

厚生労働行政推進調査事業費補助金  
(医薬品・医療機器等レギュラトリーサイエンス総合研究事業)  
分担研究報告書

若年者違法薬物使用防止の啓発活動のためのエビデンス収集

研究分担者：関野祐子 東京大学大学院農学生命科学研究科 特任教授  
研究協力者：筒井泉雄 東京大学大学院農学生命科学研究科 特任研究員  
間瀬省吾 東京大学大学院農学生命科学研究科 特定支援員

---

**【研究要旨】**

本邦の警察の調査（2023 年）によると、大麻摘発者の 73.5%が 10～20 代の若年層となり急速に拡大しており、全年齢層において約 76%に上る人は大麻の有害リスクについて認識がないと答えたという。このような背景を踏まえ、本研究では、大麻および合成カンナビノイドが発達途上にある若年者の脳に与える神経毒性について実験モデルを使って科学的に検証し、その結果をもとに、若者自身がリスクを正しく理解し行動選択できるよう、エビデンスに基づいた啓発活動の基盤を構築・発信することを目的とする。

我々は、脳の発達過程のうち神経ネットワーク形成時期を実験的に再現できる実験モデルを構築し、大麻成分が脳の発達期にもたらす有害事象を細胞レベルで明らかにした。具体的にはラット胎仔由来海馬神経細胞の初代培養系で、神経シナプスが形成され神経回路ができる形成期（DIV7 から 2 週間並びに DIV14 から 7 日間）に合成カンナビノイドを培養液中に投与して、神経細胞の成熟に与える影響を観察した。その結果、神経細胞の樹状突起の短縮、樹状突起スパインの消失、および神経細胞死が誘発されることを確認した。とくに 10  $\mu$ M CP55940 投与により、ドレブリンの樹状突起スパインへの局在が失われる現象が顕著であり、これは記憶や学習に関与するシナプス構造の破壊を示唆するものである。

これらの科学的知見を一般市民、特に中高生に向けた啓発教材として展開するため、以下のようなアウトリーチコンテンツの開発に着手した：

- 実験画像を活用した科学対話形式教材（高校生と神経科学者の対話）
- インタラクティブゲーム（疑似実験体験）
- 脳科学クイズ形式の講義スライド
- 啓発メッセージ 4 本柱：①神経細胞の変性 ②成長期の脆弱性 ③回復不能なダメージ ④未来を守る選択

本研究によって、科学的データに裏打ちされた啓発メッセージが構築されつつあり、若年層への効果的な伝達手法の実装に向けた基盤が整いつつある。

---

**研究目的**

警察庁の調査（2023 年）によると、大麻による摘発者数が覚せい剤関連の摘発者数を上回り、その 73.5%が 10～20 代の若年層で占められているという衝撃的な事実が明らかとなった。違法薬物の使用が若年層に急速に拡大している現状は、深刻な社会問題として大きな注目を集めている<sup>1)</sup>。近年ではさらに、胎児期における大麻暴露が深刻な障害をもたらす可能性も指摘されている<sup>2)</sup>。とくに大麻の娯楽目的を合法化した国々では、妊娠中につわりの軽減

を目的として大麻を使用する女性が増加していることも知られている。妊娠中の大麻使用は、新生児の低体重や頭囲の減少などに関係しており、さらに子供の自閉症スペクトラム障害の発症率が 1.5 倍であったという報告がある<sup>3)</sup>。一方で、胎児期の暴露には神経心理学的な影響を認めないという報告もあり<sup>4)</sup>、コホート研究による因果関係の追求の難しさを物語っている。カンナビノイドの長期使用者の脳には構造的な変化があることは報告されており、特に若年者では脳の一部で灰白質の欠損が生じ、暴

露される時期により効果も異なるとされる<sup>5,6)</sup>。大麻の有害事象に関するコホート研究では、その有害性をクリアに証明することができないのは、曝露の濃度や時期を厳密にグループ分けできないためである。しかし、有害であるという報告がなされている以上、何らかの作用があることは事実である。したがって、大麻成分がどのように神経細胞の発達に影響しているのかを検証するための基礎研究が重要となる。

コホートデータでは効果的な予防啓発活動に利用できる科学的な裏付けのデータを得ることは難しいことから、我々はげっ歯類の神経細胞を使った基礎研究に取り組んできた。我々のデータをまとめると、合成カンナビノイド (CP55940) の投与が海馬培養神経細胞にもたらす有害反応は以下の3点であった。

