

# 注意欠如・多動症における社会的報酬の報酬頻度が 実行機能に与える影響の検討

林小百合、江頭優佳、魚野翔太、岡田俊  
(国立精神・神経医療研究センター精神保健研究所知的・発達障害研究部)

## <要 旨>

他者の笑顔や褒めといった社会的報酬のフィードバックには、注意欠如・多動症 (ADHD) 児の実行機能の働きを改善する効果があるとされる。これまでの研究では、褒めるべき児の行動に対し、必ず報酬を与えることは現実的には不可能であるにもかかわらず、課題に正解したら必ず社会的報酬をフィードバックする場合の効果のみが検討されてきた。本研究では、実行機能課題 (go/no-go 課題) と笑顔のフィードバックを用い、それが確実に与えられる条件と不確実条件 (正解の約 1 割には本来与えられるべき笑顔が与えられない) を設定し、笑顔フィードバックの不確実さが実行機能に及ぼす影響を及ぼすのかを検討した。笑顔フィードバックの不確実性があると、ADHD 児の抑制行動の正確さが下がる可能性が示唆された。また、成人期の ADHD 者では、特に不注意の問題を抱える個人において、不確実さによって抑制行動の正確さが低下する可能性が示された。これらは不確実性を伴う社会的なフィードバックが、ADHD 児者の実行機能を阻害する可能性を示唆しており、支援者の態度の不確実性を減らす取り組みの重要性を強調するエビデンスであると考えられた。

## <キーワード>

社会的報酬、注意欠如・多動症、実行機能、笑顔、行動抑制

### 【はじめに】

注意欠如・多動症 (ADHD) は、12 歳以前から複数の場面で認められる不注意、多動性-衝動性を主徴とする神経発達症である。神経心理学的背景として、実行機能や報酬系の機能障害が指摘される。薬物療法に先行して十分な行動的介入が有効とされ、環境刺激の整理や行うべき課題を順序立てて呈示することに加えて、課題達成への取り組みやできることを適切に褒めることが大切とされる。

先行研究では、他者の笑顔や褒めといった社会的報酬によって、ADHD 児の実行機能の働きが改善されることが指摘されてきた (Kohls et al., 2009)。報酬がある場合の ADHD 児の行動抑制成績

は、報酬がないときの定型発達児の行動抑制成績と差がなく (Ma et al., 2016)、報酬によって中枢刺激薬による実行機能の改善効果がさらに高まったという報告もある (Groom et al., 2010; Liddle et al., 2011; Rosch et al., 2015)。反抗挑発性が高い ADHD 児での効果も確認されており (Scheres et al., 2010)、親や教師等に対し反抗的な行動をとってしまう場合でも、報酬のフィードバックは ADHD 児の行動抑制の改善に有効と思われる。これらの先行研究は、社会的報酬が ADHD 児の実行機能の働きを改善できる可能性を示している。

実生活では、ADHD 児の学習や行動面の問題ばか

りに目が向いてしまい、養育者が疲弊し抑うつを抱えることがある。そして、褒めるべき状況に養育者が肯定的なフィードバックを与える機会が減少し、ADHD 児の行動変容を低める可能性が考えられる。また、学校や家庭で常に児の行動を観察し、すべての状況において報酬を与えることは現実的には不可能である。にもかかわらず、先行研究では、正解したら必ず社会的報酬を与える場合の効果しか検討されてこなかった。

そこで本研究では、実行機能課題 (go/no-go 課題) と正解への笑顔のフィードバックを用い、それが確実に与えられる条件と不確実条件 (正解の 12.5%には本来与えられるべき笑顔が与えられない) を設定し、社会的報酬の適切なフィードバックが実行機能にいかなる影響を及ぼすのかを検討した。なお、本研究は国立精神・神経医療研究センター倫理委員会の承認を受け、その承認事項に従って実施した。

