UTMD The University of Tokyo Market Design Center
東京大学マーケットデザインセンター

マッチング理論とマーケットデザインの実践

by 小島武仁（こじま　ふひと）
東京大学経済学部、マーケットデザインセンター（UTMD）

講演者紹介

- 専門：マッチング理論、マーケットデザイン
- 略歴
  - 2003 東大経済学部卒業
  - 2008 ハーバード大PhD
  - 2008-09 イェール大ポスドク
  - 2009-20 スタンフォード大教授
  - 2020- 東大経済学部教授・マーケットデザインセンター長
- その他：経済同友会顧問、Fellow of Econometric Societyなど

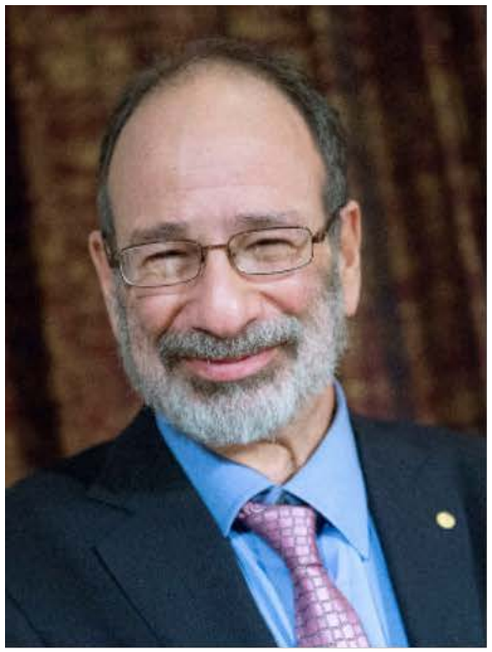
今日のお話の概要

- マーケットデザインの基本的な考え方と社会実装への応用についてお話しします。

- 特に公的領域に関係が深そうなトピックを中心にお話しします。

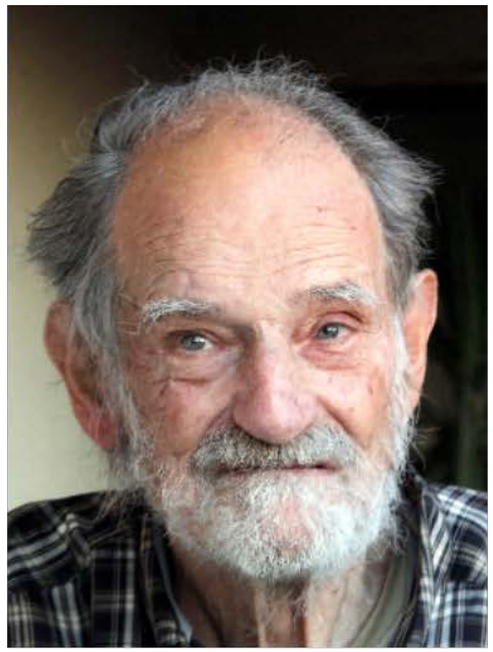
- 質問大歓迎です（話の途中でも！）

いまマーケットデザインが熱い！



Alvin Roth
(Stanford)

写真：AP/アフロ



Lloyd Shapley
(UCLA)

写真：AP/アフロ

Paul Milgrom
(Stanford)

写真：新華社/アフロ

Robert Wilson
(Stanford)

写真：新華社/アフロ

2012年のノーベル経済学賞: マッチング

2020年のノーベル経済学賞: オークション

マッチング理論によるマーケットデザイン

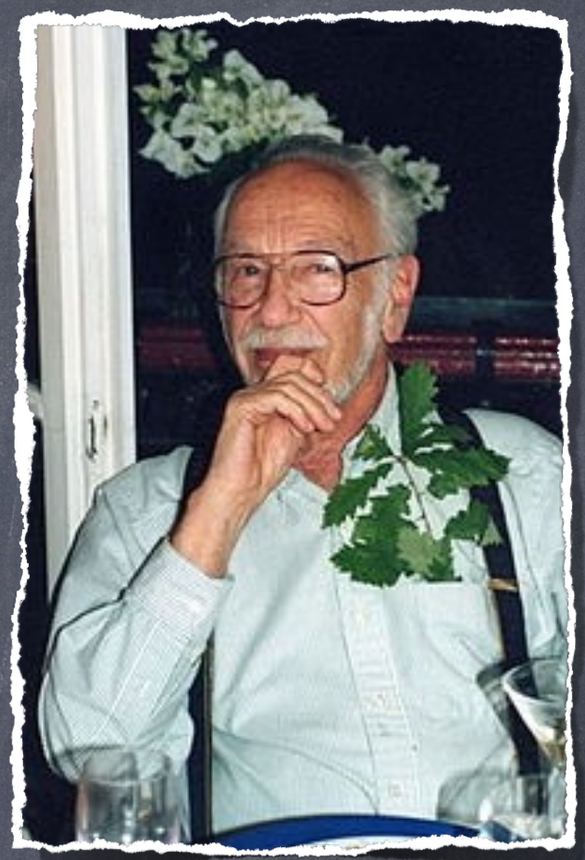
- 世の中の多くの問題は「マッチング問題」
  - 就活、入試、結婚、保活、ワクチン配分…
- 適材適所の組み合わせ＝マッチングを考える→マッチング理論
- 理論→社会実装：「マーケットデザイン」（制度設計）

マッチング制度の運営者がやること

- 参加者にマッチ相手に関する希望順位（選好）を聞いて
- うまいアルゴリズムで良いマッチングを見つける
  - アルゴリズムの上手な設計が腕の見せ所
    - 効率性、公平性、インセンティブ…

ゲール・シャプレー(GS)アルゴリズム

(Deferred Acceptance Algorithm, "DA")



- ステップ０：応募側 (e.g.,学生)・受け入れ側 (e.g., 大学) ともに希望順位リストを提出 – 残りはコンピュータが処理
- ステップ１:
  - 任意に選んだ学生が第一志望の大学に「出願」
  - 大学は学生が希望順位リストに載っていれば仮合格、でなければ不合格
- ステップ２以降:
  - いま仮採用されていない任意の学生が（もしあれば）次の希望大学に「出願」
  - 大学はすでに仮採用している学生（もしいれば）と新しく応募してきた学生全体から募集定員まで希望順に仮合格、残りを不合格
- 新たな不合格が出なくなったステップでマッチを確定