- ① 樹状突起スパイン密度の減少
- ② ドレブリン局在の変化
- ③ 神経細胞死

これらは記憶・学習関連のシナプス構造の破壊を示している。つまり、コホート研究では得られなかった視覚教材を得ることができた。

本年度は、これまでに得られた知見と視覚教材を中高生向けにわかりやすく伝えるためのアウトリーチ教材を開発し、教育現場への実装を通じて薬物乱用防止の効果的な啓発方法を提案することを目的とした。

## B. 研究方法

本年度は、令和5年度までに得られた神経細胞への影響に関する科学的知見をもとに、若年層への効果的な啓発教材の開発を行った。教材開発のために以下の手法で基礎実験を行い、その結果を視覚教材として応用した。

### 1. 視覚教材の作成

#### 神経細胞の培養と薬物投与

ラット胎仔由来海馬神経細胞 (SKY ニューロン; AlzMed 社製) を使用し、ポリ-L-リジンでコートされた96ウェルプレート (Zeon 社非売品) に1万個/ウェルの密度で播種した<sup>7)</sup>。5% CO<sub>2</sub>、37°Cの条件で培養を開始し、14日間培養後に合成カンナビノイド CP55940 (0.1~10 μM) を投与し、さらに7日間培養した (DIV14→DIV21)

#### 免疫細胞化学染色と画像解析

免疫細胞化学染色は、ドレブリンの染色に抗ドレ

ブリン抗体 (mouse monoclonal, M2F6, ハイブリドーマ培養上清)、樹状突起の微小管結合タンパク質である MAP2 の染色には抗 MAP2 抗体 (rabbit polyclonal, 1:2000) を用いた。4°Cで24時間反応させた後、2次抗体として Alexa Fluor 488 donkey anti-Mouse IgG (1:250) 及び Alexa Fluor 594 donkey anti-rabbit IgG (1:250) で可視化した。核を染色するために、4',6-Diamidino-2-Phenylindole Dihydrochloride (DAPI, 1:1000) を加えて、細胞を3重に染色した。

画像取得は、共焦点定量イメージサイトメーター (CellVoyager CQ1; 横河電機) の自動フォーカス機能 (20× lens, numerical aperture 0.45) を使って、フォーカス面を決定し、3 μm 間隔でz軸方向に3枚の画像を撮影しプロジェクションマップを使って1視野の1枚の画像とした。神経細胞を培養したウェルについて中心部分の16視野を自動的に撮像した。ハイスループットで得られた大量の画像情報我々が独自に開発した解析プロトコルを参考にして、CQ1の解析ソフト (CellPath finder; 横河電機) の解析アルゴリズムを構築した<sup>8)</sup>。アルゴリズムの開発は日本化学工業協会 LRI 委託研究課題 (第8~10期) で開発したものをベースとして一部改良を行った。また本研究でのデータ取得の一部は日本化学工業協会 LRI 委託研究課題の研究助成金により行われた。

### 2. 視覚教材による啓発コンテンツ作成

神経細胞の構造変化・細胞死に関する画像データを視覚教材に変換し、科学対話・クイズ・シミュレーション等の複数のアウトリーチ形式で展開する。

#### アウトリーチ素材の提案項目

- 実験画像を用いた高校生と神経科学者の対話教材 (一部に Chat GTPo4 を用いた)
- インタラクティブゲーム形式の疑似実験体験: セルミミック社の細胞培養法の学習のための教材<sup>9)</sup>を参考にした)
- クイズ形式講義
- 啓発メッセージ4本柱:
  - ① 神経細胞の変性
  - ② 成長期の脆弱性
  - ③ 回復不能なダメージ
  - ④ 未来を守る選択

## C. 研究結果

図1に、カンナビノイドの子供の脳発達への悪影響をまとめた。これらの悪影響をもたらし神経細胞

の変性の過程を示す科学的データとして視覚教材を作成した。

図2に、視覚教材に用いる図を令和5年度の報告書から転載した。神経細胞のドレブリンクラスターの分布変化や、10  $\mu$ M CP55940 による樹状突起の短縮・スパイン消失の顕著な画像（Stage 1～3）を活用し、「神経細胞の変性」の実証データとして教材に組み込む。

