

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフト
と差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその
改良

おわりに

ポテンシャルゲームを用いたリスク選択の 認知モデルアレの入りにおける交差的注目 の実証データの再検討

木下大輔

富山県立大学 電子・情報工学科

June 18, 2021

はじめに

経済学及びゲーム理論では、リスク下の合理的選択を、確率予想と金銭的満足度の数値指標である気体効用の組合せることによって予測する。しかし現実の人々は必ずしも期待効用理論に従った選択をするとは限らない。近年ではこの伝統的な語り口にとらわれない行動経済学と呼ばれる分野が台頭してきた。

目的

事前調査アンケート96件を分析し、合理的選択の観点から認知的ネットワークモデル年で解釈することによって、リスク態度の変化を説明すること。

リスク態度シフトと意志決定者の認知との関連を明らかにする。

アレの

はじめに
交差的注目のネットワーク
ボテンシャルゲーム
プライスの定理
リスク態度シフトと差符号バタン
合理的な経路選択
予測モデルとその改良
おわりに

- (選択問題 1) A : 確率 80% で 400 万円、B : 確実な 300 万円
- (選択問題 2) C : 確率 20% で 400 万円、25% で 300 万円
- (選択問題 3) E : 確率 10% で 500 万円、確率 89% で 100 万円、1% で 0 万円、F : 確実な 100 万円
- (選択問題 4) G : 確率 10% で 500 万円、確率 11% で 100 万円

Table 1: アレの背理の追試結果。T は無差別回答を表す。

選択問題 1&2		C	D	T	計	選択問題 3&4		G	H	T	計
A		12	11	2	25	E		9	35	1	45
B		31	25	15	71	F		21	22	2	45
T		0	0	0	0	T		0	1	5	6
計		43	36	17	96	計		30	58	8	96

交差的注目のネットワーク1

4/20

先ほどの選択問題に付随する以下の質問を通して、リスク選択の認知的な要因を探るためのデータを実際に収集した。

はじめに

交差的注目のネットワーク

ボテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

設問

- 1 仮にあなたが A を選んで 400 万円当たって、B を選んだ人は 300 万円もらう。
- 2 仮にあなたが A を選んで 0 万円となるが、B 選んだ人が 300 万円もらう。
- 3 仮にあなたが B を選んで 300 万円もらい、A を選んだ人が 400 万円もらう。
- 4 仮にあなたが B を選んで 300 万円もらい、A を選んだ人が 0 万円となる。

上記の設問への回答は交差的注目の主観的な強さとなる。それぞれの有効枝に対する「気になる度」は以下の回答により得られたデータである。

評価(5段階)*
(Q1-2)

	1 大変気にかかる	2 やや気にかかる	3 どちらともいえない	4 あまり気にしない	5 ほとんど気にしない
ケース1	<input type="radio"/>				
ケース2	<input type="radio"/>				
ケース3	<input type="radio"/>				
ケース4	<input type="radio"/>				

図 1: 回答方法

交差的注目のネットワーク 2

5/20

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

図 2 の有効枝に対する気になる度をポテンシャルと呼ぶことにする。有効枝は矢印で視覚化され、矢印の向きは視点のポテンシャルが終点のポテンシャル寄も小さい値であることに対応する。

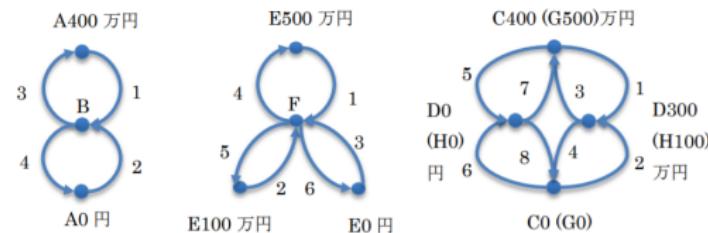


図 2: 交差的注目のネットワーク

図 2 における隣接枝のペアを注目の移動経路 (フロー) の基本的モデル要素とみなし、またポテンシャルの差の符号によってその枝のフローの向きが数値化される。枝 I と枝 J が隣接し、ポテンシャル差 $d(I, J)$ の符号 $s(I, J)$ が正であることは $I \rightarrow J$ の向きのフローを意味し、負であることは逆向きのフローを意味する。また差 0 のときは、当該枝ペア間のフローが左右いずれのネットワークでも抑制されることを意味する。

