

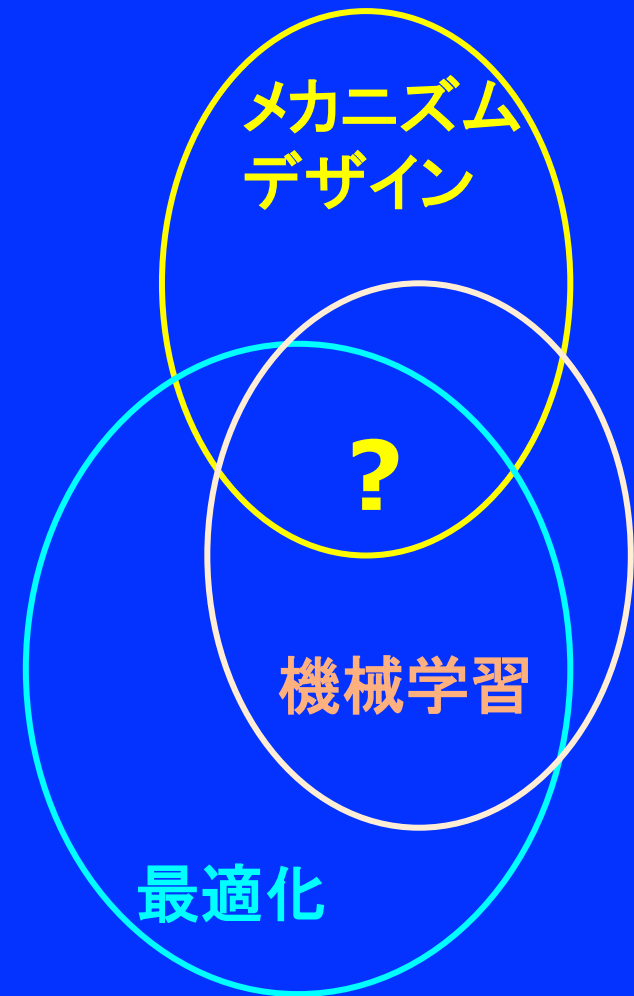
メカニズムデザインと最適化

九州大学大学院
システム情報科学研究所
情報学部門
横尾真

メカニズムデザイン／機械学習

最適化

- メカニズムデザイン（制度設計）：
ある種の望ましい結果を与える
社会的決定のルールを設計する
ことが目的
 - － 最適化技術と関連
 - － 与えられた関数の値を最大化
する変数値を見つけるという
より、様々な制約を満足する
関数を見つけることが目的
- 機械学習 ≡ 最適化？

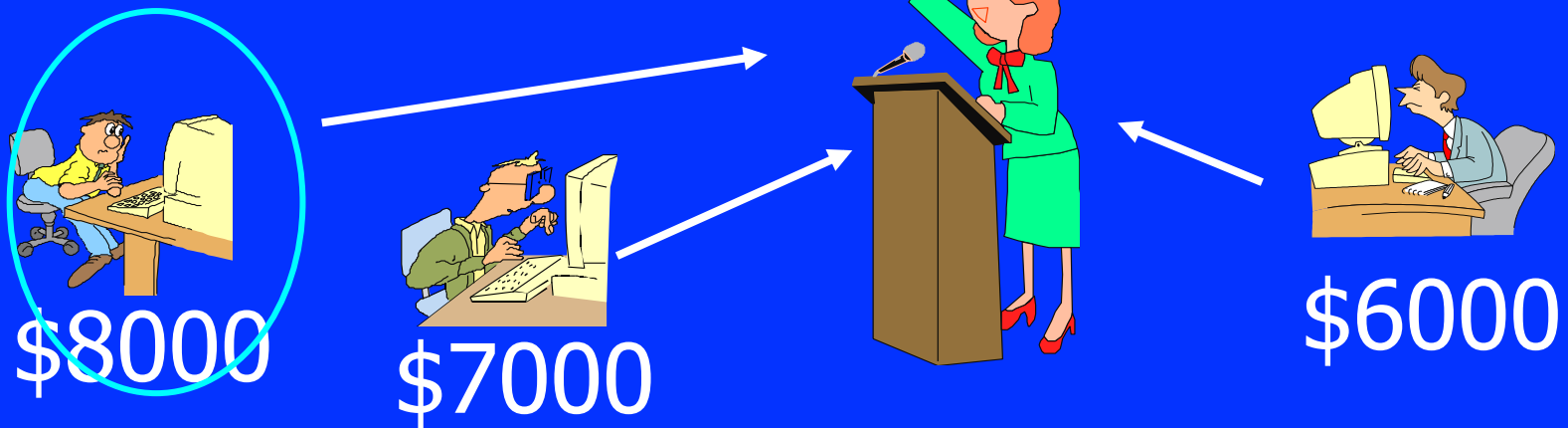


アウトライン

- 背景
 - － Vickrey 入札／検索連動広告
 - － 組合せ入札／VCGメカニズム
- 自動メカニズムデザイン
 - － 概要
 - － 適用事例
 - － 課題