図3に、これまでの実験結果から得られたデータから、カンナビノイドの発達神経毒性が具体的にどのような影響をもたらすかをまとめた。大麻成分であるカンナビノイドは、発達期の神経細胞の成長を阻害した。個々の神経細胞の神経突起が短くなってしまうことや、シナプス形成に影響することが実験で明らかとなった（図3 緑四角）。神経細胞の成長への直接作用に加えて、脳全体としては、すでに脳内に存在しているエンドカンナビノイドシステムを介して行われている脳内のシグナル伝達を妨害することで、長期的な脳機能の不調や行動障害がおきる（図3 黄色四角）。特にこの反応が胎児期や思春期におこると海馬や大脳皮質に構造変化が生ずる（図3 オレンジ四角）。神経細胞は他の体細胞と異なっており新生しないため、障害は一生残るため、成人になっても学習能力の低下や注意力欠如、感情コントロール障害などの症状を発症する（図3 マゼンダ四角）。

図4には、神経細胞死を逃れてはいるものの、樹状突起スパイン数が減少し、かつドレブリンが異常集積している神経細胞を示した（図4B）

培養神経細胞のシナプス形成期に 10  $\mu$ M CP55940 を培養14日目から7日間投与して残存する神経細胞には異常な突起形態と樹状突起スパインにドレブリンが異常に集積していた。図5は、神経細胞体内のドレブリン分布を示す顕微鏡画像で、同一プレートの同条件の細胞をそれぞれ24個選別した。神経細胞体のドレブリンの分布にも異常が観察された。特に正常細胞では核の部分にドレブリンの免疫染色性が認められなかったもので、核の部位を識別することができた（図5A）。しかし、CP55940 を慢性投与されて残存している神経細胞の核の部分は正常細胞とは異なる染色性を示しており、核の部分は明確に識別できなかった（図5B）。細胞体で細胞骨格の状態が変化していることがわかった。これはおそらく神経細胞死の兆候であると判断された。

以上の結果を踏まえて、大麻成分が神経細胞にもたらす有害反応について、下記の4項目を啓発メッセージとして図6にまとめた。

#### 神経細胞の変性

- 大麻の成分が神経細胞の樹状突起を短くし、樹状突起スパインを消失させる。軽度の記憶障害をもたらす。
- 暴露量が多くなると神経細胞の死につながり、学習や記憶に深刻な影響を与える。

#### 成長期の脳の脆弱性

- 中学生や高校生の脳はまだ発達途中で、外部からの影響を受けやすい。
- 大麻の成分が海馬の神経細胞を変性させ、将来の認知機能や精神状態に悪影響を及ぼす。

#### 回復不能なダメージ

- 一度失われた神経細胞は回復しない。
- 大麻の使用は依存症のリスクもあり、さらに深刻な問題を引き起こす可能性がある。

#### 未来を守るための選択

- あなたの脳は大切な宝物。大麻のリスクを正しく理解し、未来を守るための選択をしよう。

次に、どのような教材を作成するかのをいくつか考案した。

図7、8には、科学的データを理解するために、高校生と神経科学者との対話を想定したシナリオを作製した。図7では、図2、4、5に示された、CP55940の神経細胞毒性を示す顕微鏡写真の結果から何がわかるのか、について、高校生が初めて顕微鏡写真を見ることを想定してどのような説明をするのが良いかを考えたものである。図7は、科学に興味のある高校生からの質問を受ける場合を想定している。図8には、高校生に対して神経科学の基本知識を教えることで、自発的に大麻の危険性を理解してもらうことを想定した。図9にはインターラクティブなゲーム形式の例を挙げ、実験室で行われている実験を理解してもらうように誘導するやり方を工夫した。

図10には、現在学会や企業研修で使われている教材を例として引用した。初心者には培養細胞の方法を教えるための学習用ノベル・ゲームである。

啓発活動においては、研究成果をかみ砕いて説明していく必要がある。いくつかのやり方があると思うが、NHKE テレの科学番組や高校講座で使

われている方法のように、専門家に対するインタビュー形式が効果的かもしれない。図 11 では、高校生がインタビュアーとなり、関野が行っている研究内容を説明してもらうという場面を想定した。図 12 はゲームショーのようなやり方かどうかと考案した例である。

科学的エビデンスとして、正常細胞と CP55940 処理細胞の顕微鏡写真を提示して、これらの比較を通じて、視覚的に大麻成分が神経細胞を破壊することを示す教材をいくつか作れることを示した。これらの教材を通じて、なぜ大麻を摂取してはいけないのか、若年者が自発的に考える力を養うことができる。

