経営者からみた数理解析の意義

2016.11.18

東京ガス株式会社　常務執行役員
山上　伸

エネルギー・フロンティア
TOKYO GAS

アジェンダ

1. 革新的リーダーの条件
2. 経営者の仕事
3. 経営と数理解析

   ①マネジメント

   ②良い意思決定

   ⅰ. 必勝戦術　　ⅱ. 勝率アップの戦術

   ⅲ. シナリオプラニング　　ⅳ. 帰納的手法

   ⅴ. 演繹的手法　　ⅵ. 実際には…

   ③ビジョンの提示
4. 勘と経験

   ①閃きと直感

   ②良い直感を養おう

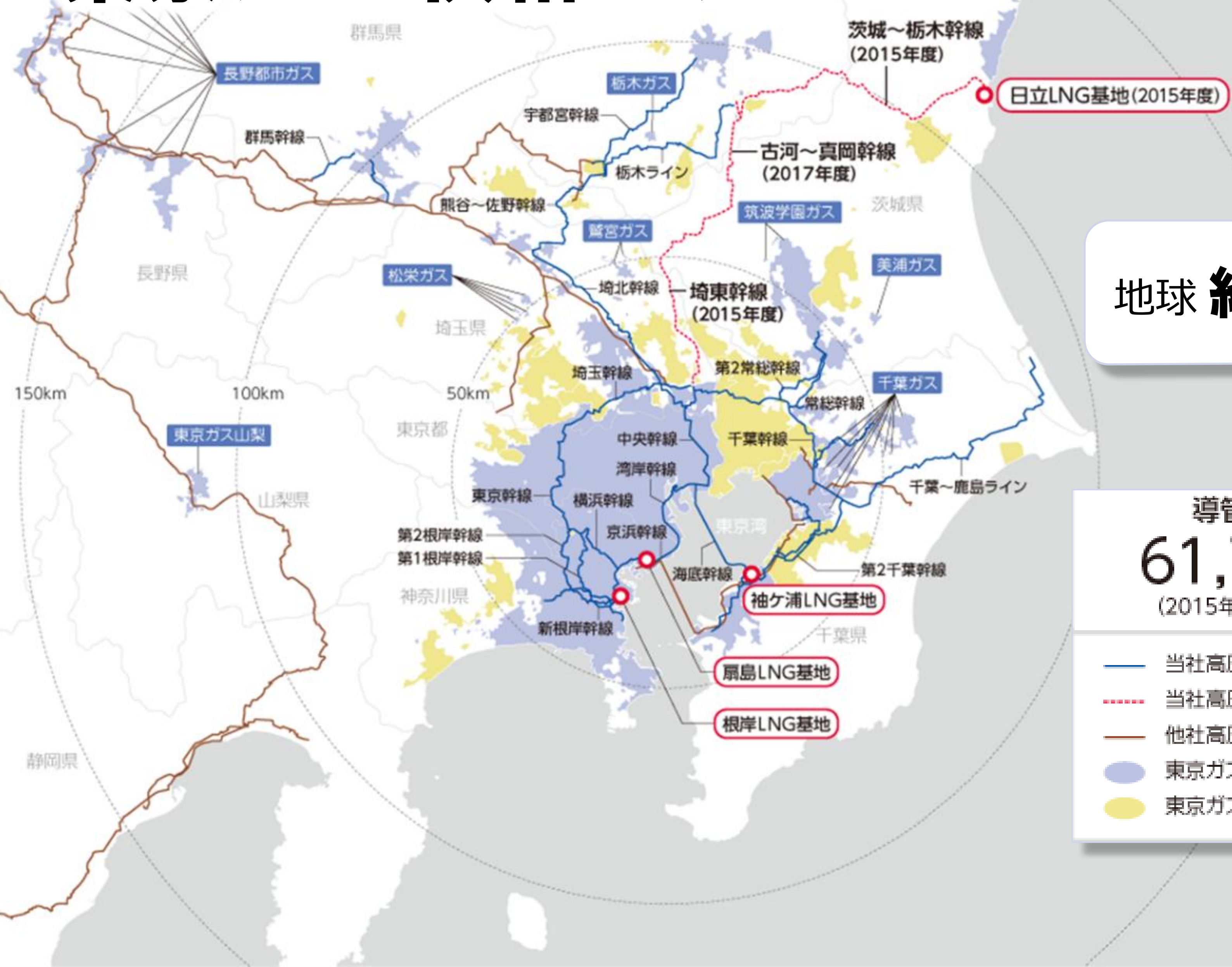
東京ガス株式会社 会社概要

創立	明治18（1885）年10月1日
資本金	1,418億円
連結従業員数	約17,000人
売上高（連結）	18,846億円
ガス販売量（連結）	15,436百万m^3
お客さま数（取付メーター数）	11,398千件

火ぐまのパッチョ　電パッチョ

TOKYO GAS

東京ガス 供給エリア



地球 **約1周半**

導管総延長
61,744km
(2015年3月31日現在)

TOKYO GAS

1. 革新的リーダーの条件
（参考：クレディセゾン　林野宏氏）

① 夢や未来を描き、語り続ける力
② 自ら価値創造できる力
③ 変化への対応力・革新力
④ 考え抜き、結果を出す力
⑤ 人を惹きつけ、動かす力
⑥ スピーディな意思決定・決断力
⑦ 品格・高潔さ

2. 経営者の仕事

① マネジメント

② 良い意思決定

③ ビジョンの提示

3. 経営と数理解析

良い経営＝美しい経営

良いマネジメント ⇔ほぼ同値⇔ 美しいマネジメント

良い意思決定 ⇔ほぼ同値⇔ 美しい意思決定

美しさの例：

Karush-Kuhn-Tucker 条件

n 次元の変数を m 個の制約式で表現 (但し、$n >> m$)

⇒膨大な数の事象を少ないルールで記述できる

Karush-Kuhn-Tucker条件

制約付き最適化問題の
最適性の一次の必要条件

制約付き最適化：

x^*が局所最適解

⇒ Karush-Kuhn-Tucker 条件が成立

Karush-Kuhn-Tucker条件（続き）

Minimize $f(x)$

Subject to $g_1(x) \leq 0, \dots, g_m(x) \leq 0$

x^*を局所最適解とすると、以下の条件を満たすような

$\lambda^* = (\lambda_1^*, \dots, \lambda_m^*)^T$ が存在する。

Karush–Kuhn–Tucker (KKT)条件

$$\boxed{\begin{array}{l} \nabla f(x^*) + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i^* \nabla g_i(x^*) = 0, \\ \lambda_i^* \geq 0,\ \ g_i(x^*) \leq 0,\ \ \lambda_i^* g_i(x^*) = 0 \\ (\text{for } i = 1, \dots, m) \end{array}}$$

① マネジメント

社会のマネジメント例

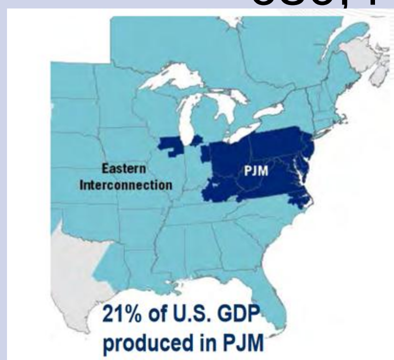
- PJMによる卸電力市場の運営

PJM＝Pennsylvania- New Jersey- MarylandエリアのRTO(地域送電機関：Regional Transmission Organization)

東京電力の約3倍の規模の電力ネットワーク

TOKYO GAS

PJMと東京電力の比較

<table>
<tr><th></th><th>PJM
（2016年1月）</th><th>東京電力
（2015年3月）</th></tr>
<tr><td>面積</td><td>630,447km^2

</td><td>39,576km^2

</td></tr>
<tr><td>人口</td><td>6100万人</td><td>4484万人</td></tr>
<tr><td>販売電力量</td><td>7925億kWh※</td><td>2570億kWh</td></tr>
<tr><td>ピーク負荷</td><td>1億6549万kW</td><td>4980万kW</td></tr>
<tr><td>発電容量</td><td>1億7164万kW</td><td>6605万kW</td></tr>
<tr><td>発電所数</td><td>1304</td><td>195</td></tr>
</table>

※2014年のデータ

① マネジメント

PJMによる卸電力市場の運営

- 電力市場に参加するメンバーに公平感のある市場運営ルールの設定＆決済価格の決定

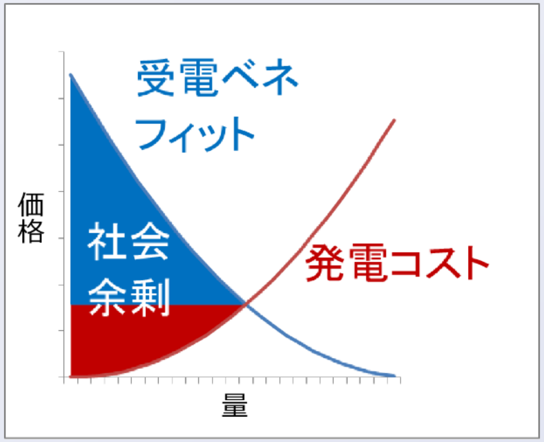
  → 社会厚生最大化の経済原則を適用

$$\underset{q_j^i}{Max} \quad \sum_j \{ \sum_k B_j^k(d_j^k) - \sum_i C_j^i(q_j^i) \}$$

where j：ノード、k：需要群、i：発電所、

B^k：受電ベネフィット、C^i：発電コスト、

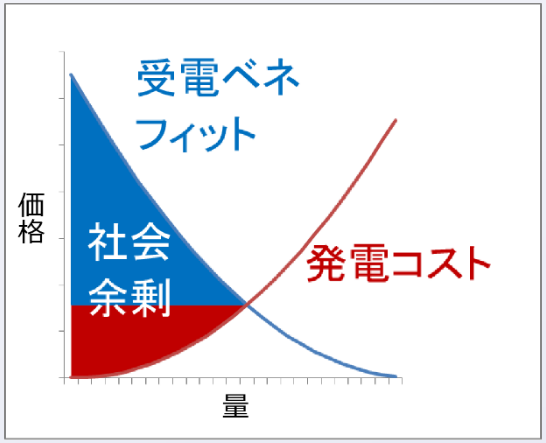
d^k_j：需要量、 q^i_j：発電量



TOKYO GAS

PJMのLMP（地域別限界価格）

$$\underset{q_j^i}{Max} \quad \sum_j \{\sum_k B_j^k(d_j^k) - \sum_i C_j^i(q_j^i)\}$$



s.t. 需給制約

発電能力制約

送電能力制約

潮流制約

where j：ノード、k：需要群、i：発電所、

B^k：受電ベネフィット、C^i：発電コスト、

d^k_j：需要量、 q^i_j：発電量

LMP（地域別限界価格）＝各ノードのシャドウプライス

出典：岡田健司、浅野浩志、松川勇: “送電制約を考慮したNodalPricing　に基づく送電料金" エネルギー経済. Vol.23,No.6. 44-51 (1997)