通常の入札

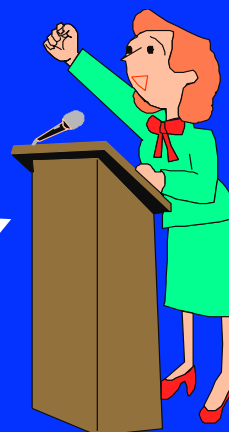
- 最も高い入札をした入札者が，自分の入札値で落札
- 他者の入札値を事前に察知できれば利益になる



Vickrey入札

- 最高値の入札者が落札
- 支払う金額は二番目に高い入札値

二番目に高い入札値
(\$7000) を支払う



Vickrey入札の性質

- 自分の支払う意思のあるぎりぎりの金額を入札するのが最適 (正直が最良の策).
- 正確には,
 - 自分 (エージェント i) の行動／戦略: $s_i \in S_i$
 - 他者の行動／戦略の組合せ: $s_{-i} \in S_{-i}$
 - 自分の支払う意思のあるぎりぎりの金額: v_i
 - 自分の利益: $u_i(s_i, s_{-i})$
 s_i が s_{-i} の最大の要素 p より大きければ $v_i - p$,
そうでなければ0
 - v_i を入札することを s_i^* とすると,
 $\forall s_i, \forall s_{-i}, u_i(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s_i, s_{-i})$ が成立
 - このような戦略を支配戦略と呼ぶ

Vickrey入札の性質(続き)

- 全員が自発的に正直に行動する結果, 社会的に望ましい結果が得られる＝社会的余剰(参加者の効用の総和)が最大化される
- 主催者の収入も, 他の方法(第一価格)と比較して同程度であることが証明されている(収入同値定理)
- しかし, 現実に使われた例は少ない(最近までは!)
- 問題点: 分かり難い, 自分の評価値が分からない, 売手が信用できない, 評価値＝原価を知られたくない

検索連動広告

ハワイ - Google 検索 - Mozilla Firefox

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 移動(G) ブックマーク(B) ツール(T) ヘルプ(H)

ログイン

Google ウェブ イメージ ニュース マップ グループ more >>

ハワイ Google 検索 検索オプション 表示設定

ウェブ全体から検索 日本語のページを検索

ウェブ ハワイの検索結果 約 15,300,000 件中 1 - 10 件目 (0.09 秒)

夏の旅行はJALでハワイへ スポンサー

www.jal.co.jp JALホームページ限定発売“Web悟空”がとってもおトク!

ハワイの歩き方

「地球の歩き方」のハワイ専門サイト。毎日ハワイから最新情報をお届けしてます。おトクなホテルのオンライン予約、割引クーポン、ショッピングセンター、グルメや ファミリー情報など、その他にも盛りだくさん。

www.hawaii-arukikata.com/ - 65k -

[キャッシュ](#) - [関連ページ](#)

ハワイ州観光局 (Hawaii Tourism Japan: HTJ)

ハワイ州観光局の活動、国内の協賛・後援イベントや、広告展開、メディアとのタイアップ 情報 ... [ハワイ・コンベンション・センターの紹介と、ビジネス旅行に便利な情報。ハワイ旅行について、よくあるご質問と、HTJからの回答です。...](#)

ハワイで出会い、国際結婚 スポンサー

エグゼクティブとの素敵な出会い
御結婚までトータルサポート

www.emclub.net

H.I.S.の格安ハワイ旅行

人気のハワイ ホノルル5日間
52,800円から 他、お得な旅行満載

www.his-j.com

ハワイ現地ツアー予約専門

アランはツアー数豊富 300以上!
良心価格で安心。参加体験談も充実

www.alan1.net/jp/hawaii/

ハワイの情報がいっぱい

ハワイ最新情報、わかりやすい動画で“BIGLOBEトラベル”が、ご紹介します!

