## Cognitive ability and observed behavior in laboratory experiments

Nobuyuki Hanaki Université Côte d'Azur, CNRS, GREDEG (ISER, Osaka University, from Sep 2019)



- ・限定合理的な意思決定主体の相互作用のマクロ な含意は何か?
  - 近年、実験・行動経済学がミクロレベルで明らかにしてきた人間の限定合理的な行動のマクロ経済学的な含意は何か?
  - そもそも、ミクロレベルの限定合理的な行動が、 個々の相互作用を通じて打ち消されず、マクロレベ ルでも重要になりうるのは、どういう状況下か?

## 今日の話

- 実験参加者の認知能力と実験室で観察される行動との関係に関するいくつかの実験結果の紹介
- ミクロレベルの限定合理的な行動が、個々の相互作用を通じて打ち消されず、マクロレベルでも重要になりうるのは、どういう状況下か
  - 認知能力 -> 認知階層モデル -> Strategic Environment Effect
- •実験参加者プール別の認知能力の差とその影響
- 参加者データベースの構築に関しての提言

実験参加者の認知能力と実験室で観察される行 動との関係に関するいくつかの実験結果の紹介



- •実験への参加者をA組とB組の二つのグループ に分けます。
- ・以下ではA組の参加者をA、B組の参加者をBとします。
- •A一人とB一人の二人一組でゲームをします。
  - AはLかRのどちらかを
  - BはUかDのどちらかを選びます。

ゲーム

- AがLを選ぶと、BがUかDのどちらを選んでも、
   Aは850円、Bは300円獲得します。
- AがRを選び、BがUを選ぶと
  - Aは650円、Bは475円獲得します。
- AがRを選び、BがDを選ぶと
   Aは1000円、Bは500円獲得します。
- あなたはAです。LかRのどちらを選びますか?

Hanaki, Jacquemet, Luchini, Zylbersztejn (2016, TD)

- •10回繰り返し
- •毎回、別の対戦相手
  - 一回の実験の参加者20名、10人のA,10人のB
- 各回の後、参加者は自分がその回獲得した利得のみ知らされる。
- 実験の最後に、10回中の1回が無作為に選ばれて謝金の対象となる。
- •利得は、ユーロにて表示
  - 850円 = 8.50 ユーロ
  - 350円=3.50 ユーロ等
- 実施: 2014年2-3月パリ大学実験経済学ラボ

# Rを選んだAの割合 (N=30)



# Rを選ばない理由?

	L	R
	3.00,	4.75,
U	8.50	6.50
	3.00	5.00,
D	8.50	10.00

- DはBにとって支配戦略
  - Rを選ぶ方が利得が高い
- ・だが、BはDを選ばないかも しれない
- 相手の行動の不確実性の影響
  - もし、BがUを選ぶ確率が高ければ、Lを選ぶ方が期待利得は高い。

• Bが確実にDを選ぶと分かっ ていれば、Rを選ぶはず。

- 実験:続き
- 参加者はA
- ・Bは、「コンピュータープログラムは、毎回必 ずDを選びます。」
- 他のルールは、先ほどと同じ。

## Rを選んだAの割合



赤:コンピューター(ロボット)相手(N=40)、青:人間相手(N=30)

# Rを選んだAの割合。別の利得表



赤:コンピューター(ロボット)相手(N=40)、青:人間相手(N=30)

# 認知能力の影響?



出所:The International Cognitive Ability Resource Team (2014) (https://icar-project.com/)

- 認知能力の測定
- Raven's Progressive Matrix (RPM) Test (advance version)
  - 全部で48問(30分)
  - 内、16問(10分)を使用
- ゲーム実験終了後に実施
- RPM テストの得点に応じて 140人を3グループに分割
- Score <7 : Low
- 7 <= Score <= 10: Medium
- 10< Score : High





