ボランティア・ジレンマの解消法：理論と実験※

秋元一心[1] 須藤健斗[2]　川越敏司[3]

September 2024

要旨

本研究では, ボランティア・ジレンマに関して, 戦略形と展開形を比較する実験を行った. 理論予測通り, 展開形の方がボランティア成功確率が高く, コーディネーションの失敗も少ないことがわかった. 構造推計の結果, 不平等回避では後悔回避の傾向が見られたが, 全般に QRE の方が不平等回避よりもフィットがよかった.

JEL classification: C72, C92, D74, H41

Keywords: ボランティア・ジレンマ, 質的応答均衡(QRE), 不平等回避, 実験室実験

※ 本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

[1] 公立はこだて未来大学システム情報科学部複雑系知能学科、b1021002@fun.ac.jp

[2] 公立はこだて未来大学システム情報科学部複雑系知能学科、b1021173@fun.ac.jp

[3] 公立はこだて未来大学システム情報科学部複雑系知能学科、kawagoe@fun.ac.jp

1. はじめに

本年初頭に起きた能登半島沖地震などの自然災害による被害の復旧においては, ボランティアの働きが欠かせない一方, 支援物資や支援内容については, 特定のものが重複したり, 特定のものが不足するなど, ボランティア同士がコーディネーションの失敗を起こすことがある. また, 他の誰かがやるだとうとお互いに牽制し合う結果, 必要な人数が集まらないといった事態も生じうる. こうしたボランティア活動にまつわるコーディネーション問題を分析する枠組みとして提案されているのがボランティア・ジレンマ（VOD）である(Diekmann, 1985). 従来, VOD については同時手番の戦略形ゲームにとって分析されてきたが, 本研究では, 逐次手番の展開形ゲームにすることで, コーディネーションの失敗を排除できることを理論的に示し, 実験室実験でもそのことを確証している.

本論文の構成は以下のとおりである. 次の第 2 節ではボランティア・ジレンマのモデルを説明する. 第 3 節では実験計画や手順, 実験データの分析について述べる. 最後に今後の課題を述べて論文を締めくくる.

2. モデル

ボランティア・ジレンマでは, ボランティア活動に参加する(C)かしない(N)かについて, n人のプレーヤーが同時に（戦略形）あるいは逐次に（展開形）に決定する状況を考える(Diekmann, 1985). もし, $m(\leq n)$人以上がCを選ぶと活動は成功し, 各プレーヤーは$V > 0$の便益を得る. それ以外の場合, 活動は失敗し, 各プレーヤーは$L \geq 0$の便益を得る. ボランティア活動に参加するためのコストは$K > 0$で, $V - K > L$を満たすものとする.

戦略形ゲームの均衡については, すでに Kawagoe et al. (2018)が完全な特徴づけを与えている. ちょうどm人がCを選ぶこと（協力均衡）が純粋戦略均衡であり, $m > 1$の場合は全員がNを選ぶこと（非協力均衡）もまた純粋戦略均衡になる（$m = 1$の場合は非協力均衡は存在しない）. また, pを各プレーヤーがCを選ぶ確率とすると, 混合戦略は以下の式(1)を解くことによって得られる.

$$\binom{n-1}{m-1} p^{m-1}(1-p)^{n-m} = \frac{K}{V-L} \tag{1}$$

$m = 1$および$m = n$場合は陽表的にpを求めることができる（命題 1）. $1 < m < n$の場合は, 式(1)の左辺に$p = \frac{(m-1)}{(n-1)}$を代入した値が右辺より大きければ 2 つの, 等しければ 1 つの混合戦略均衡が存在し, その値が右辺より小さければ混合戦略均衡は存在しない（命題 2）.

ボランティア・ジレンマの完備情報の展開形ゲームにおいては, 一般性を失うことなくプレーヤー1 から順に意思決定すると仮定すると, 最初の$n - m$人はNを選び, 残りの人はCを選ぶことがサブゲーム完全均衡となることが容易にわかる. したがって, 特に戦略形では非協力均衡が存在する$m > 1$の場合, 展開形にすることで協力均衡を実現できる. また, $m = 1$の場合, 誰か 1 人でもCを選べば協力均衡が実現されるが, 戦略形では誰がコストKを支払ってCを選ぶかに関してn通りの均衡が存在するため, コーディネーションの失敗が生じる可能性がある（これを傍観者効果という）. しかし, 展開形では均衡は一意であるため, コーディネーション失敗が生じる可能性はない.