協力ゲーム：協調による価値拡大

- Co-Opetition 『ゲーム理論で勝つ経営』
  （B･J･ネイルバフ、A･M･ブランデンバーガー、日経ビジネス人文庫）

- スポーツチームの最強化：KKTの美しさ

TOKYO GAS

400m自由距離リレー

- Ａチームの走者は、Ｂチームの走者よりも速い。

（単位：秒）

100mのタイム	Ａチーム	Ｂチーム
走者＃1	18.8	19.6
走者＃2	14.3	15.0
走者＃3	11.9	12.3
走者＃4	10.0	10.4
合計	**55.0**	**57.3**

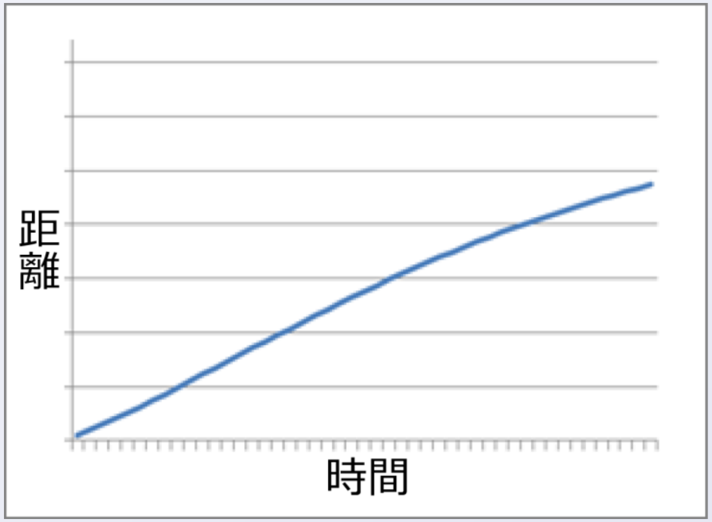
- 100m×4人リレーのタイムはＡチーム55秒、Ｂチーム57.3秒。

400m自由距離リレー

- しかし、弱いＢチームだけ4人の走る距離を可変として競争すると…

走者＃1の走る時間と距離の関係

$f_1(t_1)$

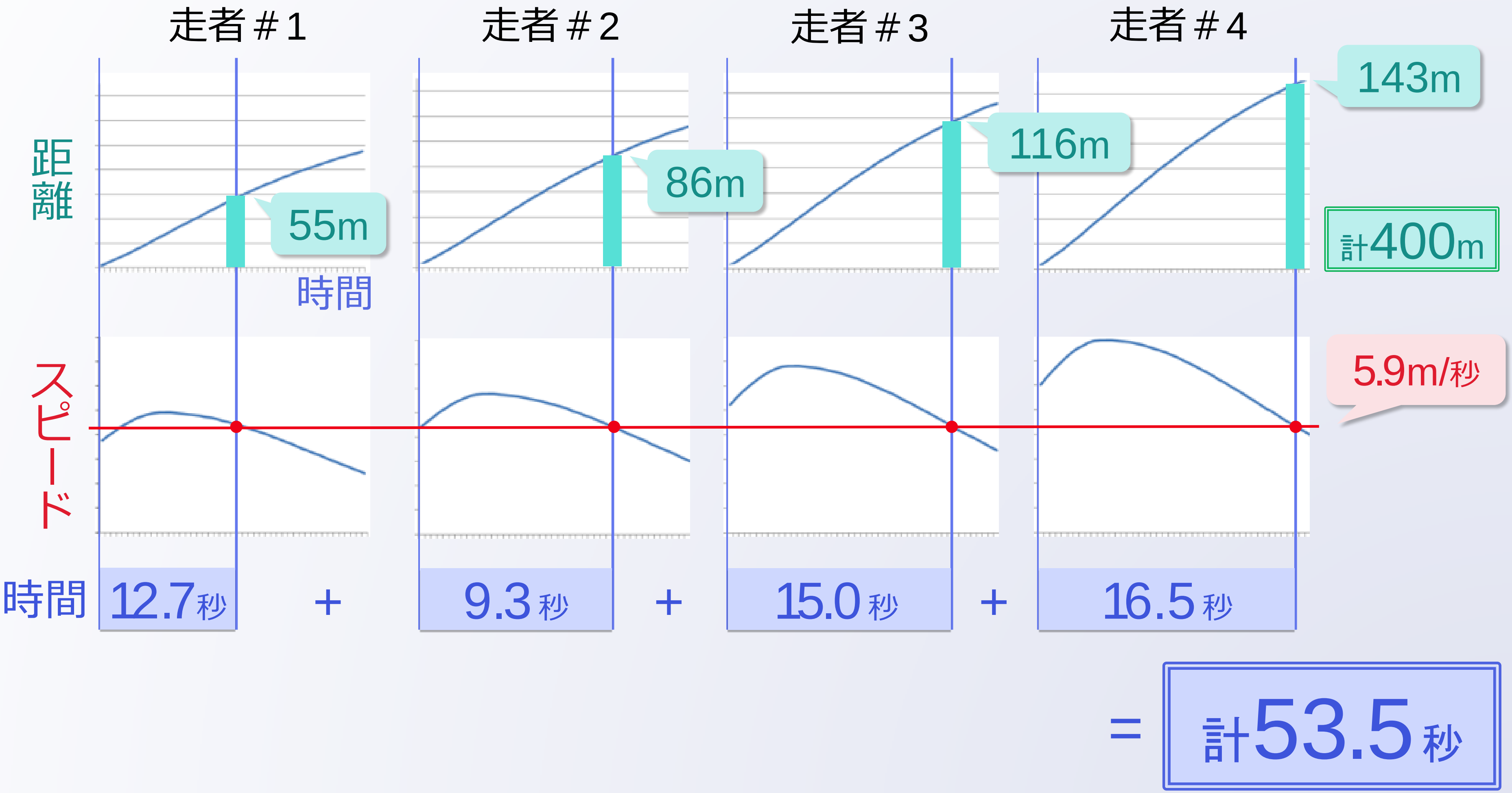


400m自由距離リレーの数理計画

$$\begin{cases} \text{Minimize } \sum_i t_i \\ \text{subject to } \sum_i f_i(t_i) = 400 \end{cases}$$

$f_i(t_i)$: 走者iが時間t_iで走る距離

400m自由距離リレー
Bチームの各走者の最適な走る距離とスピード



TOKYO GAS

400m自由距離リレーの示唆

- 各走者のスピードが秒速5.9mに落ちた時にバトンタッチすると最速でゴールイン（53.5秒）。
- 弱いＢチーム（4名合計57.3秒）でも、賢い戦略を持つと、強いＡチーム（4名合計55.0秒）に勝つことができる！

- チームプレイでは、質の高いマネジメントがアウトプットの質を上げる。

  メンバーの実力に応じた仕事量（＝走る距離）の配分

  納得感のある報酬体系：仕事量に応じて成果を分配

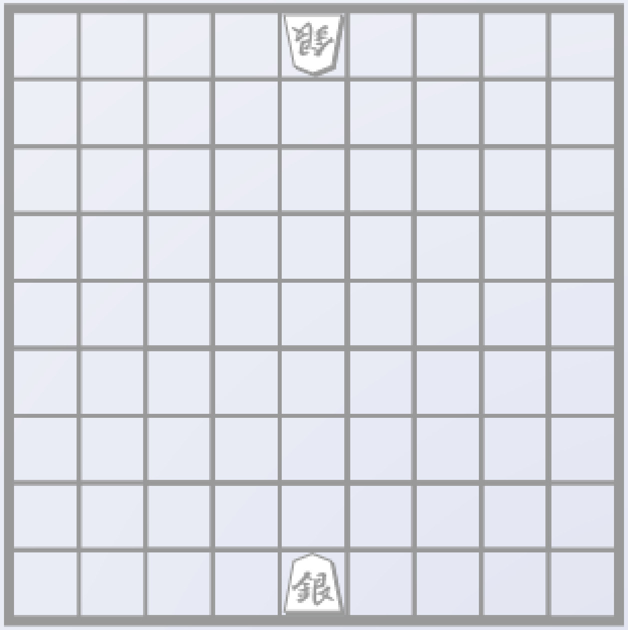
（協力ゲーム）

② 良い意思決定

意思決定の質を高めるための数理解析

ｉ. 必勝戦術

- 右の図の将棋の問題

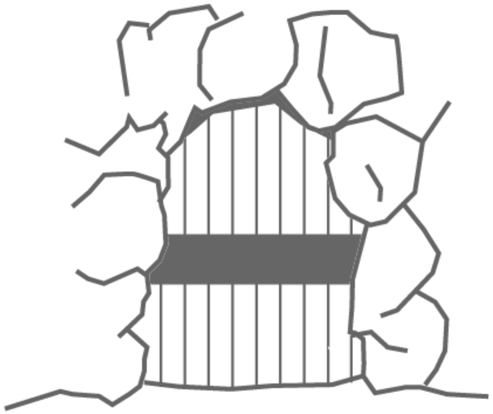


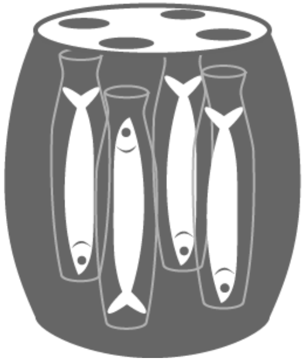
- チェス・将棋、ついに囲碁まで？

ⅰ. 必勝戦術：アリ･ババのにしん問題

アリ･ババがゴマの洞窟に入ろうとしています。

その入り口には樽が１つあって、樽には4つの穴があいているのですが、それぞれの穴は樽の中にある4つの壺に続いています。
そしてどの樽にもニシンがそれぞれ1匹ずつ入っています。 ニシンは頭を上にしているものもあれば、下にしているものもあります。