### 【検証 1：社会的報酬の不確実性は、定型発達成人の実行機能に影響するか？】

#### 目的

本研究計画の実施に際し、社会的報酬の効果が実際に再現可能であることを確認するとともに、不確実さの影響を可視化する手法の確立が必要であった。そこで、定型発達成人を対象に以下を検証した。

1. 先行研究(Kohls et al., 2009)と同様の手法によって、社会的報酬の効果を確認する。
2. 報酬呈示にランダム性のある条件 (不確実条件) を作成し、不確実条件と他条件の差を検討する。これによって、不正確さの影響が本プロトコルで計測可能かを確認する。

#### 方法

対象：オンライン上でリクルートした定型発達の男女 79 名 (25.2±10.2 歳) であった。実施前に各参加者からインフォームドコンセントを得た。

手続き：報酬の異なる 3 条件 (報酬なし/確実報酬/不確実報酬) で実行機能課題 (図 1) を実施した。報酬なし条件では、課題の正誤に関係なく、抑制試行 (no-go 試行) の後にモザイク画像をフィードバックした。確実報酬条件では、no-go 試行に正答した際には、笑顔の顔写真をフィードバックした。不確実報酬条件では、no-go 試行に正答した際、ほとんどの場合 (87.5%) は笑顔をフィードバックするものの、低確率 (12.5%) で無表情の顔写真をフィードバックした。確実・不確実報酬条件の両方で、no-go 試行に誤答した際は、無表情をフィードバックした。

終了後に再認課題を行い、フィードバックに使用された顔と使用されていない顔の画像を弁別させた。これにより、各参加者がフィードバックされる顔画像を見ていたことを確認した。

統計：報酬条件を要因とする 1 元配置分散分析を実施した。主効果が有意だった際には、ボンフェローニ法による多重比較検定を実施した。

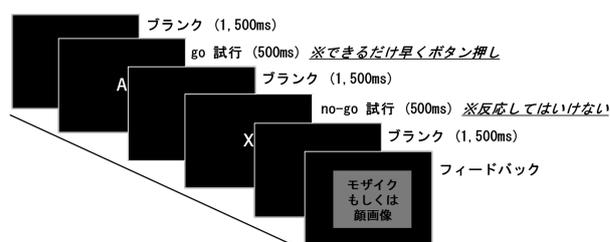
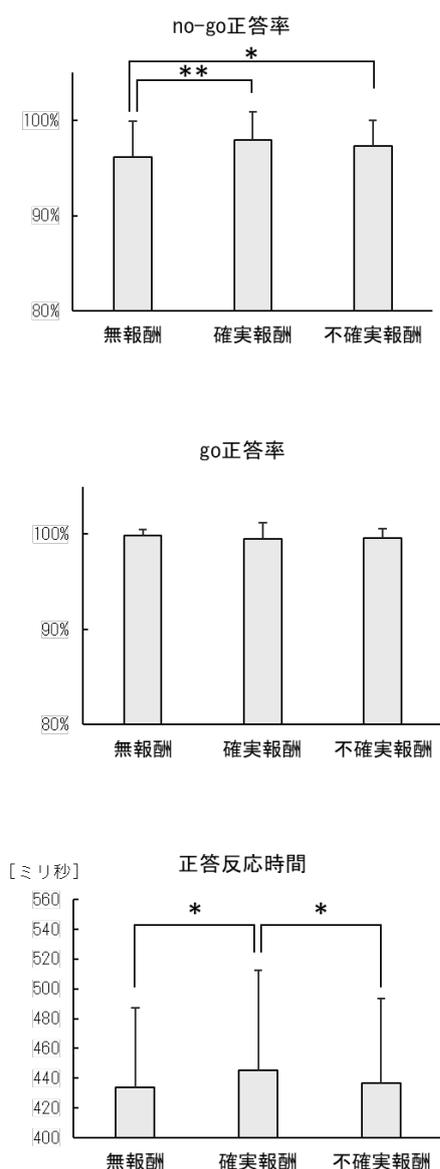


