

食品流通分野における課題解決プロジェクト スマートフードチェーン

スマートアグリマーケットによる農産物流通改革

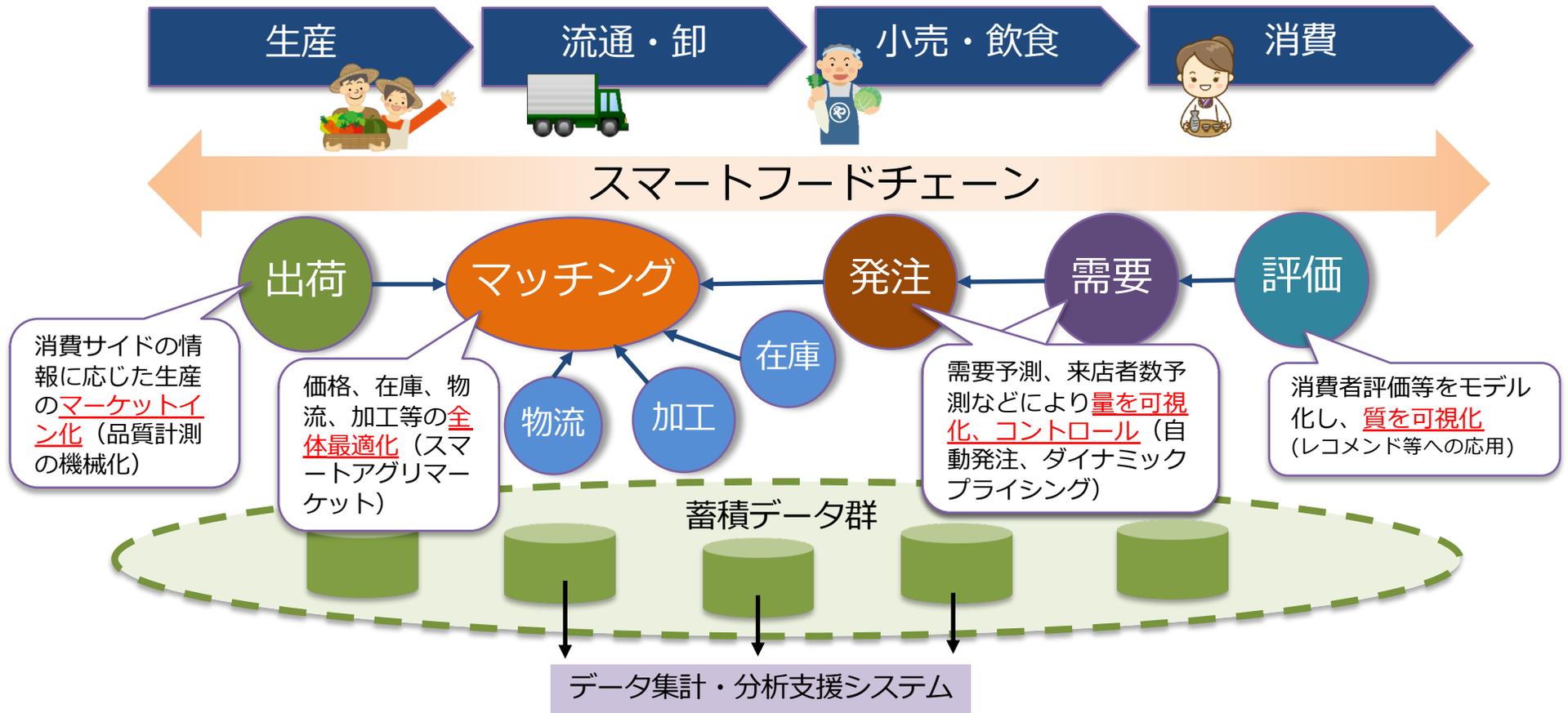
 **産総研** 産業技術総合研究所

人間情報インタラクション研究部門

宮下和雄

スマートフードチェーンプロジェクト

農作物の生産から消費の間に蓄積されたデータに基づいて、需要予測、品質予測、自動受発注などのAI技術を開発し、農作物の生産から消費における効率的なスマートフードチェーンを構築する。