そこで，本研究では，利得構造が同一のボランティア・ジレンマの戦略形と展開形とを実験室実験で比較することにより，展開形においてボランティア・ジレンマが解消されやすいのかどうかを検証することにする．

3. 実験

実験は 2024 年 7 月 11 日に，公立はこだて未来大学の学生 30 名を募集して対面で実施された．実験は被験者内計画で，被験者は戦略形と展開形の両方をプレーした．どのゲームでも$n = 4$であるが，戦略形と展開形それぞれで$m = 1$と$m = 2$の場合が設定された．また，利得に関するパラメータはすべてに共通で，$V = 600, L = 330, K = 120$であった．被験者はランダムに 2 つの部屋のどちらかに割り当てられ，順序効果を排除するため，それぞれ異なる順序でボランティア・ジレンマ・ゲームをプレーした．一方の部屋では，最初に戦略形で$m = 1$の場合，2 回目は展開形で$m = 1$の場合をプレーした後，残りの戦略形で$m = 2$の場合と展開形で$m = 2$の場合については，半分の被験者は前者を先に，残りの被験者は後者を先にプレーした．他方の部屋では，最初に展開形で$m = 1$場合，2 回目は戦略形で$m = 1$の場合をプレーした後，残りの戦略形で$m = 2$の場合と展開形で$m = 2$の場合については，半分の被験者は前者を先に，残りの被験者は後者を先にプレーした．被験者にはランダムに ID 番号が割り振られ，匿名の状況の下で，それぞれのゲームで毎回異なる人とグループにされた．また，繰り返しゲームの影響や富効果を排除するために，それぞれのゲームの結果はその都度開示せず，実験終了後に伝えた．ボランティア・ジレンマ実験終了後，リスクに対する態度や認知能力などの個人属性を測定する課題に答えてもらった後，謝金支払いを行った．実験時間は報酬支払いまで含めて約 80 分であった．ボランティア・ジレンマ実験での報酬の平均は 2102 円で，個人属性を測定する課題については一律に 600 円を支払った．

戦略形および展開形で，それぞれ$m = 1$と$m = 2$の場合にCを選ぶ割合について，混合戦略の予測および実験での選択頻度は以下の表の通りである．

	戦略形			**展開形**		
$\boldsymbol{m = 1}$	プレーヤー	予測	頻度	プレーヤー	予測	頻度
	全員	23.7%	50.0%	全員	25.0%	26.7%
				1	0.0%	14.3%
				2	0.0%	37.5%
				3	0.0%	0.0%
				4	100.0%	57.1%
$\boldsymbol{m = 2}$	全員	33.3%	46.7%	全員	50.0%	50.0%
				1	0.0%	42.9%
				2	0.0%	12.5%
				3	100.0%	57.1%
				4	100.0%	87.5%

戦略形と展開形における全員がCを選ぶ頻度については有意な差は見られなかった（フィッシャーの正確確率検定，$p = 0.269$）．しかし，戦略形の場合は，いずれの条件においても展

開形の場合Cを選ぶ割合が高く，展開形の場合は，$m = 1$ではプレーヤー４，$m = 2$ではプレーヤー３と４がCを選ぶ割合が高いものの，それ以外のプレーヤーもCを選んでおり，理論予測からの乖離が見られる．

次に，各グループでボランティアが成功した割合について調べる．ただ，実験で各グループの被験者のマッチングはランダムなため，たまたま同じグループになったメンバー次第では，成功確率が過剰（過小）に評価されてしまう．そこで，ブートストラップ法に従い，各被験者の実験での選択を固定したままグループのメンバー構成をランダムに変更した疑似データを 1000 個生成し，ボランティア成功確率を求めた．その結果は以下の表の通りである．