図 1 実行機能課題 (social incentive go/no-go task) の例

## 結果

抑制試行の精度 (no-go 正答率) は、報酬なし条件と比較して、確実・不確実報酬条件の両方で高かった ( $p < .05$ ; 図 2 上)。実行試行の精度 (go 正答率) には条件間差がなかった ( $p > .05$ ; 図 2 中央)。実行試行の反応時間 (正答反応時間) は、報酬なし・不確実報酬条件と比較して、確実報酬条件で長かった ( $p < .05$ ; 図 2 下)。



\*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .001$

図 2 抑制反応の精度 (上)、及び実行反応の精度 (中央) と反応時間 (下)

## 考察

確実条件では、無報酬条件と比較して、no-go 正答率が高かった。笑顔フィードバックによる実行機能、特に行動抑制の向上効果を確認できたといえる。さらに、確実報酬条件では、無報酬条件と比較して、正答反応時間が延長していた。抑制に成功した際に必ず笑顔をフィードバックすることによって、参加者がより慎重にボタン押し反応を行うようになったと考えられる。

社会的報酬フィードバックの不正確さの影響について、確実報酬条件と同様に、不確実報酬条件においても無報酬条件と比較した no-go 正答率の向上が確認された。一方で、確実報酬条件で見られた反応時間の延長はなかった。これらから、たとえ低頻度なランダム性 (不正確さ) があっても、社会的報酬のフィードバックは行動抑制の精度を向上するが、このような不正確さは、実行反応に対する笑顔フィードバックの影響を阻害する可能性が考えられた。

以上から、先行研究 (Kohls et al., 2009) と同様の手法によって、社会的報酬の効果が再現可能であることを確認できたといえる。また、本検証が用いた手法によって、笑顔フィードバックの不正確さの影響を可視化しうることが示された。

### 【検証 2 : 社会的報酬は ADHD 児の実行機能を改善するか?】

#### 目的

本検証の目的は、社会的報酬の適切・不適切なフィードバックが実行機能にいかなる影響を及ぼすのか、ADHD 児を対象として調査することであった。検証 1 と同様の手法を用いて、ADHD 児の実行機能と社会的報酬フィードバックの影響を検証した。特に、以下の 2 点を検討した。

1. 社会的報酬のフィードバックは、ADHD 児の  
実行機能課題成績を向上するか。

2. 社会的報酬のフィードバックに、低頻度の  
ランダム性（不正確さ）があるときでも、実行機  
能課題成績への影響は維持されるか。

## 方法

対象：医師による ADHD 診断を有する 6-16 歳の児  
をリクルート対象とした。FSIQ75 以下の者は除外  
した。参加当日の中枢刺激薬の服用はできるだけ  
控えるよう教示した。

手続き：検証 1 と同様の手法で、3 つの報酬条件  
下での課題成績を記録した。その後、臨床心理検  
査を実施した。

臨床心理検査：児の ADHD に関与する臨床症状や  
問題行動、精神症状の評価のため、以下の検査を  
実施した。

ADHD 症状：Conners 3 日本語版

問題行動：Vineland 適応行動尺度

子どもの行動チェックリスト

精神症状：パールソン児童用抑うつ性尺度

スペンス児童用不安尺度

交絡可能性のあるその他の臨床症状：

対人応答性尺度（SRS-2）

自閉症スペクトラム指数（AQ）

トロント・アレキシサイミア尺度

SP 感覚プロファイル

分析：全計測の終了している男児 6 名のデータを  
分析対象とした。報酬条件（無報酬・確実報酬・  
不確実報酬）による差を t 検定によって検討した。

## 結果と考察

ADHD 児における社会的報酬フィードバックの  
効果を示す先行研究(Kohls et al., 2009)と一致  
して、確実報酬条件の抑制反応の精度の平均値  
(81.8%) は、無報酬条件 (75.5%) よりも高か  
った。ただし、統計的な有意差はなかった ( $t(5)$   
 $= -1.41$ ,  $p = .22$ )。本検証は、統計的に必要と  
予測されるサンプルサイズより小さいデータを使  
用したプレリミナリーなものである。後続研究  
によって、確実報酬条件と無報酬条件間の課題成  
績の差を検証する必要がある。

