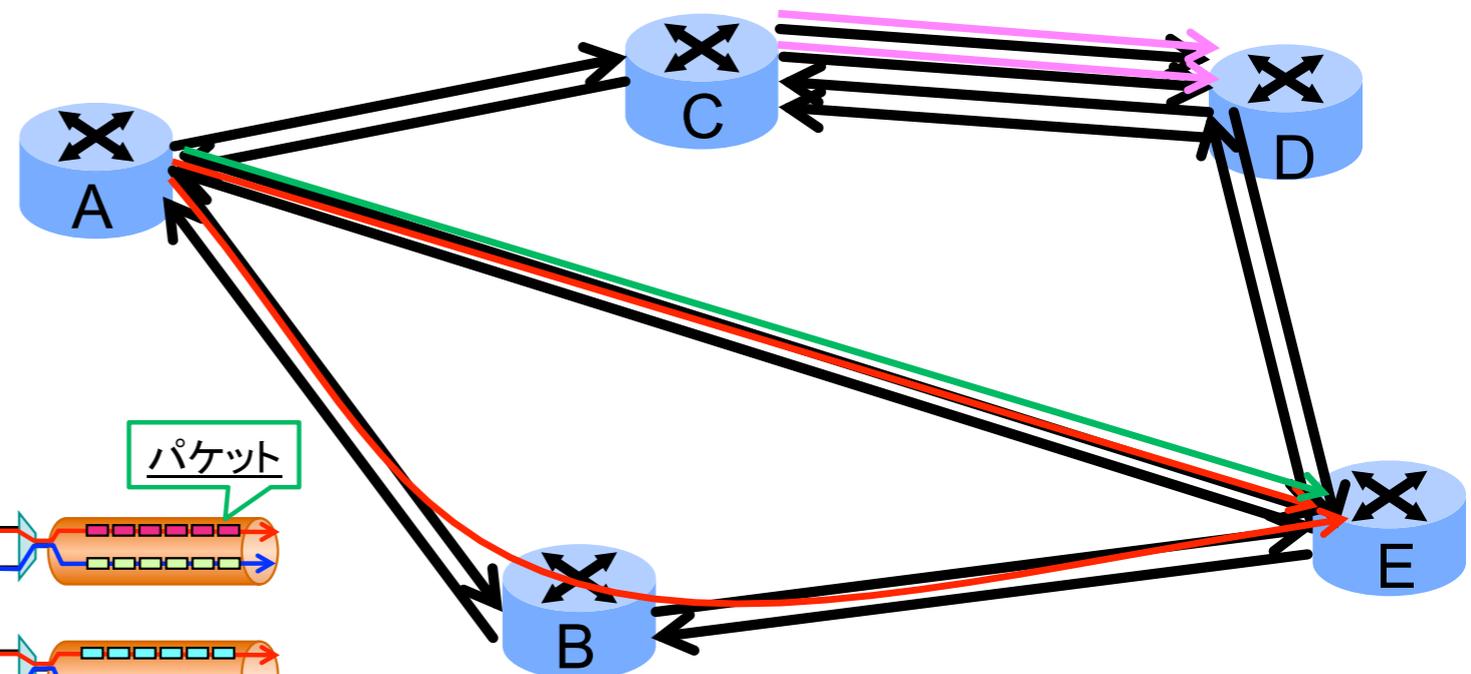
- ・マイグレーションエンジン

## 一般グラフ上の最大重みマッチングを用いて解決

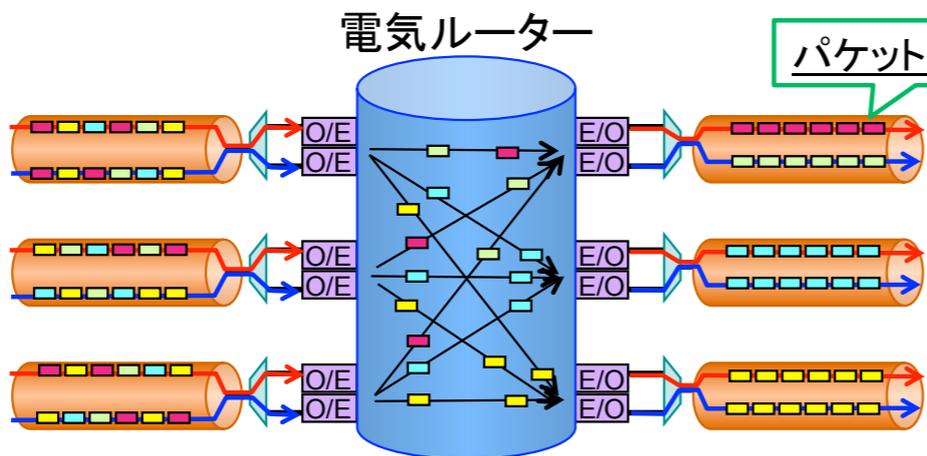
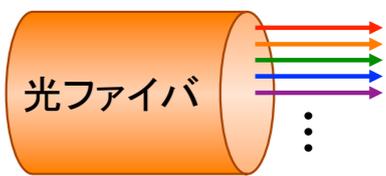