travel.biglobe.ne.jp

検索連動広告

- 広告主はキーワードに対して入札額を設定
- キーワードが検索されると、入札額の高い順に広告がユーザに提示される
- ターゲットを絞った広告が可能
- ユーザが広告のリンクをクリックした場合にのみ、広告主はサーチエンジンに広告料を支払う (pay-per-click)
- 広告料をどう設定するか？

広告料の設定方法

- 初期のシステムでは、広告主は入札に等しい額を支払っていた (第一価格)
 - 入札額の設定方法が難しい
 - ダミーの検索を行い入札額を変化させる等の行為が蔓延
- k 番目のスロットを得た広告主は、 $k+1$ 番目の入札額に等しい額を払う方式 (第二価格の一般化) に変更
 - 入札額が安定

Lessons Learned:

- Vickrey入札は、理論的に優れた性質を持つにも関わらず、従来は広く用いられることはなかった
- 今では世界中で最も頻繁に実行されている入札方式
- 人間が用いるオフラインの取引では問題が表面化しなかったメカニズムでもインターネット上に構築されたエージェントを含む系では破綻する可能性がある

アウトライン

- 背景
 - － Vickrey 入札／検索連動広告
 - － 組合せ入札／VCGメカニズム
- 自動メカニズムデザイン
 - － 概要
 - － 適用事例
 - － 課題

組合せ入札

- 複数種類の商品（財）が同時に販売される
- 各商品は複数個存在する場合もある
- 財の価値の間に依存関係が存在
 - －補完的: パソコンとメモリ
 - －代替的: VAIOとLet's note

組合せ入札の利点

- 財の価値に依存関係がある場合：
 - － 個々の財の価値は単独では決められない
 - パソコンがなければメモリは無価値
 - VAIOが買えればLet's noteは要らない
 - － 財がバラバラに売られていると、入札額を決めるのが困難
- 財の任意の組合せに対する入札を許すことにより、安心して入札ができる
 - － 両方欲しい、どちらか片方だけ欲しいという入札が可能

組合せ入札の適用事例

- FCCの周波数帯域のオークション
- 空港での離発着権の割当て
- トラック配送の請負
- 調達
- ...

King of Mechanisms?

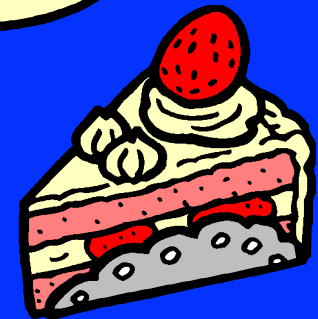
Vickrey-Clarke-Groves (VCG) メカニズム

- 組合せ入札に限らず、様々な場面で利用可能
- 各参加者は商品のセットに関して評価値を申告
- 申告された評価値に基づいて、パレート効率性（社会的余剰の最大化）が実現されるように財が割り当てられる
- 勝者は、勝者に留まれる範囲で最小の金額を支払う(critical value)
- 誘因両立性／社会的余剰の最大化

VCGの例

三人の入札者, 二種類の財のオークション

	coffee	cake	both
Bidder1	\$6	\$0	\$6
Bidder2	\$0	\$0	\$8
Bidder3	\$0	\$5	\$5



結果:

- 入札者1 がコーヒーを, 3 がケーキを落札.
- 入札者1の支払額は $\$8 - \$5 = \$3$
- 入札者3の支払額は $\$8 - \$6 = \$2$

VCGの誘因両立性

- 財の割当ては社会的余剰が最大化されるように行われる。
- 全体の幸せと個人の幸せが一致すれば良い (incentive compatibility)

1がいないときの社会的余剰 (\$8)



VCGの問題点

- VCGは入札だけではなく一般の制度設計に利用可能で、理論的に優れた性質を持つ
 - 誘因両立性／社会的余剰の最大化
- しかしながら、いくつかの問題点も存在
 - 計算が大変 (勝者を決める, 各勝者の支払額を決める度にNP-hardな最適化問題を解く必要がある), 結果がコアにならない, 敗者の談合に対して脆弱, 架空名義入札に対して脆弱
 - 一般の制度設計に用いる場合は, budget balance/non-negative (補助金が不要) が保証されない

問題に合わせて、新しいメカニズムを設計することが必要

余談：クラーク税

- GVAはクラークメカニズム, もしくはVickrey-Clarke-Grovesメカニズム, Clarke税と呼ばれる方法の一つのインスタンス
- より一般的な, グループ意思決定の場面で用いることができる
 - 例: このセミナーの補習 (全員参加!) を, 今日の夜に実施するかどうか決める
 - 補習をしない場合を0として, 人によって効用は様々 (\$20, -\$10, ...)
 - 効用の和が正なら補習を実施し, 負ならしない
 - 正直に効用を申告させるにはどうしたら良いか?