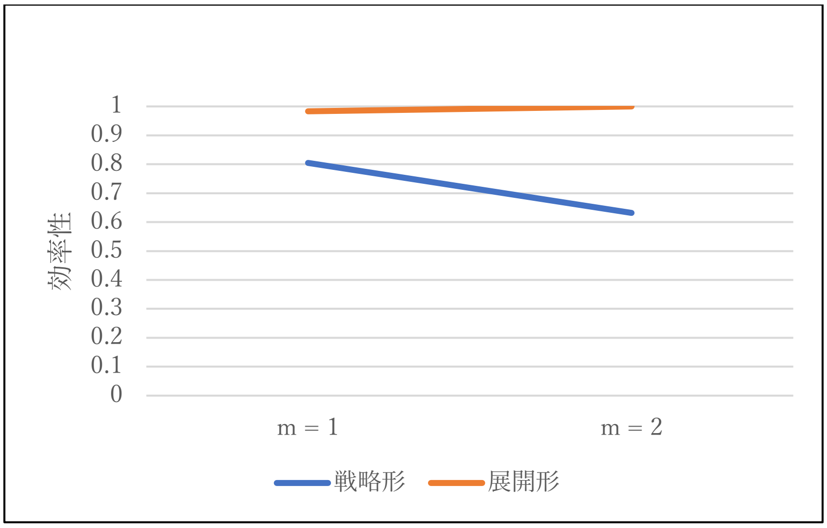
	戦略形	**展開形**
$\boldsymbol{m = 1}$	91.8%	95.5%
$\boldsymbol{m = 2}$	83.6%	91.8%

この結果から，$m = 1$と$m = 2$のどちらにおいても展開形の方がボランティア成功確率の高いことがわかる．特に，$m = 2$の戦略形の場合にボランティア成功確率はかなり低くなっている．いずれの場合も統計的に有意な差が見られた（カイ二乗検定，$p < 0.001$）．

このように，$m = 2$の戦略形の場合を除いては，ボランティア成功確率だけで見ると比較的高い割合となるが，実際には均衡におけるよりも多いプレーヤーがCを選んでおり，コーディネーションの失敗による非効率性が発生している．そこで，実験での４人のプレーヤーの利得合計をπ，均衡における利得合計をπ^{eq}，理論上最小の利得をπ^{min}として，効率性の測度eを以下のように定義し，ブートストラップしたデータを基にeを計算してみた．

$$e = \frac{\pi - \pi^{min}}{\pi^{eq} - \pi^{min}}$$

その結果は以下の図の通りである．$m = 1$と$m = 2$のどちらにおいても展開形の方が効率性が高く，統計的にも有意な差があることがわかった（二元配置分散分析，$p < 0.01$）．



理論の予測通り，展開形の方が戦略形よりもボランティア成功確率が高く，またコーディネーションの失敗の可能性が低いことがわかった．ただ，被験者の選択は均衡とは異なる傾向があるので，本研究では質的応答均衡(QRE, McKelvey and Palfrey, 1995)および不平等回

避に基づいた構造推計を実施し, 説明力の高いモデルを同定することにする.

プレーヤー$i(i=1,2,3,4)$が純粋戦略$j(j=C,N)$を選択する確率をp_i^j, i以外のプレーヤーがCを選ぶ確率のベクトルをp_{-i}, プレーヤーiが純粋戦略jを選択する場合の利得をπ_i^jとすると, iがCを選ぶ確率は次のようになる.

$$p_i^C(p_{-i})=\frac{exp\left(\lambda\pi_i^C(p_{-i})\right)}{exp\left(\lambda\pi_i^C(p_{-i})\right)+exp\left(\lambda\pi_i^N(p_{-i})\right)}$$

ここで, $\lambda\in[0,\infty)$は選択上のノイズをを表すパラメータである. QRE の下でのπ_i^Cは, 戦略形の場合は, 対称的なので$p_i^C(p_{-i})=p$と置くと,

$$\pi_1^C=\pi_2^C=\pi_3^C=\pi_4^C=q(m-1)(V-K)+\left(1-q(m-1)\right)(L-K)$$

$$q(z)\equiv\sum_{k=z}^{3}\binom{n\ -\ 1}{k}p^k(1-p)^{n-k-1}$$

であるが, 展開形の場合は各プレーヤーの情報集合ごとにエージェントがいると考えるエージェント標準形をベースに QRE が定義される.

