

セッション B：「人間の感覚と指向性を科学する」

司会：緒方康介（生科 臨床心理学 教授）

コメンテーター：川邊光一（文 心理学 教授）

リハビリテーションにおける脳波バイオマーカーの応用
－様々なウェアラブル脳波計を用いた活用事例－

上野慶太（リハ 作業療法学 D3）

脳波（Electroencephalogram; EEG）は、脳の電気活動を非侵襲的に測定するための代表的な手法であり、てんかんや睡眠障害の診断、さらにはブレインコンピュータインターフェース（BCI）など多岐にわたる領域で広く応用されている。EEG は Hans Berger（1873-1941）によって 1924 年に初めて観測され、今年には 100 周年に当たる。以来、関連技術は長足の進歩を遂げ、現在ではデジタル脳波計が主流となり、従来よりも迅速かつ容易に脳波の記録・解析ができるようになっている。

脳波計測技術の進展とともに、脳波を指標とした研究は一層盛んになり、多様な応用が進む一方で、脳波測定には依然としてさまざまな準備作業や不快感が伴う問題が指摘されている¹。これらの課題に対する解決策として、ウェアラブル脳波計の開発が進められており、装着や測定の利便性向上が期待されている。さらにウェアラブル脳波計の登場により、これまで測定が困難であった状況下や多様な活動中においても脳波の記録が可能となり、脳波を活用する研究領域がさらに拡大している。本発表では、ウェアラブル脳波計の特性と応用、および今後の展望について検討する。

1. 従来の脳波計測の課題とウェアラブル脳波計の利点

従来の脳波計測における課題として、主に以下の 3 点が挙げられる¹。第一に、電極の位置計算および貼り付け、接触抵抗低減のための頭皮清拭などの準備作業が煩雑であり、測定開始までに時間を要する点である。第二に、導電性ゲルやペーストが頭皮および髪に付着し、被験者に不快感を与える点がある。第三に、複数の有線センサが頭部に接続されるため、被験者の動きが制限され、日常生活での測定が困難であるといった物理的な制約が生じる。

近年開発が進んでいるウェアラブル脳波計は、装着や計測が従来型よりも簡便であり、被験者への負担が軽減され、かつ実験室外での脳波計測も実現している。このため、従来困難であった環境下での測定や課題遂行中の測定が可能となり、脳波を用いた研究の幅が広がりつつある。

2. ウェアラブル脳波計の応用分野

ウェアラブル脳波計は、認知モニタリング、臨床状態の診断や治療支援、コミュニケーションエイドなど、広範な分野での応用が進んでいる²。それぞれの分野における具体的な応用について述べる。

・ 認知モニタリング

認知モニタリング分野においては、注意や感情の評価が重要な課題とされている。具体的には、情動の評価としての快・不快、作業や刺激に対する注意などがウェアラブル脳波計を通じて測定され、商業用デバイスやゲーム分野で広く活用されている。これにより、リアルタイムでの認知的・感情的反応の測定が可能となり、対象者の心理的状态の把握に寄与している。

・臨床状態の評価

臨床分野では、てんかん、認知症、加齢に伴う機能低下などが主な研究対象になっている。例えば、ウェアラブル脳波計が長時間の脳波測定に応用され、てんかん発作の観察に有用であると報告されている。また認知症の早期スクリーニングや進行評価などでの応用が進んでいる。特にウェアラブル脳波計による被検者の可動性向上により、日常生活下での脳波記録が実現し、疾患のモニタリングや診断支援における価値が高まっている。

・コミュニケーションエイド

コミュニケーションエイドの分野においては、BCI を利用したロボットや外骨格ロボットの制御、およびニューロフィードバックが注目されている。これらの技術は、コミュニケーション困難な患者に対する支援手段としても有効であり、リハビリテーションや VR ゲームを通じた認知的刺激の提供によって、対象者の QOL 向上に貢献している。

3. デバイスの信号品質と PGM 株式会社の HARU

現在、ウェアラブル脳波計の多くが装着の簡便性を重視してドライ電極を使用しているが、ドライ電極は皮膚への圧迫が必要であるため、痛みや不快感が生じやすく、ノイズレベルも高いとされる。これに対し、大阪大学産業科学研究所からスピンオフしたベンチャー企業である PGM 株式会社が開発した HARU は、べたつきのない半固形ゲル電極を使用し、不快感を軽減しつつ、ドライ電極と同様の装着の容易さと、臨床用の脳波計と同様の高い信号品質を両立している³。

HARU は医療機器認証を取得し、医療分野での利用が可能である。加えて、柔軟で伸縮性のある電極シートと小型化された本体、Bluetooth によるワイヤレス通信により、日常生活の中での計測が制限されることなく行える。こうした特性から、日常生活での脳波測定や認知モニタリングにおける新たな可能性を開いている。

