

# 公共財ゲームにおける意思決定と生理的反応

## —心拍反応による検討—

齋藤 菜月 (名古屋大学 大学院環境学研究科, saito.natsuki@k.mbox.nagoya-u.ac.jp)

安藤 由妃 (名古屋大学 大学院環境学研究科, andou.yuki@e.mbox.nagoya-u.ac.jp)

大平 英樹 (名古屋大学 大学院環境学研究科, ohira@lit.nagoya-u.ac.jp)

Decision-making and physiological responses in public goods game: Measurement of heart rate responses

Natsuki Saito (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan)

Yuki Ando (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan)

Hideki Ohira (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan)

### Abstract

A social dilemma has been defined as a situation in which (a) each group member receives a higher payoff for defecting than for cooperative behaviors, and (b) all group members receive a lower payoff if they all defect than if they all cooperate (Dawes, 1980). The free-rider problem is associated with this social dilemma. The public goods game (PGG) is a decision-making task simulating the above social dilemma, and a number of previous studies have indicated that introducing punishment increases cooperation in the PGG. Although many studies have indicated that physiological responses affected by participants' behaviors when performing punishment-related tasks, this association has not been investigated to date in relation to PGG. Therefore, we investigated physiological responses in the PGG to elucidate the association between physiological responses and choices in the PGG. Participants performed both an ordinary PGG and a PGG that included probabilistic punishment. Heart rate (HR) responses were compared when participants contributed and did not contribute in the two types of PGGs. Results indicated that when others' choices were presented in the ordinary PGG, peak HR acceleration was higher after participants choose a non-cooperative behavior than a cooperative behavior, whereas when others' choices were presented in PGG with punishment, HR decelerated after participants choose a non-cooperative behavior than a cooperative behavior. These results suggest that cooperative behaviors in PGG with punishment are associated with punishment given to others, whereas cooperative behaviors in the PGG without punishment are associated with larger rewards without costs. These findings extend our understanding of the relationship between cooperative behaviors and physiological responses associated with social dilemmas.

### Key words

public goods game, heart rate, punishment, physiological response, social dilemma

### 1. 問題・目的

人はしばしば見返りがなくとも他者への協力を行うが、その反対に社会全体の厚生よりも自分自身の利益を優先するような行動をとることもある。このような、社会と自己の利益が不一致である状況を社会的ジレンマ状況という (Dawes, 1980; Dawes & Messick, 2000)。社会的ジレンマ状況では、自分はコストを払わずに他者が行った社会貢献による利得にただ乗りをするフリーライダーの問題が生じる。ただ乗りは集団全体の利益を低下させてしまうため、社会全体の利益増加のためには抑制されることが望ましい。社会的ジレンマ状況におけるただ乗りの抑制については多くの検討例がある (e.g. Yamagishi, 1988; Messick & Brewer, 1983)。

公共財ゲーム (Public Goods Game: PGG) はそのような社会的ジレンマの状況をゲーム理論的に展開したもので、協力行動や社会的公正に関する意思決定課題として広く

用いられている。典型的な PGG では、参加者はグループの成員が共有するプールに資源を拠出するかどうかの意思決定を行い、拠出選択後、グループ全体の合計拠出量をおよそ一定の割合で増やした額を構成員の人数で平等に割ったものが個人の利得として与えられる。つまり、全員が拠出すれば全員の利得が大きくなるが、拠出しない (フリーライダーになる) 場合でも他の成員が拠出していればコストなしで他の成員と同じ利得を獲得できるという設定である。

PGG においてただ乗りの抑制についての検討がなされており、多くの研究で拠出率を上昇させる操作として罰の導入が有効であることが明らかにされてきた (Fehr & Gächter, 2000; Sutter, Haigner, & Kocher, 2010; Yamagishi, 1986)。参加者がコストを払って他成員に罰を与えるか否かを判断できる条件では共有プールへの資源拠出率の増加が認められた (Fehr & Gächter, 2000)。また、参加者がフリーライダーに罰を与えられる条件では罰がない PGG よりも有意に拠出率が上昇したが、協力行動をした成員に報酬を与えられるという条件では拠出率に変化はなかった (Sutter et al., 2010)。このように、成員間の罰によ