#### D. 考察

本研究では、大麻成分による発達中の神経細胞への毒性を細胞レベルで明らかにし、その科学的エビデンスをもとに啓発活動に資する視覚教材を開発した。特に、合成カンナビノイド (CP55940) の曝露によって生じる神経細胞の異常を顕微鏡画像として捉えた研究結果を使うことは重要である。大麻成分は神経細胞に直接作用して神経細胞死をもたらす。細胞死にいたるプロセスを「見える形」で若年者に伝えるアプローチは、従来の文字情報や統計資料では届きにくかった層への説得力あるメッセージとなった。

##### (1) 科学的エビデンスの視覚化による理解促進

図 2、4、5 で示されたように、神経突起の短縮やスパイン消失、ドレブリンのクラスター形成といった構造変化は、シナプスの形成および神経ネットワークの安定性に深刻な障害をもたらす<sup>10)</sup>。樹状突起スパインの消失のみならず、残存した樹状突起スパインにはドレブリンの異常集積が認められた。ドレブリンの異常集積は、オピオイドにたいする依存症モデルで観察されている<sup>11)</sup>。大麻成分がドレブリンの分布異常を引き起こし、神経細胞死をもたらすという強い実験的な事実を視覚化した画像は、記憶や学習に重要なシナプス構造や神経細胞が破壊される様子を直感的に理解させるのに有用である。特に細胞を支える細胞骨格が薬物により障害を受けると、この障害は不可逆的であり、たとえ神経細胞が生き残ったにせよ樹状突起スパインの細胞骨格に生じた障害は一生残って、大麻への曝露がなくなっても将来的に何らかの脳機能障害が発症する危険がある。

このような画像教材は、コホート研究などでは捉えられない、細胞レベルでの“科学的な証拠”としての価値が高く、視覚教材化することで、教育現場において新たな啓発手法を提供できた。

##### (2) 異常細胞の可視化による啓発メッセージの構築

図 4・図 5 では、神経細胞死を免れた細胞における異常突起形態や、ドレブリンの異常集積が示されている。これらは、「細胞が死んでいなくても、構造と機能が損なわれている」ことを視覚的に理解させる教材として有効である。これをもとに構築した「神経細胞の変性」「成長期の脆弱性」「回復不能なダメージ」「未来を守る選択」という 4 本柱のメッセージは、科学的根拠と啓発目的をつなぐ橋渡しとなった。

##### (3) 多様なアウトリーチ形式による理解の深化

図 6~12 に示された対話、インタラクティブゲーム、クイズ、インタビューなどの形式は、学習者の興味や理解度に応じた複数の入り口を設けること意図して作成した。とりわけ、正常細胞と処理細胞を比較する視覚教材では、被験者に直接的なインパクトを与えるとともに、科学的な“なぜ”に自ら向き合う姿勢を促せるのではないかと考えた。こうしたアプローチは、単なる知識の受動的習得にとどまらず、認知的理解と価値判断を統合した自発的な行動変容につながることを期待している。

以上のことから、科学的エビデンスを視覚教材として効果的に活用し、それを多様な教育手法に展開することで、若年者が神経科学的知見を理解し、自らの将来を守るために“「摂取しない」という選択を主体的に行う行動変容”が誘導できる。本研究の成果は、薬物乱用防止啓発の新たなモデルとなりうる。

#### E. 結論

本研究では、合成カンナビノイド (CP55940) の曝露によって発達中の神経細胞に引き起こされる構造的変化を、免疫染色画像により可視化し、科学的エビデンスとして提示することに成功した。得られた画像は、神経突起の短縮、スパインの消失、ドレブリンの異常局在、細胞死の兆候といった神経毒性の明確な指標となり、視覚教材としての高い有用性を示した。

これらのエビデンスを基に、科学対話形式、ゲーム形式、クイズ形式など多様なアウトリーチ教材を開発し、教育現場での導入を見据えた実践的な啓発手法を構築した。とくに正常細胞との比較により、

構造的・機能的異常を直感的に理解させる教材は、若年者が科学的根拠をもとに自らの脳の大切さを認識し、「大麻を摂取しない」という選択に至る意識の変容を促す上で効果的であると期待する。

以上の成果は、神経科学に基づいたエビデンス主導の啓発活動が、若年層に対する薬物使用防止教育において実効性を持つものであり、今後の社会実装に向けた重要な基盤となる。