4. 我々の研究グループにおけるウェアラブル脳波計を用いた研究成果

HARU の研究成果の一例として、開閉眼時の脳律動活動の比較が挙げられる。この研究において、HARU が視覚刺激に対する脳波反応を精確に捉えることが確認された⁴。また、注意集中状態で出現する前頭正中部シータ律動 (Frontal midline theta rhythm : Fm θ) の測定も行われ、集中状態と Fm θ の出現が一致することが示された⁵。Fm θ が確認された被験者においては、 θ 帯域と γ 帯域の活動が課題中に増強する傾向が見られ、HARU が前頭部脳波を高精度に捉えることを示す結果が得られた。この結果は、ウェアラブル脳波計を用いて測定される Fm θ が注意集中状態のバイオマーカーとして応用できる可能性を示唆している。

また我々の研究グループでは HARU の他に、イヤホン型脳波計を用いた研究にも取り組んでいる。まず、イヤホン型脳波計を用いた研究では、運動中における脳波の特徴的変動、特にミューリズムの変動を捉えることを目的としている。ミューリズムは運動や運動イメージに関連して現れる脳波の一種であり、その動態を把握することは運動機能の評価や神経リハビリテーションへの応用が期待される

5. 今後の展望

今後は、HARUをはじめとしたウェアラブル脳波計を用いた脳波測定の実用範囲をさらに広げ、従来の脳波計では測定が困難であった環境や活動中での計測に取り組む。特に、HARUによる前頭部脳波測定を活用し、不安や抑うつに関連するバイオマーカーを抽出することで、作業療法や臨床支援の有用な指標となるかを検証する予定である。また、脳卒中患者の麻痺や高次脳機能障害に対するニューロフィードバック療法への応用も視野に入れ、介入効果の検討を進める計画である。

まとめ

ウェアラブル脳波計技術の発展は、脳波測定の利便性と精度を向上させ、従来の脳波計測に伴う課題を克服しつつある。一方で、信号品質の証明されていないウェアラブル脳波計を用いた研究や、正確な脳波信号を解析できているか不明である研究も多く存在し、脳波を用いた研究を行う際は基礎的な専門知識が非常に重要である。PGV 株式会社の HARU は、医療機器認証を得たことで、医療用途のみならず認知モニタリングやニューロフィードバックといった幅広い応用可能性を秘めている。今後も、ウェアラブル脳波計の信号品質を検証すると同時に、ニューロフィードバックの応用を進めることで、作業療法および臨床における有効な脳波指標としての実用化を実装していきたい。

引用文献

1. Mihajlovic, V., Grundlehner, B., Vullers, R., & Penders, J. (2015). Wearable, wireless EEG solutions in daily life applications: What are we missing? *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(1), 6–21.
2. Niso, G., Romero, E., Moreau, J. T., Araujo, A., & Krol, L. R. (2023). Wireless EEG: A survey of systems and studies. *NeuroImage*, 269, 119774.
3. PGV 株式会社. (n.d.). テクノロジー・デバイス. PGV 株式会社. Retrieved November 13, 2024, from <https://www.pgv.co.jp/technology-device>
4. 城間 千奈, 上野 慶太, 上田 将也, 森田 凜, 畑 真弘, 石井 良平, 内藤 泰男 (2023). シート型脳波計による α 波の測定と解析. *日本作業療法研究学会雑誌*, 26(1), 1–6.
5. Ueno, K., Ishii, R., Ueda, M., Yuri, T., Shiroma, C., Hata, M., & Naito, Y. (2023). Frontal midline theta rhythm and gamma activity measured by sheet-type wearable EEG device. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1145282.

緒言

我が国の犯罪捜査においては、被疑者の取り調べ時に生理指標の測定を用いたポリグラフ検査が行われている。日本の犯罪捜査におけるポリグラフ検査の主要な質問方法である隠匿情報検査 (Concealed Information Test: CIT) では (小川他, 2013), 対象事件の犯人でなければ知り得ない犯罪事実に関する質問 1 項目 (裁決項目) と, それに類似した質問 4-6 項目 (非裁決項目) によって構成された質問票を用いて検査が行われる (桐生, 2017)。

CIT に及ぼす聴覚的情報の影響についてはほとんど検討されておらず, 事件事実に関する認識由来の弁別的反応と, 質問時の音声を高く変化させたことによって惹起された弁別的反応との比較が報告されている程度である (等々力他, 2022)。そのため, 検査時のみならず, 犯行時に聴取した聴覚的情報が CIT の記憶検出にどのような影響を与えるのかはわかっていない。

研究目的

本研究では, 窃盗場面を用いた模擬犯行時に聴覚的背景情報として BGM を呈示し, 生理反応の計測中にも BGM を流す操作を行い, BGM 文脈依存効果 (e.g., Smith, 1985; Balch et al., 1992) の観点から, CIT の検出成績に与える影響を検討した。近年のポリグラフ研究では, 末梢神経系の指標に加え, 機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) や近赤外分光法 (NIRS) 等の中枢神経系の指標を用いた報告がされている (e.g., Kozel et al., 2005; 細川他, 2008; 新岡, 2018)。本研究では, 背景ノイズとなるような BGM の情報処理をモデルに組み込むため, 中枢神経系の指標を分析対象とし, NIRS を用いて前頭前野部における脳血流動態反応を計測した。

犯罪捜査の実務における活用可能性を考慮すれば, 背景情報となる聴覚的情報は BGM というよりは環境音から選定することが望ましい。しかしながら, 環境音に対して日常生活の中で慣れが生じている可能性があり, 統制が困難と判断したため, 今回は楽曲調の BGM を使用した。

