

平成 31 年 4 月 10 日

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 平成 29 年

受付番号 497

氏 名

渡邊 言也

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地(派遣先国名) 用務地: ニュージャージー州立ラトガース大学(国名: アメリカ合衆国)

2. 研究課題名(和文) ※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。

報酬-労働感度に対する急性ストレスの影響

3. 派遣期間: 平成 29 年 4 月 1 日 ~ 平成 31 年 3 月 31 日

4. 受入機関名及び部局名

Psychology department, Rutgers University, Newark

5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 書式任意(A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入も可)

(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)

(注)「6. 研究発表」以降については様式 10-別紙 1~4 に記入の上、併せて提出すること。

【研究の目的】

本研究の目的は、急性ストレス負荷が人間の「報酬獲得感度」(=仕事へのやる気)と「労働コスト感度」(=仕事への嫌気)に与える影響の特徴を心理実験で解明することである。加えて、生理反応などの客観的指標を用いてストレス反応の個人差と報酬-労働のバランスの意思決定の多様性の関係を解明する。本研究は現代社会において多くの人々が直面しているストレスとモチベーション変化の関係性の理解を深めることを目指すものである。

【実験の手続き】

実験は午後 12 時から午後 5 時の間で行われた。参加者はインフォームド Consent と生理指標について説明を受けた後、実験を通して瞳孔径を計 6 回、唾液を計 4 回採取された。また参加者は主観的ストレスレベルを計 5 回評価した。生理指標と主観評価を行ったタイミングを図 1A に示す。

[Cold pressor test (図 1B)]

参加者はストレス群か非ストレス群(Control)にランダムに分けられ、socially evaluated cold pressor test (CPT)を経験した。CPT ではストレス群では 2 分間 2~3℃の冷水、非ストレス群では 25~28℃の冷水に左手を浸けた。過去の実験により、このテストによって生体内の生理的ストレス反応を誘発できることが報告されている(Schwabe et al., 2008; Schwabe, and Schächinger, 2018)

[Decision-making task (図 1C)]

ストレス経験後約 18 分後から参加者全員が reward-effort choice (REC) game を行った。この課題では、報酬(お金: \$0.20~\$2.00)を得るために労働(ボタン押し: 100~1000 回)をすることが要求される。参加者にはまず報酬額と労働量が同時に画面に提示され、6 秒以内にこの申し出を「受諾」するか「拒否」するかで二択で選択することが求められた。報酬額と労働量は各 10 段階あり、100 通りの組み合わせがランダムに 1 回ずつ提示された。