## F. 参考文献

1. 日本経済新聞電子版 「大麻摘発者、2023 年に最多 6400 人 初めて覚醒剤上回る」 共同通信配信 2024 年 3 月 21 日
2. Smith AM, Mioduszeewski O, Hatchard T, Byron-Alhassan A, Fall C, Fried PA. “Prenatal marijuana exposure impacts executive functioning into young adulthood: An fMRI study” *Neurotoxicol Teratol.* 58:53-59. 2016
3. Corsi DJ, Donelle J, Sucha E, Hawken S, Hsu H, El-Chaâr D, Bisnaire L, Fell D, Wen SW, Walker M. “Maternal cannabis use in pregnancy and child neurodevelopmental outcomes” *Nat Med.* 26; 1536-1540. (2020)
4. Isik OG, Guo L, Whitehouse AJO, Li G, Ing C. “Neurodevelopmental outcomes in children after prenatal marijuana exposure”, *Paediatr Perinat Epidemiol.* 37(6):536-546 (2023)
5. Dhein S. “Different Effects of Cannabis Abuse on Adolescent and Adult Brain”, *Pharmacology* 105; 609-617 (2020)
6. Peters KZ, Zlebnik NE, Cheer JF. “Cannabis exposure during adolescence: A uniquely sensitive period for neurobiological effects” *Int Rev Neurobiol.* 161: 95-120 (2022)
7. Koganezawa N, Roppongi RT, Sekino Y, Tsutsui I, Higa A, Shirao T. “Easy and Reproducible Low-Density Primary Culture using Frozen Stock of Embryonic Hippocampal Neurons” *J Vis Exp.* Jan 27 (191), 2023
8. 厚生労働行政推進調査事業補助金(医薬品・医療機器等レギュラトリーサイエンス政策研究事業) 20KC2001 (研究代表者 永沼章) 分担研究報告書: 関野祐子「若年者違法薬物使用防止の啓蒙活動のためのエビデンス収集」令和 2~4 年
9. バイオをゲームで学ぼう: バイオ・マスター® ver.2.0 <https://cellmimic.com/blog/>
10. Mizui T, Takahashi H, Sekino Y, Shirao T. “Overexpression of drebrin A in immature neurons induces the accumulation of F-actin and PSD-95 into dendritic filopodia, and the formation of large abnormal protrusions” *Mol Cell Neurosci.* 30(1):149-57. 2005
11. Martin JA, Werner CT, Mitra S, Zhong P, Wang ZJ, Gobira PH, Stewart AF, Zhang J, Erias K, Siemian JN, Hagarty D, Mueller LE, Neve RL, Li JX, Chandra R, Dietz KC, Lobo MK, Gancarz AM, Yan Z, Dietz DM. “A novel role for the actin-binding protein drebrin in regulating opiate addiction” *Nat Commun.* 10(1):4140 (2019)
12. Pandey S, Miller CA. “Targeting the cytoskeleton as a therapeutic approach to substance use disorders” *Pharmacol Res.* 202:107143. (2024)

## G. 研究発表

### 学会発表

関野祐子、筒井泉雄、白尾智明、小金澤紀子、田邊思帆里「神経毒性と発達神経毒性を評価するための新しい有害転帰経路の提案 (AOP475): 学習と記憶障害につながるドレブリンの喪失という新しいキーイベント」APPW2025 (第 130 回日本解剖学会／第 102 回日本生理学会／第 98 回日本薬理学会合同大会) 千葉 2025 年 3 月