出所:Hanaki et al. (2016) Fig. 5

赤:コンピューター(ロボット)相手、青:人間相手





- 人間相手では、3グループの間に差はなし。
  - Low vs Medium (p=0.288), Low vs High (p=0.599). Medium vs High (p=0.695). Two-sided bootstrap, KS
  - ·コンピューター相手:Rを選んだ回数はLOWが有意に低い。
    - Medium and Highの間に差はなし

# Hanaki et al. (2016, TD)のまとめ

- Coordination Failure の理由
  - 参加者本人の誤解、間違い
    - 本人の非合理性
  - 他の参加者の行動の不確実性への反応
    - 他の参加者の行動不確実性
- Lowグループ:
  - 主に本人の非合理性
- Medium and High グループ:
  - 他の参加者の行動不確実性の影響も大
- 同様の結果が資産市場実験(バブル実験)でも観察される
  - Akiyama, Hanaki, Ishikawa (2017, EJ)

#### Akiyama, Hanaki, Ishikawa (2017, EJ)

- Smith et al. (1988, ECMA)の資産市場バブル実験
- •N人の参加者がT期間にわたって資産を取引する
- 初期保有
  - 各参加者にA単位の資産と、MECUの仮想貨幣
- 各期の最後に
  - 資産一単位あたり、配当D<sub>t</sub> ECUが支払われる
  - ・配当前の現金保有に対して、利子率r<sub>t</sub>%で利子収入が発生する
  - 保有する資産と仮想貨幣は次の期に持ち越される
- T期終了後
  - 資産は、一単位あたりBECUに換算される
  - •参加者は、最終的に保有するECUに基づいて謝金を受け 取る
- 最も単純な設定r<sub>t</sub>=0, B=0, D<sub>t</sub>=d >0 for all t.
  - FV<sub>t</sub> = (T-t+1) d

# Akiyama et al. (2014, JEDC)

- T=10. N=6. D<sub>t</sub>=12, B=0, r=0
- 初期保有: 4 units of asset + 520 ecus of cash
- Call market
- ・同じグループ、同じ設定で3回繰り返し



出所:Akiyama et al. (2014, Fig. 1)

#### バブルはなぜ起こる?

- 個々の参加者の実験設定に関する誤解や非合理 な行動(参加者本人の非合理性)
  - Lei et al. (2001, ECMA), Kirchler et al. (2012, AER)
- 他の参加者の行動や合理性に対する不確実性 (他の参加者の行動不確実性)
  - Smith et al. (1988, ECMA), Cheung et al. (2014, EER)
- それぞれの影響の度合いは?
- ・参加者の認知能力と関係する?

# Akiyama et al. (2017, EJ)の実験

- T=10. N=6. D<sub>t</sub>=12 ECU. B=0. r=0
- 初期保有: 4 asset + 520 ecu
- Call market
- 実験設定



- 被験者は、自分が参加しているか市場に関しての情報 を受け取る
- •1H5Cに参加する被験者は、コンピューターの行動に関しての情報を受け取る
- •各設定での被験者の第1期開始前の価格予測を分析

# 配当とFVに関する情報

#### Next Value 一覧

	残り期間	配当	Next Value(単位: マルク)		
第1期 終了時	9	12		108	
第2期 終了時	8	12		96	
第3期 終了時	7	12		84	
第4期 終了時	6	12		72	
第5期 終了時	5	12		60	
第6期 終了時	4	12		48	
第7期 終了時	3	12		36	
第8期 終了時	2	12		24	
第9期 終了時	1	12		12	
第10期 終了時	0	12		0	

- 第1期開始直前のNext Valueは残り期間10期間×12 マルク=120マルクと なります。
- ・ 第10期が終了し、配当が支払われた後、株の価値はOになります。