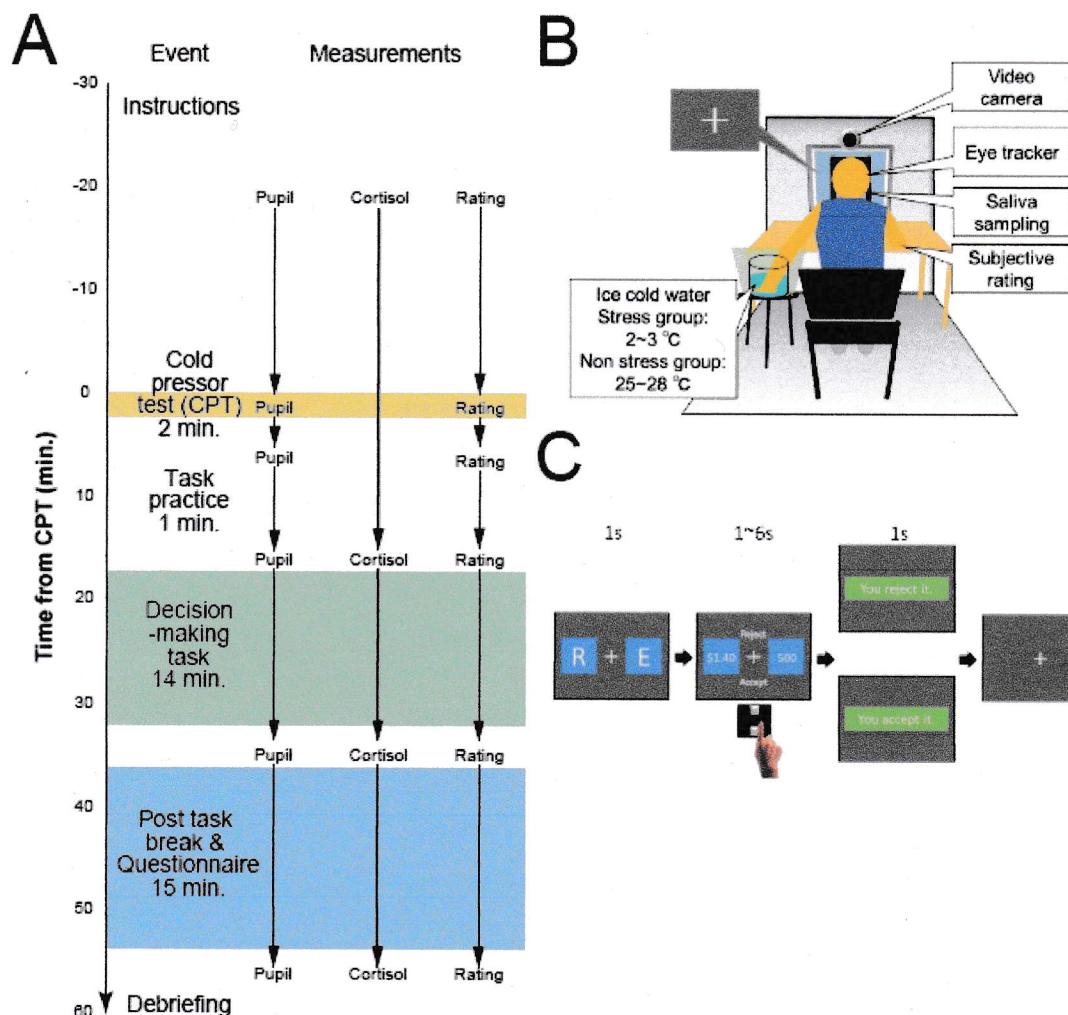


図 1. 実験のスケジュールと課題。A) 実験全体のタイムライン、Pupil は瞳孔径の計測。Cortisol は唾液の採取、Rating は参加者のストレスレベルを 101 段階で主観評価した。B) socially evaluated cold pressor test (CPT)の様子。C) Reward-effort choice (REC) gameの手続き。

【実験結果】

[データの分類]

ストレス群 57 名、非ストレス群(Control) 24 名、計 81 名分の有効データを得られた。Miller et al. (2013) の基準に従い、コルチゾール濃度増加率に基づいてストレス群の参加者を参加者を分類した結果、反応群 (Responder) が 33 名と、非反応群 (Non-responder) が 24 名に分類された。年齢や水の中に手を入れていた時間 (immersion time)、さらに 4 種類のパーソナリティテストの結果について表 1 にまとめた。

	N [female]	Age**	Immersion time* sec.	BDI	PSS	LARSe	CD-RISC
Control	24 [15]	19.88 (4.87)	118.8 (6.0)	8.58 (7.66)	36.58 (7.32)	3.97 (0.48)	3.92 (0.46)
Responder	33 [21]	24.70 (7.82)	95.8 (37.0)	9.56 (6.92)	37.63 (5.83)	3.97 (0.40)	3.91 (0.42)
Non responder	24 [19]	20.04 (2.73)	101.4 (33.0)	12.92 (8.84)	39.58 (5.28)	3.92 (0.38)	3.76 (0.47)

表 1. CPT とコルチゾール濃度変化による参加者の分類

[二種類の生理指標と主観評価の結果]