ゲールシャプレー（GS）は奇跡のようなアルゴリズム

- マッチング理論の基本定理：GSの結果ではミスマッチ（専門用語ではblocking pair）がいっさい存在しない
  - ミスマッチとは：学生と大学のペアで、お互いのことを自分のマッチ相手よりも好きなもの
- 解釈：不満や不公平感（抜け駆け、青田買い、離婚の危険）なし—安定マッチングという

他の素晴らしい性質

- マッチング理論の基本定理②＝（学生側）耐戦略性：学生は嘘をついても得しない（ストレス軽減、正しいデータ取得、間違いの防止etc.）
- コンピュータで簡単に実装可能（人的資源を有効活用）
- 社会実装例が多数（研修医マッチング、保育園、高校/大学入試、企業内人事、等）

でも…

- GSはそのままでは使えないことも多い
  - カップルの仕事探し、きょうだいの保育園さがし、男女比の制約、人種のバランス、etc.
- 社会実装のためにはうまくデザインを改善する必要あり→next

UTMD The University of Tokyo Market Design Center
東京大学マーケットデザインセンター

東京大学マーケットデザインセンター（UTMD）

- マーケットデザインの研究と社会実装
- 学内外と共同研究（大学、自治体、企業、国際機関など）
- 学際的アプローチ（特にコンピュータサイエンス、離散数学など）

社会実装プロジェクト①：待機児童問題

With Y. Kamada, H. Odahara, CyberAgent

2016-02-15

保育園落ちた日本死ね！！！

何なんだよ日本。

一億総活躍社会じゃねーのかよ。

昨日見事に保育園落ちたわ。

どうすんだよ私活躍出来ねーじゃねーか。

(出典：はてな匿名ダイアリー)

認可保育園の入所決定

- 自治体ごとに決定
- 自治体は子供を順位づけ（点数、優先順位）
  - 親の就労状況、片親か両親か、祖父母が近くにいるか等で決定
- 各親は希望する保育園に関する希望順位を提出
- マッチング

家庭への調査票（山形市の場合）

※保育の利用を希望する理由についての証明書等を提出していただきます。

保育の利用を必要とする理由	父	1. 就労のため〔A. 居宅外勤務　B. 自営業（自宅内・自宅外）　C. 農業　D. 内職〕 2. 病気・障がいのため → 病気・障がい名（　　）通院頻度（月・週　　回） 3. 親族等の介護等のため → 誰を（続柄　　）被介護者の状況（要介護 1・2・3・4・5） （手帳などの名称　　（　　級）） 4. 災害復旧　5. 求職活動　6. 就学　7. 死亡・離婚・未婚等の理由により不在のため 8.そのほか ……
	母	1. 就労のため〔A. 居宅外勤務　B. 自営業（自宅内・自宅外）　C. 農業　D. 内職〕 2. 病気・障がいのため → 病気・障がい名（　　）通院頻度（月・週　　回） 3. 親族等の介護のため → 誰を（続柄　　）被介護者の状況（要介護 1・2・3・4・5） （手帳などの名称　　（　　級）） 4. 災害復旧　5. 妊娠・出産　6. 求職活動　7. 就学　8. 死亡・離婚・未婚等の理由により不在のため 9. そのほか ……
利用希望		利用曜日（月・火・水・木・金・土・不定期）利用時間（　　：　　から　　：　　まで） （保育標準時間　・保育短時間）　※ご希望する時間に○をつけてください。
求職活動中の申立		□私（父・母）は、現在求職活動を行っているため、支給認定の申請を行います。 □私（父・母）は、今後＿＿年＿＿月より求職活動を行う予定のため、支給認定の申請を行います。 求職活動者氏名（自署） ※求職活動を行っていることがわかる書類を提出いただくことがあります。（例）ﾊﾛｰﾜｰｸの登録証(写)や採用試験の通知等

現在の保育状況	1.父母が保育している	→ A. 仕事を探している B. 就労内定（平成＿＿年＿＿月～） C. 育児休暇・産後休暇中（平成＿＿年＿＿月＿＿日)明け（早め復帰・延長可）
	2.祖父母等が保育している	→（父方・母方）（祖父・祖母・その他　　）
	3.友人・知人に預けている	→（氏名　　／住所　　）
	4.仕事に同伴している	→（同伴している人　／父・母・祖父・祖母・その他　　）
	5.施設利用	→ 現在利用している施設名（　　） 利用日数（週＿＿＿日） 利用を開始した年月（平成＿＿年＿＿月～） 利用料金（月額＿＿＿＿＿＿円）
	6. その他	→（　　）

希望順位表（山形市の場合）

②利用を希望する期間、希望する施設（事業者）名

※保育所、認定こども園（保育部分）、小規模保育、家庭的保育等の事業所名をご記入ください（5つ未満、6つ以上の希望可）。
※日中、保育が可能な状況になった場合には、保育所等の利用はできません。

<table>
<tr><td rowspan="5">利用を
希望する
保育所等名
(いくつでも可)</td><td>第1希望</td><td></td><td rowspan="5">【第6希望以上記載する際はこちらにご記入ください】</td></tr>
<tr><td>第2希望</td><td></td></tr>
<tr><td>第3希望</td><td></td></tr>
<tr><td>第4希望</td><td></td></tr>
<tr><td>第5希望</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">保育の利用を希望する期間</td><td colspan="2">平成　年　月　日　から　平成31年　3月　31日まで</td></tr>
<tr><td colspan="2">兄弟姉妹同時申込の場合</td><td colspan="2">兄弟姉妹がそれぞれ別施設での利用（　可　・　不可　）※○を付けてください。</td></tr>
<tr><td colspan="2">過去に集団保育の利用がある場合</td><td colspan="2">施設名（　　）平成　年　月　から　平成　年　月まで</td></tr>
<tr><td colspan="4">現在の保育状況及び保育所等の利用を希望する理由(具体的に)</td></tr>
</table>