### 1.記憶力の低下

短期記憶を妨げ、学習能力を低下させる。

### 2.認知機能の障害

集中力や計画能力が損なわれ、学業成績や日常生活に悪影響を及ぼす。

### 3.精神的な影響

幻覚や精神病(大麻精神病)を引き起こすリスクがある。

### 4.動機の低下

無動機症候群を引き起こし、やる気や意欲が低下する。

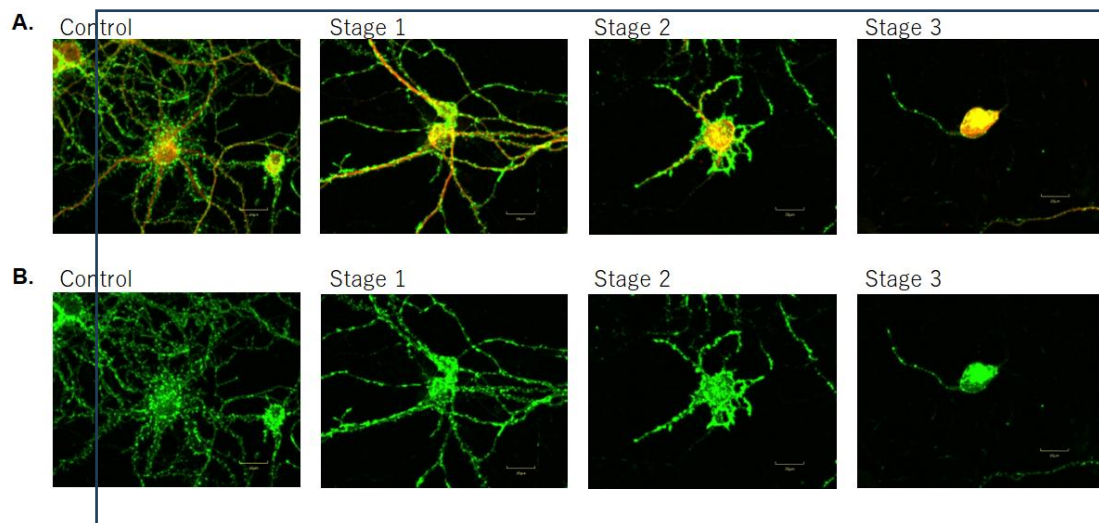


図 1. カンナビノイドの子供の脳発達への悪影響のまとめ

図 2. 10  $\mu$ M CP55940 によるシナプス形成期特異的神経細胞死の経過

#### A:抗 MAP2 抗体と抗 Drebrin 抗体による免疫細胞化学染色

Control は対照実験の溶媒コントロールの画像で、Stage 1, Stage 2, Stage 3 は 10  $\mu$ M CP55940 を培養 14 日目に投与して 7 日後に固定した標本の神経細胞である。樹状突起の残存レベルから細胞死までの経過を想定して典型的な形態を示す細胞の写真を示している。2Control では樹状突起の MAP2 の染色像（赤色）と Drebrin 染色像（緑色）に特徴があり、Drebrin が樹状突起スパインに観察されている。

#### B:A と同視野の写真の Drebrin 分布変化

残存している樹状突起中で Drebrin が大きくクラスター状になっていることが分かる。

厚生労働行政推進調査事業費補助金「大麻をはじめとする薬物の効果的な予防啓発活動の実施および効果的検証に向けた研究」 令和 5 年度 総括・分担研究報告書 p.21 より転載

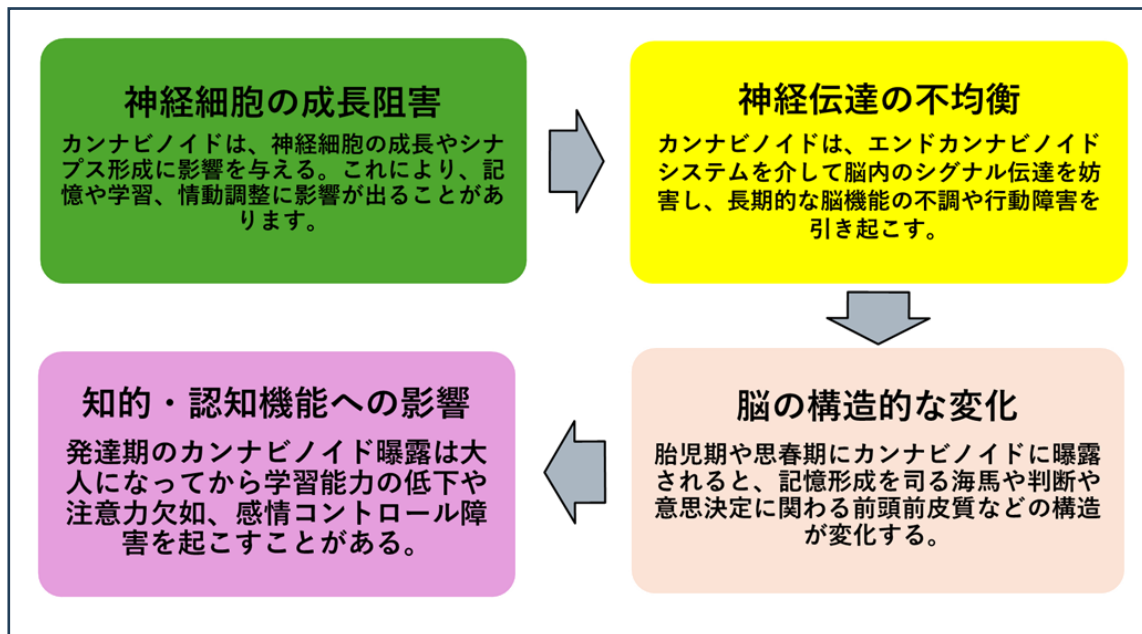


図3. カンナビノイドによる発達神経毒性の具体的な影響

神経突起の伸長やシナプス形成が進行している時期の培養神経細胞に合成カンナビノイドを慢性的に曝露した実験データ(緑)に基づき作成した模式図。神経細胞の成長が阻害されると神経伝達の不均衡が起こり(黄色)、それが脳に構造的変化をもたらして(オレンジ色)、最終的に知的・認知機能に影響が出てくるか(マゼンダ)を描いた。