出典：数学セミナー別冊「数学の愉しみ」13号 (1999.6.6), 3-5ページ.
http://kanielabo.org/essay/alibaba.htm

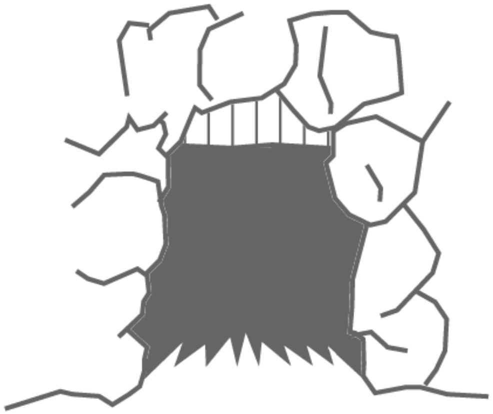
ⅰ. 必勝戦術：アリ･ババのにしん問題

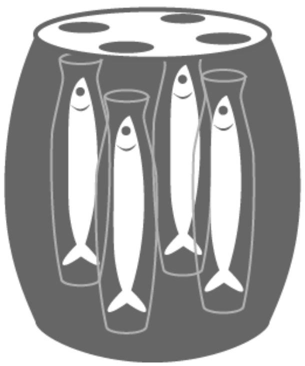
アリ･ババは同時に2つの穴に手を突っ込んで、ニシンの位置を調べた後、その位置を勝手な方向に変えられます。

この操作の後、樽は回り始め、しばらくして止まりますが、アリ･ババには穴の区別ができなくなります。

このゴマの洞窟は、ニシンが同じ方向に並んでいるときだけ開くのです。

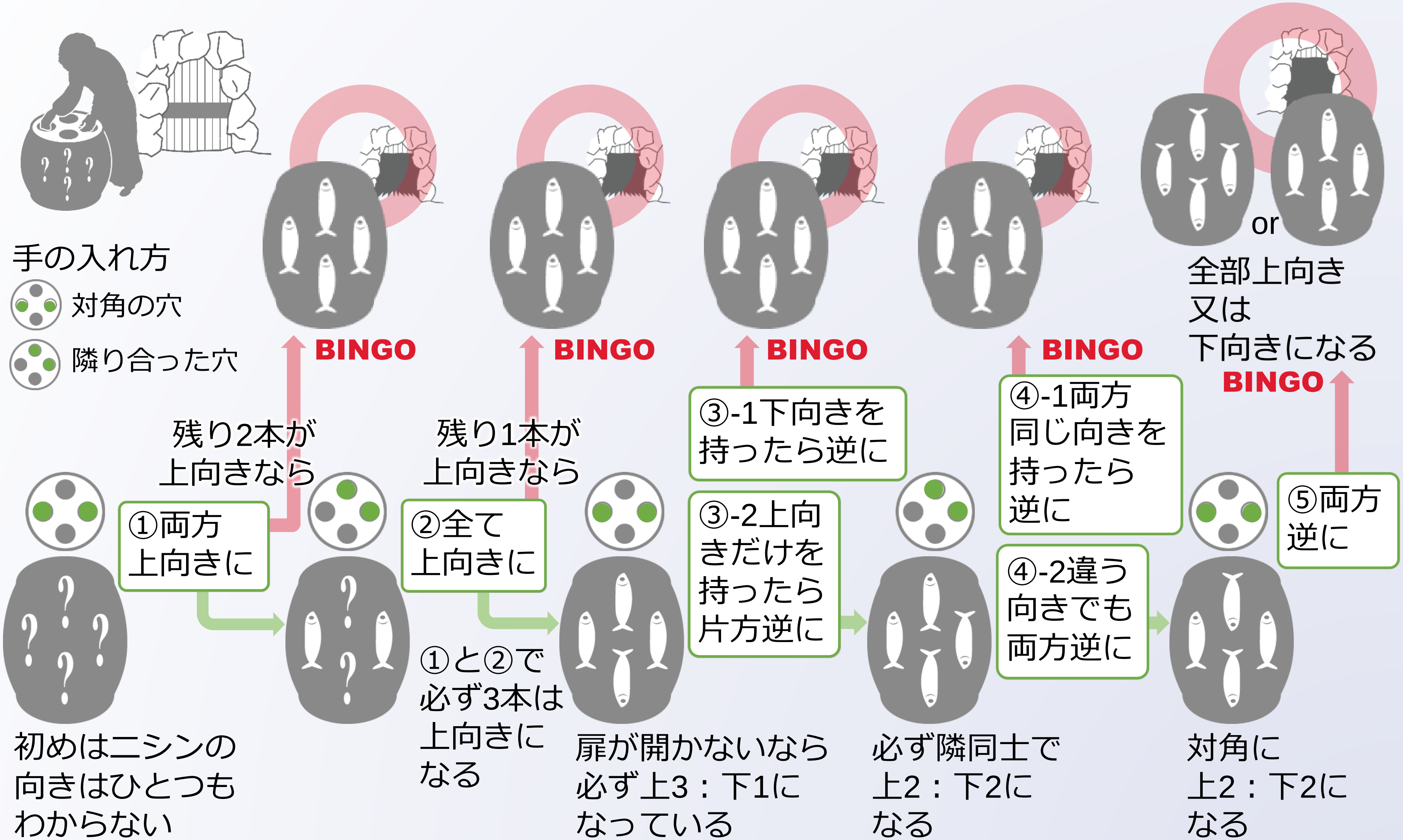
洞窟に入るためにはアリ･ババはどうしたらよいのでしょうか。





出典：数学セミナー別冊「数学の愉しみ」13号 (1999.6.6), 3-5ページ.
http://kanielabo.org/essay/alibaba.htm