問題点と解決法①

- 入所決定は煩雑（紙で提出）
- マッチングは手作業、でも…
  - アルゴリズムはコンピュータの得意分野
  - 手作業なら～数週間、コンピュータなら一瞬
    - 兄弟の扱いは少し大変（next page）
- 企業提供のアルゴリズム導入が進行中

きょうだいがいる時の安定マッチング

- きょうだいの希望は複雑：一緒/近くの保育園に行きたい
  - 数学的には「カップルが仕事を探す労働市場」と同様
  - 「補完性がある市場の解」という難問の特殊ケース (c.f., Hatfield and Kojima 2008 AER, 2010 JET; Che, Kim, Kojima 2019 Econometrica)
- 安定マッチングは必ずしも存在しない (Roth 1984 JPE)
  - 存在の判定も難しい (Ronn 1990 J of Algorithm)

きょうだい安定マッチングプロジェクト

- Kojima, Pathak, and Roth (2013 QJE)：安定マッチングを「高い確率」で見つける
  - 労働市場（アメリカAPPIC）では成功
- 保育園データ（多摩市・渋谷区）では計算遅い
  - きょうだいはたくさんいる
- 現在進行中のプロジェクト
  - いろいろな計算法を検討・比較中

問題点と解決法②

- 自治体の仕組みは大きく分けて２つ
  - 点数優先（ゲール、シャプリー方式*)
  - 希望順位優先（ボストン方式**)
- 希望順位優先だと希望表で「嘘をつく」インセンティブあり→非効率、不公平
- ゲールシャプリーは「耐戦略的」：正直者がバカを見ない
- 提案：ゲール、シャプリーを使おう！

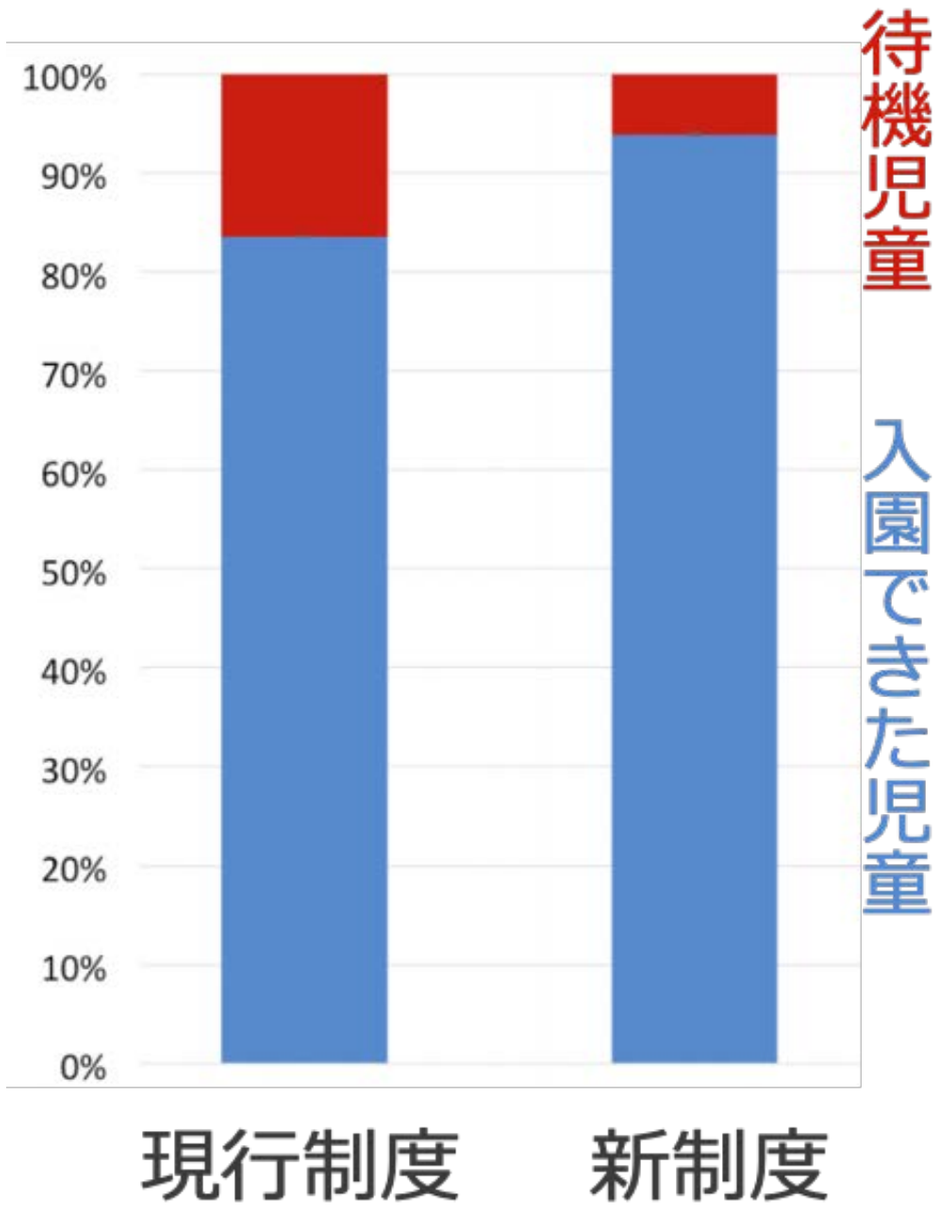
*, **Kojima and Manea (ECMA 2010), Kojima and Unver (ET 2013)が両メカニズムについて公理的特徴付けを行なっている

問題点と解決法③

- 現行アルゴリズムの問題点：年齢別定員を先に設定してからマッチングを計算
  - 年齢のミスマッチ → 非効率、不公平
- Kamada and Kojima (REStud forthcoming)
  - 年齢別定員を提出された希望順位表をもとに柔軟に自動決定
  - 公平性、インセンティブ（耐戦略性）も満たすよう設計