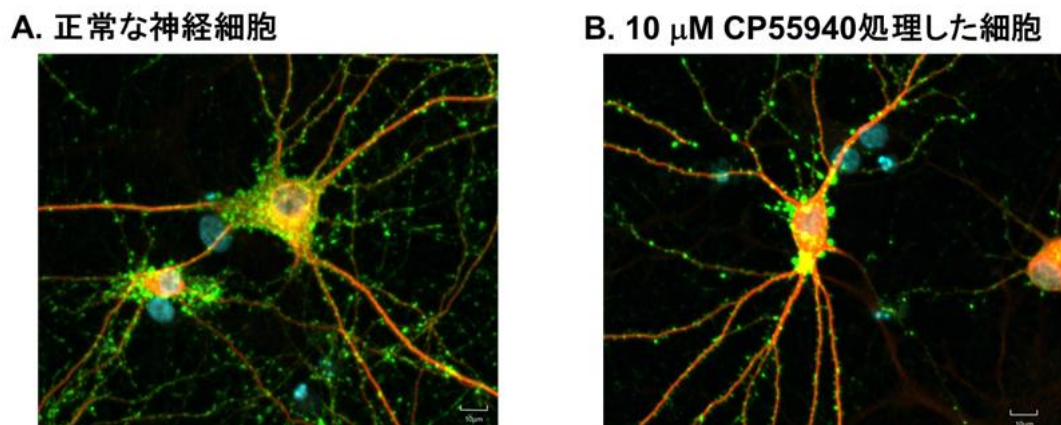


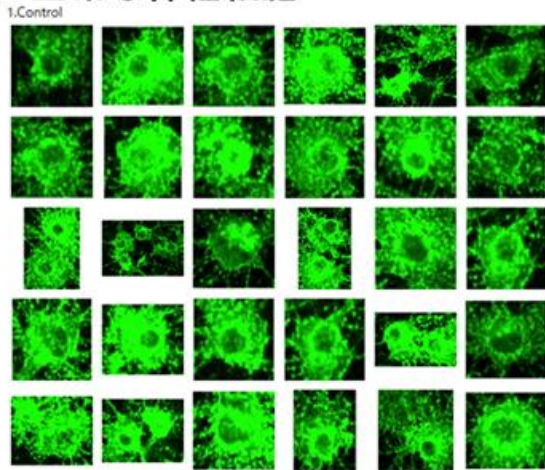
図4. シナプス形成期に10 μM CP55940に暴露されて生存した神経細胞の形態

#### シナプス後部構造の形態異常

培養開始14日目に10 μM CP55940を投与して7日後に固定して免疫化学染色を行った実験結果の例を示した。

A: Control (溶媒0.1% DMSO), B: 10 μM CP55940の作用 残存した神経細胞は異常な突起形態を示しており、樹状突起スパインに異常なドレブリンの集積が認められた。