<ユースケース (検討中)>

- ・PB新商品開発
- ・作付け計画支援
- ・販促戦略策定支援
- ・物流シェアリングなど

生鮮食品流通における問題意識

攻めの農林水産業

TPP



- ・農林水産業の成長産業化により地域経済を活性化する。
- ・農業、農村全体の所得を今後10年で倍増させる。

震災復興

研究・開発

地方創生

6次産業化、スマート農業（精密農業）、植物工場等々

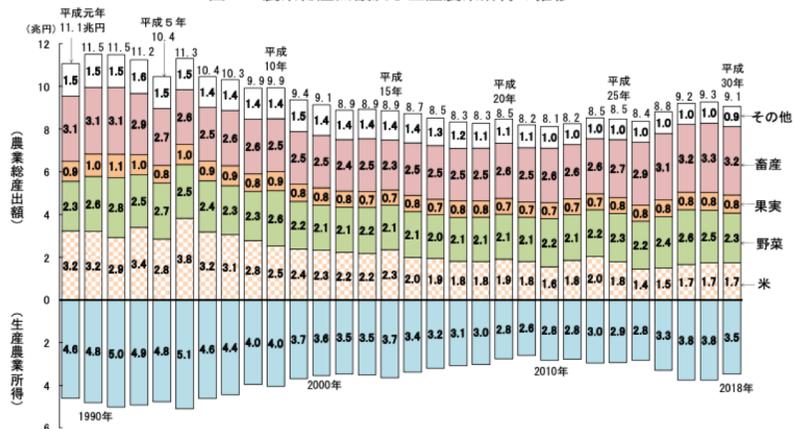


多額の設備投資

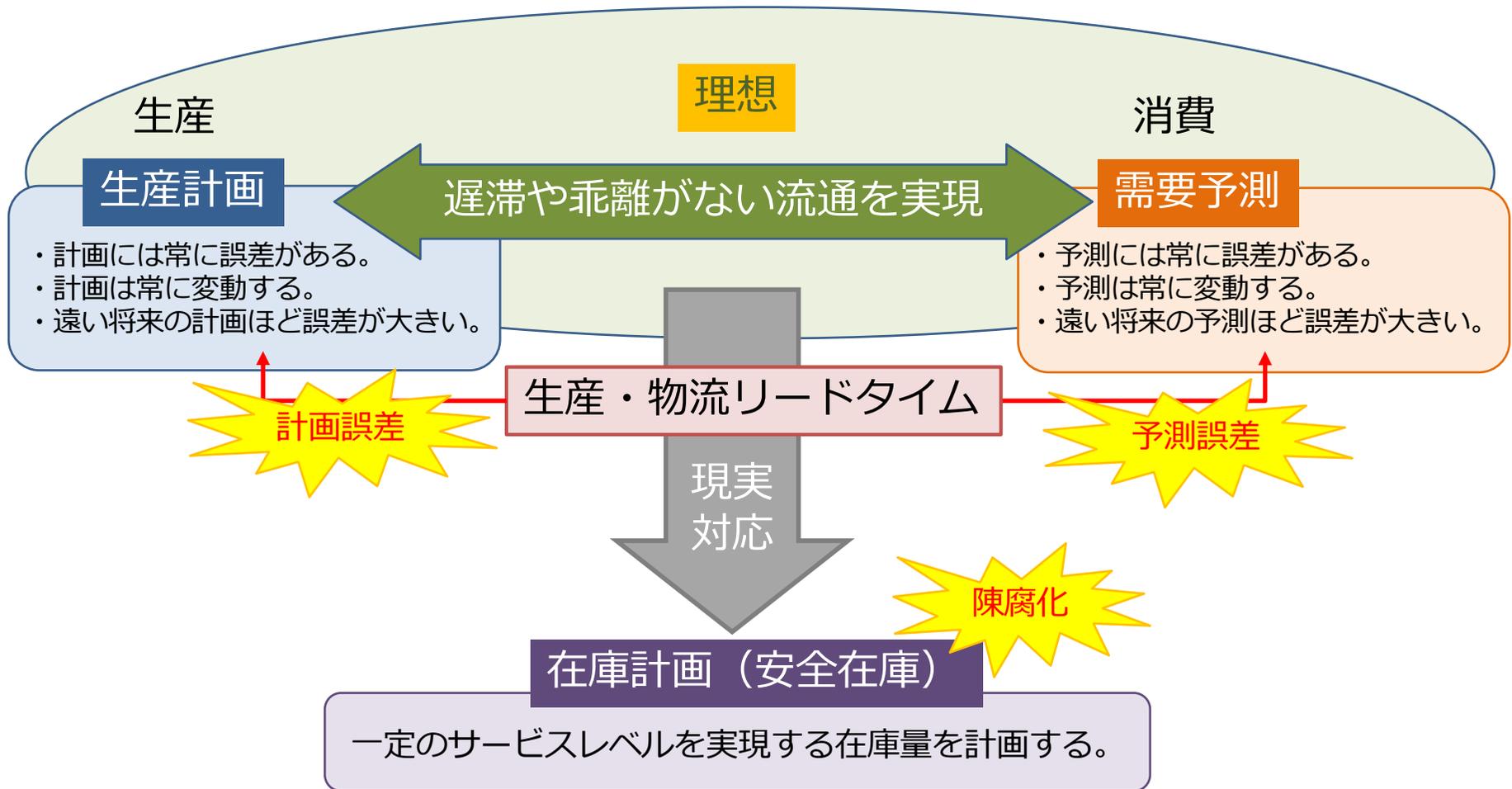
生産者による投資回収・維持運用は可能なのか？

そもそも生鮮食品の流通は消費者が満足し、生産者が儲かるシステムになっているのか？

図1 農業総産出額及び生産農業所得の推移



サプライチェーンマネジメント概論



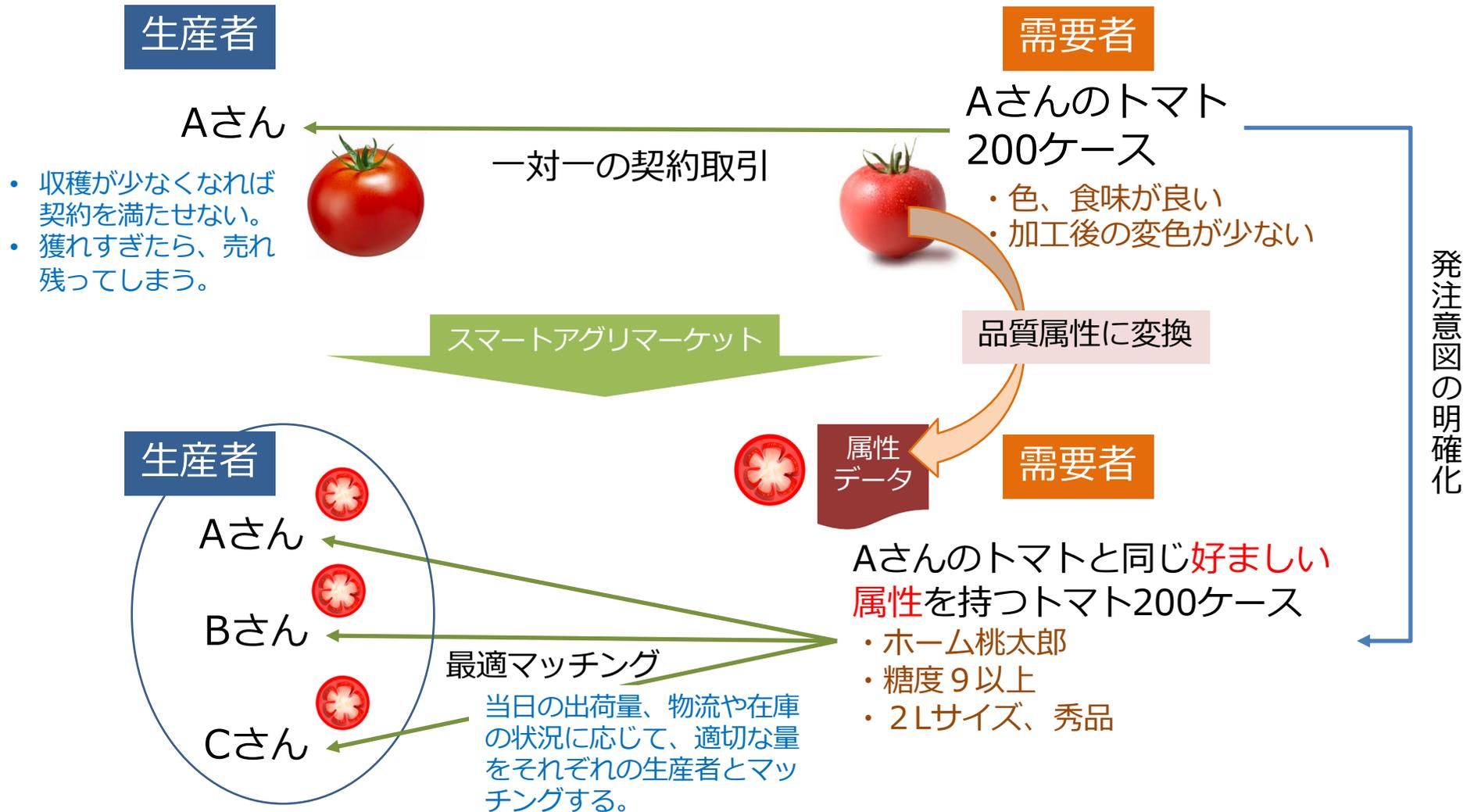
各産業のサプライチェーンにおける課題解決

	リードタイム	陳腐化・腐敗 (非保存性)	生産柔軟性	解決法
製造業	長い	小さい ○	低い	安全在庫
電力	短い ○	著しい	低い	冗長な施設計画
サービス業	短い ○	著しい	高い ○	需要予測に基づく シフト計画
農業	非常に長い	大きい	低い	契約栽培（予約相 対取引）??



生産計画、需要予測が正しいことが前提なので、農業の長いリードタイム、生産の不確定性に対応できていない。

農作物サプライチェーンの円滑化



需要者のニーズを商品品質の属性に変換し、同等の商品を作れる複数の生産者とダイナミックに取引を行うことで、生産計画や需要予測の誤差の影響を希釈化できる。

農業における各種流通方式の比較

販売方法	特徴	参入容易性	取引規模	価格差別化
