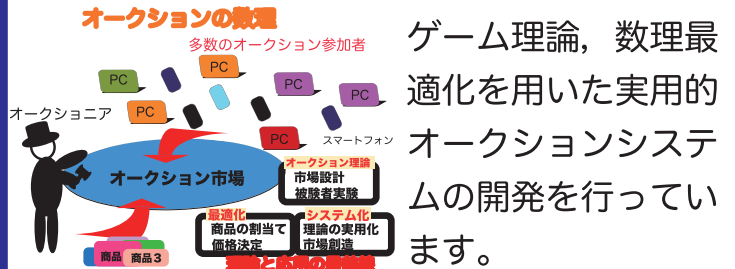


### About

Optlab では、実社会にある様々な問題に対して、数理最適化手法の応用を考えています。その対象は、ビジネスだけでなく、経済、交通、通信と幅広く網羅しています。特に、問題を解決するためだけでなく、社会実装としてシステム開発、施策の提言などを行えることをめざして活動しています。研究室のコンセプトとして、学生と教員の関係に止まらず、全員が一研究者であるという自覚をもってそれぞれの研究に従事しています。

### オークションの数理



数理モデル, アルゴリズムの開発だけでなく、被験者実験を通じた理論, 実用性の統計的検証を行っています。被験者実験のために、他

の研究機関や大学と共同研究を行っています。

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



### 研究紹介

#### 卒業研究

- ・ 経路選択ゲームを用いた交通経路デザイン
- ・ k-PCST 問題に対する近似アルゴリズムデザイン
- ・ H&S ネットワークを用いた災害時輸送ネットワークデザイン
- ・ サービス選択市場における価格決定問題
- ・ 航空滑走路割当問題に対する解法
- ・ 災害時の物資輸送のための経路選択問題
- ・ ジャグリングの最適演技順序決定
- ・ データセンター省電力化
- ・ ディズニーランドの効率的経路決定

### 研究紹介

#### 修士論文 (現在研究中)

- ・ クラウドファウンディングのモラルハザードに関する考察
- ・ 予算制約付マッチング市場における Envy-Free 価格付けに対する一考察

#### その他

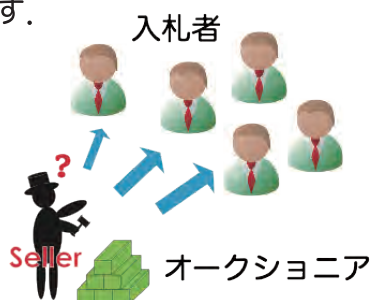
- ・ 最適化計算の可視化

## オークションの数理

オークションは、財（商品）を効率的に取引するための手段の1つで、紀元前1500年前のバビロニアで奴隷取引に使われていた記録があると最も古い経済取引手法です。

学術的な分析、理論的体系は1960年代以降に整備され、近年は経済学、数理最適化、人工知能などの分野で盛んに研究されている横断的な研究分野になっています。

情報数理の分野では、最適な財の配分を求める最適化問題、最適な財の価格決定問題が盛んに研究されています。



### オークションのスキーム

- ① 入札者は自らの評価値に基づいて入札値を申告する
- ② 売手は入札値をもとに**財の割当**と**支払価格**を決定する
- ③ 入札者は支払価格を売手に支払う

## メカニズムデザイン

資源配分や意思決定において、達成すべき目標を実現できるルールを定める学問です。経済学の一研究分野でしたが、近年、計算機工学、数学、人工知能の研究分野も参入しています。

- ・医学生の内ターンシップ配属のマッチング
  - ・小学校の受け入れ
- などの実問題に適用されています。

### 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)**

## 被験者実験による評価

### 従来のメカニズムデザイン

- ・従来の経済学は賢く合理的な経済人を仮定
- ・理想的な環境を仮定したメカニズムデザイン
- ・確率分布を仮定した限定的な計算機実験

人の行動は非合理的で、計算機実験では正確にシミュレートできない

### 現代のメカニズムデザイン

1. H. Chamberlin (1948) によって人の行動が非合理的であることを示す実験を実施
2. V. Smith, D. Kahnemanらによって実験経済学の手法が確立(2002年ノーベル賞)
3. 行動経済学がノーベル賞の受賞対象となる(2017年)

**実験経済学、行動経済学を導入**

メカニズムデザインの理論研究によって確立されたモデルやメカニズムを時として不合理な行動を取る実際のヒトを用いた被験者実験によって「評価」、「検証」、「モデルの再構築」を行います。事実VCGメカニズムは被験者実験ではうまく働かないことが実験的に明らかになっています。