決定木

図 2a と図 2b に示す決定木はリスク態度シフトを数値化し、ポテンシャル差の符号で回帰した物である。

はじめに
交差的注目のネットワーク

ポテンシャル
ゲーム

プライスの定理

リスク態度シフト
と差符号パタン

合理的な経路選択

予測モデルとその
改良

おわりに

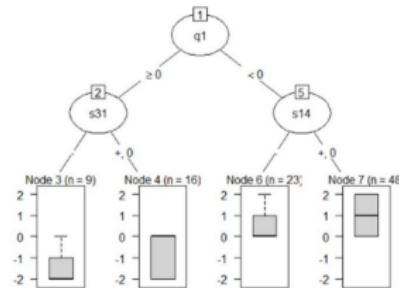


図 3: 選択問題 1 のポテンシャル
差の符号で回帰したリスク態度シ
フトの決定木

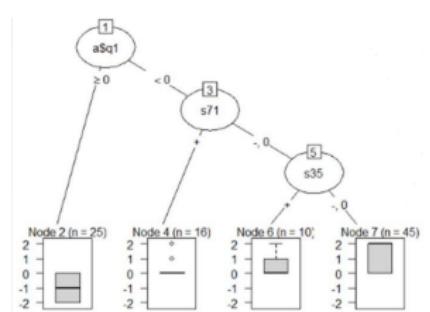


図 4: 選択問題 2 のポテンシャル
差を併用したリスク態度シフトの
決定木

ポテンシャルゲーム

7/20

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

ポテンシャルゲームとしての解釈

選択問題 1 には枝長さ 4 のサイクル (循環サイクル) が存在する。図 5 はそのネットワークフローであり、右と左では枝のフローの向きが逆である。

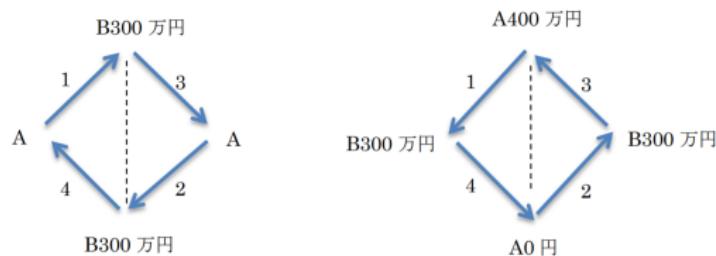


図 5: 選択問題 1 の交差的注目に対する二種類の循環フロー

ポテンシャルゲームとしての解釈

図 5 のネットワークモデルはポテンシャルゲーム、とくに混雑ゲームとして解釈することができる。ポテンシャルのより高い方から低い方に注目が移る傾向があると仮定されている。ポテンシャル間の順序の排除はリスク態度シフトと関連することが分かっている。

プライスの定理

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バダン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

交差的注目の実証データ 96 件中には $2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ というポテンシャルの降順順序が出現しない。この特定の順序は条件を鑑みれば排除は直感に反しないが 14,42 は共に図 5 の右側の場合に使う経路なので、前節の混雑ゲームでは説明が付かないと思われる。

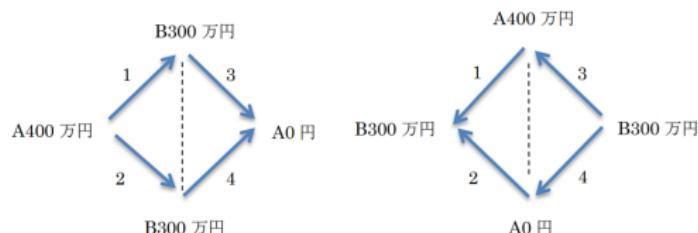


図 6: 選択問題 1 の交差的注目の 2 端子ネットワークへの変換

図 6 は図 5 の循環フローネットワークの下半分野枝の向きを反転させることによって得られる 2 端子フローネットワークである。始点と終点を 2 端子とするネットワークを、利己的な移動者の集団が経路選択する問題として解釈した場合、上下の中継地点をつなぐセグメントが新たに追加されることによって、かえって混雑が発生する現象は、プライスの背理として知られている。