契約栽培	大規模農家が、食品事業者との事前契約に基づき、生産する。契約量を満たすため、契約より多めに作付けせざるを得ない。	× (非常に困難) 大規模農家に限定され、栽培方法等も制限される。	◎ (非常に大きい) 通常、長期に亘る大規模な取引になる。	× (困難) 取引事業者との厳しい価格交渉が必要。
市場取引 (系統共販)	個々の農家の収穫を農協が取りまとめ、全国の市場に出荷する。現状、農家にとって主流の販売方式。	◎ (非常に容易) 農協に出荷するだけで良い。	△ (普通) 農家の出荷可能な量に応じた取引が可能。	× (困難) 出荷した全農家に対して平等に価格付けされる。
消費者直販 (ネット販売)	農家もしくは農協が直販サイトを立ち上げ、販売を行う。安価な青果の場合、送料負担が課題となる。	△ (やや困難) 集客力のあるサイト構築を行うのが困難。	× (小さい) 小規模なサイトの集客力は限定的。	○ (容易) 生産者が自由に価格設定できる。
直売所販売	個々の農家が、近隣もしくは都市近郊の直売所と契約し出荷する。比較的柔軟な条件での契約も可能。	○ (容易) 直売所と契約し出荷するだけで良い。欠品などに対してもペナルティは小さい。	× (小さい) 大都市近郊以外では、販売量は限定的。	△ (普通) 生産者が直売所との交渉で価格設定できる。
スマートアグリ マーケット	需要者からの注文を分割し、複数の生産者と動的にマッチングさせることにより、個別農家でも安定した予約取引が可能。	◎ (非常に容易) ネットを介して取引に参加するだけで良い。	○ (大きい) 全国の食品事業者との直接取引が可能。	◎ (非常に容易) 生産者が市場の取引動向を確認し、柔軟に価格設定できる。

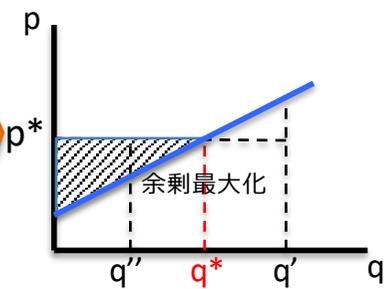
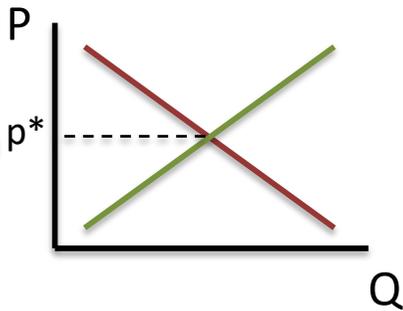