急性ストレス反応には大きく分けて二種類の系があることが知られている。一つ目は hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis と呼ばれる系で、脳内の視床下部、松果体から内分泌系システムを介して副腎皮質からコルチゾールが放出される、ゆっくりと長時間に渡って身体に影響を与える反応である。ヒトを対象とした多くの研究では、ストレス経験から約 15 分以降に唾液内の成分に現れるコルチゾール濃度変化を指標として用いられている。本研究でも、HPA axis の指標として唾液からコルチゾール濃度を検出した。もう一つの系は Sympathetic-adrenal-

medullary (SAM) axis と呼ばれるもので脳内の青斑核から放出されるノルアドレナリンの反応である。この系は HPA axis と比較して素早く短時間のみ続く反応であり、ストレス経験中に最も強く表れる。先行研究ではこの青斑核の反応に瞳孔径が強く相関することが報告されているため (Astone-Jones and Cohen, 2005 ; Joshi et al., 2016)、我々の研究では SAM axis の指標として瞳孔径を計測した。以下の図 2 には 1 分間の平均瞳孔サイズ(図 2A)、コルチゾール濃度(図 2B)、そして主観的ストレス評価(図 2C)について、ストレス経験時とその後の時間ごとの変化を示す。

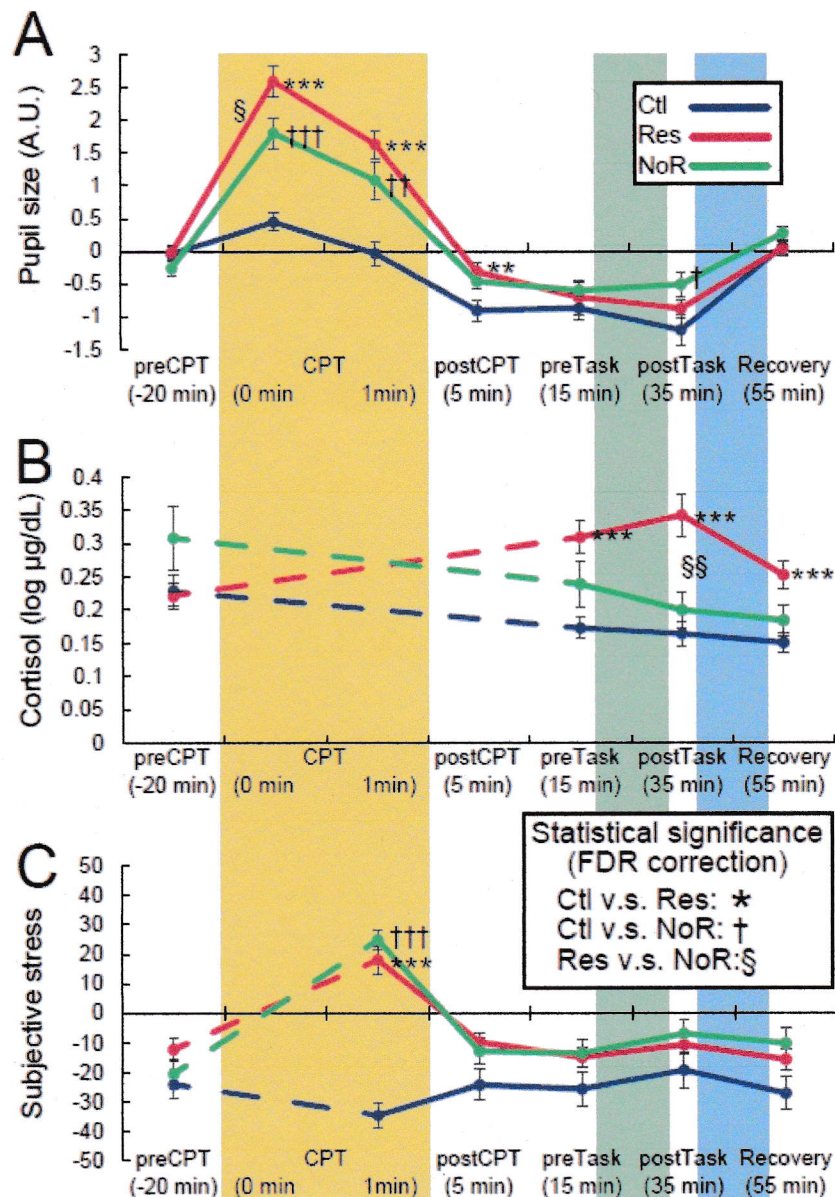


図 2. 三種類のストレス指標の時間ごとの変化。A) 瞳孔サイズの変化 B) コルチゾール濃度の変化 C) 主観的ストレス評価の変化。

瞳孔サイズ (図 2A) は Responder (Res) 群、Non-responder (NoR) 群共に Control 群と比較して CPT 中に急激に上昇した (CPT first half: Ctl v.s. Res $t[55] = -7.712$, $p_{FDR} < 0.001$, Ctl v.s. NoR $t[46] = -4.980$, $p_{FDR} < 0.001$, CPT second half: Ctl v.s. Res $t[55] = -6.523$, $p_{FDR} < 0.001$, Ctl v.s. NoR $t[46] = -3.479$, $p_{FDR} = 0.006$)。この効果は Res 群でのみ CPT から 5 分後まで維持された (postCPT: Ctl v.s. Res $t[55] = -3.227$, $p_{FDR} = 0.009$, Ctl v.s. NoR $t[46] = -2.424$, $p = 0.051$)。さらに興味深いことに、CPT の最初の 1 分間では NoR 群間より Res 群で有意に大きな瞳孔散大が見られた (CPT first half: Ctl v.s. NoR $t[55] = 2.547$, $p_{FDR} = 0.041$)。