る PGG での行動の変化は多く報告されているが、実社会において行われている罰は個人間の私刑ではなく国家や権威による罰であることが多い。実際、権威による罰を導入することによっても拋出率が上昇するという報告もある (Skatova & Ferguson, 2013)。

一般に、罰を伴う課題に取り組んでいる時には参加者本人の自覚がない場合でも身体にはそれを示唆する反応が生じることが示されており、そうした生理的反応が行動に影響する可能性も示唆されている (Crone, Somsen, Beek, & Van Der Molen, 2004; Wager, Waugh, Lindquist, Noll, Fredrickson, & Taylor, 2009)。しかしながら、PGG 課題中の生理的反応について検討した例はなく、社会的ジレンマ状況における罰の導入によりどのような生理的反応が生じるのか、それが協力とただ乗りの選択にどのように関連するのかについてはほとんど明らかにされていない。そこで、本研究は公共財ゲームにおける意思決定と生理的反応の特徴を明らかにすることにより、社会的ジレンマ状況に対する権威による罰の効果を検討することを目的とした。そのため、罰のない典型的な PGG と、成員がコストを支払う必要のない権威による罰を組み込んだ PGG において、生理的指標として心拍 (Heart rate: HR) を測定し、課題中におけるその反応パターンを明らかにすることで拋出かただ乗りかという選択と心拍反応との関連を探索することを試みた。

HR は離散的に呈示される刺激への処理や反応が求められる場合、刺激呈示の時点から約 2 秒間減速し、その後加速するが (Koers, Gaillard, & Mulder 1997)、HR 減速は副交感神経系の活動を反映しており刺激への注意や定位反応を表すとみなされている (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001)。一方、減速の後に起こる HR 加速は交感神経系の活動を反映しており、次の行動への高いモチベーションを表現していると言われている (Connor & Lang, 1969)。

意思決定の研究では、リスクを伴う選択肢を選択する際に交感神経系反応が喚起されることから生理的覚醒がリスクに伴う危険を知らせるシグナルとして働きをしていると考えられている (Bechara, Damasio, & Damasio, 2003)。このためリスクの高い選択をする際には HR の加速がより大きくなると考えられる。罰が存在する PGG においては拋出しないという選択は自己の利得を減らすリスクが高い選択である一方、罰のない PGG では協力をするよりもただ乗りをした方が有利に自己の利得を増やすことができるため、拋出の選択がむしろ自己の利得を減らすリスクのある選択と捉えられる。以上より、罰あり PGG では拋出で、罰なし PGG では非拋出でそれぞれ心拍の加速が起こると考えられる。

さらに、本研究では心拍変動性 (Heart rate variability: HRV) の R-R 波間隔の周波数パワースペクトルの高周波成分と低周波成分の比 (LF/HF) を安静時の交感神経系活動の指標として用いる。HRV は制御能力を反映しているといわれており (Thayer, Åhs, Fredrikson, Sollers, & Wager, 2012)、安静時の HRV の低い個人は嫌悪的な画像

に対してより敏感であることが報告されている (Katahira, Fujimura, Matsuda, Okanoya, & Okada, 2014)。そのため本研究でも安静時の HRV 成分が低いと罰に対する感性が高くなり、非拋出者に対して罰が与えられる可能性のある条件でより安全な選択 (拋出) をすると予測される。