参加者を拡大するには衡平な取引実現のためのマーケットデザインが必要

ミクロ経済学

価格理論

完全競争状態が前提
 ⇒ 個々の生産者や消費者は市場価格を動かさない。
 (プライステイカー)
 ⇒ 効用は自分以外の相手の行動とは独立に決まる。



ゲーム理論

戦略的状況が前提
 ⇒ 効用は自分と相手の行動に依存する。
 ⇒ ゲームの規則が与えられた際に、相手の戦略的な行動とその帰結を予測する。

メカニズムデザイン (制度設計)

望ましい帰結を実現する最適なゲームの規則を見つける。

マーケットデザイン

資源の効率的な配分を実現する経済制度を見いだす。

マッチング

金銭の授受を伴わない。

オークション

金銭の授受を伴う。

計算機科学



理論的基盤

エージェント間
交渉プロトコル

解析手法

計算論的
ゲーム理論

実現手法

組み合わせ最適化

モデル化

分散制約充足・
最適化

評価手法

マルチエージェント
シミュレーション

マーケットデザインの事例（オークション）

第一価格封印オークション

第二価格封印オークション

最も高い価格を入札した参加者が落札する。

落札した入札額を支払う。

2番目に高い入札額を支払う。

支払額 = 落札額

支払額 ≠ 落札額



William S. Vickrey
1996年ノーベル経済学賞

2種類のオークションで参加者はどのような入札行動を取るか？

オークション開設者の歳入はどうなるのか？



望ましい市場の性質



個人合理性

市場参加者が合理的であれば、取引により損失を被ることはない。



予算均衡

市場の運営に外部からの助成金を必要としない。（赤字にはならない）



効率性（社会的余剰最大化）

商品はその価値を最も高く評価する参加者に割り付けられる。



流動性（マッチング最大化）

市場での取引成約が最大化するように割り付けられる。



誘因両立性

取引参加者は入札を戦略的に操作する誘因を持たない。

（正直が最良の策 ⇔ 情報の非対称性）

実験に基づくメカニズムデザイン

不可能性定理
(Myerson & Satterthwaite, 1983)

No **Bayes-Nash incentive-compatible** bargaining mechanism is always simultaneously **efficient**, **weakly budget-balanced**, and **ex interim individually rational**, even if agents are restricted to quasilinear utility function.



多目的最適化問題

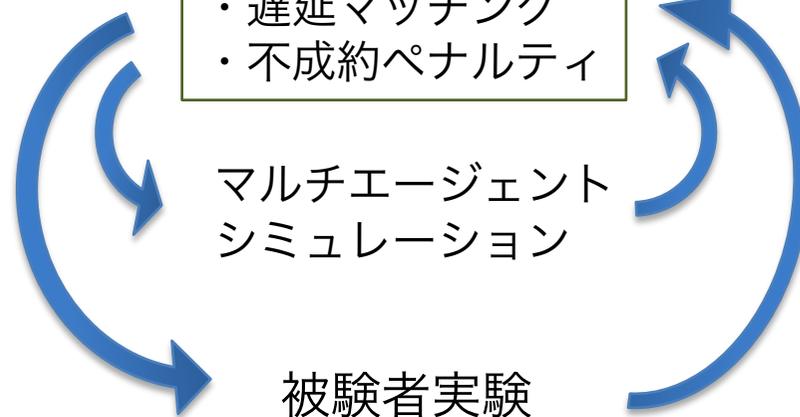
市場の効率性をなるべく下げずに、流動性が十分に高く、戦略的操作ができるだけ困難な制度を設計する。



メカニズムデザイン
・ 予約+現物取引
・ 遅延マッチング
・ 不成約ペナルティ

マルチエージェント
シミュレーション

被験者実験



生鮮市場の特徴と課題

- 生鮮食品は生産量や品質が不確定なため、市場に上場する前に予め商品を生産しておく必要がある（現物取引）。

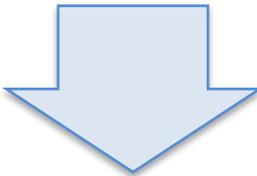
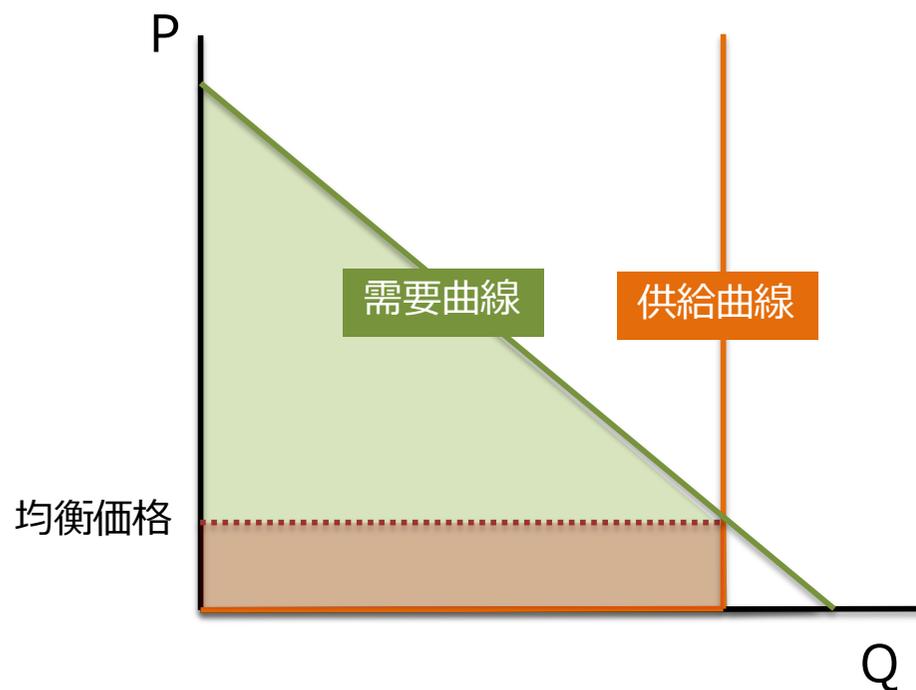