ⅰ.必勝戦術：アリ・ババのにしん問題



TOKYO GAS

② 良い意思決定

ⅱ. 勝率アップの戦術

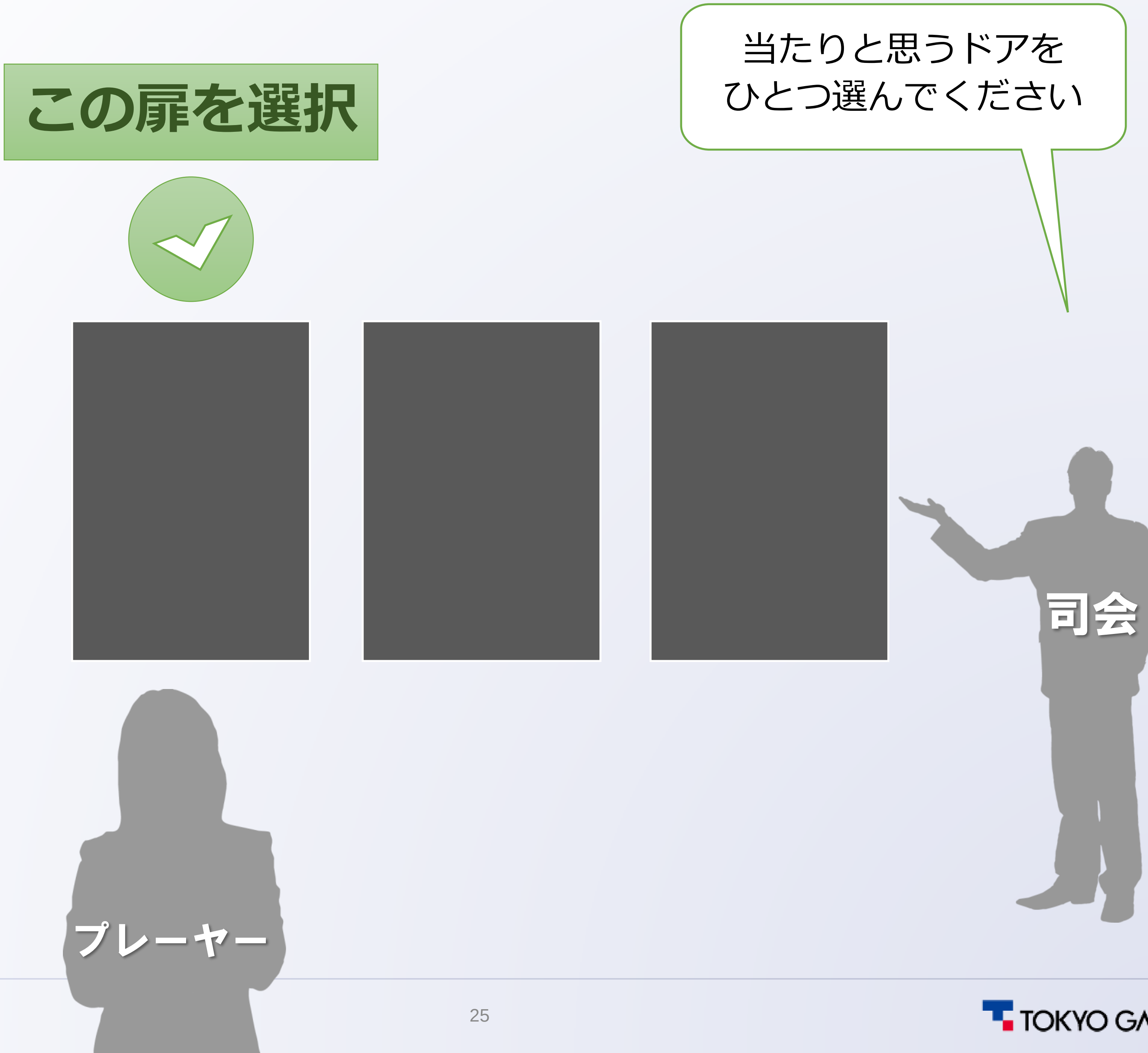
- モンティ･ホール問題
- 持参金問題、秘書問題

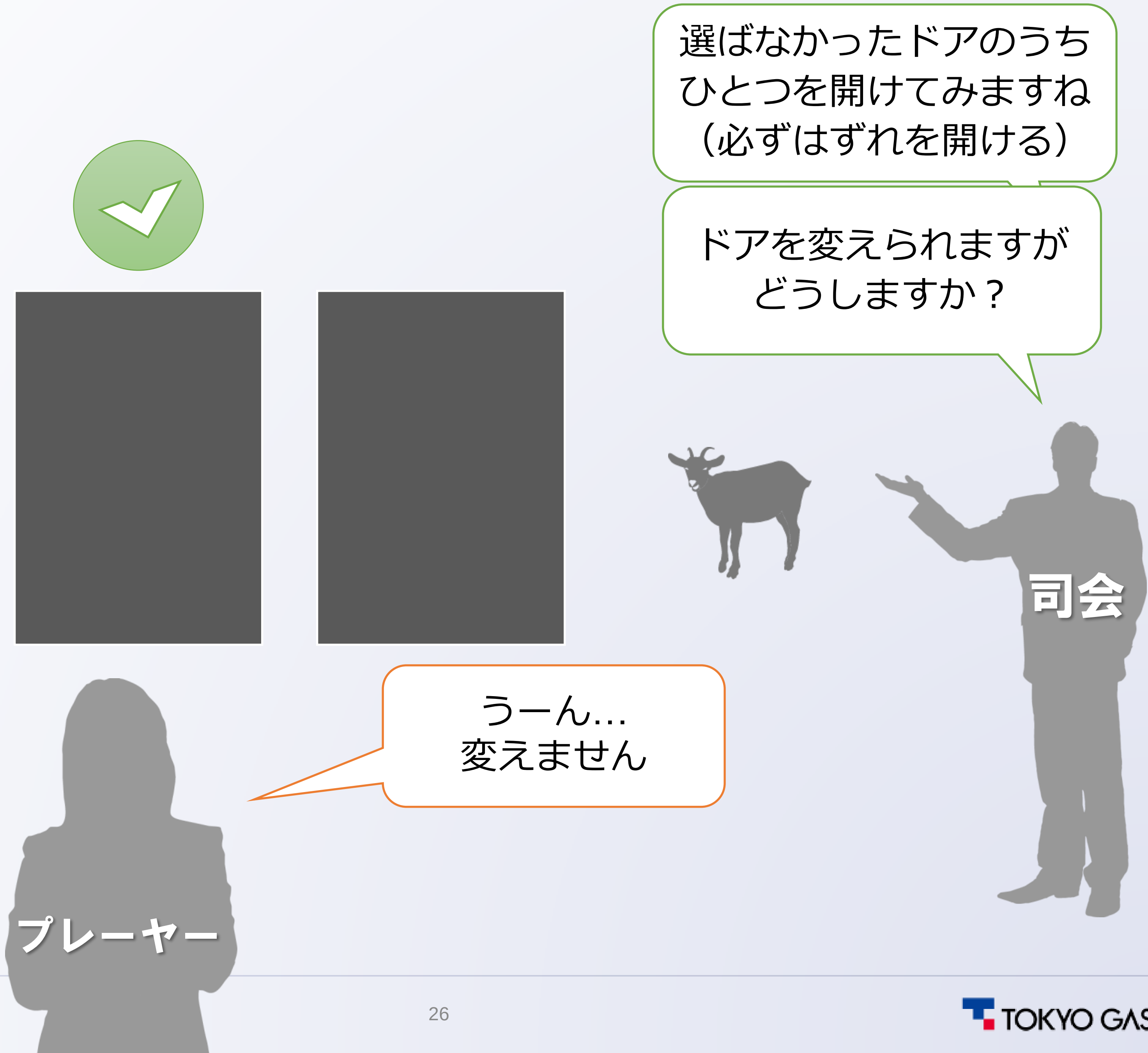
数学的アプローチは
意思決定のクオリティを格段に高める可能性
何よりも迅速に

ii.勝率アップの戦術：モンティ・ホール問題

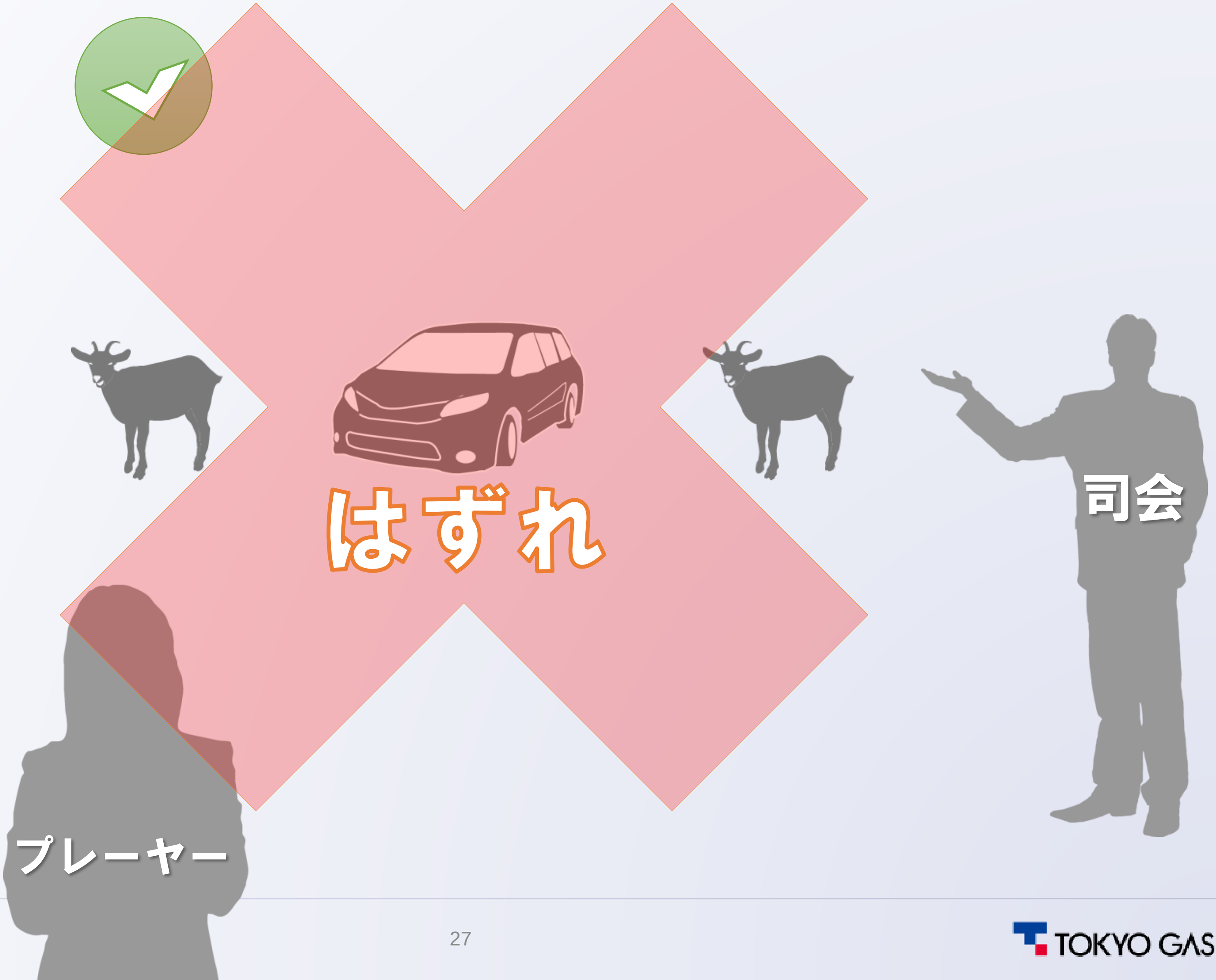
「プレーヤーの前に閉まった3つのドアがあって、1つのドアの後ろには景品の新車が、2つのドアの後ろには、はずれを意味するヤギがいる。プレー ヤーは新車のドアを当てると新車がもらえる。プレーヤーが1つのドアを選択した後、司会のモンティが残りのドアのうちヤギがいるドアを開けてヤギを見せ る。ここでプレーヤーは、最初に選んだドアを、残っている開けられていないドアに変更してもよいと言われる。プレーヤーはドアを変更すべきだろうか？」
1990年9月9日発行、ニュース雑誌 *Parade* にて、マリリン・ボス・サヴァントが 連載するコラム欄「マリリンにおまかせ」において上記の読者投稿による質問に「正解は『ドアを変更する』である。なぜなら、ドアを変更した場合には景品を 当てる確率が2倍になるからだ」と回答した。すると直後から、読者からの「彼女の解答は間違っている」との約1万通の投書が殺到し、本問題は大議論に発展 した。

出典：ウィキペディア
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A2%E3%83%B3%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%BB%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%AB%E5%95%8F%E9%A1%8C