## 2. 方法

### 2.1 実験参加者

大学生 27 名 (男性 18 名; 20.10 ± 0.77 歳) が実験に参加した。本課題では参加者は毎試行公共財として拋出するかどうかを選択したが、深く考えずに選択をした可能性を除くため、全て拋出または非拋出という選択をした 2 名を分析から除外した。参加者は実験の概要について説明を受け実験参加に同意した。その際、同意表明後であってもいつでも実験を止めることができ、それによって参加者本人が不利益を被ることはないという説明を受けた。実験終了後、実験の成績に応じて粗品が渡された。

### 2.2 手続き

参加者に HR 測定のための電極を装着した後、安静時の HR を 5 分間測定した。その後、罰のない PGG を実施し、続けて罰を伴う PGG を実施した。各課題はそれぞれ 20 試行行った。PGG の一試行の流れを図 1 に示した。本研究では実験参加者 1 人が仮想の成員 3 人と PGG を行った。罰のない PGG においては、参加者は 100 円を元手とし、毎試行キーボードのキー選択によって 20 円を拋出するかどうかを決定した。なお、拋出選択は 1 秒以内で行うものとし、それを超過した試行は反応なしとして扱われた。グループの成員が拋出した金額は合計され、合計額を 2 倍し成員数で割った金額が各成員に還元された。拋出選択後、自分を含めた全員の行動が画面に表示され、各自が選択の結果得られる報酬が画面に表示された。罰の可能性のある PGG では、拋出選択後に今回の試行で罰が実行されるかどうかが表示された。罰がある試行では、その試行で非拋出の選択を行った成員には公共財からの配分が与えられないのに加えて、所持金から 30 円減額されるという設定であった。

参加者は自分以外の成員は実在する人物であり、自分の選択が自分の報酬と他の成員の報酬に関わると教示された。実際は自分以外の成員は存在しておらず、他の成員の行動はコンピュータにより制御されていた。罰なし PGG での他の成員 3 人の選択は、三人拋出が 3 試行・二人拋出が 7 試行・一人拋出が 7 試行・0 人拋出が 3 試行であり、その順番は参加者内でカウンターバランスが取られた。罰あり PGG での他の成員の選択は、三人拋出が 3 試行 (うち 1 試行が罰試行)・二人拋出が 7 試行 (うち 3 試行が罰試行)・一人拋出が 7 試行 (うち 3 試行が罰試行)・0 人拋出が 3 試行 (うち 1 試行が罰試行) であった。全試行のうち 40 % が罰試行として設定されていたが、参加者は罰試行の割合については予め教示されていなかった。参加者はこのゲームで所持金を増やせば実験参加に対する謝礼が増えると伝えられたが、謝礼の詳細な内容につ