方法

大阪公立大学及び大阪市立大学の学生 30 名 (男性 14 名, 女性 16 名, 平均 20.2 歳, $SD = 2.0$) が本研究に参加した。研究協力者は, 模擬窃盗時と検査時において一致した BGM を呈示する同文脈群, 窃盗時と検査時において異なる BGM を呈示する異文脈群, 検査時に BGM を呈示しない統制群の 3 群に無作為配置された。

模擬窃盗場面では, 引き出しを 1 つ開け, その中にある装飾品を盗むように教示した。その間, 実験室内に背景情報となる楽曲をスピーカーで流した。呈示した楽曲は, すべての群の模擬犯行時と同文脈群の検査時において, 稿屋隆の「easy discussion」, 異文脈群の検査時には, のるの「いやな予感」であった。それぞれの引き出しには装飾品と一緒に, ①クマ, ②ゾウ, ③リス, ④ネコ, ⑤サル, 以上の 5 つの異なるイラストの描かれたカードが配置された。それぞれ, ①ブレスレット, ②腕時計, ③ネックレス, ④イヤリング, ⑤指輪に対応していた。

模擬窃盗後, 研究協力者が犯行時に見たカードのイラストを尋ねるカード検査を実施した。5 分

間の安静時間を設けた後、隠し持った装飾品の種類を質問する本検査を行った。質問は裁決項目 1 個、非裁決項目 5 個の合計 6 項目で構成され、各質問は 30s 間隔で、イヤホンを通して呈示し、すべての質問に対して「いいえ」と返答するように求めた。6 質問すべてを呈示することを 1 セットと数えて、合計 3 セットをセットごとに呈示順序を変えて実施した。1 つ目の質問は緩衝項目であるため分析から除外した。

日立社製のウェアラブル光トポグラフィ (WOT-100) を用いて測定を行った。脳活動の鋭敏な指標であると報告されている酸素化ヘモグロビン (oxyHb) (e.g., Hoshi et al., 2001; 灰田, 2002) を解析対象とした。実験手続きやデータに不備があった 8 名を除外し、最終的に 22 名 (男性 9 名, 女性 13 名, 平均年齢 20.0 歳, $SD=1.7$) を分析対象とした。16 番のチャンネルを除き、すべての研究協力者で反応を確認できた 9 つのチャンネルの oxyHb 平均を算出した。各セット内でデータの平均を 0, 標準偏差を 1 とし, 200ms ごとの標準得点を算出した。刺激呈示前 5s 間の oxyHb の平均をベースラインとし, 呈示後 5–15s 間の oxyHb の最大値からベースラインを減算した差分 (Δ oxyHb) について, 裁決項目, 非裁決項目ごとに加算平均し, 群間比較を行った。さらに, 刺激呈示後 20s 間の oxyHb について, 2s ごとに区切り, それぞれの区間における裁決項目と非裁決項目の差分 Δ oxyHb を算出し, 平均値を群間比較した。BGM 文脈依存効果を検討するため, 本検査からカード検査の標準得点を減算して算出される Δ oxyHb も同様に分析した。

結果

JASP 0.18.1 を用いて, 得られたデータの統計解析を行った。裁決項目と非裁決項目との差分 Δ oxyHb を従属変数, 3 つの群を独立変数としたベイズアン一元配置分散分析を行った。Kelter (2020) によるベイズファクター (BF) 値の解釈基準では, BF が 0.33 より小さく 0.01 以上である場合は帰無仮説を支持する Moderate (中程度) の証拠となる。カード検査では, 刺激呈示後 5–15s 間の Δ oxyHb に, 群間で差はなかった (BF=0.31)。刺激呈示後 20s 間では (Figure 1: 波形の表示にあたっては前 10 点の移動平均による平滑化処理を行ったため, 0–2s 区間は表示されない), いずれの区間においても群間差がないという方向の証拠が得られた (BF=0.26~0.48)。

本検査でも, 5–15s 間の Δ oxyHb に関する群間差はなかった (BF=0.44)。刺激呈示後 20s では (Figure 2), いずれの区間においても群間差はなかった (BF=0.26~0.69)。とりわけ, カード検査における 0–2s, 6–8s, 12–14s, 14s–16s, 18–20s の区間 (BF=0.26, 0.30, 0.31, 0.31, 0.30), 本検査における 10–12s, 12–14s の区間 (BF=0.26, 0.33) で群間差がないという中程度の証拠が得られた。

続いて, 本検査からカード検査の標準得点を減算して算出された差分 Δ oxyHb についても同様の分析を行なった。刺激呈示後 5–15s 間の Δ oxyHb (BF=0.29), ならびに, 刺激呈示後 20s の各区間に関しても群間差はなかった (BF=0.29~0.70)。特に, 0–2s, 10–12s の区間 (BF=0.29, 0.32) では群間差がないという方向に中程度の証拠が得られた (Figure 3)。

考察

本研究で使用した BGM は, 本研究に参加しなかった学生 4 名との協議に基づいて選定した。しかし, この選定は主観的であったため, 使用した 2 つの楽曲が研究協力者にとって, 必ずしも異な