被験者実験では、数理、ゲーム理論に加え、実験デザイン、webプログラミング、統計の知識を使います。

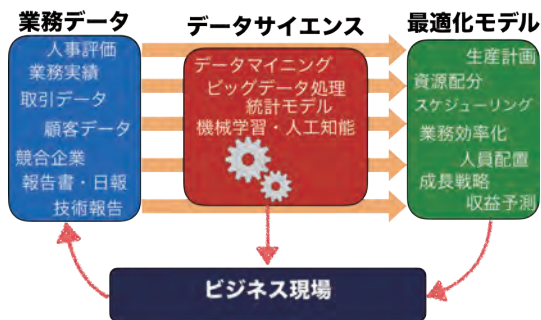
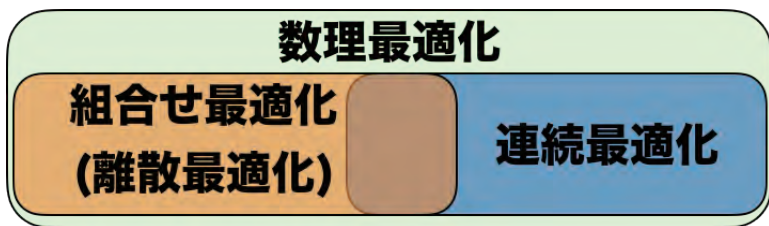
### 数理最適化

数理最適化 = Mathematical Optimization

「○○をうまく決めて■■■を最小化(最大化)したい」

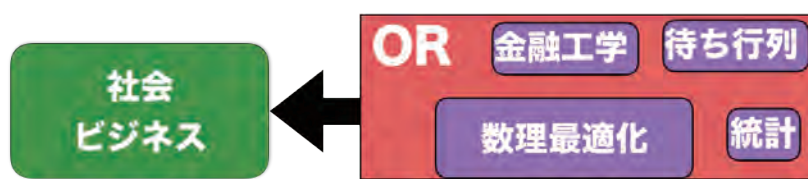
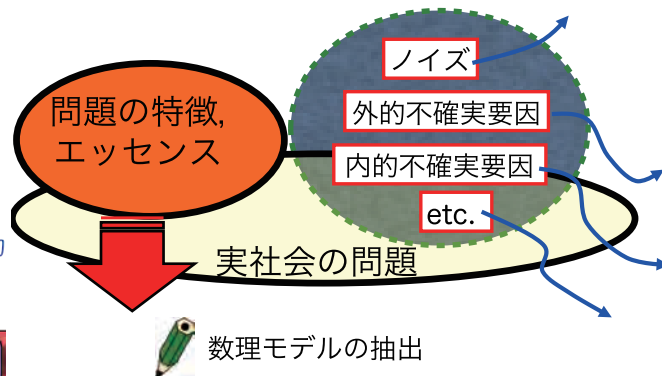
「○○」を「道路経路」、「■■■」を「走行距離」とすれば、カーナビゲーションシステム

「○○」を「生産計画」、「■■■」を「利益」とすれば、工場の生産計画



### オペレーションズ・リサーチ

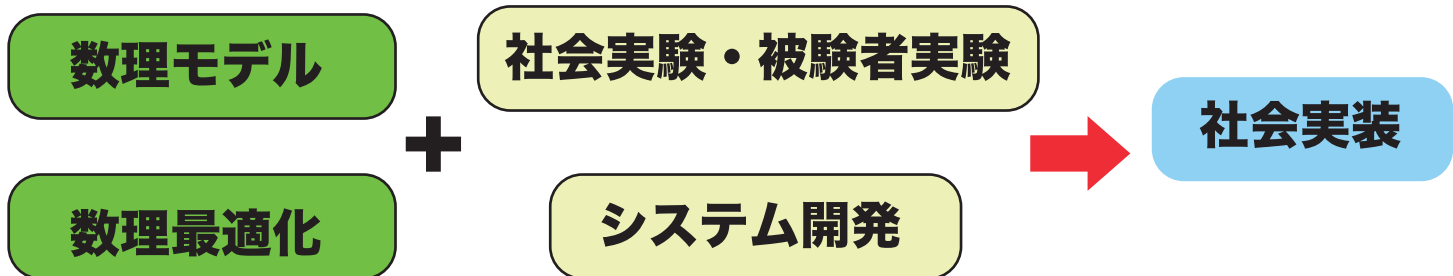
- オペレーションズ・リサーチ (以下OR) はもともと、第二次世界大戦中にイギリスが軍事研究として使ったのが始まり。
- オペレーションは「作戦」、リサーチは「検証」。
- 互いに干渉しあう複数の作戦が最適な方法で、効率的に実行可能かどうか、検証する、そういう目的で使われ始めた科学。
- 様々な環境、次々に変化する状況において、数学や統計学を用いた数理的なモデルに落とし込み、分析することで最適なアプローチを導く。