生産費用が固定されるため、限界費用は0になる。

- 上場された商品は売れ残れば腐ってしまう（残存価値が0になる）。



生産費用は回収不可能（サunkコスト）。



課題

- 生産者は価格決定プロセスに参加できない。
- 取引価格が低かった場合、生産者は大きな損失を被る。



産総研 生鮮取引のためのマーケットメカニズム

取引者の選好 $\theta_i^p = (v_i^p, q_i^p, a_i^p, d_i^p), i \in B \cup S$

取引者の入札 $\hat{\theta}_i^t = (\hat{v}_i^t, q_i^t, a_i^p, d_i^p), a_i^p \leq t \leq d_i^p$

取引者の入札は優先度順にソーティングされ
マッチング遅延の対象とならない優先度最大の入札同士がマッチングされる

入札の優先度

充足困難性

$$u_i^p(\hat{\theta}^{\leq t}) = \frac{1}{\sum_{\{j|(i,j) \in M^t\}} (q_j^t / \sum_{\{i',j|(i',j) \in M^t\}} q_{i'}^t)}$$

が、閾値U以下なら **価格ベース**

$$f(\hat{v}_i^t) = \begin{cases} -\hat{v}_i^t & \text{when } i \in S \\ -1.0/\hat{v}_i^t & \text{when } i \in B \end{cases}$$

閾値U以上なら **危急度ベース**

$$c_i^p(\hat{\theta}^{\leq t}) = \frac{u_i^p(\hat{\theta}^{\leq t})}{d_i^p - t}$$

マッチング遅延

優先度順にマッチング対象となった
売り買い2つの入札の時間経過率

$$e_i^p(t) = \frac{t - a_i^p}{d_i^p - a_i^p}$$

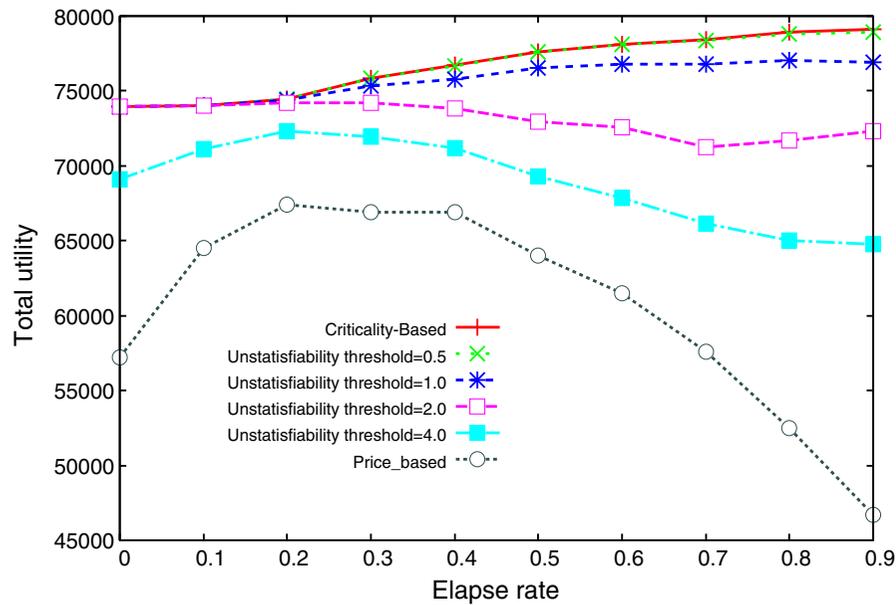
が、どちらも閾値E以下なら、入札を
遅延する。

もし、いずれかの入札の時間経過率が
閾値E以上であれば、直ちにマッチン
グを行う。

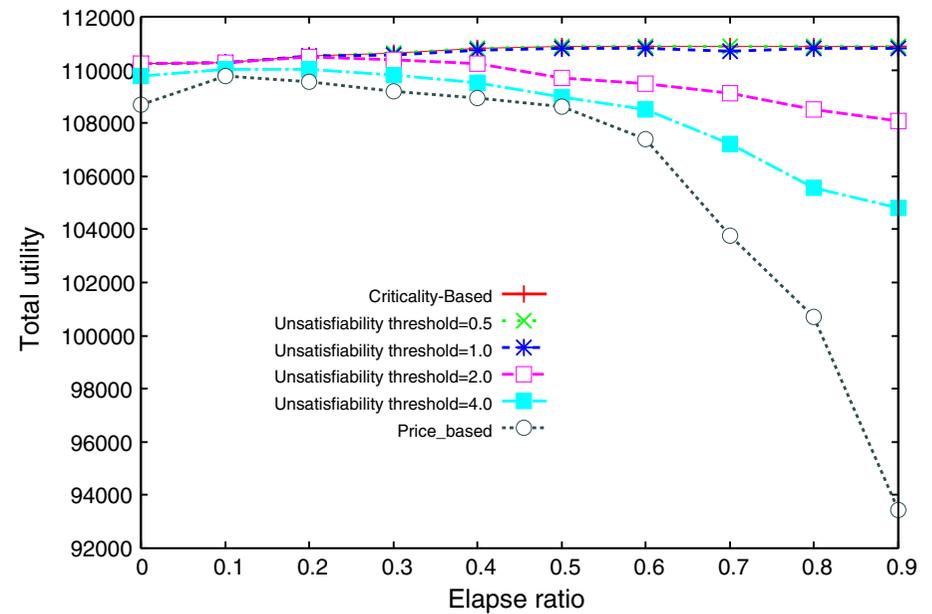
売れ残りによる生産者の損失を抑えながら、社会的厚生をなるべく損なわないよう
取引者に入札を促すためにはUとEをどう決めれば良いか？