コルチゾール濃度(図 2B) は過去の研究と一致して、15 分後から 55 分後に及んで Res 群は Ctl 群と比較して濃度が上昇した (preTask: $t[55] = -4.121$, $p_{FDR} < 0.001$, postTask: $t[55] = -4.394$, $p_{FDR} < 0.001$, Recovery: $t[55] = -3.719$, $p_{FDR} < 0.001$)。一方で Ctl 群と NoR 群間には差は見られなかった (preTask: $t[46] = -1.715$, $p_{FDR} = 0.153$, postTask: $t[46] = -1.075$, $p_{FDR} = 0.314$, Recovery: $t[46] = -1.188$, $p_{FDR} = 0.289$)。さらに 35 分後には Res 群と NoR 群で有意な差が見られた (postTask: $t[46] = 3.207$, $p_{FDR} = 0.006$)。

瞳孔サイズの計測直後に参加者はその時々のストレスレベルを 101 段階で評価した(図 2C)。主

観的ストレスレベルは CPT 経験中に Ctl 群に比べて Res 群(CPT: $t[55] = -7.877$, $p_{FDR} < 0.001$)でも NoR 群(CPT: $t[46] = -10.621$, $p_{FDR} < 0.001$)でも有意に高かったが、Res 群と NoR 群間には有意な差は見られなかった(CPT: $t[55] = -1.081$, $p_{FDR} = 0.394$)。

[瞳孔変化とコルチゾール変化の比較]

過去の報告ではコルチゾール濃度で代表される HPA axis の変化が、必ずしも実際のストレス経験の有無や主観的なストレス評価レベルに一致しないことが報告されている(Miller et al., 2013)。その一方で、瞳孔変化に現れる SAM axis の変化が実際のストレス経験や主観的ストレス評価とどれだけ一致しているかはこれまで検証されてこなかった。そこで、ストレス経験中の瞳孔サイズとストレス経験 15~35 分後のコルチゾール濃度のどちらがより良くそれらと一致するかを重回帰分析にて検証した。

解析の結果、ストレス経験の有無は β_{pupil} (SEM) = 1.768 (0.445), $p < 0.001$, $\beta_{cortisol} = 0.258$ (0.168), $p = 0.123$ であり、Cox-Snell 決定係数 $R^2 = 0.587$ であった。よって、コルチゾール濃度と比較して瞳孔サイズの方がより正確にストレス経験有無を説明できることが明かとなった。

さらに主観的ストレス評価についても β_{pupil} (SEM) = 11.354 (2.714), $p < 0.001$, $\beta_{cortisol} = 1.183$ (1.174), $p < 0.317$ 、調整済み決定係数 $R^2 = 0.240$ という結果となり、瞳孔サイズの方がコルチゾール濃度よりも主観的ストレスの強度を説明していることを突き止めた。

[ストレス反応レベルとパーソナリティの関係]