この扉を選択
当たりと思うドアを
ひとつ選んでください
司会
プレーヤー

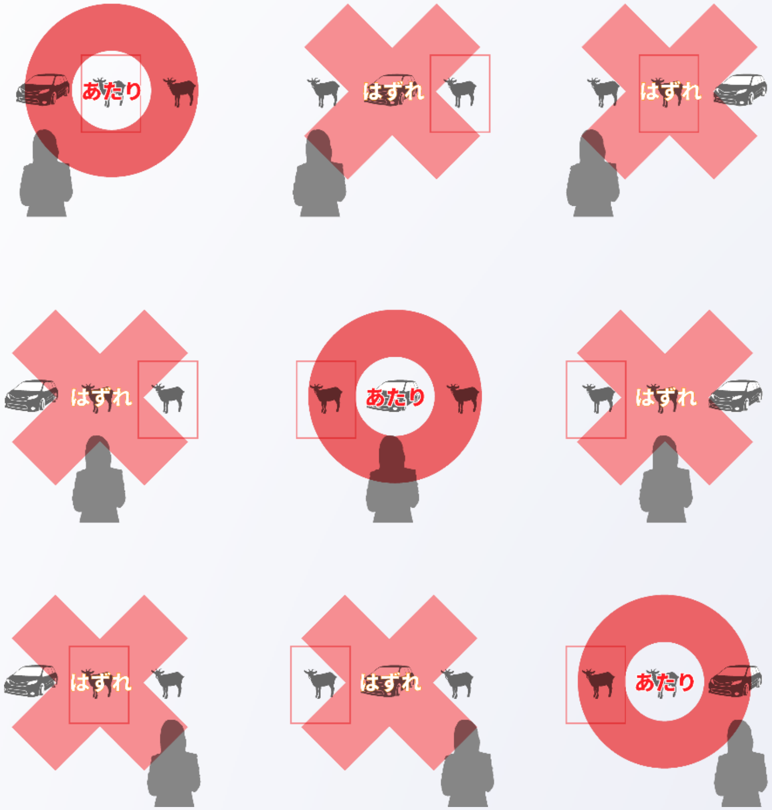

選ばなかったドアのうち
ひとつを開けてみますね
（必ずはずれを開ける）
ドアを変えられますが
どうしますか？
司会
うーん…
変えません
プレーヤー

変更しない

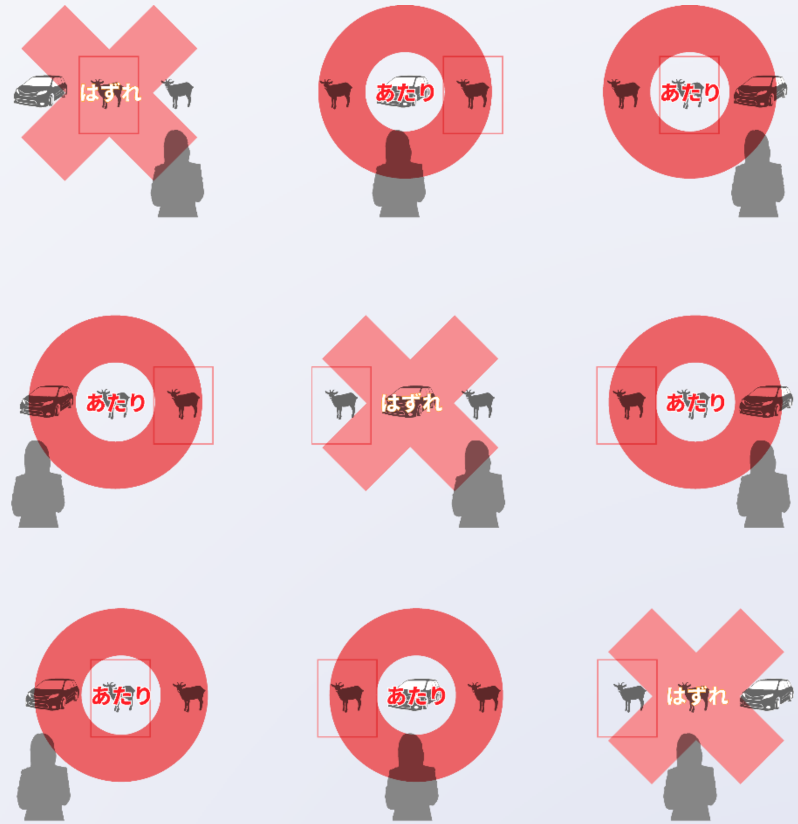


TOKYO GAS

変更しない



変更する



3 : 6

変更した方が2倍有利になる。

ii.勝率アップの戦術：持参金問題

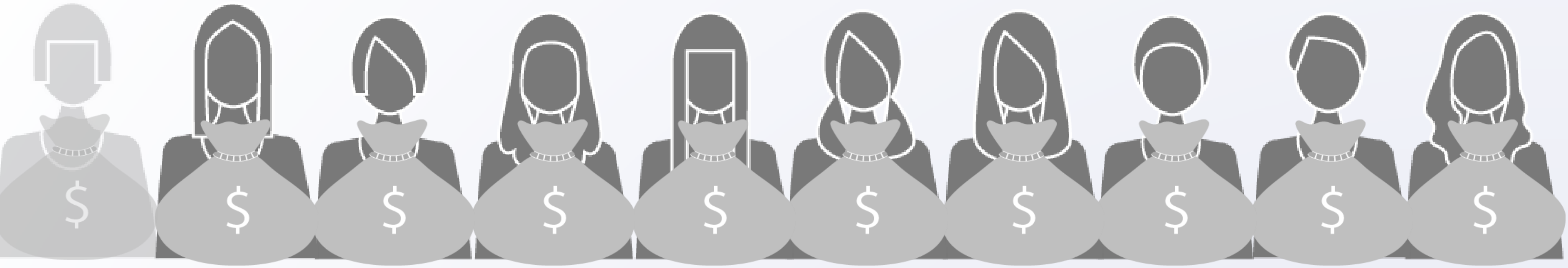
n 人の花嫁候補からもっとも持参金の高い花嫁を選びたい。（ n は既知）

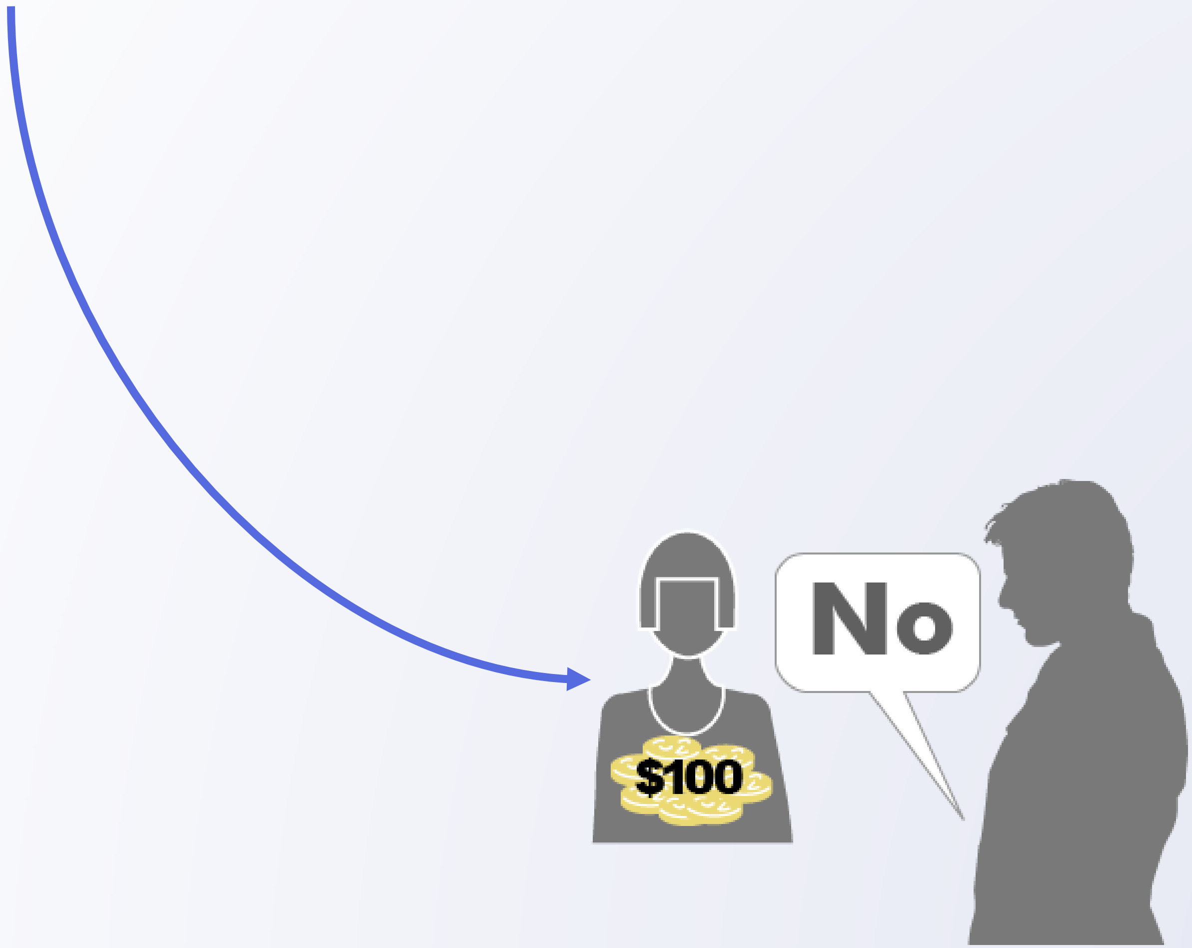
花嫁候補はお見合いの席で持参金額を申し出る。複数の花嫁候補の持参金が同じ額になることはない（1位から n 位まで重複無く順位付けできる）。毎回のお見合いの直後に、その花嫁候補と結婚するか否かを即座に決定する。