現実の問題を数理モデルに落とし込む

### 社会最適化

実社会から得られる様々な問題を、数理モデル+最適化技術を駆使して解決します。社会最適化は、それだけでなく、実社会へのフィードバックはもちろん、社会システムに実装できるように、社会実験、被験者実験を通じたモデルの改良、適用可能性の評価を行い、システム開発まで行います。



## 卒業研究

昨年度は次のような研究テーマに取り組んでいました。

### 1. 経路選択ゲームを用いた交通経路デザイン

経路選択ゲームは、ネットワーク上に辺コストが与えられた時、ユーザーがそれぞれの要求を満たすフローを流すことを考える非協力ゲームです。経路選択ゲームはポテンシャルゲームと呼ばれる理論で考えることもでき、ポテンシャルゲームの性質によって、参加者が利己的である場合に到着するとされる均衡状態を求めることができます。本研究はこれを利用し、交通経路デザインにおいて、均衡状態がどの程度悪いかを定量評価することを考えています。

### 2. k-Prize Collecting Steiner Tree 問題に対する近似アルゴリズムデザイン

k-Prize collecting steiner tree 問題とは、連結なグラフに対して、頂点に利得関数、辺にコスト関数が与えられた時、指定された頂点  $r$  を含む頂点数が整数  $k$  以上の部分木で、木に含まれる辺コストと木に含まれていない頂点の利得の和が最小となるものを見つける問題です。この問題は、NP 困難な問題であることが知られていて、2016 年に 5- 近似のアルゴリズムが提案されています。本研究は、5- 近似よりも近似精度の良いアルゴリズムを構築することを目指します。

### 3. ハブアンドスポークネットワークを用いた災害時輸送ネットワークデザイン

被災地外から支援物資を輸送する際に、被災地では物資の処理をする施設や人員の確保が困難です。そのため、被災地外に物流拠点を作るなどより広域的に災害時の物流問題に対処する必要性が指摘されています。本研究では、外部からの支援物資の支給と避難所同士の共有物資のやり取りの両方を広範囲で行えるネットワークの構築を考えています。広範囲で効率的に輸送をするための考え方として、ハブアンドスポークネットワークが知られています。そこで本研究ではハブアンドスポークネットワークの考え方を使った広域的物資共有ネットワークの作成を目指しています。

## これまでの卒業研究の研究テーマ

### 1. 航空滑走路使用スケジューリング

空港では、同じ滑走路で着陸と離陸を行います。航空機の運航スケジュールに合わせて、滑走路を使用する順番をうまく決めないと、ダイヤの乱れが生じます。本研究では、問題のモデル化とそれを解くためのアルゴリズムの開発を行っています。

### 2. サービス連携を考慮した逆オークションモデルに対するアルゴリズム設計

クラウドサービスなど、複数のサービスを組合せて割当てるオークションにおいて、品質と価格の両方を考慮したモデルを考えます。サービスの組合せを制限したときのモデルに対するアルゴリズム開発を行っています。

### 3. 災害時の物資輸送のための経路選択問題

地震などの災害時の避難所への物資輸送に関して、輸送トラックの経路を決定する問題を輸送経路決定問題といいます。その問題に対して、調布市を対象とし、特有の制約や、食料や衣類などの物資の種別を考慮した問題の解法と、システムの開発を行っています。

### 4. ジャグリングの最適演技順序決定

ジャグリングにおいて効率の良い技のつなげ方について研究しています。技の遷移をグラフを用いてモデル化し、演技したい技の最も効率的な巡回路を求めます。技のグラフと投げ方のグラフを用意し、2 層のグラフで巡回路を求めました。

### 5. データセンター省電力化

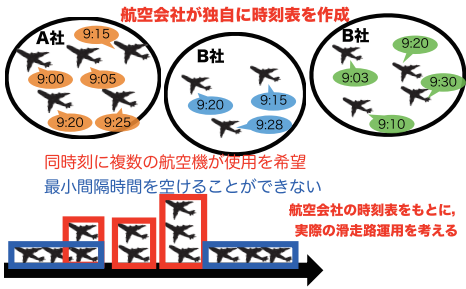
バーチャルマシンを運営するデータセンターで、バーチャルマシンをうまく配置し、電力消費を最小化する問題に取り組んでいます。タスクの処理要求が不確実な場合について考えています。確率分布を変えインスタンスのバリエーションを増やし、シミュレーションによってアルゴリズムの性能評価を行いました。