また、不確実報酬条件では、確実報酬条件より  
も、抑制試行の精度が低かった ( $t(5) = -2.8$ ,  $p$   
 $< .05$ ; 図 3)。これは、社会的報酬フィードバ  
ックの不正確さが、ADHD 児の行動抑制の精度を阻害  
する可能性を示唆する結果である。ADHD の報酬系  
機能の特徴は、実行機能に対する報酬効果に影響  
する可能性がある。例えば、定型発達者と比較し  
て、ADHD では遅延報酬による実行機能の向上効果  
が弱い(Jones et al., 2020)。これは ADHD の遅  
延報酬割引の高さによると考えられている。ADHD  
では、報酬確率に伴う報酬価値の増減にも定型発  
達者との違いがあることが知られる。低頻度でラ  
ンダム性のある笑顔フィードバックへの反応性  
の詳細な検討により、ADHD 児の報酬系・実行機能  
系の新たな側面が明らかとなるかもしれない。

プレリミナリーな解析に基づく議論ではある  
ものの、ADHD における報酬フィードバックの不確  
実さが、抑制反応精度の向上効果を阻害する可能  
性を示すことができた。今後はサンプルサイズを  
増やし、定型発達児との比較や、臨床検査項目と  
の関連の調査によって、ADHD 病態と不正確さへの  
脆弱性との関連を精査する必要があると考えて  
いる。

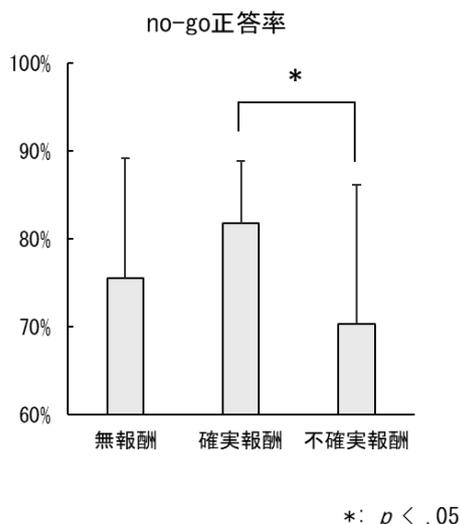


図3 ADHD小児における抑制の精度

### 【検証3：社会的報酬は成人期のADHDにおいても実行機能を改善しうるか？】

#### 目的

実行機能の障害は、小児期だけでなく成人期のADHD者も抱える問題である(Pievsky & McGrath, 2018)。本検証では、ADHD成人においても社会的報酬効果が見られるか、また、その効果が報酬の不正確さによってどのように変化するかを調査することとした。

#### 方法

対象：医師によるADHD診断を有し、自閉スペクトラム症の併存のない18歳以上の男女43名であった。参加当日の中枢刺激薬の服用はできるだけ控えるよう教示した。FSIQ75以下の者は除外した。

手続き：検証1と同様の課題に参加してもらい、3つの報酬条件における実行機能課題成績を記録した。その後、臨床心理検査を実施した。

臨床心理検査：参加者の臨床症状の評価のため、以下の検査を実施した。

ADHD症状：Conners成人用ADHD評価尺度

ネガティブ気分：POMS 2 日本語版

交絡可能性のあるその他の臨床症状：

対人応答性尺度 (SRS-2)

自閉症スペクトラム指数 (AQ)

トロント・アレキシサイミア尺度

青年・成人用感覚プロファイル

分析：報酬の種類を要因とする一元配置分散分析を実施した。ADHD特性の高さと報酬効果の関連を、Conners成人用ADHD評価尺度スコアと課題成績を対象とした相関分析により検討した。