不平等回避の下でのπ_i^Cは,

$$\pi_i^C=x_i^C-\alpha\frac{\sum_{k\neq i}max\left(x_k^C-x_i^C,0\right)}{3}-\beta\frac{\sum_{k\neq i}max\left(x_i^C-x_k^C,0\right)}{3}$$

となる. ここで, 自分に不利および有利な結果の場合のパラメータα,βはプレーヤー間で対称的としている. このπ_i^Cを基に, QRE と同様にプレーヤーiがCを選ぶ確率を求める.

推計では, 最初に実験データにおける各プレーヤー（エージェント）の選択比率を基に, 各組には各プレーヤー（エージェント）がそれぞれ 10 名いるものとして, ブートストラップで 1000 組の疑似データを生み出す. すると, 上記のそれぞれの理論の下で各終端ノードに到達する確率を$r_i\ (i=1,\ldots,16)$, ブートストラップした各組のデータでの各終端ノードに到達した回数を$f_i\ (i=1,\ldots,16)$とすると, 対数尤度関数LLは

$$LL=\sum_{i=1}^{16}f_i\log r_i$$

となるので, これを最大にするようなパラメータα,β,λを最尤法で推計することになる. その結果は以下の表のとおりである（表中の数値は係数の推定値の平均値）.

質的応答均衡(QRE)

	戦略形		展開形	
	$\boldsymbol{m=1}$	$\boldsymbol{m=2}$	$\boldsymbol{m=1}$	$\boldsymbol{m=2}$
$\boldsymbol{\lambda}$	0.003	0.002	0.020	0.017
$\boldsymbol{p_1}$	0.473	0.490	0.142	0.186
$\boldsymbol{p_2}$	0.473	0.490	0.143	0.190
$\boldsymbol{p_3}$	0.473	0.490	0.144	0.673
$\boldsymbol{p_4}$	0.473	0.490	0.654	0.792
$\boldsymbol{LL}$	-27.537	-27.664	-14.852	-16.502
AIC	57.075	57.329	31.703	35.003

不平等回避

	戦略形		展開形	
	$\boldsymbol{m=1}$	$\boldsymbol{m=2}$	$\boldsymbol{m=1}$	$\boldsymbol{m=2}$
$\boldsymbol{\alpha}$	0.188	0.166	0.003	0.055
$\boldsymbol{\beta}$	0.498	0.440	0.587	0.728
$\boldsymbol{\lambda}$	0.056	0.006	0.024	0.088
$\boldsymbol{p_1}$	0.431	0.448	0.144	0.445
$\boldsymbol{p_2}$	0.455	0.448	0.144	0.132
$\boldsymbol{p_3}$	0.481	0.448	0.145	0.538
$\boldsymbol{p_4}$	0.479	0.448	0.660	0.904
$\boldsymbol{LL}$	-27.231	-27.229	-14.470	-12.527
AIC	60.462	60.457	34.940	31.054

推計結果を見ると，QRE においても不平等回避においても，戦略形についはほぼCとNが均等に選ばれるため，誰もCを選ばない結果や$m=2$において 1 人しかCを選ばない結果も，その他の結果とほぼ同じ確率で発生することになり，コーディネーションの失敗は解消されない．一方，展開形については，選択確率はサブゲーム完全均衡に近い値となっているため，コーディネーションの失敗はほとんど生じないことが確認できる．

不平等回避のパラメータに関しては，どの場合においても自分が有利なときの値βが大きく，被験者に後悔回避の傾向があったことがうかがえる．また，AIC に基づいて QRE と不平等回避を比較してみると，展開形で$m=2$の場合を除いては，QRE の方が AIC の値が低く，より適切なモデルであるといえる．

4. 今後の課題

今回の分析では，不平等回避のモデルを利用して推計を行ったが，被験者に後悔回避の傾向があったことがわかったので，今後は明示的に後悔回避のモデルでの理論分析を実施し，さらに推計を実施することで，QRE よりも適合度の高いモデルを発見できる可能性がある．その点を探求することが今後の課題となる．

参考文献

Diekmann, A. (1985) “Volunteer’s dilemma.” *Journal of Conflict Resolution*, 29, 605-610.

Kawagoe, T., Matsubae, T., Takizawa, H. (2018) “Quantal response equilibria in a generalized volunteer’s dilemma and step-level public goods games with binary decision.” *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 15, 11-23.

McKelvey, R.D., Palfrey, T.R. (1995) “Quantal response equilibrium for normal-form games.” *Games and Economic Behavior*, 10, 6-38