る特徴を感じさせるものではなかったかもしれない。それゆえ、同文脈群と異文脈群で楽曲が異なるという条件間差がそもそも生じていなかった可能性も考えられる。

カード検査、本検査、文脈依存効果のいずれの分析においても、裁決項目と非裁決項目間の Δ oxyHb に群間差はなかった。したがって、本研究では BGM を流す操作を行うことにより文脈依存効果が生じるのではないかとする仮説は支持されなかった。一方で、BGM を流すという環境操作を行なっても検出成績に群間差が生じなかったことから、CIT の頑健性を示した結果であったとも考えられる。ただし、刺激呈示後 5–15s での最大振幅に対する分析において、裁決項目と非裁決項目間での Δ oxyHb が負の値となった群があり、裁決項目を正しく検出できていなかった可能性もある。

記憶理論の観点からは、模擬窃盗課題中の聴覚情報呈示により、視覚情報である窃盗品の記銘が不十分となり、双方が競合的に干渉していた可能性が考えられる。模擬窃盗後、研究協力者には装飾品を 3 分間身につけさせることで該当品の記憶定着を企図したが、研究協力者が実際に指示に従っていたのか確認できておらず、記憶の定着が不十分であった者が分析に含まれていた可能性も否定できない。

結論

本研究では、模擬窃盗場面において BGM を流し、生理反応の測定時にも BGM を流す操作を行って、CIT における文脈依存効果を検討した。その結果、窃盗時に耳にした BGM と検査時の BGM が一致することは、CIT の検出成績を向上させる要因とならないことが明らかとなった。文脈依存効果は見出されなかったものの、検査時の聴覚的背景情報によって検出成績が左右されなかったことから、本研究により CIT の頑健性を示した知見が 1 つ得られたものと結論する。

Figure 1 カード検査における刺激呈示後 20s 間の裁決項目–非裁決項目間の oxyHb の差

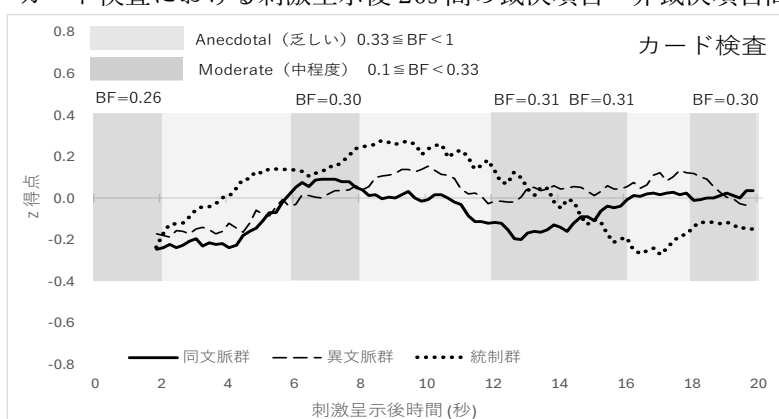


Figure 2 本検査における刺激呈示後 20s 間の裁決項目–非裁決項目間の oxyHb の差

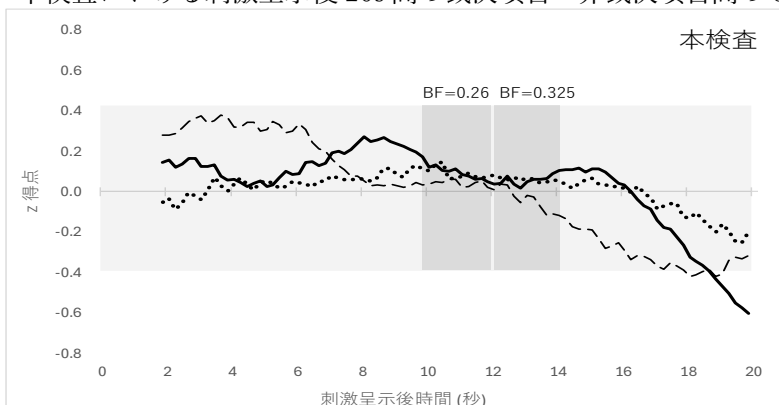
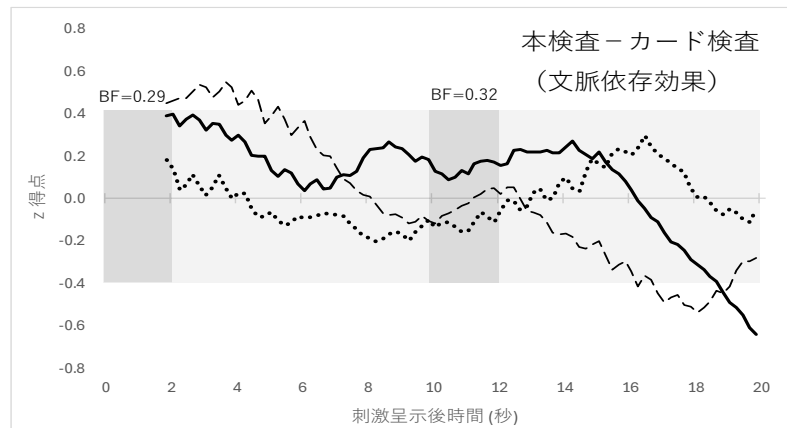


