

数学の社会応用への取り組み事例 ～GRIPS -Sendaiについて～

2018年 10月 15日

トヨタ自動車株式会社 BR-未来社会工学室長

筑波大学 未来社会工学開発研究センター長

高原 勇

R&D Center for Frontiers of MIRAI in Policy and Technology

Director: Isamu Takahara, Ph.D. Specially Appointed Professor, University of Tsukuba,
and General Manager of Toyota Motor Corporation.

(Press Release Apr. 06, 2017)



R&D Center for Frontiers of
MIRAI in Policy and Technology

筑波大学未来社会工学開発研究センター



- 1) Research technology and policy for smart communities to realize **Society 5.0**
- 2) Develop future mobility and MaaS by Automated Driving Universal Systems (Mobility as a Service)
- 3) Develop Social Science System through analysis of the Big Data with demonstration experiment

Related departments in the university are

- ☐ **Department of Policy and Planning Sciences**
- ☐ Center for Artificial Intelligence Research
- ☐ Faculty of Health and Sports Sciences
- ☐ **Center for Cybernics Research**
- ☐ **International Institute for Integrative Sleep Medicine**
- ☐ Faculty of Business Sciences
- ☐ **Faculty of Pure and Applied Sciences, Dept Mathematics**
- ☐ International Industry-University Collaboration



未来社会のモビリティ インフラの先端研究拠点として筑波大学と設立

GRIPS*-Sendaiへの参画

筑波大学 未来社会工学開発研究センターの共同研究として参画。
e-Palette Concept**による「次世代エネルギーとモビリティプラットフォームのデザイン」を東北大学キャンパスでの実装への課題解決をテーマ設定

TOYOTA PROBLEM STATEMENT



1. How many e-Palettes are needed in Tohoku University?
2. Find an optimal e-Palette operation plan to maximize convenience.
3. Find an optimal campus layout to minimize energy costs.

88

OPTIMAL RE-BALANCING STRATEGY OPTIMIZATION PROBLEM

Minimize total cost of e-Palette relocation

$$\text{minimize}_{X^p, X^r, S} \sum_{i,j,t} c_{ij}^t x_{ijt}^p$$


where c_{ij}^t = cost of traveling from region i to region j

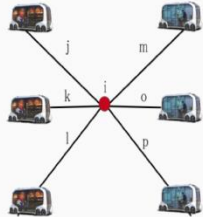
20

OPTIMAL RE-BALANCING STRATEGY OPTIMIZATION PROBLEM

Such that the number of arriving vehicles is the number of departing vehicles

$$\sum_{j \in \mathcal{N}} x_{ijt}^p + x_{ijt}^r - x_{jit}^p - x_{jit}^r = s_{it}, \forall i \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T}$$

where τ_{ij} is travel time from region i to j .



22

* : **Graduate-level Research in Industrial Project for Students**
カリフォルニア大学 純粋応用数学研究所が創設した国際インターンシッププログラム。
企業から提供された課題に、アメリカ人学生と現地学生がグループとなって集中的に取り組み、解決に至る道筋を学ぶ。
日本は今年、東北大学で初開催。

** : e-Palette Concept は、トヨタが有する電動化、コネクティッド、自動運転技術を活用したMaaS専用次世代EV

社会課題解決と経済成長の両立への数学応用の可能性に期待、参画

■ TOHOKU UNIVERSITY e-Palette Mobility Platform Concept

Tohoku University decides to carry out all traffic between campuses and within a campus by e-Palette.

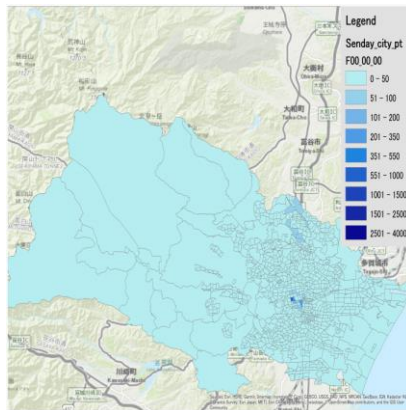
- 1) How many e-Pallettes are needed in Tohoku University ?
- 2) We would like to maximize convenience on campus.
Please find an optimal e-Pallet operation plan.
- 3) We would like to minimize energy costs.
Please find an optimal campus layout.