過去の研究に一致して、我々の研究でもストレス経験によってコルチゾール濃度が変化しない NonReponder が観測された($n=24$)。しかしながら、コルチゾール反応を含めた生理的、また主観的ストレス反応の個人差が、一体どのような個人要因に関係しているかは未だ明かにされていない。そこで、ストレス群の参加者 56 名について 4 種類のパーソナリティテストとの関係を検証した。使用したパーソナリティテストは 1. BDI (抑うつレベル), 2. PSS (慢性ストレスレベル), 3. LARSe (無感情[アパシー]レベル), 4. CD-RISC (ストレスに対するレジリエンスレベル)の 4 種類であった。解析ではこれらに加えて、性別、年齢、手を水に浸けていた時間の 3 要因を調整要因として加え、Step-wise 法を用いた重回帰分析によって検証した。

解析の結果、主観的ストレスレベルは水に手を浸けていた時間 $\beta_{immersion} = -0.237$ (0.081), $p = 0.005$ とアパシーレベル $\beta_{LARSe} = 17.051$ (7.376), $p = 0.025$ (調整済み決定係数 Adjusted $R^2 = 0.172$)によって説明された。これは CPT 中に水に手を浸けていられなかった参加者ほど主観的ストレス評価は高く、それに加えてアパシー傾向が高い人ほどストレス主観レベルは低く評価されていたということである。

さらに、コルチゾール濃度とのパーソナリティテストの関係も明らかとなった。解析の結果、コルチゾール濃度はストレスレジリエンス $\beta_{CD-RISC} = 1.949$ (0.926), $p = 0.040$ と性別 $\beta_{sex} = -1.875$ (0.905), $p = 0.043$ によって説明された(調整済み決定係数 $R^2 = 0.130$)。これは、ストレスレジリエンスが高い人ほど、コルチゾールが上昇する傾向にあるということである。加えて、女性より男性の方がストレス経験によってコルチゾール濃度が上昇しやすいことも明らかとなった。

[ストレス負荷か報酬獲得感度と労働コスト感度に与える影響]

群間の受諾傾向の違いを量的に検証するために二択選択についてロジスティック回帰式を用いてモデル化した(図 3A)。ここで β_1 と β_2 は報酬と労働それぞれへの感度を意味しており、大きな値はより感度が高いことを意味する。個人ごとにこれらのパラメータを推定した結果、Res 群において Ctl 群より労働感度(β_2)が有意に低下しているという結果が得られた(図 3B 右 Ctl v.s. Res: $t[55] = 2.611$, $p_{FWE} = 0.035$)。この結果は急性ストレス経験によって体内のコルチゾール濃度が上昇すると、労働量の変化に対する感度が低下し、最適な判断ができなくなるということである。この傾向は相関解析でも一貫して見られた(図 3C 右: $r = -0.235$, $p = 0.035$)。一方で、報酬感度に(図 3B 左 Ctl v.s. Res: $t[55] = 2.055$, $p_{FWE} = 0.134$, 図 3C 左: $r = -0.042$, $p = 0.708$)で有意な差は見られなかった。

より詳細にストレス経験の報酬・労働感度への影響を検証するために金額毎、または労働サイズ毎の受諾率をプロットし(図 3D)、個人ごとにその曲線をロジスティック曲線にてフィッティングし、Intercept (切片)と Slope (傾き)の 2 パラメータを用いて検証した(図 3E)。その結果、労働受諾曲線の Intercept は Ctl 群に比べて Res 群が有意に低いという結果が得られた($t[55] = 2.822$, $p_{FWE} = 0.020$)これは、本来は少ない労働量はより多く受諾した方が価値が高いにも関わらず、Res 群は Ctl 群と比べて少ない労働量でも受諾しづらい傾向があると解釈できる。

以上の解析から、人間は急性ストレス負荷をかけられると労働に対する感度が低下し、結果として本来より少ない労働で手に入れることができる状況であってもその労働を拒否してしまうようになることが明かとなった。