Figure 3 個人内差における刺激呈示後 20s 間の裁決項目—非裁決項目間の oxyHb の差



引用文献

- Balch, W. R., Bowman, K., & Mohler, L. A. (1992). Music-dependent memory in immediate and delayed word recall. *Memory and Cognition*, 20(1), 21-28.
- 灰田宗孝 (2002). 脳機能計測における光トポグラフィ信号の意味 MEDIX, 36, 17-21.
- Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M. (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, 90(5), 1657-1662.
- 細川豊治・風井浩志・八木昭宏・片寄晴弘 (2008). 虚偽検出場面における新たなる計測手法—機能的近赤外線分光法を指標として— ヒューマンインターフェース学会論文誌, 10 (2), 141-148.
- Kelter, R. (2020). Bayesian alternatives to null hypothesis significance testing in biomedical research non-technical introduction to Bayesian inference with JASP. *BMC Medical Research Methodology*, 20, 142.
- 桐生正幸 (2017). 日本におけるポリグラフ検査の変遷—犯罪事実の記憶, 隠蔽の意図— 行動科学, 56 (1), 31-42.
- Kozel, F. A., Johnson, K. A., Mu, Q., Grenesko, E. L., Laken, S. J., & George, M. S. (2005). Detecting deception using functional magnetic resonance imaging. *Biological Psychiatry*, 58(8), 605-613.
- 新岡陽光 (2018). 近赤外分光法を用いた虚偽検出: 情報秘匿意図の影響に関する検討 法政大学大学院紀要, 80, 43-54.
- 小川時洋・松田いづみ・常岡充子 (2013). 隠匿情報検査の妥当性: 記憶検出技法としての正確性の実験的検証 日本法科学技術会誌, 18 (1), 35-44.
- Smith, S. M. (1985). Background music and context-dependent memory. *American Journal of Psychology*, 98(4), 591-603.
- 等々力奈都・前野なつ美・杉野信太郎・國島茉由・安田優子・前田里沙・佐名龍太・森泰斗・常岡充子・小川時洋 (2022). 隠匿情報検査における認識由来の生理反応と質問時の音声変化による生理反応の比較 日本法科学技術会誌, 27 (2), 161-176.

食品成分によるガン予防効果とその作用メカニズム

佐々木 裕太郎

大阪公立大学大学院 生活科学研究科 生活科学専攻 食栄養学分野

博士後期課程2年生

1. 背景・目的

1981 年以降、日本における国民死因第 1 位はガンであり、その死亡者数・罹患者数は年々増加している。ガン治療法の技術は進展しているものの、ガンの多様性や治療耐性の発生、転移や再発の問題により、依然として死亡者数の減少には至っていない。そのため、ガンによる死亡者数の減少のために、発症予防の重要性が一層高まっている。ガンの発症予防には、食生活、特に野菜や果物などの摂取が重要な役割を果たしており、その要因として植物性食品成分が注目されている。

Kencur は東南アジア原産のショウガ科植物であり、その根茎は料理のスパイスとして使用されている（図 1）。また、インドネシアで伝統的な生薬である「ジャムウ」としても利用されており、古くから Kencur による健康増進効果が期待されてきた。これまでに、Kencur は抗炎症作用や抗酸化作用などの生理作用を有することが報告されている。本研究は、Kencur の新しい生理作用として抗ガン作用に着目し、Kencur 抽出物による抗ガン効果とその作用メカニズムについて細胞実験および動物実験を用いて検討した。



図1 Kencurの根茎（右）とジャムウ（左）

2. 方法

2.1. サンプルの調製

微粉碎した Kencur の根茎を 99.5%エタノールで抽出したものを Kencur 抽出物とした。

2.2. 細胞培養

ガン細胞としてマウス由来エールリッヒ腹水ガン細胞（EATC）を使用した。Kencur 抽出物または Ethyl *p*-methoxycinnamate（EMC）を培地に添加し、12~24 時間培養した。

2.3. 動物実験

6 週齢の ICR 雌性マウスの腹腔内に EATC を投与することで担ガンモデルマウスを作成した。Kencur 抽出物およびその含有成分である EMC を 13 日間毎日経口投与した。実験動物を用いた解析については大阪市立大学動物実験管理規程を遵守した。

3. 結果・考察

3.1. EATCの細胞生存率および細胞数におよぼすKencur抽出物の影響

抗ガン効果は、ガン細胞における「細胞死の誘導効果」と「細胞増殖抑制効果」の2つに大別される。Kencur 抽出物の抗ガン効果を評価するため、Kencur 抽出物を添加してから 24 時間後の EATC における細胞生存率および細胞数を測定した。Kencur 抽出物は 0~25 $\mu\text{g/ml}$ の濃度範囲で、細胞生存率に有意な変化を示さなかった。一方、細胞数は濃度依存的に有意に減少した。これらの結果から、Kencur 抽出物はガン細胞に対して増殖抑制効果を示すことが明らかとなった。