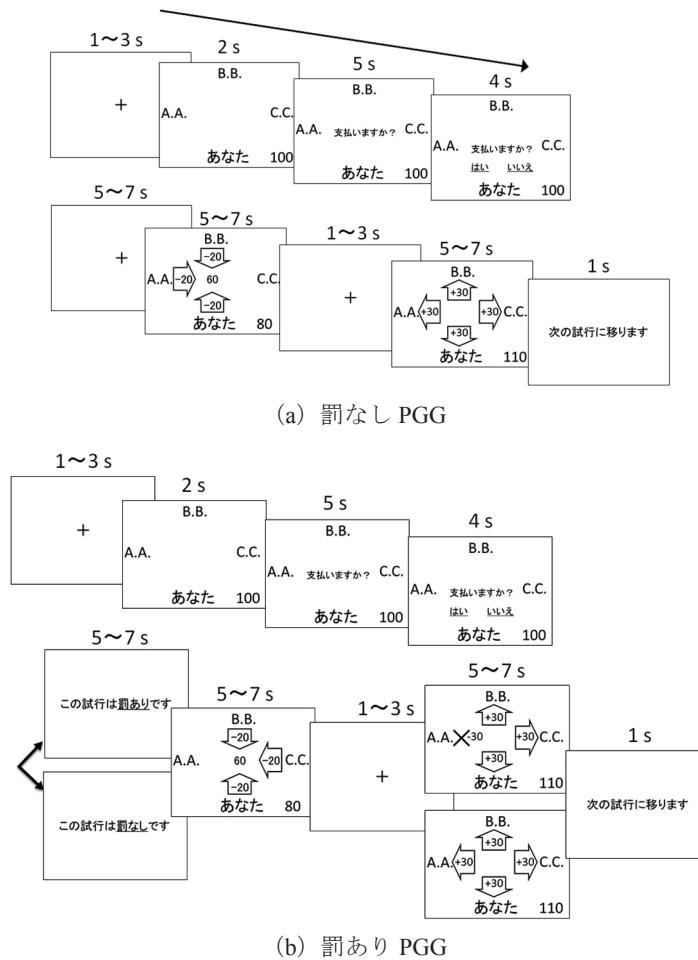


図 1：一試行の流れ

いては告げられていなかった。

### 2.3 生理指標

実験期間を通して心電図 (electrocardiogram: ECG) が計測された。ECG は左右の前腕内側部に Ag-AgCl 電極を装着する標準肢誘導 I 型により導出され、生体波形処理装置 (BioPac Systems, MP-150) を介して入力された。保存したデータは生体波形処理ソフト (BioPac Systems) を用いてオフライン解析された。HR の分析は、抛出の有無を選択する 5 秒前を起点とした 5 秒間、全員の抛出のフィードバックを起点とした 6 秒間の二時点で行われた。ECG の R 波により心拍間隔を算出し、心拍数 (beats per minute: bpm) に変換したものを分析に使用した。刺激呈示前 1 秒間の HR をベースラインとし、心拍減速は刺激呈示後 0 から 3 秒の間の HR の最小値とベースラインとの差とし、その後の心拍加速は刺激呈示後 4 から 6 秒の間の HR の最大値とベースラインとの差とした。さらに安静時の HR から、高速フーリエ変換 (FFT) により HRV を算出した。解析には HRV 解析ソフト (Kubios HRV analysis software version 2.2, The Biomedical Signal and Medical Imaging Analysis Group) を用いた。ここでは 5 分間の R-R 波間隔の周波数パワースペクトルの高周波成分 (HF: 0.15 ~ 0.4

Hz) と低周波成分 (LF: 0.04 ~ 0.15 Hz) の比 (LF/HF) を分析に用いた。

### 3. 結果

#### 3.1 行動データ

抛出率について、課題間の *t* 検定を行った。その結果、罰あり PGG の抛出率 (0.78 ± 0.17) は罰なし PGG の抛出率 (0.51 ± 0.23) よりも有意に高いことが認められた ( $t(24) = 5.85, p < .01$ )。この結果から、本研究でも先行研究と同様に罰の導入によって抛出率が増加したことが確認された。

#### 3.2 HRV

安静時の HRV 成分について、交感神経系の活動を示す LF/HF 成分と抛出率との間の相関分析を行った。LF/HF は罰なし PGG での抛出率とは相関がみられなかった ( $r = -.00, n.s.$ ) が、罰あり PGG における抛出率と有意な負の相関がみられた ( $r = -.55, p < .01$ )。

#### 3.3 施行毎の心拍反応

抛出と非抛出で HR 反応に差があるのかを確かめるため、HR 加速・HR 減速それぞれについて、課題における

罰可能性（罰あり・罰なし）× 抛出現（抛出現あり・抛出現なし）の二要因分散分析を行った。この分析では実験中に生理データ記録用の装置に不備のあった参加者3名を除いた22名分のデータを用いた。その結果、課題における罰可能性の有無と抛出現の有無の交互作用が見られた ( $F(21,1) = 5.25, p < .05$ )。Bonferroni法による多重比較検定の結果、罰なし PGG において、グループの成員全員分の抛出現がフィードバックされた時点での HR が抛出現よりも非抛出現を選択した場合の方が有意に大きく加速していたことが認められた ( $p < .05$ ; 図2)。HR 加速は次の試行への