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフト
と差符号パターン

合理的な経路選択

予測モデルとその
改良

おわりに

交差的注目の実証データにおける図 5 の隣接枝のポテンシャル値の差の符号パターンをとると、選択問題 1 と 2 (および選択問題 3 と 4) の間でのリスク態度のシフトとの関係がより明確になる (図 7-図 9 参照)。図 7-図 9 の 3 表の各列の変数は一致する。列 n_1 はリスク態度が保たれたデータ件数、列 n_2 はリスク態度シフトが起きたデータ件数であり、列 n は n_1 と n_2 の合計である。また $rshiftindex$ は非シフト率 n_1 / n である。符号パターンと図 5 の枝ペアとの対応関係は、 $S1 = 1\ 2$, $S2 = 1\ 3$, $S3 = 1\ 4$, $S4 = 2\ 3$, $S5 = 2\ 4$, $S6 = 3\ 4$ であり、値は矢線方向に、始点のポテンシャルから終点のポテンシャルを減じた差の符号である。また $G\ 1\ 3$ などとあるのは、非束縛の変数であり、 k は符号パターン内の非束縛変数の個数である。

リスク態度シフト と差符号パターン

r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13	r14	r15	r16	r17	r18	r19	r20
safe	0.2	10	2	8	4	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	4	neutral						
safe	0.2	10	2	8	4	0.305	0.300	0	0	0.300	0.310	4	neutral						
safe	0.22	9	2	7	2	0.300	0	0	-1	0.300	0.310	2	up						
safe	0.22	9	2	7	3	0.300	0	0	-1	0.300	0.310	3	up						
safe	0.25	8	2	6	1	0.300	0	0	0	0.300	0.310	0	neutral						
safe	0.25	8	2	6	2	0.300	0	0	0	0.300	0.310	2	up						
safe	0.25	8	2	6	4	0.300	0.300	0.300	0	0.300	0.310	4	up						
safe	0.25	8	2	6	5	0.300	0	0	0	0.300	0.310	5	up						
safe	0.25	8	2	6	6	0.300	0	0	0	0.300	0.310	6	up						
safe	0.25	8	2	6	7	0.300	0	0	0	0.300	0.310	7	up						
safe	0.25	8	2	6	8	0.300	0	0	0	0.300	0.310	8	up						
safe	0.25	8	2	6	9	0.300	0	0	0	0.300	0.310	9	up						
safe	0.25	8	2	6	10	0.300	0	0	0	0.300	0.310	10	up						
safe	0.25	8	2	6	11	0.300	0	0	0	0.300	0.310	11	up						
safe	0.25	8	2	6	12	0.300	0	0	0	0.300	0.310	12	up						
safe	0.44	9	4	5	3	0.300	0	0.300	0.300	0.300	0.310	2	up						
safe	0.44	9	4	5	4	0.300	-1	0.300	0.300	0	0.310	22	down						
safe	0.44	9	4	5	5	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	6	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	7	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	8	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	9	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	10	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	11	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	12	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	13	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	14	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	15	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	16	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	17	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	18	0.300	0	0.300	0.300	0	0.310	0	neutral						
safe	0.44	9	4	5	19	0.300	0	0.300	0.300	0									

図7: 選択問題1のポテンシャルの差と選択問題2におけるリフト態度シフト率: B選択者

図 8: 選択問題 1 のポテンシャルの差と選択問題 2 におけるリスク態度シフト率: A 選択者

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号パターン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

r1	rs	index	n	n1	n2	k	s1	s2	s3	s4	s5	s6	#d	#u	spin
safe	0	2	0	2	0	1	0	1	-1	1	1	0	0	0	neutral
safe	0	2	0	2	0	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	neutral
safe	0	2	0	2	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	neutral
safe	0.17	6	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	neutral
safe	0.25	4	1	3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	neutral
safe	0.25	4	1	3	0	1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	neutral
safe	0.75	4	3	1	0	1	0	-1	-1	-1	-1	1	0	0	down
safe	1	4	4	0	0	-1	-1	-1	-1	0	1	1	0	0	down
safe	1	2	2	0	0	-1	0	1	-1	-1	-1	0	0	0	neutral
safe	1	2	2	0	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	1	0	0	down
risk	1	2	2	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	neutral