解答

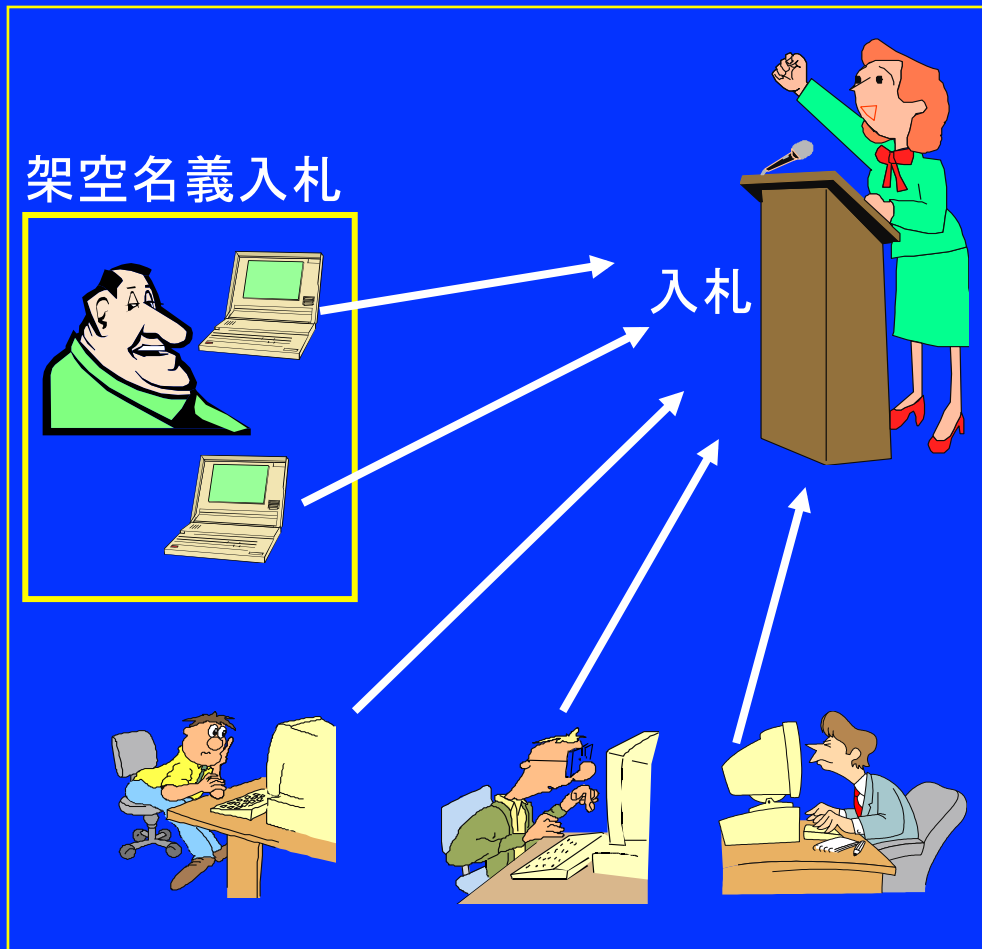
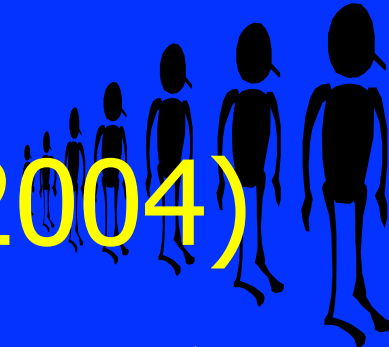
- 各参加者は、自分の申告により結果が変わる場合、結果を変えるのに必要な最少額を税金として支払う
 - 参加者1: \$20, 参加者2: -\$10, 参加者3: -\$20, 参加者4: \$30
 - 補習は実施, 支払額は以下:
 - 参加者1: \$0, 参加者2: \$0, 参加者3: \$0, 参加者4: \$10