データ分析

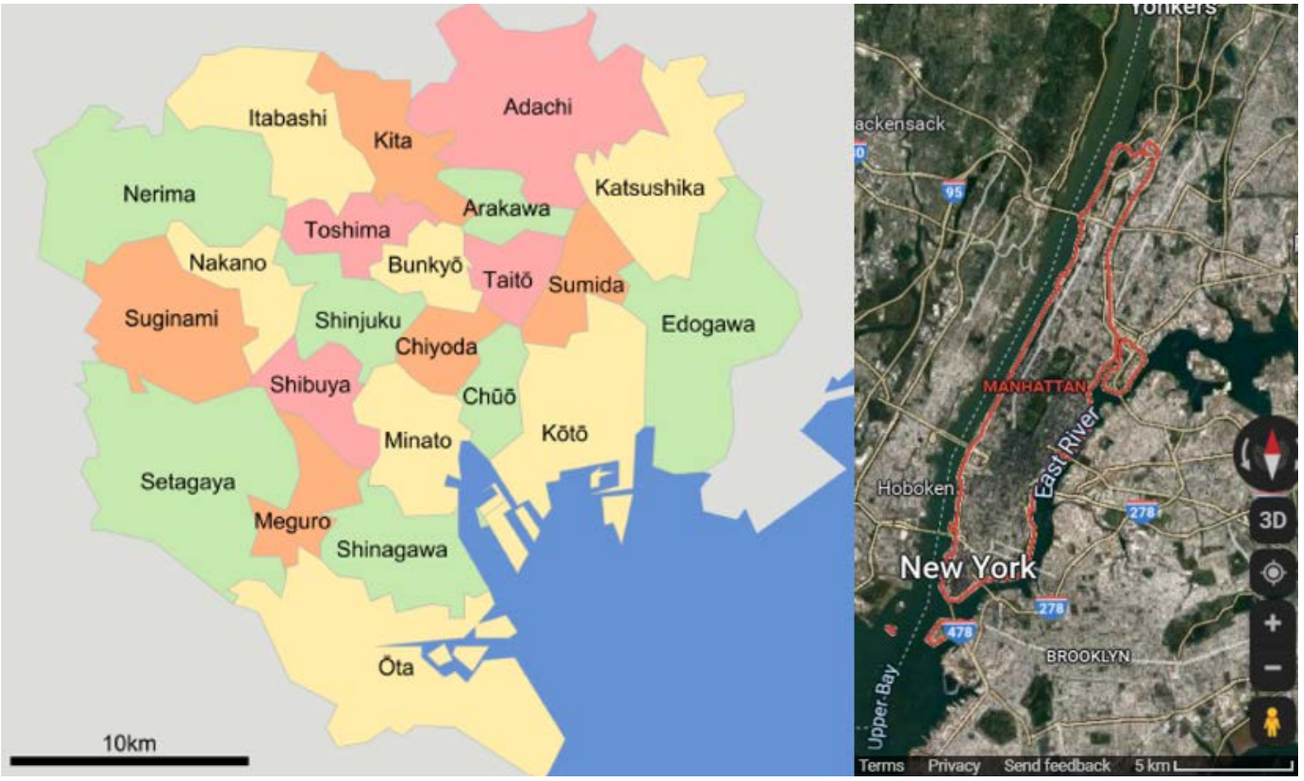
- 山形市のデータを使った試算では新アルゴリズムで待機児童を６３％削減
- 導入のためにはより詳細なデータと分析が必要
  - さまざまなアルゴリズムを検討



出典：Kamada and Kojima
(*Review of Economic Studies* 2021)

問題点と解決法④

- 保育園の入所決定は自治体ごと
  - 例：職場近く/最寄りの保育園は別の区
- 「越境入園」は狭き門
  - なぜ？住民以外の保育は自治体にとって負担
- Kamada and Kojima (in progress)*：越境入園アルゴリズム
  - 各自治体で「流出数＝流入数」
  - 自治体内住民を必ず優先



（東京２３区の平均面積はマンハッタン島の半分）

*Hafalir, Kojima, and Yenmez (2022, JET)も参照

社会実装プロジェクト

- 自治体への聞き取り調査、議論、データ提供と分析
- 多摩市：マッチング方式変更 (2022-)
- きょうだいを含むマッチングの自動化を準備中

(出典：CyberAgentプレスリリース)