図 9: 小人数のグループのポテンシャル差符号パターン. 抽出条件は非束縛変数なし

差符号パターンの観察から、図 6 のネットワークは図 10 に示す向きを持つと解釈できる。



図 10: ネットワークの向きと合理的経路選択

ネットワークモデル視覚化

選択問題間のリスク態度シフトの要因として、問題 1において S1～S3 が負であると選択問題リスクシフトが抑制された。また図 4 の決定木に現れる選択問題 2 のポテンシャルを用いた 2 経路のうち、7→1 は D の最低金額（0 円）から最高金額（300 万円）へ通じ、また 3→5 は逆に、D の最低金額から最高金額へと注目が移動する。図 11 はその 2 端子ネットワークモデルによる視覚化である。

図 11: 選択問題 2 の 2 端子フロー

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

本論文でいう合理的な経路選択とは、エージェントは上流と下流の2枝の差、いわば認知的勾配が最大の経路を選ぶとする仮定である。またその結果、ネットワークの上流ではポテンシャルの大きい方の枝が選ばれ、下流ではポテンシャルの小さい方の枝が選ばれる。

Table 2: 経路の合理的選択に基づくネットワークの向き

S1	S6	Up (1) / Down (-1)
-1	-1	S4 / S3
-1	1	S5 / S2
1	-1	S2 / S5
1	1	S3 / S4

合理的な経路選択

はじめに

交差的注目のネットワーク

ボテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号パターン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

終わりに

実際のデータでは同じネットワークに Up と Down の成分が混在する。実証データから交差的注目のネットワークの向きを判定すると、全 96 件中、8 件が Up のみ、38 件が Down のみであり、残り 50 件は混合 (neutral) である (図 7~11 の右端の 3 列は Down, Up それぞれの得票と推定結果である)。また実証データではリスク態度シフト率が高い方 (図 7 ~ 図 10 の上側) には表 3 の下 2 行に相当する S1~S3 が正であるパターンが支配的であり、リスク態度シフト率が低い回答 (図 7~9 の下側) には表 3 の上 2 行に相当する S1~S3 が負であるパターンがそれにとって代わる。

合理的な経路選択

図 12: 合理的経路選択のシミュレーション

図 12 の各行は、向きの基準となる S_1 と S_6 と各回答者の差最大となる枝ペアを $U_1 \sim U_6$, $D_1 \sim D_6$ から集めて 0-1 パターン化しており、平均非シフト率 $rate = N_1 / N$ の昇順で整列されている。 R_1 は選択問題 1 でのリスク態度、 F は推定された向きである。差符号の 6 変数 $S_1 \sim S_6$ は、Up 側 (0 以上) と Down 側 (0 以下) に分けて、 $U_1 \sim U_6$ と $D_1 \sim D_6$ とし、それぞれ経路選択 1, 非選択 0 とした。B 選択者 ($R_1=safe$) については、いくつかの例外は存在するが、非シフト率の低い側に up, 高い側に down が現れる傾向がある。A 選択 ($R_1=risk$) には異なる傾向が見られる。非シフト率の低い側に down, 高い側に neutral が多い。

はじめに

交差的注目のネットワーク

ボテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

交差的注目の実証データから、リスク態度シフトは概ねネットワークの向き（ спин）と連動していることが明らかになった。リスク態度シフトは、概ね、図 2 左の交差的注目ネットワークに沿って移動することによって生じるが、図 5a から分かるようにとくに B 選択の場合、1 2, 1 3, 1 4 が順方向 ($S_1, S_2, S_3 \geq 0$) であるか 2 3, 2 4, 3 4 がブロックされる ($S_4, S_5, S_6 = 0$) 場合、つまりプライス背理と同形の状況ではシフトしやすく、1 2 と 1 3 または 1 4 が逆向きでは抑制される傾向が見られる。本節では交差的注目ネットワークの向きを用いてリスク態度シフトを予測する。