#### 結果

确实報酬条件の抑制精度 (no-go 正答率) の平均値 (94.8%) は、無報酬条件の平均値 (94.0%) よりも高く、また、确实報酬条件の反応時間の平均値 (445.7ms) は、無報酬条件の平均値 (452.5ms) よりも長かった。ただし、どちらの指標においても、報酬条件の主効果は有意でなかった (抑制精度:  $F(2, 84) = 0.52, p = .597$ ; 反応時間:  $F(1.8, 74.5) = 3.03, p = .061$ )。

ADHD症状と各報酬条件の課題成績の関係を、Conners成人用ADHD評価尺度スコアと各報酬条件の課題成績の相関によって検討したが、有意な結果はなかった ( $p > .05$ )。

ADHD症状と笑顔フィードバックの効果の関連を検討するため、Conners成人用ADHD評価尺度スコアと确实・不确实報酬条件と無報酬条件の課題成績の差分の相関を算出した。抑制精度について、下位尺度「不注意/記憶の問題」のスコアと不确实条件での笑顔フィードバックの効果 (不确实報酬条件と無報酬条件の差分) に有意な相関があった ( $r = -0.331, t(41) = 2.24, p < .05$ )。

## 考察

本検証では、報酬条件による課題成績の変化は確認できなかった。これは、小児期の ADHD における笑顔フィードバックの有効性を示す先行研究 (Kohls et al., 2009) とは矛盾する結果である。報酬のフィードバックと実行機能の関連を成す神経心理学的な基盤は、小児期から思春期、成人期にかけて、その働きが変化する (Hallquist et al., 2018; Padmanabhan et al., 2011; Paulsen et al., 2015)。本検証が対象とした笑顔フィードバックによる行動抑制課題への影響についても、発達による変化を検討する必要性が考えられた。また、抑うつや社交不安の高さ、対人反応性の低さなどがあると、社会的報酬への感度そのものが低下する可能性がある。精神病理尺度との関係についても、今後の検討が必要であろう。

フィードバックの不確実性については、不注意/記憶の問題のスコアが高いほど、無報酬条件と比較して、不確実条件での抑制精度が低くなっていた。ADHD 者は予想外の画像を呈示された際、課題への注意が阻害される（不注意が促進される）ことが知られる (Tegelbeckers et al., 2015)。今回の計測では、特に不注意特性の強い ADHD 者において、想定外のフィードバックが実行機能課題への注意を阻害したのかもしれない。ここから、不注意の問題を抱える ADHD 者においては、笑顔フィードバックの不確実性が行動抑制の精度を阻害する可能性が考えられた。

以上から、ADHD 者の実行機能の改善が期待される笑顔フィードバックであっても、成人期ではその効果が確認できず、また、低頻度の不確実性によって実行機能が阻害されることが示された。さらに、その阻害が不注意といった特定の症状を強く呈する個人で生じやすい可能性が示された。

今後の検討によって、ADHD 者の多様な症状の影響や、それらとフィードバックの不確実性の相互作用が明らかにされることが期待される。

## 【終わりに】

「うまくできても、認めてもらえない・褒めてもらえないことがある」という状況を実験室環境に落とし込み、そのような社会的報酬フィードバックの不確実さが ADHD 者の行動抑制機能に与える影響を検討することができた。

小児期の ADHD 者を対象とした検証では、サンプルサイズが不十分であったものの、笑顔フィードバックの不確実性によって、抑制行動の正確さが下がることが示唆された。成人期の ADHD 者を対象とした検証では、不注意の問題を抱える個人において、笑顔フィードバックの不確実性による抑制行動の正確さの低下が示唆された。不確実さの影響が一様ではないことを示すとともに、ADHD 者の多様な臨床症状を踏まえた検討の必要性が強調された。以上から、褒める対象を特定し、それができたら必ず褒めるといった、支援者の態度の不確実性を減らす取り組みの重要性を強調するエビデンスが得られたと考えている。