#### コール市場と取引価格

- 各参加者は、各期、売り注文、買い注文をそれ
   ぞれ提出できる。
- •売り注文。(A<sup>i</sup>t, S<sup>i</sup>t)
  - A<sup>i</sup>t:最低売却価格
  - S<sup>i</sup>t:売却希望単位
- 買い注文。(B<sup>i</sup><sub>t,</sub> D<sup>i</sup><sub>t</sub>)
  - B<sup>i</sup>t:最大購入価格
  - D<sup>i</sup>t:購入希望単位
- ・提出された注文を集約して、市場均衡価格が決まり、すべての取引はその価格で行われる。

# 1H5Cでのコンピューターの振 る舞い

コンピューターは各期の取引の際の最大購入価格および最小売却価格のいずれも、各期開始直前のNext Valueと等しい価格で注文を出します。

#### 価格予測

- 各期の最初に、各参加者に、残りのすべての期の市場均衡価格を予測してもらう。
  - 第1期:t=1,2,3,..,10期の価格を予測
  - 第2期:t= 2,3,..,10期の価格を予測
- 予測が実際に実現した価格±10%以内に入れば ボーナス
  - BONUS = 0.5% x (価格±10%以内の入った予測の数)x
     (10期終了後に保有する現金の額)

実験デザイン

- •実験を完璧に理解した1H5Cへの参加者であれば、 毎期毎期、価格はFVに準じると予測する
  - •1H5Cにおける参加者の価格予測のFVからの乖離
    - 参加者本人の非合理性
- 実験を完璧に理解した6Hへの参加者であっても、
   他の参加者の行動不確実性のため、毎期毎期、価格はFVに準じると予測するとは限らない。
  - 6Hにおける参加者の価格予測のFVからの乖離
    - 参加者本人の非合理性
    - 他の参加者の行動不確実性
- 差をとることで、二つの影響を分離。
- 実験実施: 筑波大学実験室。2013年5-7月



一本のバットと一つのボールで合計11000円します。
 バットがボールよりも10000円高いとするとボールはいくらですか?

あるおもちゃを5つ作るのに5台の機械で5分かかるとすると、100台の機械で100個のおもちゃを作るのに何分かかるでしょうか?

ある池にスイレンの葉が浮かんでいます。それらの葉が池の表面を覆う面積は毎日2倍になっていきます。
 葉が池全体を覆い尽くすのに48日かかるとすると、
 池の半分を覆うのに何日かかるでしょうか?

資産市場実験終了後に実施

分

結果: $RAFD_1^i = \frac{1}{10} \sum \frac{|f_{1,p}^i - FV_p|}{\langle FV \rangle}$ 

	CRT score < 2	CRT score =2	CRT score =3
1H5C (N=101)	27	26	48
6H (N=72)	25	26	21



# 結果: CRT=3 vs CRT < 2. RAFDの分布

**6H** 





黒: CRT=3。灰色点線: CRT < 2

出所:Akiyama et al. (2017, Fig 3)

6Hで観察される予測のFVからの乖離の理由は、 参加者の認知能力によって異なる可能性大

#### ミクロレベルの限定合理的な行動が、個々の相 互作用を通じて打ち消されず、マクロレベルで も重要になりうるのは、どういう状況下か

認知能力 -> 認知階層モデル -> Strategic Environment Effect

## 認知階層モデル(Nagel 1995 AER, Camerer et al. 2004, QJE等)との関連

- •認知階層モデル
  - Level-0: ランダムな行動
  - Level-1: Level-0に対してbest or better reply
  - Level-K: Level-OからK-1の行動に対してbest or better reply
- 個々の認知能力の違いで、実験で観察される行動の「理由」が異なる
  - 認知能力の低い参加者
    - 参加者本人の非合理性 (Level-0)
  - 認知能力が高い参加者
    - ・ 他の参加者の行動不確実性を考慮(Higher levels)