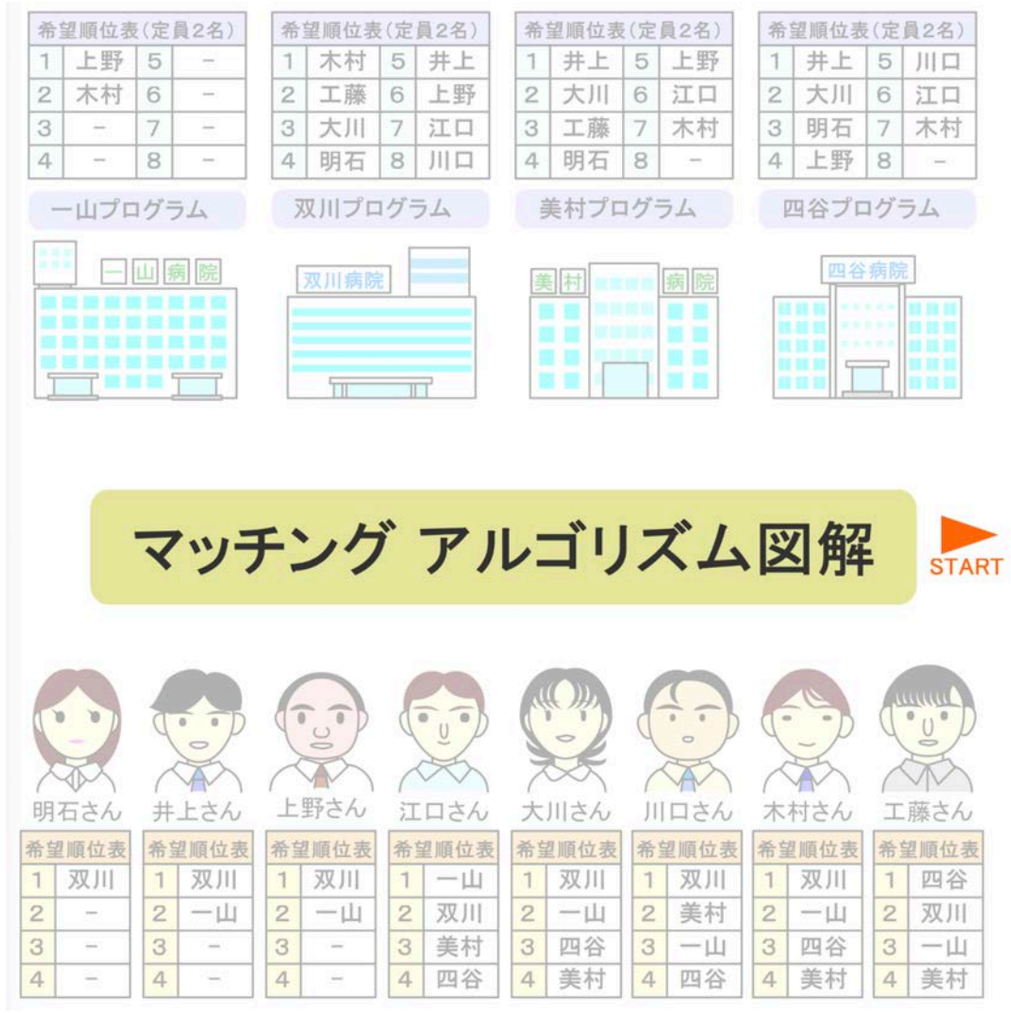
社会実装プロジェクト②：研修医マッチング

With Y. Kamada, H. Odahara, S. Chen, UTEcon

(出典：東京大学附属病院ウェブサイト)

日本の研修医マッチング

- 2003年スタート
  - ゲール・シャプリー方式
  - 安定性、医師側の耐戦略性
  - 病院側も「ほぼ耐戦略的」(Kojima and Pathak 2009 AER)
  - 研修プログラムのクオリティ向上 (Hatfield, Kojima, and Narita 2016 JET)



(出典：医師臨床研修マッチング協議会ウェブサイト)

「医療崩壊」と新たな規制

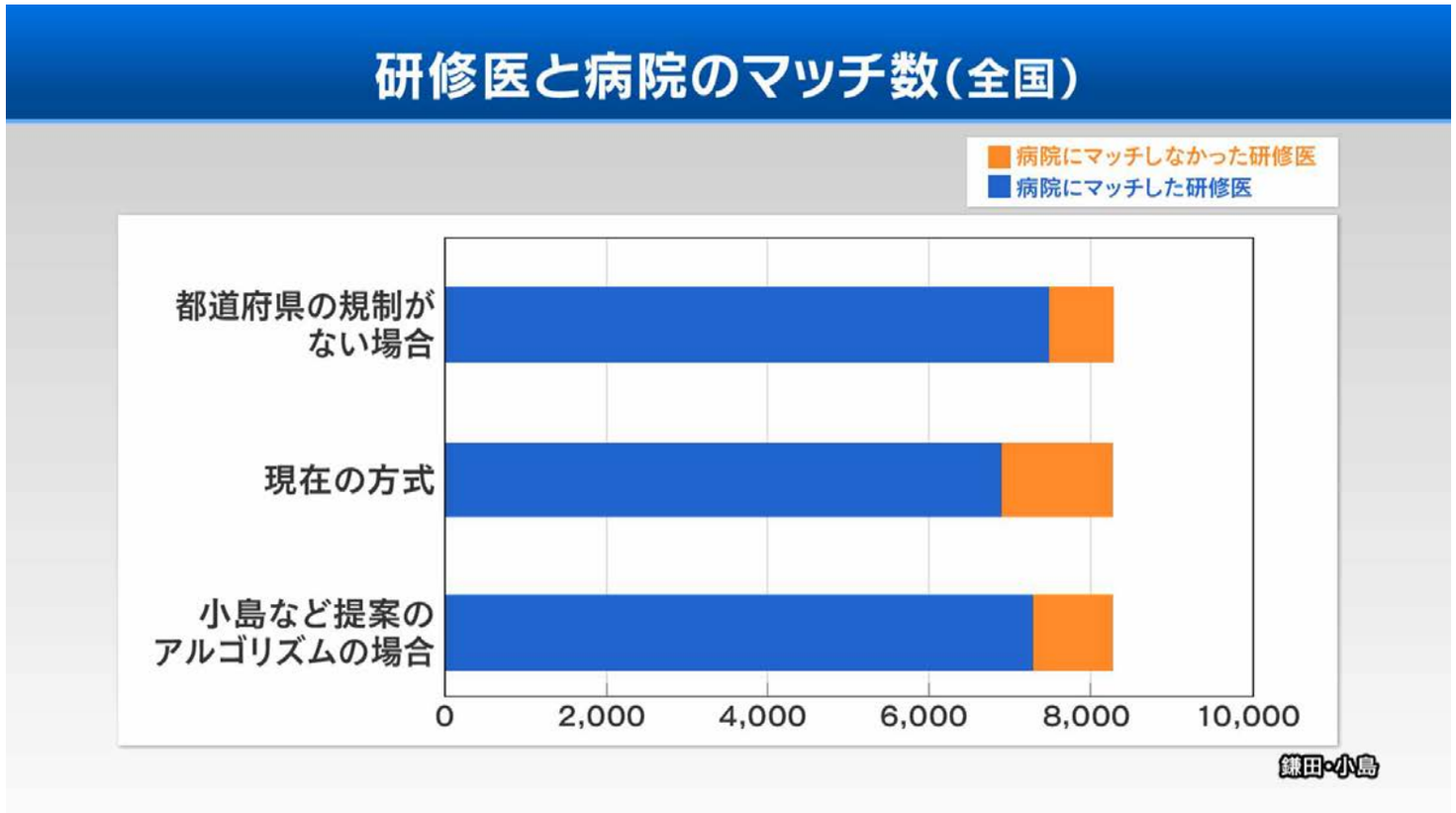
- 批判：研修医の一極集中
- 「都道府県別上限」設定
  - 大都市圏で厳しく設定
- アルゴリズム改変が必要