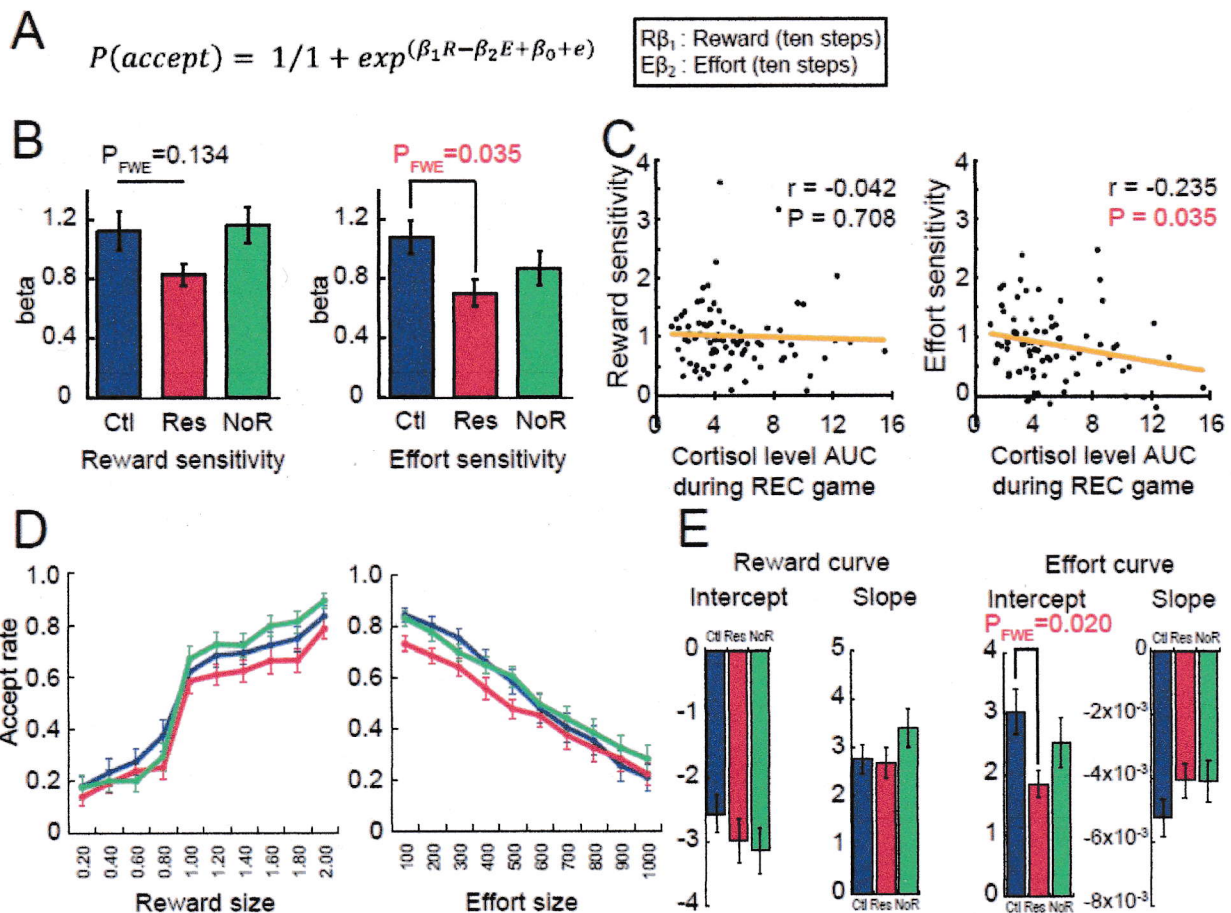


図3. 急性ストレスが報酬と労働感度を与える影響。A. モデル解析で用いた重回帰式。B. モデル解析、Res 群において労働感度が低下していることが明かとなった。C. この労働感度の低下は相関解析においても一致した結果が得られた。D. 報酬・労働サイズごとの受諾率曲線。E. 受諾率曲線をロジスティック曲線でフィットした結果。Res 群はCtl 群と比較して有意に切片が低いことが明かとなった。

【結論】

1. 瞳孔サイズによって急性ストレス経験に対する SAM axis の反応を検証し、ホルチゾールによる HPA axis と比較した。その結果、SAM axis は HPA axis の反応より実際のストレス経験の有無や主観的ストレスレベルをより忠実に表現していることが明かとなった。
2. 急性ストレス経験は労働に対する感度を低下させ、最適な意思決定を阻害することが明かとなった。