クラーク税の注意点

- 集めた税は、参加者以外の誰かに渡す必要がある --- 参加者内で単純に再分配してはいけない
- 例：集めた税で打ち上げの飲み会をする
 - － 他人に多く税金を払わせれば、結果／自分の税額が変わらなくても利益になる
- オークションの場合は主催者が引き取るので問題ない

架空名義入札

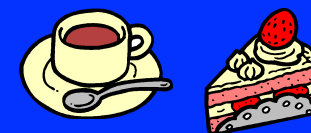
(Yokoo, et al. GEB-2004)



- 一人の人が、複数の人になりすまして、複数の名義で入札をすること
- ネットワーク環境では検出することは事実上不可能

架空名義入札の効果がある例

入札者は二人



	coffee	cake	both
Bidder1	\$6	\$5	\$11
Bidder2	\$0	\$0	\$8

	coffee	cake	both
Bidder1	\$6	\$0	\$6
Bidder2	\$0	\$0	\$8
Bidder3	\$0	\$5	\$5

正直に申告した場合:

- 入札者1が両方の財を得る.
- 支払額: $\$8 - \$0 = \$8$

入札者1が入札者3 という名義
を使って入札を分割した場合:

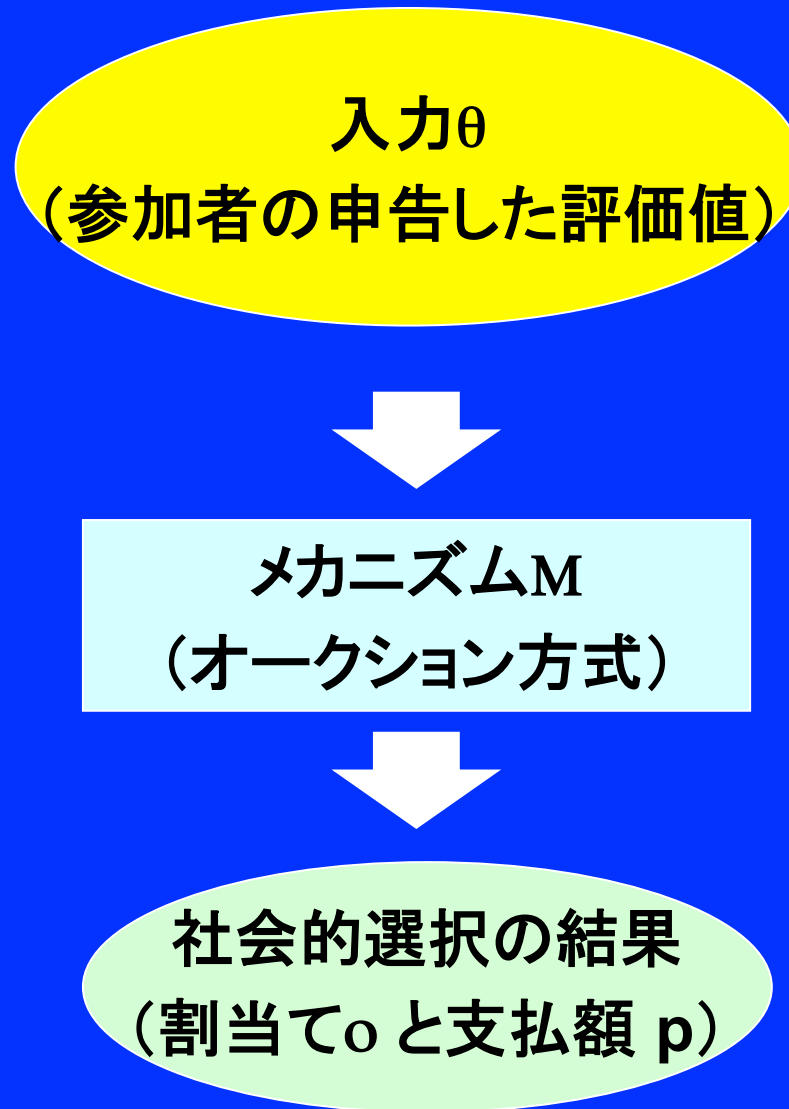
- 入札者1 が両方の財を得る.
- 支払額: $\$3 + \$2 = \$5$

アウトライン

- 背景
 - － Vickrey 入札／検索連動広告
 - － 組合せ入札／VCGメカニズム
- 自動メカニズムデザイン
 - － 概要
 - － 適用事例
 - － 課題