日本式ゲール・シャプリー

- 基本はゲール・シャプリー（アメリカetc.と同じ）
  - 違い：都道府県別上限を守るため、各病院に実際より小さい「人工定員」の元でアルゴリズム実行
- 問題点：地域内の人気病院で過剰なアンマッチ
  - 余計な不安定性、非効率性

改善案

- 新方式 (Kamada and Kojima, 2015 AER)*：都道府県別上限を守るため人工定員をアルゴリズム内で自動調整
- 実装プロジェクト：研修医は準備中。他の応用例を実装済み/検討中。



(出典：NHK視点論点)

*Kamada and Kojima (2017 JET, 2018 TE, 2019 JER), Goto et al. (2016 AEJ Micro), Kojima, Tamura, and Yokoo (2018 JET), Kojima, Sun, and Yu (2020 AER) などで一般化、改変など

社会実装プロジェクト③：組織内人事

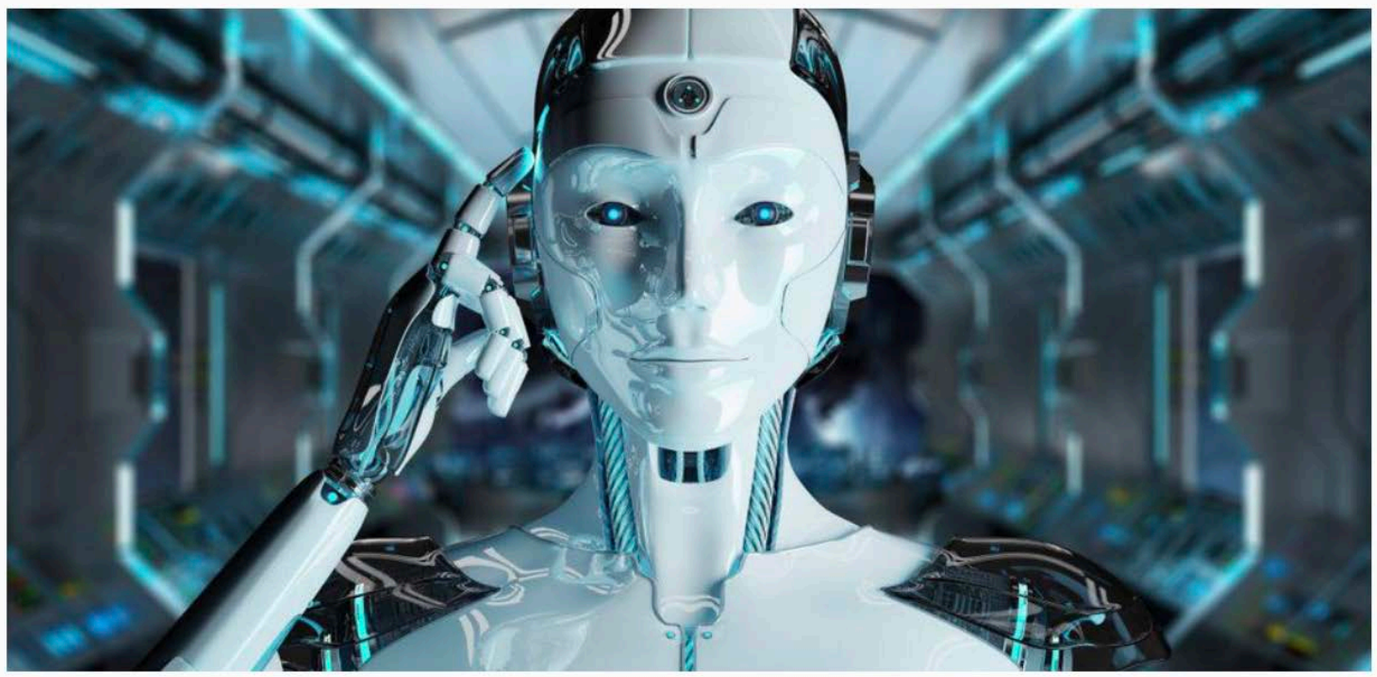
With Y. Narita, H. Odahara, A. Matsushita, Sysmex

How Google Is Using AI To Power Internal Talent Deployment

Pavel Krapivin Contributor

Careers

I write about the intersection of work and happiness.



(出典：Forbes)

実装プロジェクト

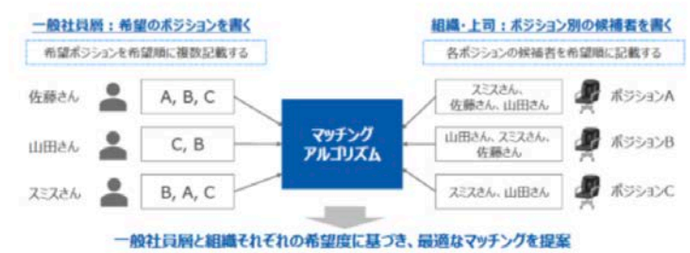
- シスメックス社内人事
- 新卒配属 (2021年4月）全社（10–11月）
- 今後の展開
  - 効果測定
  - 他の会社、組織とも協力

sysmex | Lighting the way with diagnostics

東京大学の支援の下でマッチングアルゴリズムを開発

そのような中で前田氏が、東京大学マーケットデザインセンター（UTMD）のセンター長で、マッチング理論やマーケットデザインの研究をしている小島武仁教授に出会う。グーグルの米国本社が人材配置にマッチング理論を応用していることを知っていた前田氏は、自社でも同じようなことが実現できるのではないかと考えた。そこで人事本部がUTMDの支援の下で、自社に最適なマッチングアルゴリズムの共同研究に乗り出す。従業員が希望する配属先部門と、部門が希望する従業員の組み合わせを最適化する仕組みの構築を目指して、従業員と部門の双方から提出された優先順位付きの希望情報を基に、最適な配属結果を決定するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