3.2. Kencur 抽出物の活性成分の同定

Kencur 抽出物には、フェノール類、フラボノイド、カルボン酸など、さまざまな生理活性物質が含まれている。Kencur 抽出物の抗ガン効果の活性成分を同定するため、HPLC を用いて Kencur 抽出物の成分分析を行った。分析の結果、主要含有成分は EMC であり、その含有率は 78.3%であった。さらに、EMC を EATC に添加して 24 時間培養した結果、細胞生存率には有意な変化が見られなかったが、細胞数は有意に減少した。これらの結果から、EMC が Kencur 抽出物の活性成分であることが明らかとなった。

3.3. EATC の細胞周期の進行におよぼす Kencur 抽出物および EMC の影響

細胞増殖は、G1 期（DNA 合成準備期）、S 期（DNA 合成期）、G2 期（分裂準備期）、M 期（分裂期）の 4 つの期間が周期的に進行することで行われる（図 2）。Kencur 抽出物のガン細胞増殖抑制効果とその作用メカニズムを明らかにするため、細胞周期の進行に対する影響を調べた。Kencur 抽出物および EMC は、G1 期から S 期への移行を阻止することが明らかとなった。

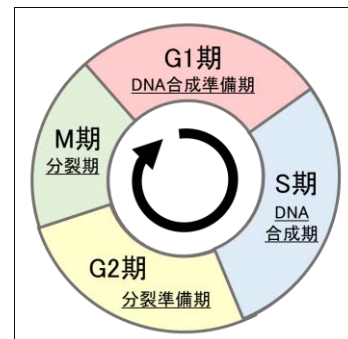


図2 細胞周期

3.4. EATC のミトコンドリア機能におよぼす EMC の影響

細胞増殖に伴いエネルギー消費は増加し、それに応じて細胞内アデノシン三リン酸（ATP）の需要も高まる。ATP は細胞内でエネルギーを供給する重要な分子であり、細胞分裂やその他の生命活動におけるエネルギー源として不可欠である。ミトコンドリアは ATP 合成の主要な細胞小器官であり、細胞のエネルギー供給において中心的な役割を担っている。したがって、ミトコンドリア機能は細胞増殖において重要な役割を果たす。本研究では、EMC がミトコンドリア機能に与える影響を評価した。EMC はミトコンドリア機能調節因子である TFAM の発現量を減少させた。しかし、ミトコンドリア DNA コピー数（ミトコンドリア数）およびミトコンドリア膜電位（ATP 産生能）は変化しなかった。これらの結果から、EMC の抗ガン効果には、ミトコンドリア機能障害は関与していないことが示唆された。

3.5. G1/S 期進行調節因子の発現量におよぼす EMC の影響

TFAM はミトコンドリア機能の制御に加え、G1/S 期進行を調節する遺伝子の発現も制御する。TFAM によって発現制御される遺伝子には、Cyclin D1 および p21 が含まれる。Cyclin D1 は G1/S 期進行の促進因子であり、p21 は抑制因子である。実験の結果、EMC により Cyclin D1 の発現量は減少し、p21 の発現量は増加した。これらの結果から、TFAM の発現量減少が cyclin D1 および p21 の発現に作用したと考えられる。

3.6. EMC による TFAM の発現量減少メカニズムの解明

c-Myc は転写調節因子であり TFAM の発現を促進する。また、c-Myc はリン酸化修飾を受けることによって転写活性が増加する。c-Myc のリン酸化におよぼす EMC の影響を測定した結果、EMC は c-Myc のリン酸化を抑制した。この結果から、EMC は c-Myc の転写活性を低下させることにより TFAM の発現量減少を誘導することが示唆された。

3.7. 担ガンモデルマウスの腹水量におよぼす Kencur 抽出物および EMC の影響

担ガンモデルマウスを用いることで、経口投与された Kencur 抽出物または EMC が消化管から吸収され、ガン細胞に対して作用するかを生体レベルで評価することが可能となる。このモデルでは、ガン細胞の増殖に伴い腹水量が増加するため、腹水量は抗ガン効果の指標として広く用いられている。実験結果として、EMC の経口投与により腹水量は有意に減少した。一方、Kencur 抽出物は腹水量の減少傾向を示した。これらの結果から、Kencur 抽出物および EMC が生体レベルでも抗ガン効果を示すことが示唆された。

4. 結論

Kencur 抽出物およびその活性成分である EMC は、細胞周期の G1 期から S 期への移行を阻止することによって、ガン細胞の増殖を抑制することが明らかになった（図 3）。

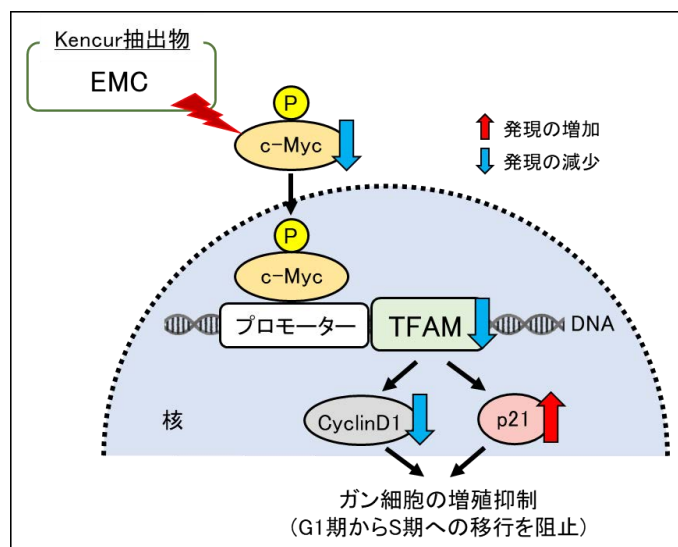


図3 EMC による抗ガン作用メカニズム

参考文献

Yutaro, Sasaki, *et al.* "Kaempferia galanga L. extract and its main component, ethyl *p*-methoxycinnamate, inhibit the proliferation of Ehrlich ascites tumor cells by suppressing TFAM expression." *Heliyon* (2023).