メカニズムデザイン

- メカニズムMとは, 参加者全員の表明したタイプ(のベクトル) θ と結果(割当て o と支払額 p)との関係を示す関数
- 誘因両立性等の制約を課す
- 参加者や主催者にとって望ましい性質(e.g., 社会的余剰の最大化)を満たすメカニズムを決定
 - 要は, 制約を満たす関数を見つけることが目的
- 従来は一般的な状況における入力に対して手作業で設計



自動メカニズムデザイン (Conitzer & Sandholm, UAI-2002)

- メカニズムの設計問題を最適化問題(混合整数計画問題)として表現
 - すべての入力とすべての社会的選択の結果の組合せを表す(多数の)変数を定義
 - 与えられた制約(誘因両立性等)を満たす範囲で, 目的関数(社会的余剰等)を最大化するよう, これらの変数の値を最適化
- 混合整数計画問題を解く市販のパッケージが存在 (ILOG/IBM社のCPLEX)

例：2人1財オークションへの 適用

- 入札者1と2が1つの財をオークションで競り合う
- 財への評価値：\$100 or \$50
- 各入札者に対する財の割当て：win or lose
- 可能な入札／タイプ：
 $(\theta_1, \theta_2) =$
 $(100, 100), (100, 50), (50, 100) \text{ or } (50, 50)$
- 可能な割当て方法：
- $(o_1, o_2) = (\text{win}, \text{lose}), (\text{lose}, \text{win}) \text{ or } (\text{lose}, \text{lose})$
- 支払額（正の実数の組）
- メカニズムは入札に対応する割当てと支払額を決定
 - $(\theta_1, \theta_2) \rightarrow (o_1, o_2), (p_1, p_2)$

混合整数計画法における変数

財の割当に関する変数:

例: $\text{prob_}(100, 50)_(\text{win}, \text{lose})$: (100, 50) なる入札に対して割当てが (win, lose) となる確率

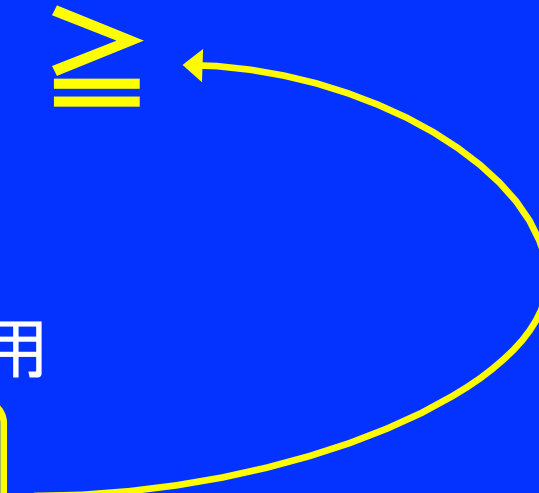
- 決定的なメカニズムなら0/1, 確率的なら0から1の間の実数値
- 要は, すべての可能な入力と出力の組合せを列挙して, (決定的なら)0/1の値を割り当てる

支払額に関する変数:

例: $\text{p1_}(100, 50)$: 入札 (100, 50) に対する入札者1の支払額

- 非負の実数の範囲で決定

混合整数計画法における制約式 (誘因両立性)

- 入札において嘘をついても効用が増加しない
 - 評価値\$100の入札者1の (100, 50)での期待効用
 - $$\begin{aligned} & - 100 * \text{prob_}(100, 50)_(\text{win}, \text{lose}) \\ & + 0 * \text{prob_}(100, 50)_(\text{lose}, \text{win}) \\ & + 0 * \text{prob_}(100, 50)_(\text{lose}, \text{lose}) \\ & - p1_ (100, 50) \end{aligned}$$
 - 嘘をついて\$50を入札したときの期待効用
 - $$\begin{aligned} & - 100 * \text{prob_}(50, 50)_(\text{win}, \text{lose}) \\ & + 0 * \text{prob_}(50, 50)_(\text{lose}, \text{win}) \\ & + 0 * \text{prob_}(50, 50)_(\text{lose}, \text{lose}) \\ & - p1_ (50, 50) \end{aligned}$$
- $\geq$
- 