### 6. ディズニーランドの効率的経路決定

限られた時間の中でアトラクションを効率的に回ることは非常に困難です。本研究では、ディズニーランドを対象とし、ファストパスをモデルに組み込み最適な経路を求めます。実際に解いた経路を用いて実証実験を行いました。

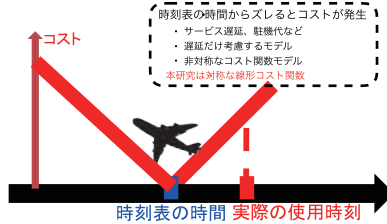
## 航空滑走路スケジューリング

空港では、同じ滑走路で着陸と離陸を行います。航空機の運航スケジュールに合わせて、滑走路を使用する順番をうまく決めないと、ダイヤの乱れが生じます。本研究では、問題のモデル化とそれを解くためのアルゴリズムの開発を行っています。

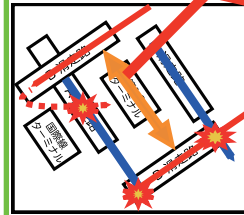


### 航空滑走路スケジューリング問題

目的関数：全航空機コスト和の最小化



### 羽田空港



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

<南風時の滑走路運用>

全ての滑走路が干渉している  
4滑走路を1滑走路とみなす

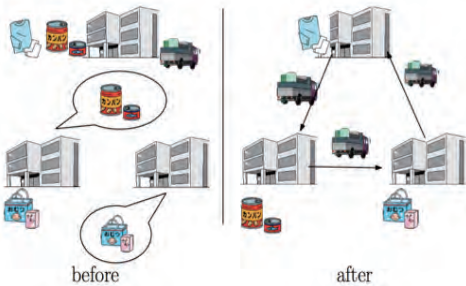
80回/1時間  
の離着陸が可能

最小間隔時間に組み込む

## 動的計画法により求解

## 災害時物資共有供給計画問題

地震などの災害時の避難所への物資輸送に関して、輸送トラックの経路を決定する問題を輸送経路決定問題といいます。その問題に対して、調布市を対象とし、特有の制約や、食料や衣類などの物資の種別を考慮した問題の解法と、システムの開発を行っています。実験では、物資共有供給に必要な物資の最低量や備蓄すべきガゾリンの最低量を算出することができました。この問題は、次年度以降、ハブアンドスポークを用いた広域物資共有供給計画へと拡張されています。



### 物資共有供給計画問題

- ・ 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



## 経路選択ゲームを用いた交通経路デザイン

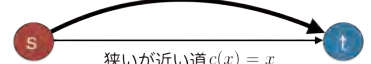
経路選択ゲームは、ネットワーク上に辺コストが与えられた時、ユーザーがそれぞれの要求を満たすフローを流すことを考える非協力ゲームです。経路選択ゲームはポテンシャルゲームと呼ばれる理論で考えることもでき、ポテンシャルゲームの性質によって、参加者が利己的である場合に帰着するとされる均衡状態を求めることができます。本研究は複数のODが与えられた時、レプリケータダイナミクスと呼ばれる求解法で新しく枝刈りを提案することで高速化を目指しました。

ゲーム理論

渋滞などの利己的行動選択から生じる現象をモデル化

$s \rightarrow t$ に総量1の交通量がある  
 $c(x)$ : 交通量 $x$ のときの移動時間

広いが遠い道  $c(x) = 1$



- ・ 利己的：全員が下の道  $\rightarrow$  平均移動時間1
- ・ 社会最適：上下に0.5ずつ  
平均移動時間  $(1+0.5)/2 = 0.75$