# 認知能力の異なる参加者の相 互作用の影響.

- "The strategic environment effect in beauty contest games" Hanaki, Koriyama, Sutan, Willinger (2019, GEB)
  - ミクロレベルの限定合理的な行動が、個々の相互作用を通じて打ち消されず、マクロレベルでも重要になりうるのは、個々の戦略に戦略的補完性がある場合であることを、美人投票ゲームの理論分析と実験を通じて示した。
- Strategic environment effect (SEE)
  - 実験で観察される参加者の行動のナッシュ均衡からの乖離の大きさが、参加者の戦略に戦略的補完性がある場合のほうが、戦略的代替性がある場合よりも大きくなる場合、SEEが生じると呼ぶ

## 美人投票ゲーム

- •N人の参加者一組の同時手番ゲーム
- 各人、[L,H]の中から数字を選ぶ(x<sub>i</sub>)
  - L=0, H=100
- 各組の中で、ターゲットに最も近い数字を選らんだ参加者が勝者となり、賞金を受け取る。
  - 賞金は8ユーロ
  - 勝者が複数いる場合は、一人がランダムに選ばれる。

#### Hanaki et al. (2019, GEB)

- •二つの美人投票ゲーム
  - Sutan and Willinger (2009, JEDC)
- 参加者iのターゲット
- BCG+
  - Target<sub>i</sub> = 20 + (2/3)\* (i以外の参加者の選んだ数の平均)
- BCG-
  - Target<sub>i</sub> = 100 (2/3)\* (i以外の参加者の選んだ数の平均)
- BCG+: 参加者の戦略間に戦略的補完性がある
- BCG-: 参加者の戦略間に<mark>戦略的代替性</mark>がある
- N (グループの大きさ) が十分に大きければ
  - ・理論的にはN>2,実験ではN>4
- この美人投票ゲームにおいてはSEEが生じることを示した。

#### 段階別の最適反応



実線:BCG+。点線:BCG-

BCG+: Target<sub>i</sub> = 20 + (2/3)\* (i以外の参加者の選んだ数の平均) BCG-: Target<sub>i</sub> = 100 - (2/3)\* (i以外の参加者の選んだ数の平均)







出所:Hanaki et al. (2019, Fig 3)

# 直感的な説明(より一般的な証明は論文を参照)

- 認知階層モデル
  - Level 1は、Level-0に対して最適反応
  - Level 2は、Level-0,1に対して最適反応(それぞれ1/2の確率で存在 すると仮定)
  - Level 3は、Level -0, 1, 2に対して最適反応 (それぞれ1/3の確率で存 在すると仮定)
- 例:Level -0 がBCG +, BCG-でそれぞれ100を選ぶとLevel -K >0が予想す るとする

		Level -1	Level-2	Level-3
BCG+	x <sub>i</sub>	86.666	82.222	79.753
$Target_i = 20 + (2/3)^* < x_{-i} >$	x <sub>i</sub> -60	26.666	22.222	19.753
BCG-	x <sub>i</sub>	33.333	55.555	58.025
$Target_i = 100 - (2/3)^* < x_{-i} >$	x <sub>i</sub> -60	26.666	4.445	3.025

#### Hanaki et al. (2019, GEB)

- ・ミクロレベルの限定合理的な行動が、個々の相互作用を通じて打ち消されず、マクロレベルでも重要になりうるのは、個々の戦略に戦略的補完性がある場合である
- •戦略的補完性がある状況の例:
  - 資産市場
  - Coordination
  - マクロ経済?

今後数年のプロジェクト

- JSPS国際共同研究加速基金(帰国発展研究) 採択 課題
  - 「マクロ経済理論の再考に向けた実験・行動経済学 分析」(代表:花木伸行)

募集(9月の阪大赴任後に公募予定): ポストドクター研究員一名(2020年4月から24ヶ月)

#### 実験参加者プール別の認知能力の差とその影響



黒:N=280、灰色:N=235、黒点線:N=115、青:N=192、水色点線:N=100、緑実線:N=140、緑点線:N=244

#### 参加者プールの違いの影響

- 実験結果の再現性
  - 例:繰り返しゲームでの協力頻度
  - •例:資産市場実験での価格のFVからの乖離
- •国際比較実験の結果の解釈
  - 文化の違い vs 参加者プールの違い?