自動メカニズムデザインの結果

- 目的関数(社会的余剰／収入最大化等)を線形の式で表現
- 制約条件を満たすよう、目的関数を最適化する変数の値を決定

	社会的余剰最大化	主催者収入最大化
(100, 100)	(win, lose), (100, 0)	(win, lose), (100, 0)
(100, 50)	(win, lose), (50, 0)	(win, lose), (100, 0)
(50, 50)	(win, lose), (50, 0)	(lose, lose), (0, 0)

Vickrey入札と同じ

留保価格を用いた場合と同じ

自動メカニズムデザインの利点

- 制約はどう選んでも良い：誘因両立性, より弱い条件, ...
 - 目的関数もどう選んでも良い：社会的余剰, 売手の収入, ...
 - メカニズムの種類も選択可能：決定的／確率的
 - 与えられたタイプの範囲に特化して最適化された, カスタムメイドのメカニズムが設計可能
- 制度はコンピュータで自動的に創れる？ 人手は不要？

自動メカニズムデザインの問題点

- 組合せ最適化なので、タイプは離散化する必要がある (e.g., 0から100の実数値→0から100の整数値)
- 混合整数計画法の問題のサイズがすぐに爆発
- 参加者数が n , 可能なタイプの数を t とすると, タイプベクトルの総数は t^n
- 組合せ入札で, 財の数を m とすると, 可能な割り当て方法は $(n+1)^m$
- 割り当てに関する変数の数は $t^n \cdot (n+1)^m$
- 4人, 3財, 9タイプで82万以上
- CPLEXが速いといっても, この規模だとちょっと無理

現実的なサイズの問題で, カスタマイズされた良いメカニズムを求めるのは不可能 → 自動メカニズムデザインは役に立たない?

自動メカニズムデザインの (現実的な)使い方

- 一般的なメカニズム／ルール設計のヒントとしてなら使える
- 入力に関して、離散化された代表的な値を選択 (high, middle, low等)
- 少ない参加者数で自動メカニズムデザインを実行
- 結果の表から、特徴的な部分を選び出す (例えば、既存のメカニズムと異なる出力をしている部分)
- 人間がひたすら眺めて割当て／支払額の決定ルールを抽出
- 抽出したルールを検証
- うまくルールが抽出できなければ、入力値を変更して再実行

適用事例：架空名義入札に頑健なメカニズムの設計

Known Results:

- 架空名義入札が可能な場合，支配戦略において誘因両立的（一つの名義で真のタイプを申告することが支配戦略）で，均衡においてパレート効率的な割当てを実現するメカニズムは存在しない (Yokoo, et al. GEB-2004)
- かつ，財の数が2の場合，誘因両立的なメカニズムが達成する社会的余剰のcompetitive ratio（最も運が悪い場合のパレート効率的な割当てとの比）は $2/3$ 以下

Question: competitive ratioが $2/3$ のメカニズムはある？

自動メカニズムデザインの適用結果

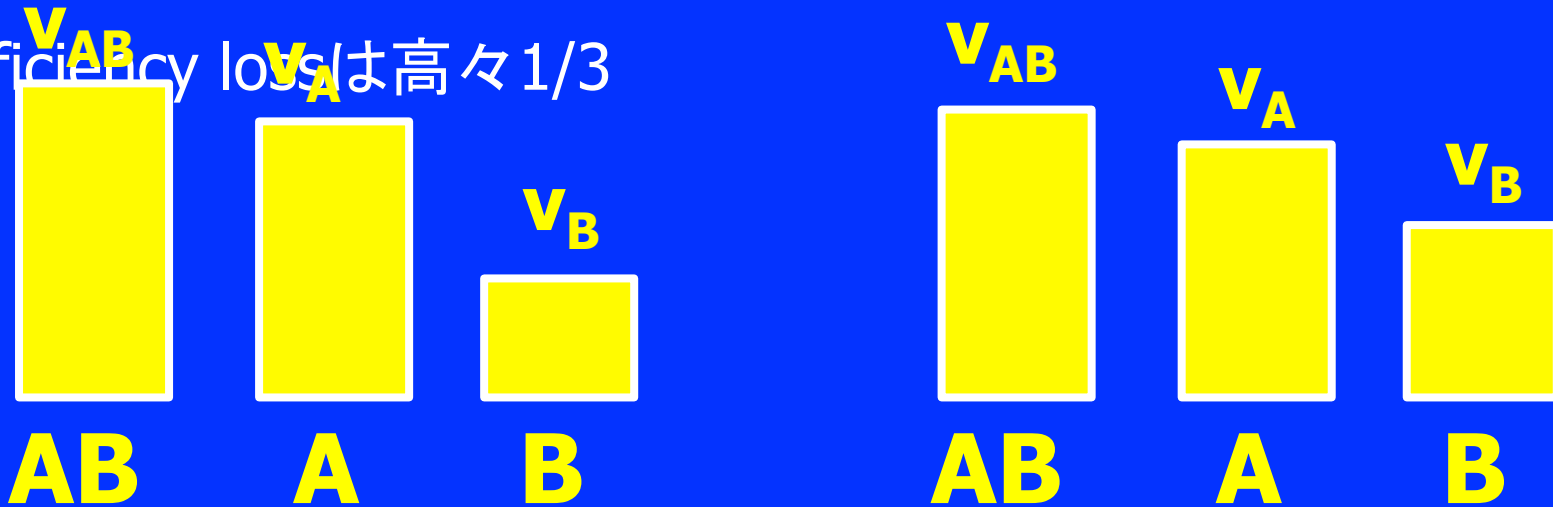
- A,Bの2財
- タイプ／評価値：
 - ABセットに120, 80, 0,
 - A,B単独に119, 79, 59, 0
- ABセットへの入札の勝敗に着目(右の表)
- 赤字の部分でefficientでない割当
- セットへの入札が勝つのは, 単独の二番目の入札額の二倍以上の時?