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バダン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

表5に示されるように、スピンのみによる予測適合は6割程度である。これはあまりよい制度とはいえないが、全体的な傾向は捉えられている（ちなみに問題1の選択と12, 13, 14のポテンシャル差によるロジスティック回帰では64.5%，有意な係数は14の差のみである）。事実、件数が多いNeutralについての精度はまずまずである

Table 3: スピンによるリスク態度シフトの予測

向き(スピン)	選択問題1:A 選択	選択問題1:B 選択	合計
Down	1 : 1 (50.0%)	9 : 4 (69.2%)	10 : 5 (66.7%)
Up, Neutral	10 : 13 (43.5%)	22 : 36 (37.9%)	32 : 49 (39.5%)
予測の成否	14 : 11 (56.0%)	45 : 26 (63.4%)	59 : 37 (61.5%)

はじめに

交差的注目のネットワーク

ポテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

これまでの経験値情報や選択問題2のポテンシャルを用いることで成功率を上げることができる。表4はその結果を示している。B選択者ようにA選択者用のルールを修正すると同程度の精度がえられる。

Table 4: 選択問題2のポテンシャルも含めた修正予測モデル

向き(спин)	選択問題1:A選択	選択問題1:B選択	合計
Down	7 : 1 (87.5%)	25 : 12 (71.0%)	32 : 13 (71.1%)
Up, Neutral	8 : 13 (23.5%)	6 : 28 (22.5%)	10 : 41 (19.6%)
予測の成否	20 : 5 (80.0%)	53 : 18 (74.6%)	73 : 23 (76.0%)

合理的な経路選択

はじめに

交差的注目のネットワーク

ボテンシャルゲーム

プライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに

Table 5: 予測モデルの適合度

グループ	予測モデル			
	спинモデル	修正モデル	②,④の修正	ロジット
A	14 / 25 (56%)	20 / 25 (80%)	20 / 25 (80%)	18 / 25 (72%)
B	45 / 71 (63%)	53 / 71 (75%)	53 / 71 (75%)	55 / 71 (77%)
BDFG ; BDFT	2 / 9 (22%)	8 / 9 (89%)	5 / 9 (56%)	6 / 9 (67%)
最小-2 最大 1, 2 (B)	8 / 15 (53%)	14 / 15 (93%)	10 / 15 (67%)	9 / 15 (67%)
最小-2 最大 1, 2 (AB)	13 / 21 (62%)	19 / 21 (91%)	15 / 21 (71%)	10 / 21 (67%)
全件	59 / 96 (61%)	73 / 96 (76%)	73 / 96 (76%)	14 / 96 (67%)

表 5 から分かるように、前述の BDFG または BDFT の 9 件については 8 件 (A 選択 6 件を加えて 13 件) が予測成功する。これに対してロジットモデル (変数選択後のロジスティック回帰。各係数と有意性は付録 B を参照) では全体で 76%, BDFG (BDFT) で 6 件, A 選択を加えて 8 件が適合する。差の最大値 1 または 2 かつ最小値-2 の B 選択のグループ 15 件については 14 件、A 選択も含めた 21 件中 19 件が適合する (ロジットモデルではそれぞれ 10 件と 14 件)。このように、全般にロジットモデルを上回る適合度が得られた。

まとめ

- 実証データからアレの背理におけるリスク態度シフトの認知的要因が明かになった。
- リスク態度シフトは交差的注目ネットワークがブライス背理と同型になる状況でより起こりやすくなることが分かった。
- 予測モデルの精度はロジスティック回帰と同程度かそれ以上であり、なおかつプロスペクト理論で予測できない実証データの大部分を説明することができた。

はじめに

交差的注目のネットワーク

ボテンシャルゲーム

ブライスの定理

リスク態度シフトと差符号バタン

合理的な経路選択

予測モデルとその改良

おわりに