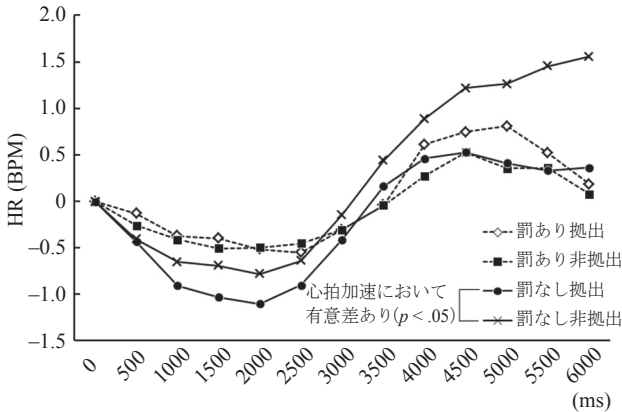


図2：グループの成員全員分の抛出現がフィードバックされた時点での HR 推移

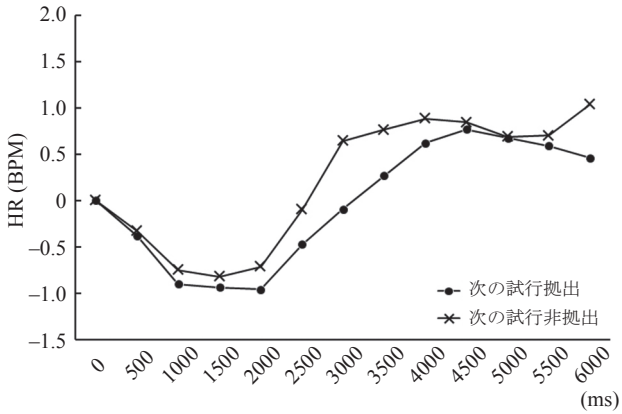


図3：次の試行の選択によって群分けした、罰なし PGG における HR 推移

準備を反映していると考えられるため、グループの成員全員分の抛出現がフィードバックされた時点での HR 加速について、次の試行における抛出現・非抛出現で群分けして比較したところ有意差は見られなかった ( $t(21) = 1.66, n.s.$ ; 図3)。なお、抛出現選択の直前の HR 反応については有意な差は検出されなかった。

抛出現率と HR 加減速についての相関分析の結果を表1に示した。相関分析の結果、罰なし PGG では抛出現率と、全員の抛出現呈示時の HR 加速に負の相関がみられた ( $r = -.45, p < .05$ )。また、罰あり PGG では、抛出現率と全員の抛出現フィードバック時の HR 減速に負の相関がみられた ( $r = -.49, p < .05$ )。HR 減速の値は低くなるほどより減速が大きいことを示すため、この結果は、HR の減速幅が大きいほど抛出現率が下がっていることを意味する。

4. 考察

本研究の目的は、社会的ジレンマ状況における権威による罰の導入によって生じる生理的反応のパターンを明らかにし、それが、協力とただ乗りの選択にどのように関連するのかを検討することであった。そのため、非協力的な成員に対する罰の可能性を組み込んだ PGG における生理的指標の分析を行った。その結果、罰あり PGG の抛出現率と HRV に負の相関が認められた。さらに罰なし PGG においては全員の抛出現が呈示された時点での HR がより加速しているほど抛出現率が低くなる一方、罰あり PGG においてはその時点での HR がより減速しているほど抛出現率が低くなるという結果が得られた。

罰あり PGG の抛出現率と安静時の LF/HF との相関分析から、安静時の HRV が低いほど、罰あり PGG でより挑戦的な行動（非抛出現）を選択しない傾向があるということが示唆された。先行研究から、HRV は制御能力を反映しており、HRV の低い個人は嫌悪的な刺激に対する感受性が高いことが報告されている (Katahira et al., 2014; Thayer et al., 2012)。このことから本研究では、HRV が低いと罰という嫌悪的な刺激に対する制御が低くなり、より罰への脅威を強く感じた結果、罰を受けないような安全な選択をするようになった可能性がある。