AB win?	AB	A	B
Yes	120	119	59
No	80	119	59
Yes	120	79	59
No	80	79	59
Yes	120	59	59
No	80	59	59
Yes	120	79	0
Yes	80	79	0
Yes	120	59	0
Yes	80	59	0

Adaptive Reserve Price (ARP) mechanism (Iwasaki, et al. AAMAS-2010)

- 入札者はsingle-mindedであることを仮定
- Aのみ, Bのみ, ABセットの入札の最大値を v_A , v_B , v_{AB} とする
 - $v_{AB} \geq v_A \geq v_B$ を仮定
- $v_{AB} \geq 2 \times v_B$: v_{AB} が勝つ, 支払額は $2 \times v_B$ 以上
- $v_{AB} < 2 \times v_B$: v_A と v_B が勝つ, 支払額は $v_{AB} / 2$ 以上

Efficiency lossは高々1/3



ルール抽出の方法

- ルール抽出のために既存の機械学習のテクニックが利用可能？
 - 教師データとして自動メカニズムデザインの結果を利用？
- 現状では既存の方法は微妙にうまく使えていない
 - 抽出したルールは完全に教師データを説明出来る必要はなく、非常にシンプルなもの望まれる
 - 抽出されたルールの正しさ(誘因両立性等)は別途人手によって検証する必要
 - 単純なルールを多数生成する、自家製の方法を適用中 (FIT2011 船井best paper award)
- 機械学習／データマイニング等の、どの技術が関連？
- 問題の抽象化／組合せ最適化／ルール抽出＋検証の役割分担？

経済学／ゲーム理論と 計算機科学のcollaboration

- 境界領域での応用分野／研究テーマが広がっている
→ 今がチャンス？
- 科研費基盤研究Sのプロジェクトが進行中
 - 課題名：持続可能な発展のための資源配分メカニズム設計理論の確立，H24年度～28年度（5年間）
 - プロジェクトの特徴：計算機科学とミクロ経済学の文理融合型の研究，ミクロ経済学分野の日本を代表する研究者が参加
 - ミクロ経済学分野より，神取（東大，繰り返しゲームの世界的権威），船木（早稲田，実験経済学，協力ゲームの第一人者），計算機科学分野より田村（慶應，離散凸解析の第一人者）



参考文献

- Vincent Conitzer & Tuomas Sandholm.
Complexity of Mechanism Design, In *Proceedings of the 18th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-02)*, pp. 103-110, 2002.
- Atsushi Iwasaki, Vincent Conitzer, Yoshifusa Omori, Yuko Sakurai, Taiki Todo, Mingyu Guo, & Makoto Yokoo,
Worst-case efficiency ratio in false-name-proof combinatorial auction mechanisms, *Ninth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent System (AAMAS-2010)*, 2010. _
- Makoto Yokoo, Yuko Sakurai, & Shigeo Matsubara,
The Effect of False-name Bids in Combinatorial Auctions: New Fraud in Internet Auctions,, *Games and Economic Behavior*, Volume 46, Issue 1, Pages 174-188, 2004.