こうした人やモノの最適配置に関する問題は、経済学の分野ではゲーム理論をベースにして、ニューヨーク等の公立高校における進学先決定や腎臓交換ネットワークなど、様々な場面での社会実装が進んでいる（マーケットデザイン）。今回の取り組みでは、既存のマッチングアルゴリズムを基に、部門の意向よりも従業員の意向をより反映させるような改修を加えた。そして、まずはこのマッチングアルゴリズムを2021年の新卒入社社員の配属で実用化した。



[画像のクリックで拡大表示]
新たに開発したアルゴリズムで従業員と組織の希望のマッチングを最適化
（出所：シスメックス）

(出典：日経BP Human Capital Online)

実装上の課題

- 部署グループ共通定員
  - ゲールシャプリー適用不可
- 部署→病院、部署グループ→都道府県と思えば…
  - Kamada and Kojima (2015 AER)アルゴリズム使用可能
- 日本式ゲールシャプリーより効率的
- 新課題：予算制約、勤務地制約

(UTMDによるマッチングシミュレータ)

「制約付きマッチング」の一般理論へ向けて

- 部署グループは「簡単な制約」
  - Partition structure (Kamada and Kojima 2015 AER)
- もっと複雑な制約
  - 階層構造 (Kamada and Kojima 2018 TE; Kojima, Tamura, and Yokoo 2018 JET)
  - 一般上限制約 (Kamada and Kojima 2018 JET, forthcoming REStud; Goto et al. 2016 AEJ Micro)
  - 上下限制約 (Kojima, Sun, and Yu 2020 AER)
- 新課題：予算制約 (in progress), 勤務地制限
- さらに「複雑な制約下の最適なマッチングメカニズム」の自動探索も視野 (c.f. Sandholm, Parkes et al.)

社会実装プロジェクト④：コロナワクチン配布

With K. Murooka, S. Noda, H. Odahara, UTEcon

(出典：読売新聞)

ワクチン接種体制の問題点

- 予約の殺到
  - 「早い者勝ち」が原因
- 個別接種ではより深刻
- 「ドタキャン」問題
- ワクチン在庫の偏在

「100回は電話した」　鹿児島市　ワクチン予約殺到

新型コロナウイルス

白石昌幸　2021年5月12日 10時00分

シェア　ツイート list　ブックマーク 0　メール　印刷

予約の電話に対応するコールセンターのスタッフ=2021年5月11日午前10時5分、鹿児島市内、白石昌幸撮影

鹿児島市 で11日、75歳以上の高齢者（約8万6千人、 介護 老人施設入所者の優先接種分を除く）を対象にした 新型コロナウイルス　ワクチン 接種の予約が始まった。市が設けたコールセンターには電話が相次いでつながりにくくなり、市の専用サイトにもアクセスが集中して一時的に閲覧しにくい状態となった。

一方、市役所に高齢者が詰めかけるなどの目立ったトラブルはなかった。

ワクチン予約制度は欠陥　「マッチング」専門家が語る解決への道

5/13(木) 16:00 配信　11

朝日新聞 DIGITAL

岡山県倉敷市は計57回線で接種予約の受け付けを開始し、コールセンターでは業者と市職員が対応に追われた=2021年5月10日午前10時20分、岡山県倉敷市、小沢邦男撮影

高齢者への新型コロナワクチン接種が始まり、予約が殺到して電話がつながらないなど、各地で混乱が続く。カナダ・ブリティッシュコロンビア大学経済学部の野田俊也助教授は、さまざまな希望を持つ人やサービスを組み合わせ、限られた資源を効率的に振り分ける「マッチング理論」を使えば、この問題を解決できるという。どういうことか。

【写真】インタビューに答えるブリティッシュコロンビア大の野田俊也助教授

(出典：朝日新聞Digital)

マッチングメカニズムによる解決

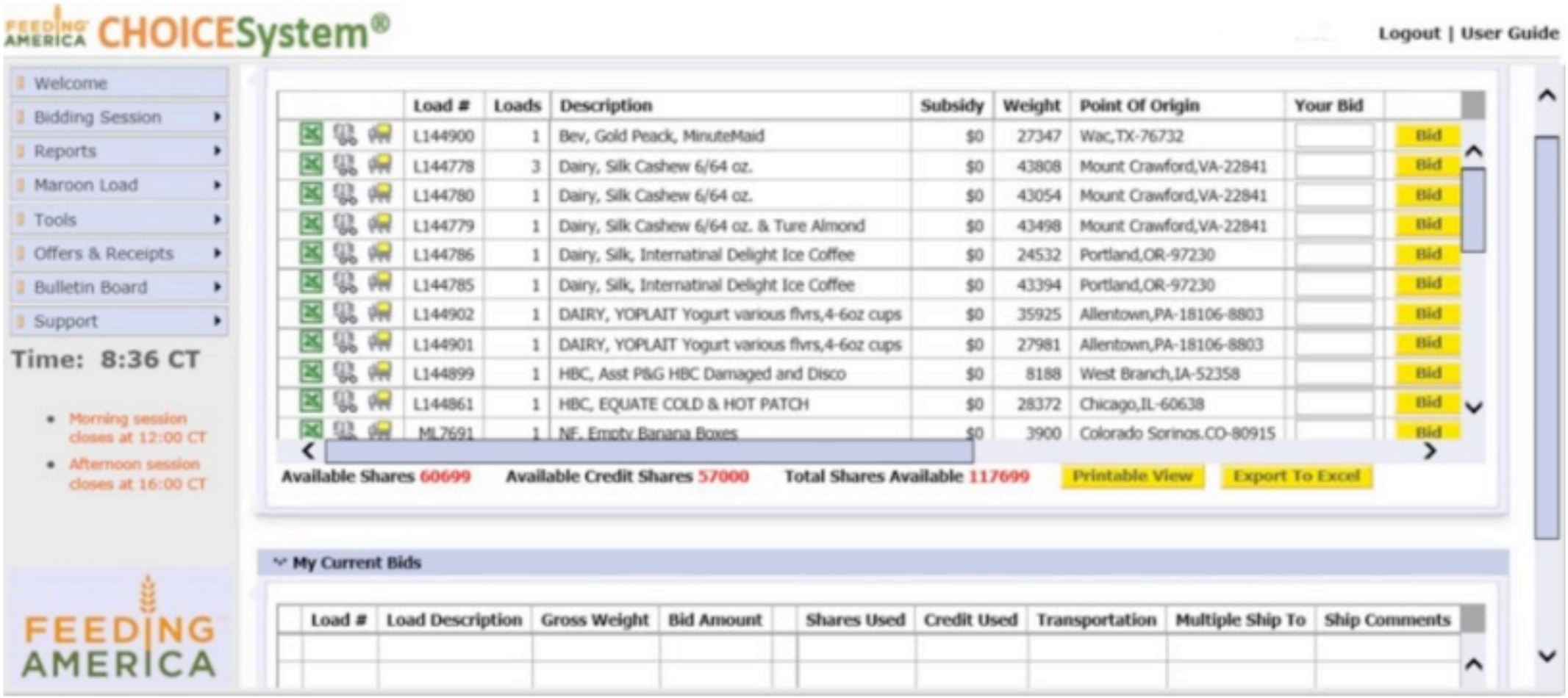
- マッチングメカニズム*で管理→早い者勝ちにしない
  - 住民は日時、場所の希望順位をwebで提出
  - 抽選性/年齢優先順など
- Webへの誘導→コールセンターの混雑緩和
- 個別接種も含め予約の一元管理
  - 電話件数削減
  - マッチ数増加（最悪ケースでの保証）
- ワクチン融通の制度設計