罰なし PGG においては抛出現を選択した試行よりも非抛出現を選択した試行において、成員全員分の抛出現が呈示された時点での HR がより大きく加速していたことが明

表1: 抛出現率と HR 加減速の相関係数

	選択直前		全員分の選択フィードバック時	
	HR 減速	HR 加速	HR 減速	HR 加速
罰なし PGG 抛出現率	.28	.16	-.18	-.45*
(b)				
	選択直前		全員分の選択フィードバック時	
	HR 減速	HR 加速	HR 減速	HR 加速
罰あり PGG 抛出現率	-.16	-.09	-.49*	.08

注：\*  $p < .05$



らかとなった。この差は次の試行での参加者の抛出・非抛出で群分けした際には検出されず、次の非協力的な罰への準備であるとは考えづらい。報酬を受けた結果などで喜びを感じると交感神経系反応の増加が見られる (Uchiyama, 1992; Vrana & Gross, 2004) ことから、この心拍加速に見られる交感神経系反応は、他者の選択が呈示されたことで、非抛出の結果として抛出時よりも多くの利得を得ることができたことに対する興奮を反映していると解釈可能である。一方で、この結果は意思決定課題中の心拍加速が小さいほど自分にとって有利な選択をしがちであるという結果と整合しない (Kimura, Ohira, Isowa, Matsunaga, & Murashima, 2007)。本課題は自分にとっての利得を獲得するためのリスク判断をするというよりは、リスクのない状態で他者を出し抜いて自分だけが利益を得るかどうかの葛藤状況であるため、このような交感神経系の反応の違いが生じた可能性がある。

罰のある PGG においては、抛出の有無による HR 反応の有意差は見られなかったが、相関分析において抛出率が高いほど HR がより減速していたことが明らかとなった。HR 減速は刺激への注意や驚愕反射であるため (Bradley et al, 2001)、罰あり PGG においては非協力的な選択をする人ほど他の成員の行動に対して注目しちであったといえる。この結果は、他の成員が非抛出をし、罰を受ける状態にあるのを観察した影響であると考えられる。他者が不利益を受けるなどの状況に置かれているのを観察すると、観察者の自律神経系が即時的かつほぼ無意識に活性化するというモデルも提唱されており、他者の状況の観察は観察者の身体反応にも反映されることが主張されている (Preston & DeWaal, 2002)。また、他者が罰を受けているのを観察することによって間接的に学習がなされることがわかっている (Bandura, 1965)。これらのことから、他者が罰を受けるような行動をし、実際に罰を受ける事態に注意を向けた参加者はその観察学習を通して合理的な判断を下し、抛出を選んだ可能性がある。しかし、この心拍減速が自分の得られる利得への注意を反映している可能性も棄却できない。他の成員がどのように抛出したかにより自分の報酬が決まる本課題では、自分の利得や他者の行動から推測される期待値に注意を向けることが確実な報酬の獲得に繋がるだろう。抛出・非抛出で有意差が検出されなかったのは罰のある PGG では非抛出の回数が少なく十分に安定したデータが得られなかったためとも考えられ、今後参加者数を増やし安定したデータを得ることでこの差が検出される可能性がある。

本研究では、PGG 課題中の心拍反応について検討し、他成員の振る舞いをフィードバックされた際の生理反応と公共財への抛出との相関関係を明らかにした。また、罰可能性の有無によって抛出と身体反応の関連の仕方が異なることを示した。PGG における生理的反応の特徴を明らかにしたことは、今後さらに社会的ジレンマ状況における協力行動と生理反応の関連を検討していく上での基礎となりえる。関係性の因果については解明に至らなかったが、罰あり PGG において非抛出を選択した際に他