その花嫁候補と結婚するか否かは、それまでお見合いした候補者の持参金額の相対的順位にのみ基づいて決定する。

袖にした花嫁候補に後から結婚を申し込むことはできない。

無作為な順序で1人ずつとお見合いし、次に誰とお見合いするかは常に同じ確率である。





花嫁候補 n人（nは既知）

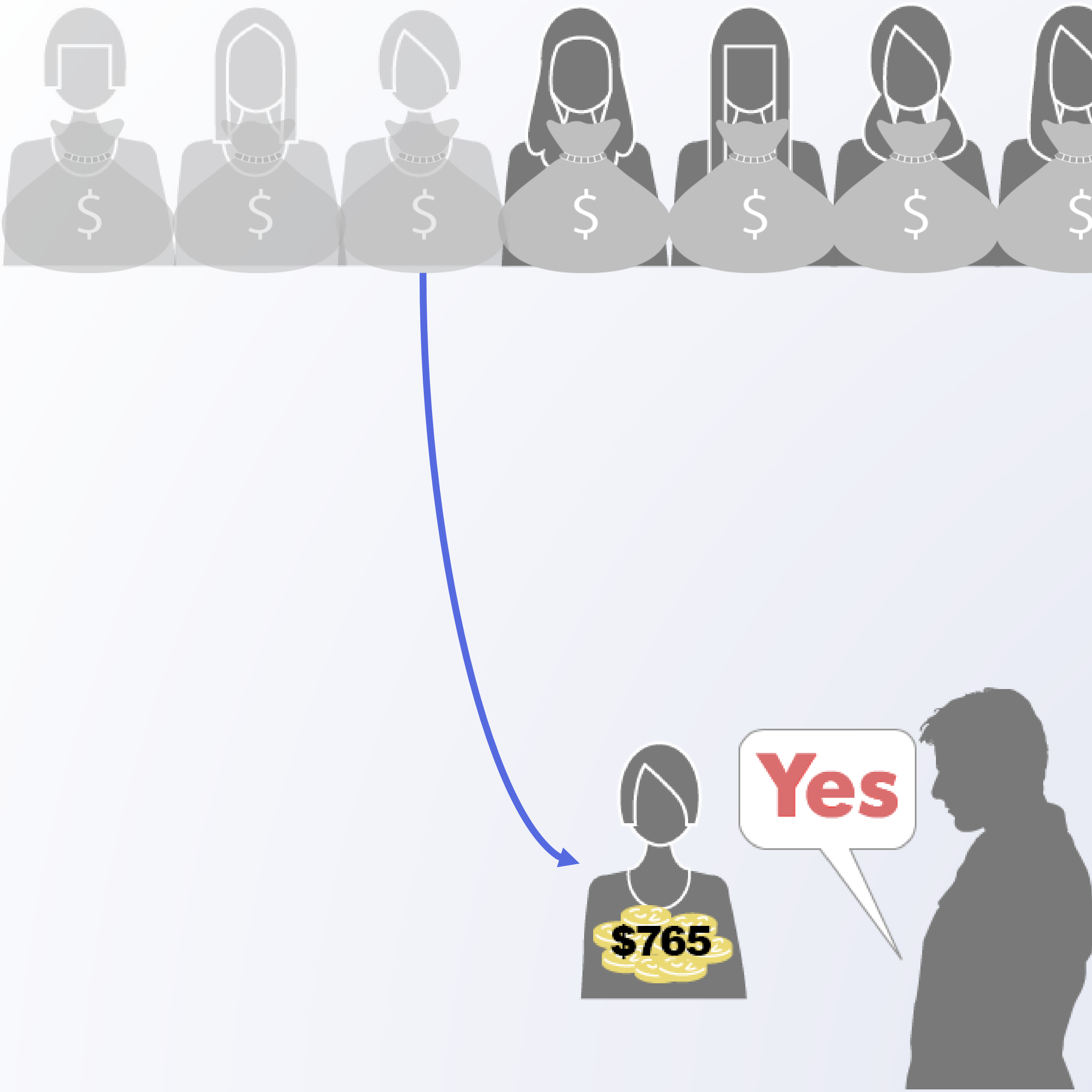
花嫁候補は持参金を持ち、その額は1位からn位まで重複なく順位付けできる

1人ずつとお見合いする

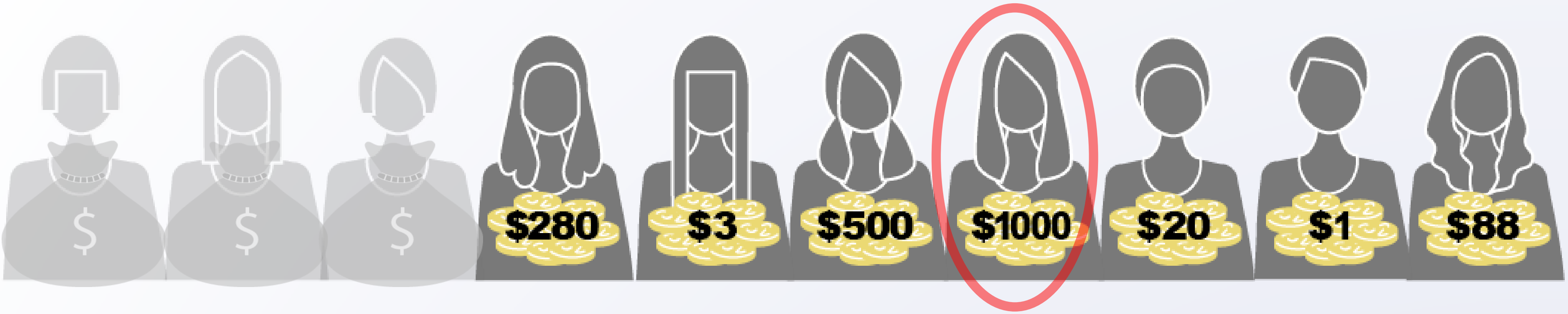
最も持参金の高い花嫁を選びたい

花嫁候補は持参金を申し出る

結婚するかどうかはその場で判断する
袖にした候補に後から結婚を申し込むことはできない

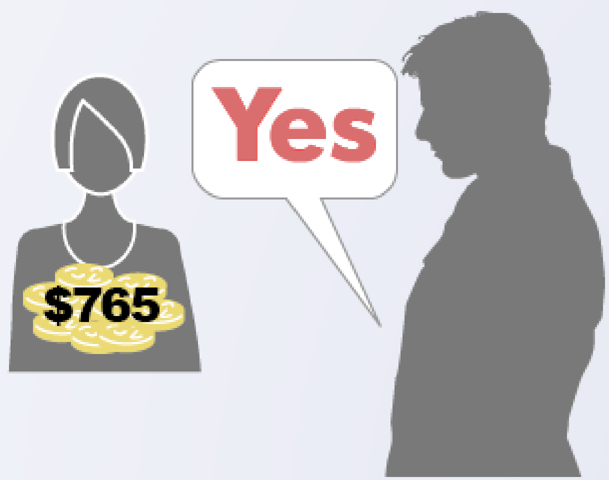


- 花嫁候補 n人（nは既知）
- 花嫁候補は持参金を持ち、その額は1位からn位まで重複なく順位付けできる
- 1人ずつとお見合いする
- 最も持参金の高い花嫁を選びたい
- 花嫁候補は持参金を申し出る
- 結婚するかどうかはその場で判断する
  袖にした候補に後から結婚を申し込むことはできない