マルチエージェントシミュレーション結果

低需要市場



高需要市場



需要が供給を下回る厳しい市況では、従来型の価格ベースのマーケットデザインでは、マーケット全体の収益が大きく損なわれる。

スマートアグリマーケットの基本設計

生産者の価格決定プロセスへの参加

電子商取引による販売機会の拡大

- ・ 24時間繰り返し約定
- ・ 自動受発注

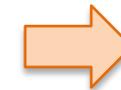


オンライン周期的ダブルオークション
(コールマーケット)

予約取引と現物取引との混成市場の創生



取引中の商品残存価値
の有効化



生産費用の変動費化

適正な取引価格の実現

セラー、バイヤーにとって価格の駆け引きをしないことが自らの最良戦略になる市場（誘因両立性を持つ制度設計）



入札価格の適正化

スマートアグリマーケット：バイヤーによる発注登録

市場の情報（相場、出荷量）やバイヤーの発注履歴に基づいた推薦

CPWOM バイヤー1ユーザー ログアウト

お知らせ 新規注文 注文照会 集計 管理機能

注文条件

荷受日: 2019/08/22 鮮度: 生産日は荷受の 2 日前まで 全て この条件で検索する

おすすめ 購入履歴 おすすめを隠す

品名	合わせ	生産者	産地 (地域/地方)	生産日時	量 (残/上場)	売単価 円/合わせ (税込)	
白菜/M/特別栽培農産物/A	箱(5kg)	セラー7	熊沢 (大分県/九州・沖縄)	8/20 15:00	89 /89箱	¥191	Q くわしく
たけのこ/M/特別栽培農産物/A	箱(5kg)	セラー1	音標 (北海道/北海道)	8/21 15:00	133 /133箱	¥356	Q くわしく
だいこん/M/特別栽培農産物/A	箱(5kg)	セラー2	小島 (沖縄県/九州・沖縄)	8/20 15:00	150 /212箱	¥301	Q くわしく
れんこん/M/特別栽培農産物/B	箱(5kg)	セラー3	稲淵 (滋賀県/近畿)	8/21 15:00	77 /99箱	¥191	Q くわしく
さばう/M/特別栽培農産物/A	箱(5kg)	セラー15	川原 (神奈川県/関東)	8/21 15:00	202 /202箱	¥536	Q くわしく

Page 1 of 9

品名	合わせ	生産者	産地 (地域/地方)	生産日時	量 (残/上場)	売単価 円/合わせ (税込)	
トマト/2L/特別栽培農産物/優	箱(5kg)	セラー3	稲淵 (滋賀県/近畿)	8/21 15:00	120 /196箱	¥193	Q くわしく
ミディとまと/M/有機農産物/秀	箱(5kg)	セラー1	音標 (北海道/北海道)	8/20 15:00	0 /209箱	¥85	Q くわしく
ミディとまと/M/有機農産物/秀	箱(5kg)	セラー2	小島 (沖縄県/九州・沖縄)	8/20 15:00	0 /97箱	¥207	Q くわしく
チェリーとまと/S/特別栽培農産物/良	箱(5kg)	セラー3	稲淵 (滋賀県/近畿)	8/20 15:00	0 /203箱	¥230	Q くわしく



品質等の指定

白菜 M 特別栽培農産物 A

残量: 525 箱 買えそうな量: 89 箱 単価: ¥76 /箱 (税込)
~¥363 /箱

生産日: この在庫を指定 (8/20 15:00) 指定なし **生産日・産地の指定**

産地: この在庫を指定 熊沢 大分県 九州・沖縄 指定なし

¥ 200 /箱 (税込) で 量 箱を 注文

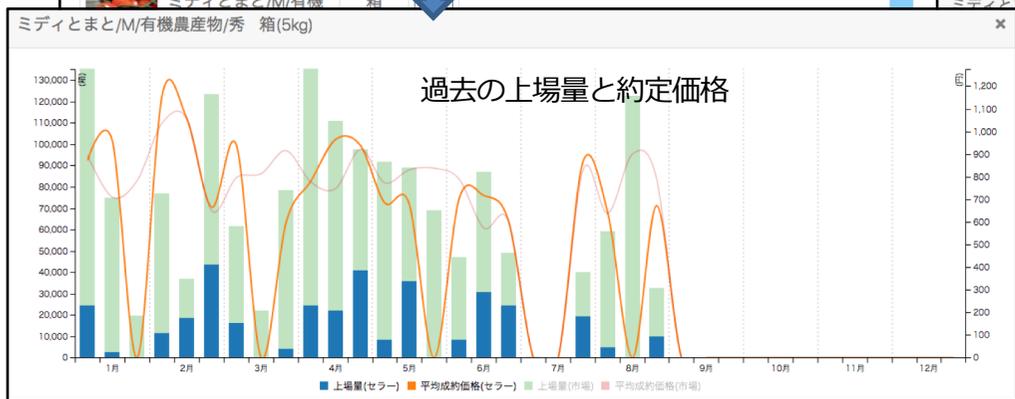
買付上限価格の指定

※買い付け具合に応じ、自動的に価格を変動させる設定も可能

スマートアグリマーケット：農家による出荷登録



過去の販売実績や、(市場内の) 総生産量、総需要量を見ながら日々の出荷計画を調整することができる。



ミディとまと/M/有機農産物/秀 合わせ 箱(5kg)