# 波長経路割当て

- 光ファイバネットワーク
- 情報通信に対して、通信経路と波長を割当てる問題
- 産業技術総合研究所（AIST）、筑波大学と共同研究
- 高速なフォトニック通信の実用化に不可欠な研究テーマ



▶ **波長分割多重伝送**  
異なる波長の光信号を複数多重  
大容量・光領域での伝送



- ディズニーランドを対象とする
  - 数理モデルを用いた既存研究があるが**不完全**
  - 「ファストパス」と呼ばれる優先入場システムをモデル化できていない
- 既存研究
  - ファストパスを考慮しない (高大連携プロジェクト (2009))
  - 特定のアトラクションのファストパスのみ考慮 (三好 (2007), 服部(2012))



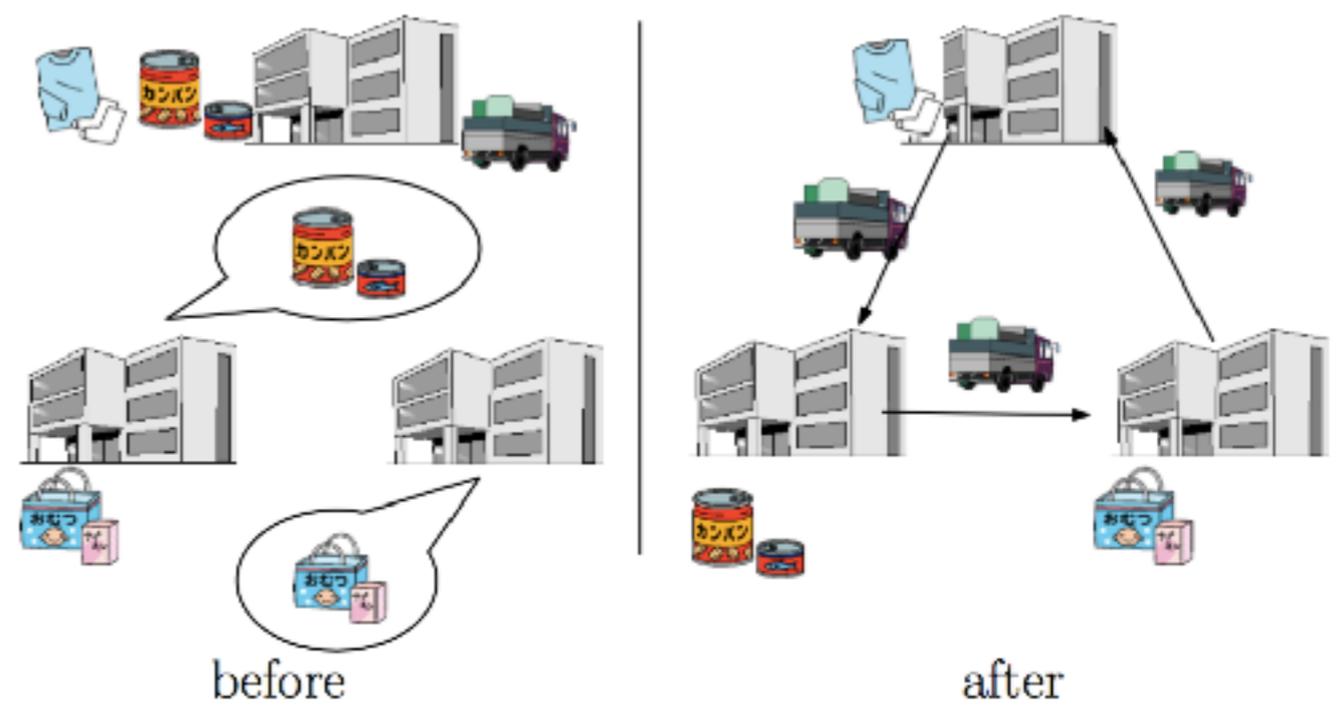
## 研究目的

ファストパスの仕組みを完全に取り入れた数理モデルを作り、「満足」にアトラクションを回る回り方を考える

- 配送コストと不足の度合いを同時に考える問題
- 避難所毎に:
  - それぞれの物資の重要度を設定
  - 不足量と重要度からペナルティを定義
- ペナルティの総和を減らすために避難所間で物資を共有