一方で、予想とは異なり、成人期の ADHD 者では確実に笑顔がフィードバックされる場合であっても、実行機能の改善効果は確認できなかった。これは報酬フィードバックの有効性を示す小児研究とは矛盾する結果である。発達に伴う社会的報酬のフィードバックの効果の変化や、精神病理尺度との関連の検討、効果的なリワードの特定といった後続研究によって、成人期 ADHD 者の報酬フィードバックによる実行機能への影響についての詳細が明らかになることが望まれる。

## 【引用文献】

- Groom, M. J., Scerif, G., Liddle, P. F., Batty, M. J., Liddle, E. B., Roberts, K. L., Cahill, J. D., Liotti, M., & Hollis, C. (2010). Effects of Motivation and Medication on Electrophysiological Markers of Response Inhibition in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, *67*(7), 624-631. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.09.029>
- Hallquist, M. N., Geier, C. F., & Luna, B. (2018). Incentives facilitate developmental improvement in inhibitory control by modulating control-related networks. *Neuroimage*, *172*, 369-380. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.045>
- Jones, N. P., Versace, A., Lindstrom, R., Wilson, T. K., Gnagy, E. M., Pelham, W. E., Molina, B. S. G., & Ladouceur, C. D. (2020). Reduced Activation in the Pallidal-Thalamic-Motor Pathway Is Associated With Deficits in Reward-Modulated Inhibitory Control in Adults With a History of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *5*(12), 1123-1133. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.06.011>
- Kohls, G., Herpertz-Dahlmann, B., & Konrad, K. (2009). Hyperresponsiveness to social rewards in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Behav Brain Funct*, *5*, 20. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-5-20>
- Liddle, E. B., Hollis, C., Batty, M. J., Groom, M. J., Totman, J. J., Liotti, M., Scerif, G., & Liddle, P. F. (2011). Task-related default mode network modulation and inhibitory control in ADHD: effects of motivation and methylphenidate. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *52*(7), 761-771. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02333.x>
- Ma, I., van Duijvenvoorde, A., & Scheres, A. (2016). The interaction between reinforcement and inhibitory control in ADHD: A review and research guidelines. *Clinical Psychology Review*, *44*, 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.01.001>
- Padmanabhan, A., Geier, C. F., Ordaz, S. J., Teslovich, T., & Luna, B. (2011). Developmental changes in brain function underlying the influence of reward processing on inhibitory control. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *1*(4), 517-529. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2011.06.004>
- Paulsen, D. J., Hallquist, M. N., Geier, C. F., & Luna, B. (2015). Effects of incentives, age, and behavior on brain activation during inhibitory control: A longitudinal fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *11*, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.09.003>
- Pievsky, M. A., & McGrath, R. E. (2018). The Neurocognitive Profile of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Review of Meta-Analyses. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *33*(2), 143-157. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx055>
- Rosch, K. S., Fosco, W. D., Pelham, W. E., Waxmonsky, J. G., Bubnik, M. G., & Hawk, L. W. (2015). Reinforcement and Stimulant Medication Ameliorate Deficient Response Inhibition in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *44*(2), 309-321. <https://doi.org/10.1007/s10802-015-0031-x>
- Scheres, A., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. A. (2010). Response Inhibition in Children With DSM-IV Subtypes of AD/HD and Related Disruptive Disorders: The Role of Reward. *Child Neuropsychology*, *7*(3), 172-189. <https://doi.org/10.1076/chin.7.3.172.8746>
- Tegelbeckers, J., Bunzeck, N., Duzel, E., Bonath, B., Flechtner, H. H., & Krauel, K. (2015). Altered salience processing in attention deficit hyperactivity disorder. *Human Brain Mapping*, *36*(6), 2049-2060. <https://doi.org/10.1002/hbm.22755>