者へ加えられた罰か、非抛出によってもたらされた自分への報酬のどちらに注意を向けていたのかを検討することで、罰のリスクがある状態での非抛出と生理反応とがどのような過程を経て関連しているのかが明らかになるかもしれない。今後は、自律神経系の活動が PGG のどの要素を説明できるのかを精査することが必要である。

## 引用文献

- Bandura, A. (1965). Influence of models' reinforcement contingencies on the acquisition of imitative responses. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1(6), 589-595.
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2003). Role of the amygdala in decision-making. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 985(1), 356-369.
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1(3), 276-298.
- Connor, W. H. & Lang, P. J. (1969). Cortical slow-wave and cardiac rate responses in stimulus orientation and reaction time conditions. *Journal of Experimental Psychology*, 82(2), 310-320.
- Crone, E. A., Somsen, R. J., Beek, B. V., & Van Der Molen, M. W. (2004). Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. *Psychophysiology*, 41(4), 531-540.
- Dawes, R. M. (1980). Social dilemmas. *Annual Review of Psychology*, 31(1), 169-193.
- Dawes, R. M., & Messick, D. M. (2000). Social dilemmas. *International Journal of Psychology*, 35(2), 111-116.
- Fehr, E., & Gächter, S. (2000). Cooperation and Punishment in Public Goods Experiments. *The American Economic Review*, 90(4), 980-994.
- Katahira, K., Fujimura, T., Matsuda, Y. T., Okanoya, K., & Okada, M. (2014). Individual differences in heart rate variability are associated with the avoidance of negative emotional events. *Biological Psychology*, 103, 322-331.
- Kimura, K., Ohira, H., Isowa, T., Matsunaga, M., & Murashima, S. (2007). Regulation of lymphocytes redistribution via autonomic nervous activity during stochastic learning. *Brain, Behavior, and Immunity*, 21(7), 921-934.
- Koers, G., Gaillard, A. W., & Mulder, G. (1997). Evoked heart rate and blood pressure in an S1-S2 paradigm. *Biological Psychology*, 46(3), 247-274.
- Messick, D. M. & Brewer, M. B. (1983). Solving social dilemmas: A review. *Review of Personality and Social Psychology*, 4(1), 11-44.
- Preston, S. D., & De Waal, F. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(01), 1-20.
- Skatova, A. & Ferguson, E. (2013). Individual differences in behavioural inhibition explain free riding in public good games when punishment is expected but not implemented. *Behav-*

- ioral and Brain Functions*, 9(3), 1-11.
- Sutter, M., Haigner, S., & Kocher, M. G. (2010). Choosing the carrot or the stick? Endogenous institutional choice in social dilemma situations. *The Review of Economic Studies*, 77(4), 1540-1566.
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756.
- Uchiyama, I. (1992). Differentiation of fear, anger, and joy. *Perceptual and motor skills*, 74(2), 663-667.
- Vrana, S. R., & Gross, D. (2004). Reactions to facial expressions: Effects of social context and speech anxiety on responses to neutral, anger, and joy expressions. *Biological Psychology*, 66(1), 63-78.
- Wager, T. D., Waugh, C. E., Lindquist, M., Noll, D. C., Fredrickson, B. L., & Taylor, S. F. (2009). Brain mediators of cardiovascular responses to social threat: part I: Reciprocal dorsal and ventral sub-regions of the medial prefrontal cortex and heart-rate reactivity. *Neuroimage*, 47(3), 821-835.
- Yamagishi, T. (1986). The provision of a sanctioning system as a public good. *Journal of Personality and social Psychology*, 51(1), 110-116.
- Yamagishi, T. (1988). Seriousness of social dilemmas and the provision of a sanctioning system. *Social Psychology Quarterly*, 51(1), 32-42.

(受稿：2016年2月18日 受理：2016年4月6日)