2019年 8月

日	月	火	水	木	金	土
29	30	31	1	2	3	
16箱 (84円/箱)	115箱 (116円)	169箱 (825円/箱)	65箱 (891円/箱)	104箱 (1,062円/箱)	108箱 (517円/箱)	155箱 (706円/箱)
5	6	7	8	9	10	
160箱 (136円/箱)	217箱 (62円/箱)	389箱 (279円/箱)	86箱 (226円/箱)	86箱 (226円/箱)	151箱 (236円/箱)	
0箱	187箱	98箱 (315円/箱)	89箱 (437円/箱)	6箱 (267円/箱)	132箱 (374円/箱)	
12	13	14	15	16	17	
	168箱 (156円/箱)	209箱 (170円/箱)	145箱 (1,026円/箱)	6箱 (267円/箱)	180箱 (218円/箱)	
18	19	20	21	22	23	24
		306箱 (123円/箱)	110箱 (388円/箱)	174箱 (737円/箱)		52箱 (976円/箱)
25	26	27	28	29	30	31
28箱 (301円/箱)		309箱 (325円/箱)	252箱 (917円/箱)	6箱 (281円/箱)	15箱 (978円/箱)	233箱 (433円/箱)
90箱 (674円/箱)				199箱 (696円/箱)		

割付率 なし ~25% ~50% ~75% ~100%

この日を生産日とする他の生産者の合計供給量 (平均希望売単価) この日を入荷日とする合計需要量 (平均希望買単価)

選択した日付に

¥ 希望単価 /箱(税込)で 量 箱 コメント を 登録

該当日の総生産量

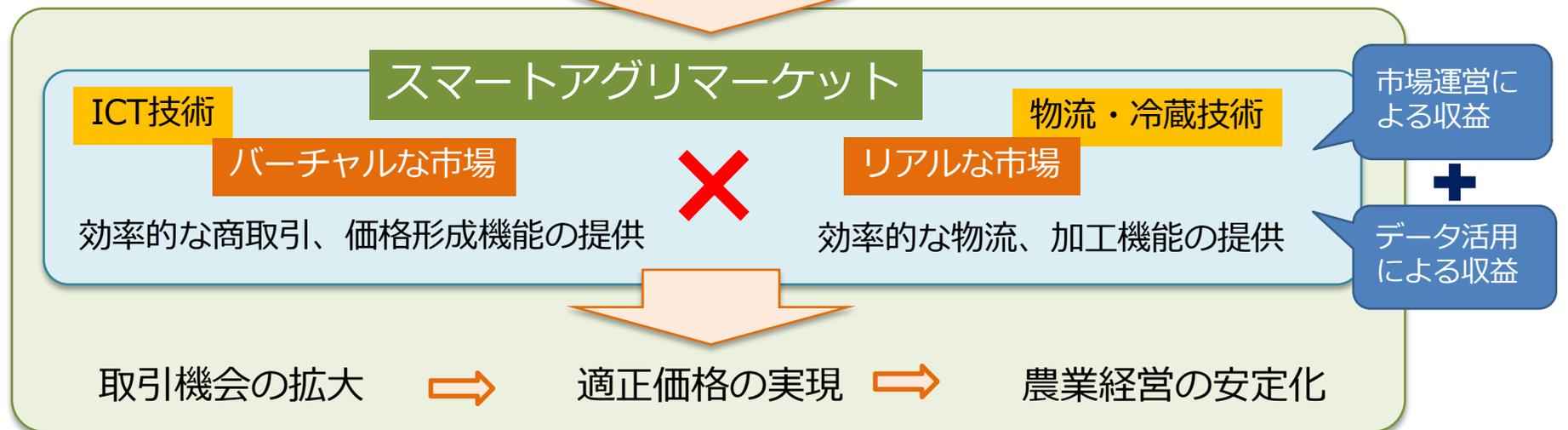
該当日の総需要量

今後の国内農産物流通のあり方

農業競争力強化支援法の施行、卸売市場法及び食品流通構造改善促進法の改正

「生産者が経営安定に向けて、多様な流通ルートから有利なルートを選択できる環境を整備する。」

「流通業務自体の最適化・効率化を図ると共に、生産者・実需者等のニーズに迅速・的確に対応するため、情報通信技術等の技術を積極的に導入する。」



国産野菜の流通拡大（食糧自給）

生産者の収益改善（地方創生）

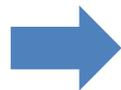
規格外野菜の活用（フードロス削減）

社会における共通価値の創造 (CSV: Creating Shared Value)

結論と今後の課題

生鮮食品に対しても、予約取引と現物取引の混成市場を創生するなど、適切な市場制度を設計すれば、より衡平な取引を実現し、生産者と消費者双方の収益を改善できる可能性がある。

しかし、取引が過小な状況では取引参加者が利益を出すのは困難であり、需要量・供給量を拡大し取引を活性化させる、より広範な制度設計（取引データによる新たな価値創造など）が重要である。