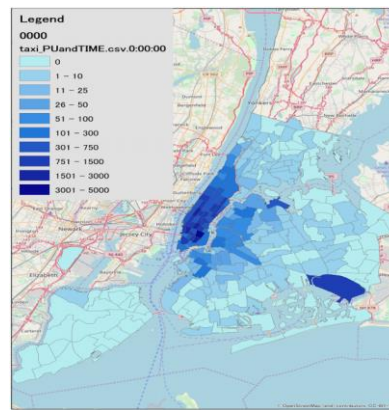
事例 1 : 配車最適化へのアプローチ

公共交通として、都市における需要に対して何台のe-Paletteが必要であるか、顧客満足度（待機時間・遅延時間）をコストとみなした際の総利益最大化問題へと転換

（仙台都市圏パーソントリップ調査とニューヨーク市におけるタクシーの乗降データから条件設定）



仙台市



ニューヨーク市

v はe-Paletteの種類(1人乗りor2人乗り)、 t は時間(タイムステップ)を表す。
また、 i および j はそれぞれ出発点と到着点を表す。

c_{ijv}^p : 運賃
 x_{ijvt}^p : 需要
 c_{ijv}^r : 再配置コスト
 x_{ijvt}^r : 再配置需要

c_{ijt}^w : 需要の待機コスト
 w_{ijt} : 待機する需要数
 c_{ijt}^d : 到着遅延コスト
 x_{ijt}^d : 到着が遅延した需要数

（午前0時における需要分布）

$$\max_{x^p, x^r, w, d} \sum_{j,i,v,t} c_{ijv}^p x_{ijvt}^p - \sum_{i,j,v,t} c_{ijv}^r x_{ijvt}^r - \sum_{i,j,t} c_{ijt}^w w_{ijt} - \sum_{i,j,t} c_{ijt}^d d_{ijt}$$

運賃収入 再配置コスト 待機コスト 遅延コスト

自動運転によるモビリティサービスでのインセンティブ設計に示唆

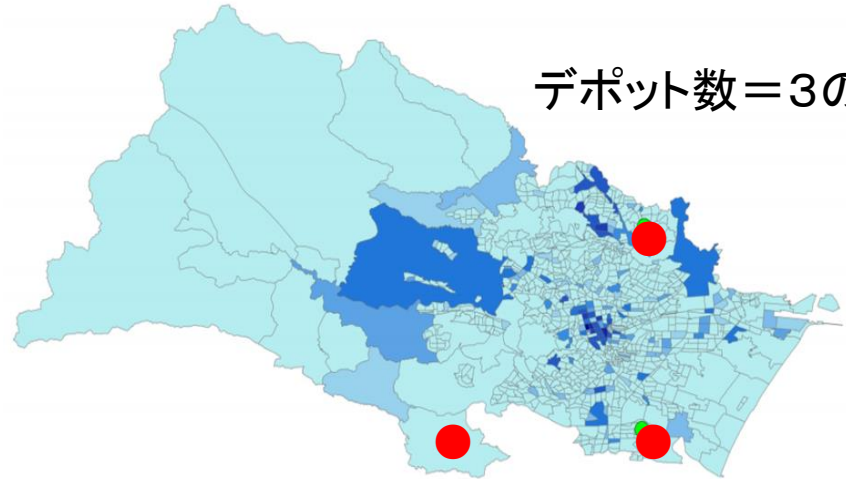
事例2：充電設備最適配置へのアプローチ

運行コストの最小化の観点から、充電デポットを最適配置を検討。都心部に設置すれば需要点に近いが土地代が高いことを考慮した配置を検討。
また、建築デザインを学ぶ学生が主体となり大規模集約型ステーション構想を提案。

$$\begin{aligned} \min_{z,y} \quad & \sum_{i,j} s_{i1} c_{ij}^r y_{ij} + \sum_j l_j z_j \\ & \text{配置コスト} \quad \text{設置コスト} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_j z_j = P \quad \sum_j y_{ij} = 1 \quad y_{ij} \leq z_j \end{aligned}$$

s_{i1} : 初期配車数
 c_{ij}^r : 配車コスト
 l_j : 候補点の地価
 y_{ij}, z_j : ダミー変数

デポット数=3の場合



集約型デポット構想

都市近郊での集約型急速充電ステーション配置の可能性を導出

■ **Mission** 未来社会のモビリティイノベーション*の社会実装に数学応用

■ **Vision** 移動の自由 と地域社会への貢献

共有



モビリティイノベーション*

つながる
自動運転
シェアリング
電動化
水素社会

社会課題解決と経済成長の同時解決モデルを数学応用での導出に手応え
グローバルイノベーション創出の共通言語となる数学応用、理数系人材育成と活躍が必須

＜参考：参加学生の感想 抜粋＞

専門分野の異なる日本人と外国人合わせて5人が1チームとなってプロジェクトに取り組んだ。留学経験がなく、さらに都市計画が主専攻であったため、英語や数学を使いこなせるかと不安だったが、実際に具体的な社会実装をテーマとして与えられてアプローチを全体で考えていくうちに、理解度を深め、最終レポートを提出できた。日常生活もともにすることで、より親密になるプログラムになったと感じる。数学が面白いと思った。（筑波大学院生）

数学応用の手応え実感、持続的な取り組みを期待