利己的な振る舞いは社会最適にならない

+

組合せ最適化

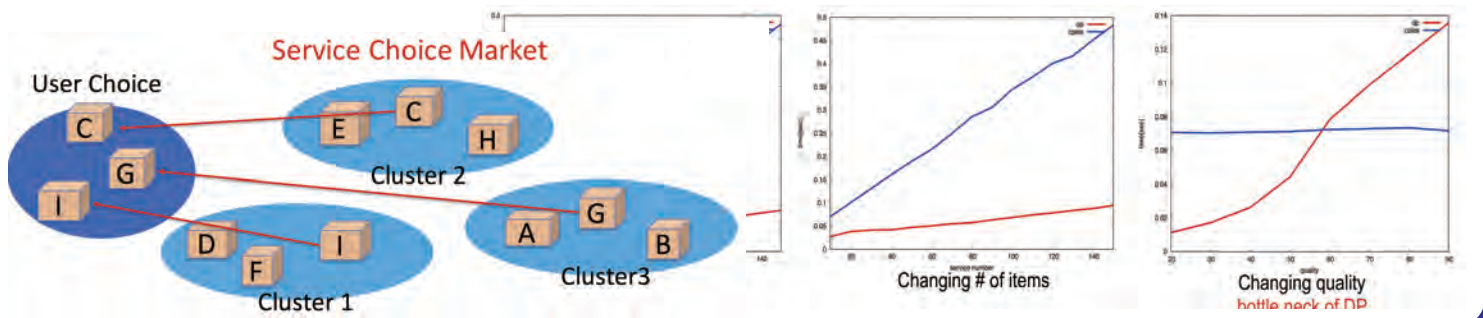
+

進化計算



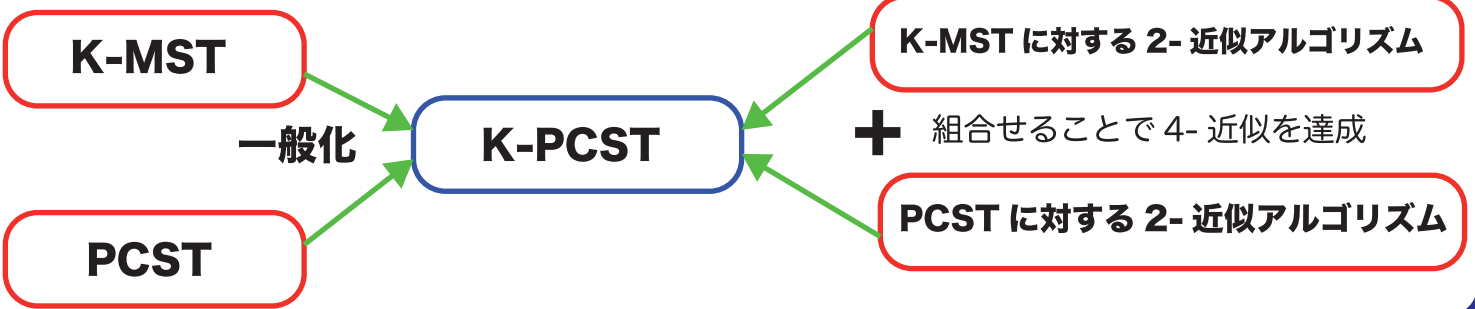
### サービス連携を考慮した逆オークションモデルに対するアルゴリズム設計

クラウドサービスなど、複数のサービスを組合せて割当てるオークションにおいて、品質と価格の両方を考慮したモデルを考えます。サービスの組合せを制限したときのモデルに対するアルゴリズム開発を行っています。研究では、VCG メカニズムを用いた割当と支払い決定に対して、高速な動的計画法を提案しました。



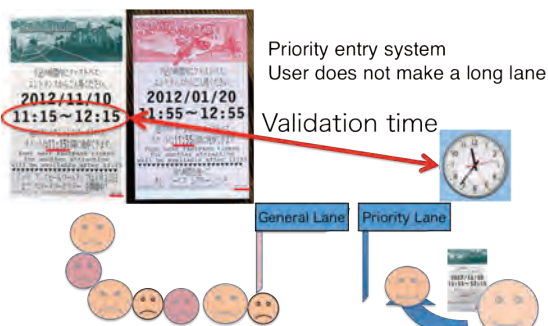
### k-Prize Collecting Steiner Tree 問題に対する近似アルゴリズムデザイン

k-Prize collecting steiner tree 問題とは、連結なグラフに対して、頂点に利得関数、辺にコスト関数が与えられた時、指定された頂点  $r$  を含む頂点数が整数  $k$  以上の部分木で、木に含まれる辺コストと木に含まれていない頂点の利得の和が最小となるものを見つける問題です。この問題は、NP 困難な問題であることが知られていて、2016 年に 5- 近似のアルゴリズムが提案されています。本研究は、4- 近似アルゴリズムを構築することができました。



### ディズニーランドの効率的経路決定

限られた時間の中でアトラクションを効率的に廻ることは非常に困難です。本研究では、ディズニーランドを対象とし、ファストパスをモデルに組み込み最適な経路を求めます。実際に解いた経路を用いて実証実験を行いました。



There are many constraints about issuing FPS