「先んじて協力を示すことを促すための心理・社会的要因の分析」

1. 協力について (Bowles & Gintis, 2017)

人間社会において、「協力しあう」ことは当然のように思われるが、大規模社会を支える人間の協力性は他の動物種と比較した場合に際立つ大きな特徴の一つである。もちろん萌芽的な協力に関しては、いくつかの霊長類においても示されることがわかっている。しかし、共感、公平性、信頼等にあらわれる高度な協力性はヒト独特のものであるとされている。その意味において、遺伝的に無関係な他個体と「協力しあう」ことは極めて不思議な現象といえる。

それでは、なぜ人間社会に高度な水準での協力性が広く存在しているのか。その一つの理由は、人間が他者の幸福に対する関心を有しているためであり、倫理的規範を維持しようとする欲求である社会的選好に動機づけられていることにある。こういった人間の「不思議」な協力性は、自己利益を追求すると全体の利益が損なわれるジレンマ状況 (図 1) を反映した実験ゲームにおいて研究されてきた。そのなかでも「囚人のジレンマゲーム (PDG; 図 2)」はもっともよく用いられてきたゲームといえる。このゲームでは、ペアとなった 2 人がお互いに顔をあわせることのない匿名性が保証された状況で、協力か非協力かの意思決定を同時に一度だけ行う。こうした一回限りの PDG において、経済学的に合理的な意思決定は非協力の選択である。しかし、先行研究では、多くの人々が協力を選択することが示されてきた。つまり、協力する誘因のない状況であっても人間は協力を示すことが多くの研究で示されてきたのである。

図 1 社会的ジレンマ



図 2 囚人のジレンマの利得構造

		B	
		協力	非協力
A	協力	1000, 1000	0, 1500
	非協力	1500, 0	500, 500

2. なぜ人々は協力するのか? (渡部・寺井・林・山岸, 1996)

人間が協力する誘因のない場面においても協力を示すことの説明として、「互惠性」に着目したものがある (例えば、渡部ら, 1996)。渡部ら (1996) は、一回限りの同時 PDG においてプレイヤーが協力を示すのは、相手に対してコントロール感を持つからであると主張している。より具体的には、自分の示す協力に対して相手からの「お返し」を期待し、先に協力を示すことにより相手からの協力を引き出すために協力の手を示すということである。そして、その背景にあるのは、本来存在しないはずの互惠性への期待である。

渡部ら（1996）の主張は、一回限りの、2人のプレイヤーが（同時ではなく）順番に意思決定を行う順序 PDG（図 3）を用いた実験によって検証された。もし、先に意思決定を行うプレイヤーが、協力しあうことを望ましく思い、後の意思決定者であるペアの相手に対して強いコントロール感を持っているのであれば、協力しあうために、協力を示すはずである。また、もしプレイヤーが自己利益だけを追求するのであれば、順序 PDG であろうが同時 PDG であろうが、非協力を選択するはずである。

しかし、順序 PDG において、後の意思決定者の意思決定は、先の意思決定者の意思決定

（協力か非協力か）に応じて変化することは多くの先行研究でも示されている。さらに、この観点からは、先の意思決定者の協力が、後の意思決定者の協力を導くと期待できる。

渡部ら（1996）の実験の結果（図 4）は、もし 1 人のプレイヤーが先に協力を示せば、もう一方のプレイヤーもまた協力を選択するだろうという互恵的な期待をもつことに根拠があることを示唆するものであった。具体的には、順序 PDG における後の意思決定者に割り当てられた参加者は、先の意思決定者の決定内容（協力か非協力か）を知らされた上で意思決定する場合、協力だと知らされると協力（75%）を、非協力だと知らされると非協力（88%）を選択した。さらに、順序 PDG における先の意思決定者に割り当てられた参加者の協力率は 82.6% となり、多くの人が協力を選択することがわかる。このことは、コントロール感が協力率を左右することを示唆する結果である。

3. 互酬性にもとづくお返しの期待と、「先んじて協力を示すこと」の意味について

渡部ら（1996）の知見をもとに、報告者らは、先んじて協力を示すことの意味を検討する実験を実施した。以下にその詳細について簡潔に紹介する。

【研究方法】 研究上の主眼は、同時 PDG における協力率と順序 PDG における協力率の比較にある。Web 調査により、一般成人 161 名を、囚人のジレンマゲームにおける意思決定の状況 3 条件（同時の意思決定者・先の意思決定者・後の意思決定者）に割り当て、意思決定を比較した。なお、実験における意思決定に応じた謝金が支払われることを事前に伝えた。