社会実装による研究推進が必須

Markets need to provide “*thickness*”.
by Prof. Alvin E. Roth



2012年ノーベル経済学賞

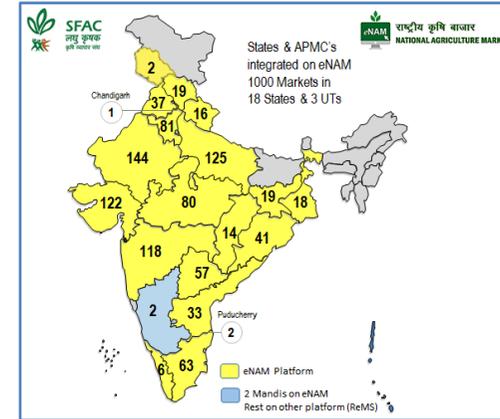
インドにおける農産物Eマーケット

PROSPEROUS FARMERS FOR A PROSPEROUS INDIA

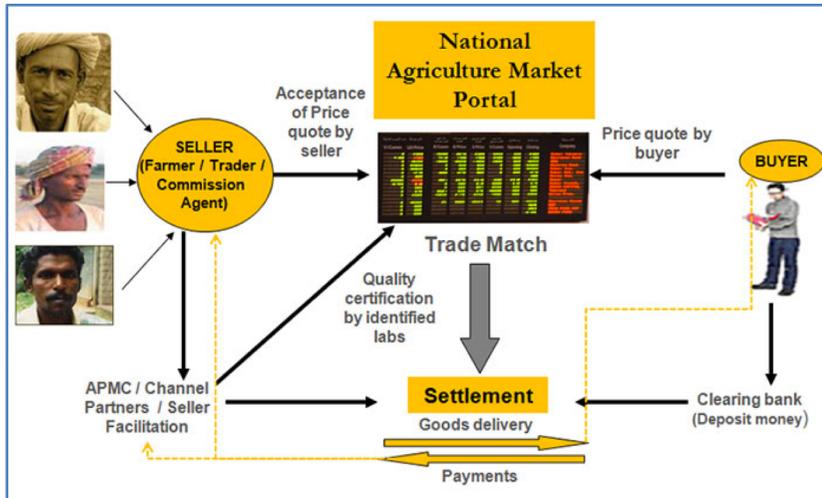
THEN
NO NATIONAL MARKET FOR FARMERS

NOW
NATIONAL AGRICULTURE MARKET (eNAM)

Narendra Modi首相



A key initiative of the National Democratic Alliance government's promise to double farm incomes by 2022



National Agriculture Market Live Trading

Commodity	Lot	Weight	Bid Type	Last Bid	Seller	End
COTTON	248-20191205-2	4.40 QUINTAL	Open	4525.00	VIPUL VALLABH	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-7	2.80 QUINTAL	Open	4575.00	PRAVIN BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-12	16.00 QUINTAL	Open	4856.00	RAJU BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-15	12.00 QUINTAL	Open	4851.00	GOBAR BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-17	6.00 QUINTAL	Open	4980.00	MANOJ GOVIND	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-18	5.60 QUINTAL	Open	4939.00	DEEPAK BHAI VAISHNAV	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-19	2.40 QUINTAL	Open	5035.00	JENTI NARSHI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-20	5.20 QUINTAL	Open	5031.00	MAHESH BAVA BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-21	5.60 QUINTAL	Open	5016.00	KISHOR VALA BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-22	8.80 QUINTAL	Open	4811.00	RAJNIK BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
COTTON	248-20191205-23	4.80 QUINTAL	Open	4777.00	LAL BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-1	5.70 QUINTAL	Open	4015.00	KAMLESH BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-3	15.90 QUINTAL	Open	3838.00	PRATAP BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-4	5.10 QUINTAL	Open	3801.00	MEPA BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-5	6.60 QUINTAL	Open	3575.00	VIRA RAM BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-6	24.90 QUINTAL	Open	4171.00	BHUPAT BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-8	10.50 QUINTAL	Open	3939.00	ATUL BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-9	2.70 QUINTAL	Open	4225.00	MITUL BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-10	4.50 QUINTAL	Open	3921.00	BAVAN BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-11	4.20 QUINTAL	Open	3835.00	DHIRU BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-13	18.00 QUINTAL	Open	4135.00	CHIMAN BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-14	5.40 QUINTAL	Open	4021.00	KUMAN BHAI	05-Dec-2019 16:15:00
GROUND NUT	248-20191205-16	6.00 QUINTAL	Open	3985.00	NUR MAMAD AAMADBHAI	05-Dec-2019 16:15:00

ベイジアンゲームとしての定式化

$N = \{1, \dots, n\}$: プレイヤー集合

$\Theta = \{\Theta_i\}_{i \in N}$ $\Theta_i = [0, \bar{v}]$: タイプ (支払意志額) 集合

X : 可能な配分全体の集合 e.g. $x = (1, \overbrace{0, \dots, 0}^{N-1}) \in X$

M : 支払ベクトルの集合 $m \in M, m = \{m_i\}_{i \in N} \in [0, \bar{v}]^n$

$Y = \{(x, m_1, \dots, m_n)\}$: 帰結集合 $y = (x, m_1, \dots, m_n) \in Y$

$u_i(x, m_i, \theta_i) = v_i(x, \theta_i) - m_i$: 利得関数

ただし、 $v_i(x, \theta_i) = \begin{cases} \theta_i & \text{when } x_i = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

$F : [0, \bar{v}] \rightarrow [0, 1]$: タイプの分布関数 $F(v) = P(\theta_i \leq v)$

$f : [0, \bar{v}] \rightarrow \mathbb{R}_+$: タイプの確率密度関数

オークションメカニズムデザイン

$A_i = \Theta_i, \forall i \in N$: 行動集合 ← 顕示原理

$s_i(\theta_i) = \hat{\theta}_i \in \Theta_i, \forall i \in N$: 買い手の戦略

$g = (a, t) : A \rightarrow Y$: 帰結関数

$a : A \rightarrow X$: 配分ルール $a_i(\hat{\theta}) = 1, a_{j \neq i}(\hat{\theta}) = 0$

$t : A \rightarrow M$: 支払ルール $t_i(\hat{\theta}) = m_i, t_{j \neq i}(\hat{\theta}) = 0$

効率的な配分 $\sum_{i \in N} u_i(x, \theta_i) \geq \sum_{i \in N} u_i(x', \theta_i), \forall x' \in X$ を実現するため、以下の**単調な配分ルール**を用いて支払意志額の最も大きなバイヤーに商品を割り当てる。

$$\forall j \neq i, \hat{\theta}_i \geq \hat{\theta}_j \Rightarrow a_i(\hat{\theta}) = 1$$

効率的配分を実現するためには、更に**均衡戦略** $s^*(\cdot)$ が θ に関する**単調増加関数**になるよう、支払ルールを決める必要がある。