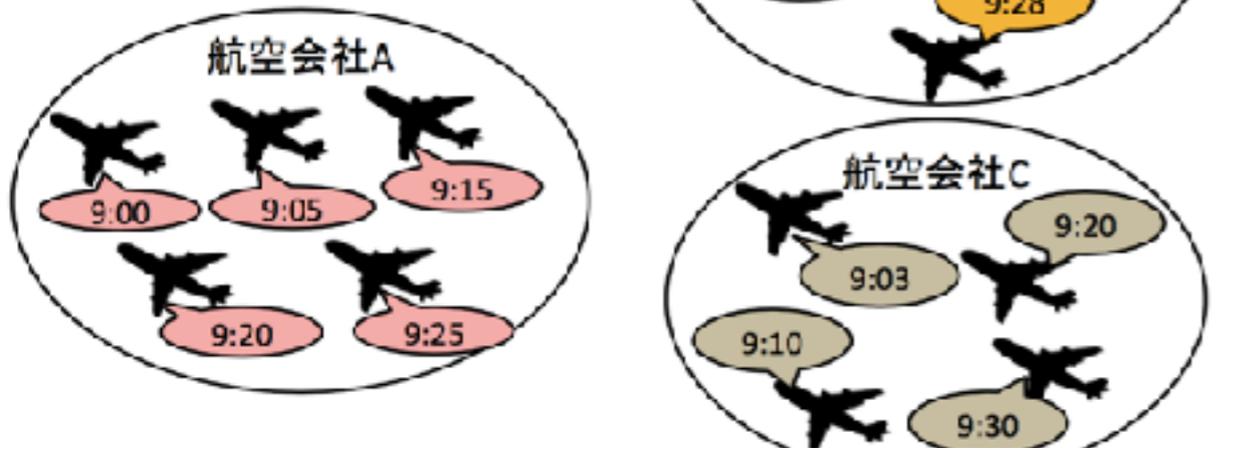
## 混合整数線形計画問題 として定式化

調布市のデータで評価

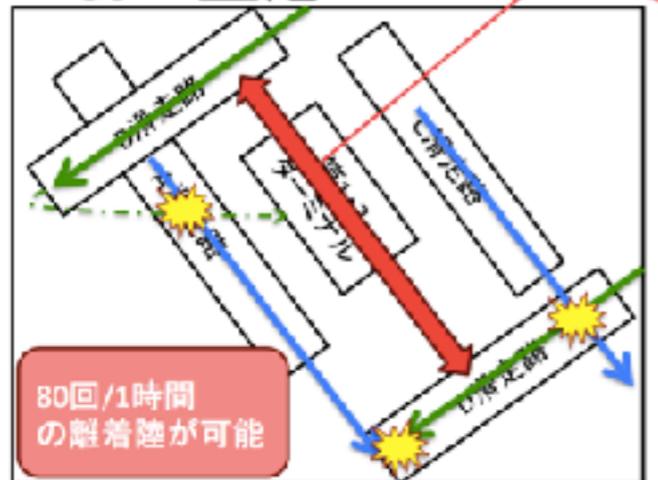


## 1.はじめに

(背景)  
各航空会社が  
独自に時刻表を作成



## 3.羽田空港について



B滑走路とD滑走路は  
十分に離れているため  
同時着陸可能

<南風時の羽田空港の滑走路運用>  
⇒全ての滑走路がそれぞれ干渉しあっている  
⇒4滑走路を1滑走路にみなして  
既存の動的計画法を用いて解けないか  
…**最小間隔時間**にこの運用ルールを取り入れる

## 2.航空滑走路スケジューリング問題

滑走路を使用する時刻を航空機に割り当てる問題

目的関数: **全航空機コスト和の最小化**



# 1滑走路モデルで複数滑走路 スケジューリングを達成

## ● 経路選択ゲームを用いた交通経路デザイン

- 本研究は経路選択ゲームの均衡概念を利用し，交通経路デザインにおける良し悪しを，均衡状態の良さを定量評価することで評価する方法を考えています。

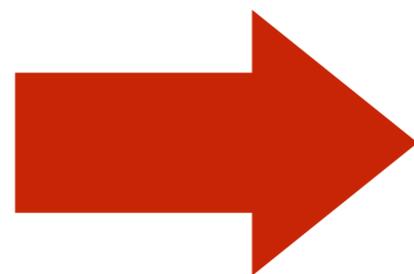
ゲーム理論

+

組合せ最適化

+

進化計算



渋滞などの利己的行動選択から生じる現象をモデル化