【研究結果・考察】 実験の結果、まず、人々は協力しあうことを最も望ましく捉えていることが示された（図 5）。

次に、協力率についての結果を示す（図 6）。後の意思決定者に割り当てられた場合の結果については、自身の利益を追求するという点からは相手の決定にかかわらず非協力の選択

図 3 順序 PDG

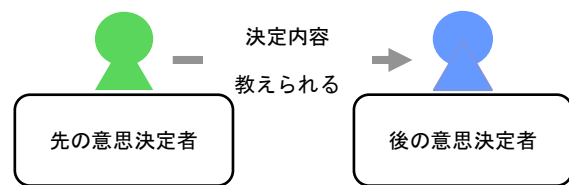


図 4 渡部ら（1996）の協力率の結果

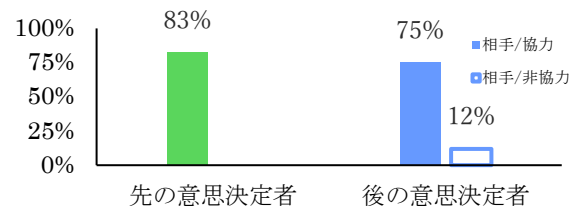
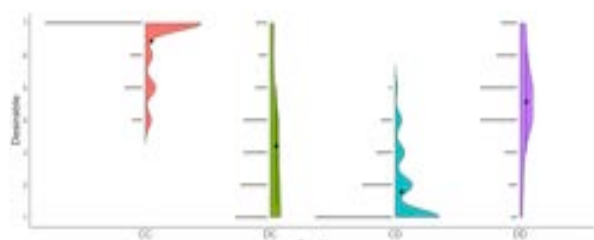


図 5 結果に対する望ましき評価



注 1) CC は協力しあうことの結果、DC は自身が非協力し相手が協力したことで自身が得をする結果、CD は自身が協力し相手が非協力したことで自身が損をする結果、DD はお互いに非協力の結果を指している。
注 2) 結果に対する望ましきは 7 件法にて回答を求めた。

が合理的である。しかし、後の意思決定者の協力率は、相手が協力である場合と非協力である場合において有意な差が見られた ($\chi^2(1) = 45.0, p < .001$)。この結果は、人々が経済的に合理的な意思決定ではなく互恵的な意思決定をすることを強く示す結果といえる。さらに、先の意思決定者の協力率は、同時の意思決定者の協力率よりも有意に高かった ($\chi^2(1) = 4.10, p = .043$)。したがって、協力しあうために先んじて協力を示すことが有効な手立てであること、そして人々がそのことを認識していることが示唆された。

しかし、これまでの知見と異なる結果も得られた。本研究で設定していた3つ意思決定条件に対して、それぞれの意思決定者になることがどの程度望ましく思うかを尋ねた。その結果、先の意思決定者の条件は、他の条件よりも有意に望んでいなかった ($F(2, 320) = 35.98, p < .001, partial \eta^2 = .18$)。したがって、人々は、協力しあうことを望ましく思い、先んじて協力を示すことの有効性を認識しつつも、その選択をためらう可能性が示唆された。

日本では、人間関係のリスク全般を避けようとする傾向性(Yamagishi, 2011)や、人間関係において波風立てないように振る舞う傾向性が顕著に示される(Hashimoto & Yamagishi, 2013)ことが指摘されている。このような知見を踏まえると、互恵性は文化普遍的にみられるが、先んじて意思決定すること、あるいは先んじて協力を示すことへの選好においては、文化差が見られる可能性がある。

4. これからの研究について

報告者らのこれからの研究における主たる目的は、他者に対して自ら主体的に「協力を示すこと」を促すための心理・社会的要因について分析を試みることにある。現段階では、この研究目的を達成するために、先んじて「協力を示すこと」の心理メカニズムについて、経済ゲームを用いた複数の個別実験を通して明らかにすることを予定している。さらに、社会や文化が異なれば協力を促すための要因も異なる可能性についても検討を重ね、当該行動に影響を与えていると予測される変数を揃えることで社会差を消失させる比較社会実験を通して「協力を示すこと」の背後にある社会的要因の分析を行う予定である。

図6 協力率

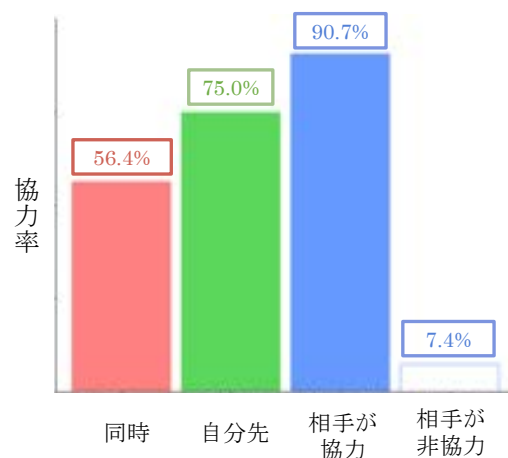


図7 3つの意思決定条件に対する望ましさ