一番高い候補ではなかった…… ✕ 残念

あなたなら、どんな戦略をとりますか？



花嫁候補 n人（nは既知）

花嫁候補は持参金を持ち、その額は1位からn位まで重複なく順位付けできる

1人ずつとお見合いする

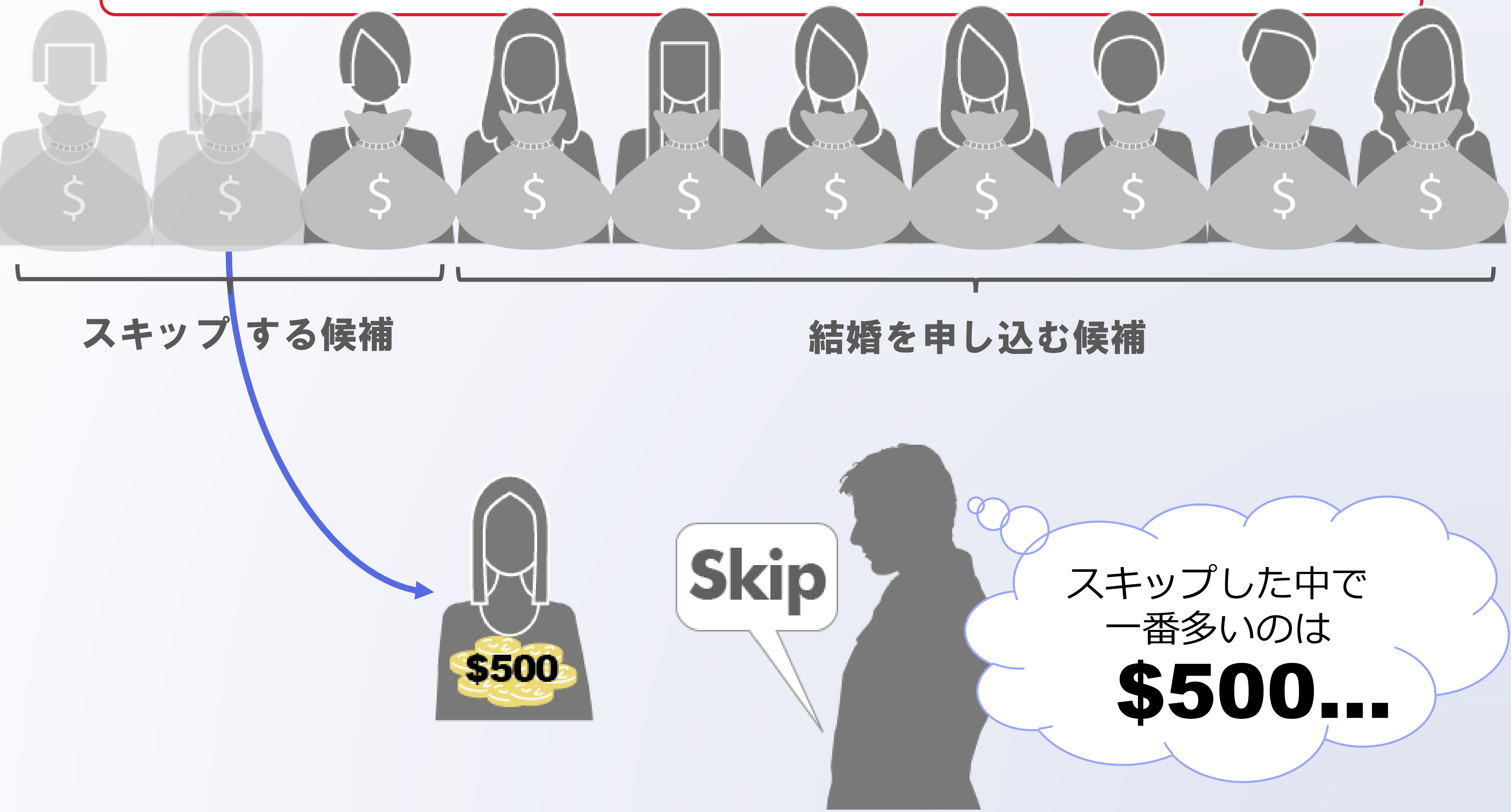
最も持参金の高い花嫁を選びたい

花嫁候補は持参金を申し出る

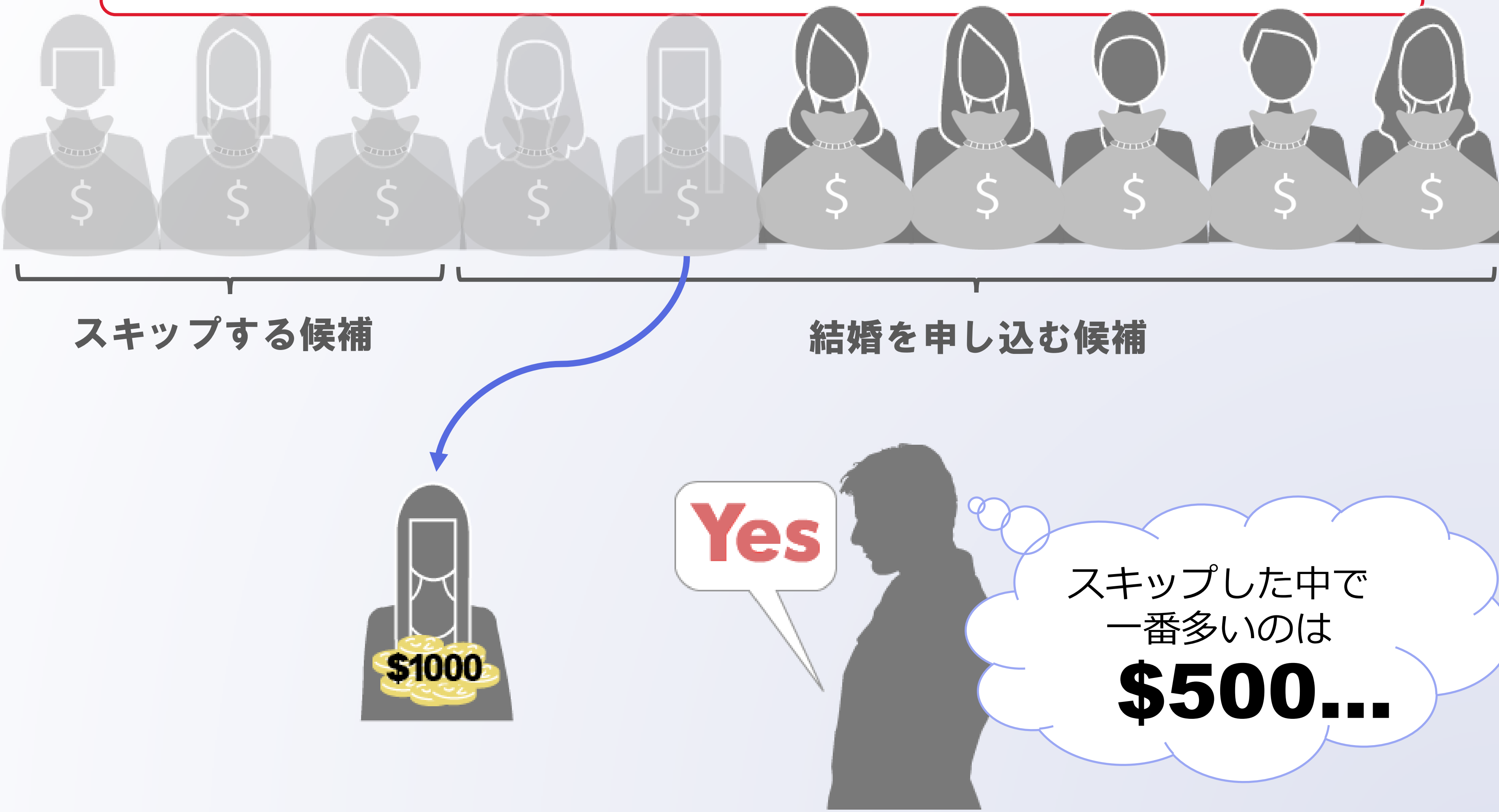
結婚するかどうかはその場で判断する
袖にした候補に後から結婚を申し込むことはできない

TOKYO GAS

最適ポリシー
n 人の候補のうち、最初の m 人は金額のみ確認し、無条件でスキップする。
m+1人以降のお見合いで、それまでの最大値より大きい金額が出現したら結婚を申し込む。この例では n=10, m=3

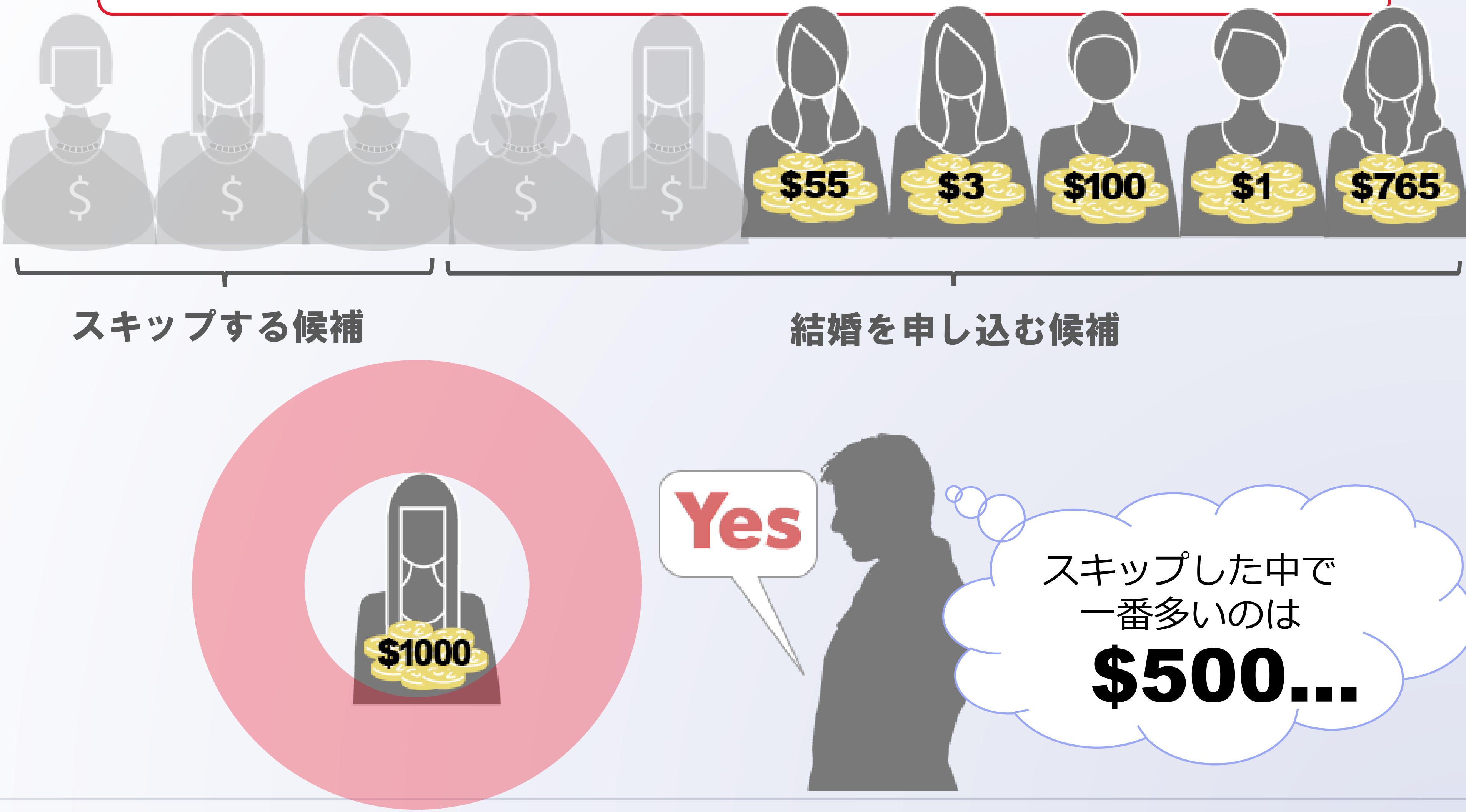


最適ポリシー
n 人の候補のうち、最初の m 人は金額のみ確認し、無条件でスキップする。
m +1人以降のお見合いで、それまでの最大値より大きい金額が出現したら結婚を申し込む。この例では n =10, m =3



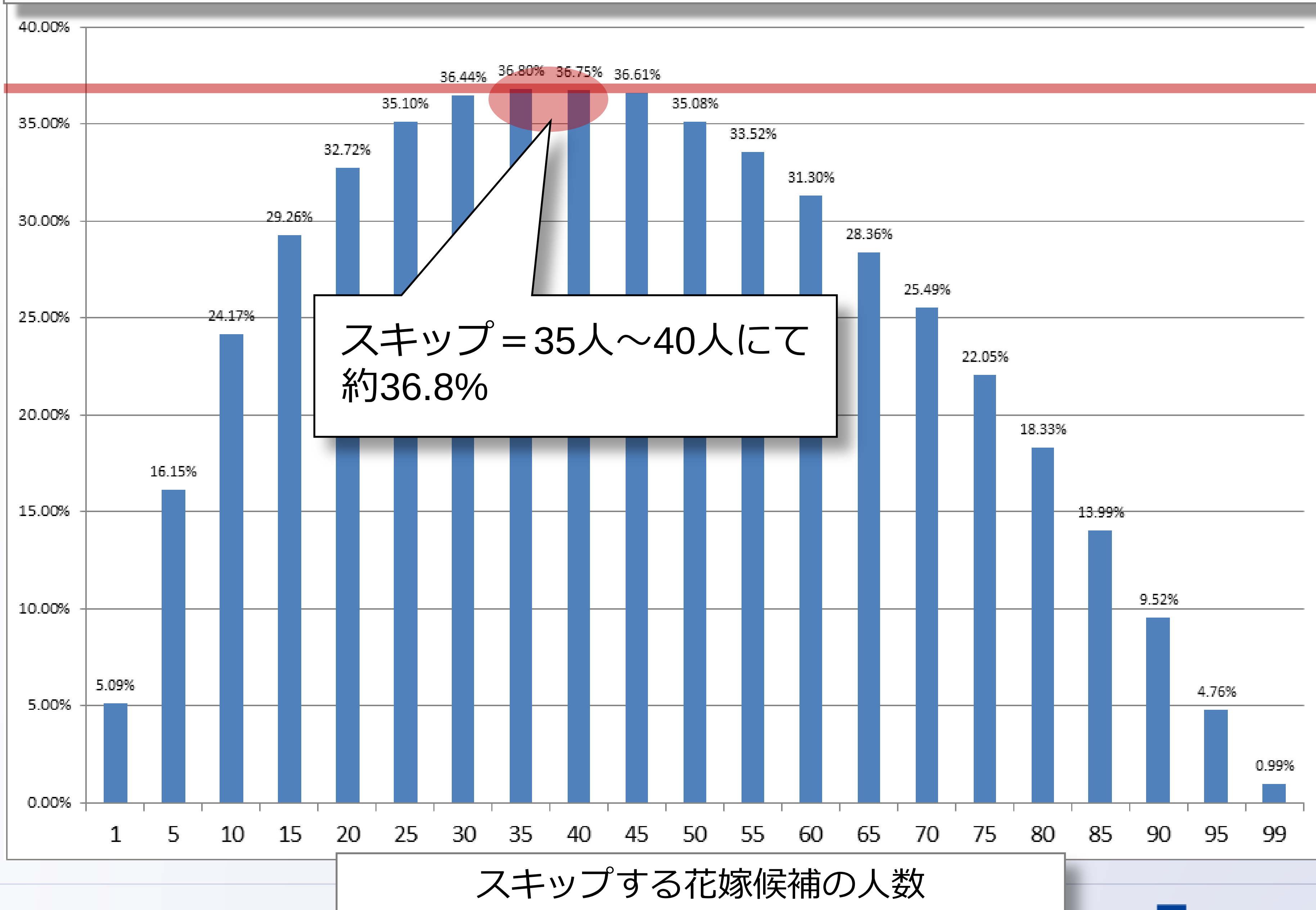
最適ポリシー

n 人の候補のうち、最初の m 人は金額のみ確認し、無条件でスキップする。
m+1人以降のお見合いで、それまでの最大値より大きい金額が出現したら結婚を申し込む。この例では n=10, m=3