# 認知能力 in 繰り返しゲーム

- Proto et al. (2019, JPE, forthcoming)
  - ペア間の認知能力のマッチングの違いで、繰り返しゲームでの協力行動の頻度が異なる
  - 認知能力がそれぞれ高いペアのほうが、それぞれが低い認知能力のペアよりも協力しあう。
- RPMテスト(30問、制限時間1問あたり30秒)に基づい たグループ分け
  - セッション内でスコアの
    - 上位半分(High, average score around 20)vs
    - 下位半分(Low, average score around 14)
  - マッチング
    - High High pair
    - Low Low pair
    - Random
  - Repeated game with indefinite horizon
  - 繰り返しゲーム間では、ペアはグループ内で組み替え

# 結果: PDゲーム(継続確率0.75) 5回繰り返し中の Cの平均頻度



D 50, 12 25, 25

# 結果: PDゲーム(継続確率0.75) 5回繰り返し中の Cの平均頻



# 認知能力と資産市場取引

- Bosch-Rose et al. (2018, EE). N> 350.
  - 実験1: CRT, BCG, Hit-60. → 複合指標
    - High. 上位 1/3. Low. 下位 1/3
  - 実験 2 Smith et al (1988 ECMA)の資産市場実験:
    - All High vs All Low



出所:Bosch-Rose et al. (2018 Fig 1)

• 似た結果: Hanaki, Akiyama, Funaki, Ishikawa (2015, 2017, 2019)

#### 国際比較実験の結果の解釈の例

- Herrmann et al. (2008, Science) and Gächter et al. (2010, Phil. Trs. RSB)
  - 公共財供給ゲーム。罰あり vs 罰あり
  - 16 cities (15 countries) around the world.
  - ・全ての参加者は大学の学部生。
  - 罰あり、罰なし共通
    - 4人一組
    - •10回繰り返し。
    - 各回:各自20ポイントを所持
    - 20ポイントから公共財に投資(X<sub>i</sub>)
    - 利得:  $20 X_i + 0.4 \sum X_j$

# Herrmann et al. (2008, Science) and Gächter et al, (2010, Phil. Trs. RSB)

- 罰ありのみ
  - 投資ステージ終了後、各回終了時、4人それぞれの投資額 がわかる
  - 費用を払って他のメンバーの利得を最大30ポイント減ら すことができる。
  - •3ポイント減らすために、1ポイントの費用を支払う。
  - 罰則適用後の利得は最低でも0
  - ただし、そこから、自分が他の参加者に課した罰則の費用は、差し引かれる。
- グループは固定:
  - 罰則なし(10回)→罰則あり(10回)





出所:<u>Gächter</u> et al 2010 Fig. 1

#### 阪大社研ラボの現在進行中の取り組み

- 舛田武仁氏、犬飼佳吾氏と共同
- オンライン実験+アンケートを通じて、以下の指標
   等で被験者データベースを補完中
  - 認知能力
    - CRT (7問バージョン)
    - The International Cognitive Ability Resource Team (2014) (<u>https://icar-project.com/</u>)より
      - 3-D rotation and Matrix reasoning
  - パーソナリティ指標
  - 心の理論 (Theory of Mind)指標.
  - ・リスク選好
- 指標別の参加者募集が将来的に可能!
- 国内外の他のグループも実施すると、実験の再現性、 国際比較の際の参加者プールの差による問題が軽減 される。







- IUF: Junior membership. 2010-2015
- ANR-JSPS (CHORUS) Behavioral and Cognitive foundations for agent-based models (BECOA, 2011-2014)
- ANR ORA+. Behavioral and Experimental Analyses in Macro-Finance (BEAM. 2016-2019)
- ANR Idex. UCA JEDI







# ありがとうございました。

nobuyuki.hanaki@univ-cotedazur.fr nhanaki@gmail.com