*Kojima and Manea (2010 JET), Che and Kojima (2010 ECMA), Budish, Che, Kojima, and Milgrom (2013 AER)

Progress Report

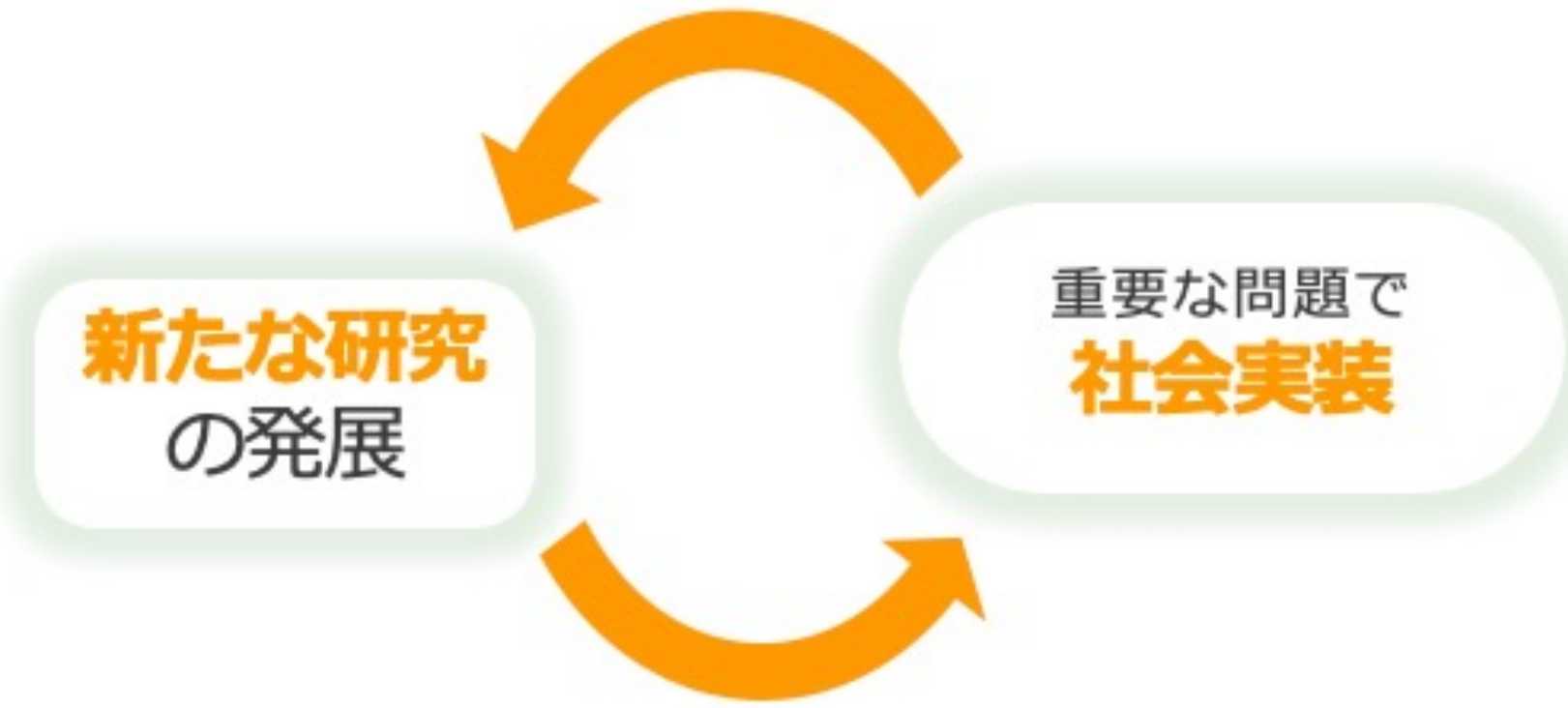
- 政策レポート
- 政策提言
- 自治体（千代田区など）へのアドバイザリ

社会実装プロジェクト⑤：食品ロスとフードバンク



（出典：Feeding America）

研究と社会実装の関係について



- 研究と社会実装を車の両輪のように回す
- 一般社会から研究への理解、サポートが重要

最後に：公的領域とマーケットデザイン

- 公的領域とマーケットデザインは親和性が高い
  - 保育園、ワクチン配布、学校選択、組織内人事 etc.

- 公的領域（自由放任ができない）こそマーケット「デザイン」が有効
  - 無料／安価なサービスを提供
  - 公平性の担保
  - 新しい資本主義？

- 興味があればUTMDまでご連絡ください。

ご清聴ありがとうございました！