TOKYO GAS

花嫁候補 n = 100名、シミュレーション回数 N=10,000回の結果



ii. 勝率アップの戦術：持参金問題

最適ポリシー

花嫁候補者がそれまでお見合いした過去のどの候補者よりも多い持参金額を示した場合には、その候補者と結婚する。

この問題の最適ポリシーの特徴

（特に n が大きい場合）最適ポリシーでは最初の n / e 人の候補者をスキップし（ e はネイピア数（自然対数の底：2.71828･･･））、それ以降にお見合いした花嫁候補者がそれまでよりよいと判断したら採用する。

n が大きくなると最善の応募者を選択する確率は $1/e$ 、すなわち約 37% になる。

応募者が100人でも100,000,000人であっても、最適ポリシーに従えば約 37% の確率で最善の応募者を選択できる。

TOKYO GAS

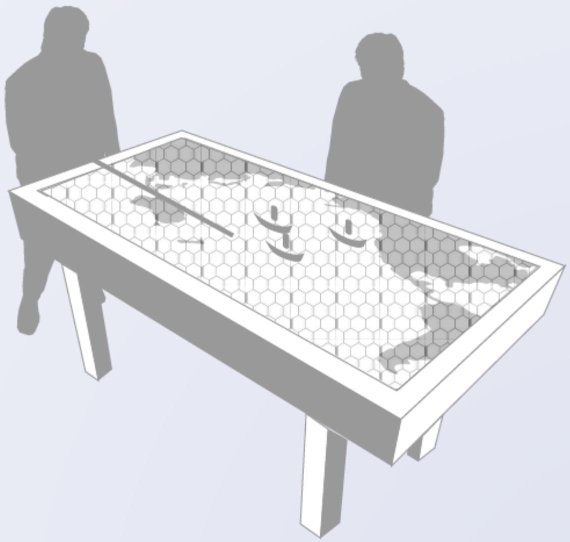
② 良い意思決定

iii. シナリオプランニング

太平洋戦争前の総力戦研究所のシミュレーション

- 日本の敗戦を予測

『昭和16年夏の敗戦』（猪瀬直樹）



② 良い意思決定

ⅳ. 帰納的手法（AI）

Googleの囲碁ソフト（AlphaGo)：
ディープラーニング

- 二十万のプロの実践棋譜を使って学習
- 李世乭九段との対戦で、新手を連発
  ⇒単に棋譜を学習しているわけではない
- 素人の棋譜をいくら学習させても、強いプログラムにはならない
  価値のある元ネタである必要がある

写真提供：DeepMind
https://sites.google.com/a/pressatgoogle.com/alphago/

TOKYO GAS

② 良い意思決定

ⅳ. 帰納的手法（ビッグデータ解析）

（省略）

ⅴ. 演繹的手法

前述例：KKT、MIPS

ⅵ. 実際には…

方法論が適用できるケースは稀で、
ほとんどの意思決定は**勘と経験と度胸**

③ ビジョンの提示

ビジョンメイクは、勘と経験と度胸

プロ棋士　羽生善治へのインタビュー

“基本的に手を読んでいるが、中盤の難しい局面では手が読めないことも結構あるらしい。そのときに何が起こるかというと、「理由はわからないが、次にここに指せば勝てるような気がする」と感じるのだそうです。

出典:『役に立つ勉強法って？１４池谷裕二～記憶とひらめき・直感』
http://web.kansya.jp.net/blog/2009/08/882.html

4. 勘と経験

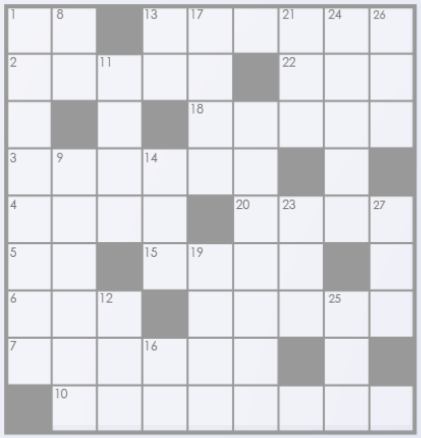
① 閃きと直感

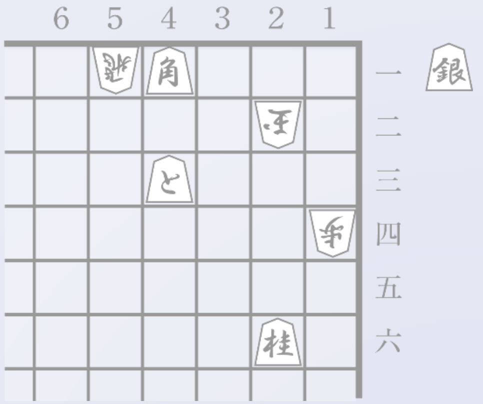
閃きの例

- 数学の問題
- 詰将棋
- クロスワードパズル

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$





TOKYO GAS

① 閃きと直感

直感の例

・ブーバとキキ

どちらがブーバでどちらがキキか？

・囲碁将棋の中盤

TOKYO GAS

① 閃き と 直感

- 閃き は、閃いた答えが正しいことを検証できる
- 直感 は、正しそうだけれども決して検証できない

- 数理解析によって得られる答えは、人間の脳では思いつかないけれども、正しいことを事後的に検証できるという意味では、閃き の領域
- 勘と経験は 直感

TOKYO GAS

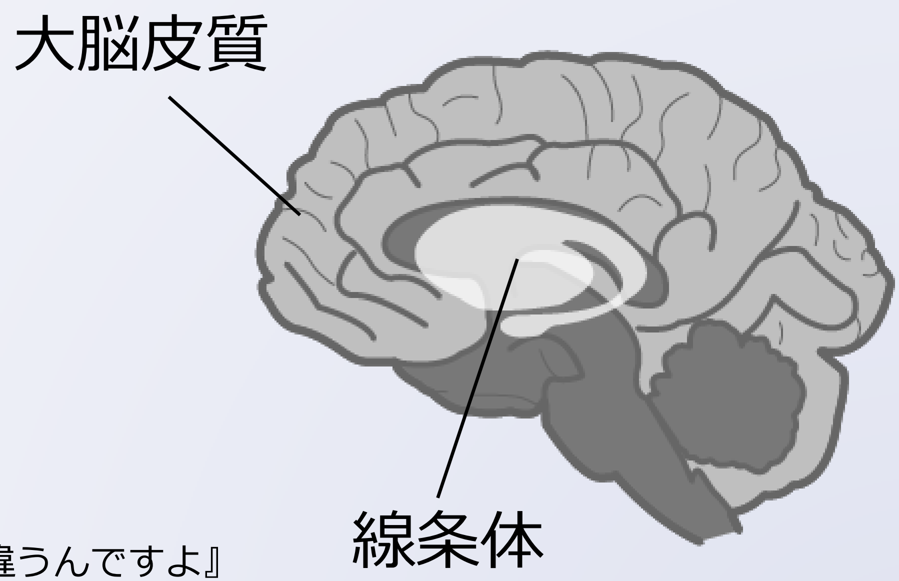
大脳皮質と線条体

閃き は大脳皮質、

直感 は線条体（運動記憶）

運動記憶 ＝ 経験

∴ 直感 ＝ 勘＋経験



出典：池谷裕二『直感とひらめきって、まったく違うんですよ』
http://bigissue-online.jp/archives/1015789080.html

再掲. 革新的リーダーの条件

（参考：クレディセゾン　林野宏氏）

① 夢や未来を描き、語り続ける力　直感

② 自ら価値創造できる力　直感

③ 変化への対応力・革新力　閃き　直感

④ 考え抜き、結果を出す力　閃き

⑤ 人を惹きつけ、動かす力　直感

⑥ スピーディな意思決定・決断力　閃き

⑦ 品格・高潔さ

数理解析が役立つ

② 良い直感を養おう

- 「直感」は脳の能力のひとつで、線条体から生じる
- 線条体は大人になっても成長する
- 直感とは、自分でも理由がわからない
- 「ただなんとなくこう思うんだよね」
という漠然とした感覚
- そんな曖昧な感覚でいて直感というのは結構正しい
- この点が「ヤマ勘」や「でたらめ」とは決定的に異なる

アップルの創始者　スティーブ・ジョブズ

“ 何より大事なのは、自分の心と直感に従う勇気を持つことです。
あなた方の心や直感は、自分が本当は何をしたいのか、もう知っているはず。
ほかのことは、二の次で構わないのです。

出典：スティーブ・ジョブズ「スタンフォード大学卒業式辞（2005年６月）」より

「**良い直感**を養う」べき

プロ棋士・羽生善治

“ 直感は、本当になにもないところから湧き出てくるわけではない。
考えて考えて、あれこれ模索した経験を前提として蓄積させておかねばならない。
また、経験から直感を導き出す訓練を、日常生活の中でも行う必要がある。
もがき、努力したすべての経験をいわば土壌として、そこからある瞬間、生み出されるものが直感なのだ。

出典：『直感力』羽生善治

- 直感は、
  考えに考えた成功体験の積み重ねから
  しか生まれない
- 数理解析は、
  - 400m自由距離リレー
  - アリ･ババのニシン
  - モンティ･ホール
  - 持参金問題
  - 総戦力研究所

・
・
・

質の良い成功体験に導いてくれる

数理解析は良い経験の積み重ねに有効

数理解析を通して良い直感を養おう

ご清聴ありがとうございました