### A. 正常な神経細胞



### B. 10 $\mu$ M CP55940処理した細胞

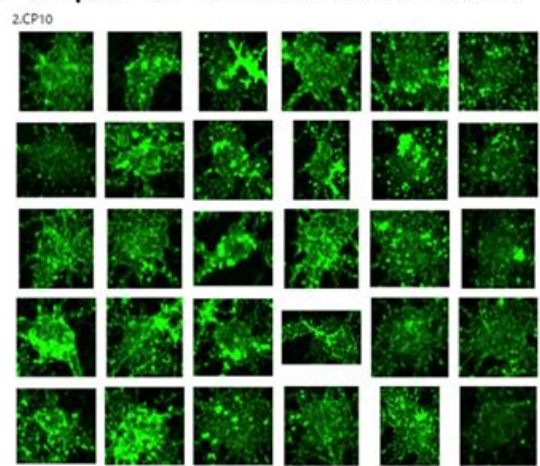


図5. シナプス形成期に 10  $\mu$ M CP55940 に暴露されて生存した神経細胞体に見られる細胞骨格タンパク質の減少と分布の異常

A：正常な神経細胞ではドレブリンは細胞質内に均一に分布しており核には薄い。

B：細胞質内のドレブリン分布が大きく変化している。核が不明瞭である。

#### 1. 神経細胞の変性

1. 大麻の成分が神経細胞の樹状突起を短くし、スパインを消失させる。
2. これは神経細胞の死につながり、学習や記憶に深刻な影響を与える。

#### 2. 成長期の脳の脆弱性

1. 中学生や高校生の脳はまだ発達途中で、外部からの影響を受けやすい。
2. 大麻の成分が海馬の神経細胞を変性させ、将来の認知機能や精神状態に悪影響を及ぼす。

#### 3. 回復不能なダメージ

1. 一度失われた神経細胞は回復しない。
2. 大麻の使用は依存症のリスクもあり、さらに深刻な問題を引き起こす可能性がある。

#### 4. 未来を守るための選択

1. あなたの脳は大切な宝物。大麻のリスクを正しく理解し、未来を守るための選択をしよう。

図6. 培養神経細胞を用いた研究からまとめた啓発メッセージ

## 質問対話形式 例1

高校生：「先生、大麻って本当に体に悪いんですか？友達が『ちょっとくらいなら大丈夫』って言ってて...」  
神経科学者：「うん、その質問は大切だね。ここに、とても興味深い実験結果があるんだ。これを見よう」  
*顕微鏡写真を指さしながら*  
「この写真は、ラットの脳の細胞を培養して、大麻に似た物質を与えた時の変化を見たものなんだ。左側が正常な神経細胞、右に行くほど大麻成分の影響を受けた細胞だよ」  
高校生：「へえ...でも、何が違うんですか？」  
神経科学者：「まず、緑色に光っている部分を見てごらん。これは神経細胞の『骨組み』みたいなものなんだ。そして明るく光っている部分は『ドレブリン』という、君の記憶や学習に重要なタンパク質なんだ」  
「左の健康な細胞は、木の枝のように細かい突起がたくさん伸びているでしょう？でも右に行くほど...」  
高校生：「あ！枝みたいなのが少なくなってる！」  
神経科学者：「その通り！特に君たち若い世代の脳は、まだ成長している最中なんだ。この時期に大麻を使用すると、まさにこの写真のように神経細胞が傷つき、記憶力の低下や、うつ病、統合失調症などの精神疾患のリスクが高まってしまうんだ」  
高校生：「え...そんなに深刻なんですか...」  
神経科学者：「そうなんだ。特に怖いのは、この変化が目に見えないところで静かに進行していくこと。気付いた時には取り返しのつかない状態になっているかもしれないんだ」

図7. 質問対話形式のQ&Aの例1

大麻成分が神経細胞の細胞骨格に有害作用が現れることを、顕微鏡写真を見せながら丁寧に説明する例

## 質問対話形式 例2

高校生：こんにちは！最近、大麻について興味があって調べているんですけど、実際にどんな危険があるんですか？  
神経科学者：こんにちは！大麻について興味を持って調べているんですね。実は、大麻には脳に深刻な影響を与える可能性があるんですよ。特に、成長期の脳はとてもデリケートで、大麻の成分が神経細胞を変性させることが実験で明らかになっています。  
高校生：え、神経細胞の変性ってどういうことですか？  
神経科学者：例えば、私たちが行った実験では、ラットの海馬神経細胞に合成カンナビノイドを投与しました。すると、神経細胞の樹状突起が短くなり、スパインと呼ばれる部分が消失しました。これは、神経細胞が死につながる変化なんです。  
高校生：樹状突起やスパインって何ですか？  
神経科学者：樹状突起は神経細胞から伸びる枝のような部分で、スパインは樹状突起から出ている無数の棘です。これらは、神経細胞同士のコミュニケーションに不可欠で、学習や記憶にも深く関わっています。大麻の成分がこれらを破壊すると、認知機能が低下し、将来の精神状態にも悪影響を及ぼす可能性があります。  
高校生：それは怖いですね...でも、なぜ成長期の脳が特に危険なんですか？  
神経科学者：成長期の脳はまだ発達途中で、外部からの影響を受けやすいんです。例えば、中学生や高校生の脳は、神経細胞のネットワークが急速に形成される時期です。この時期に大麻を摂取すると、そのプロセスが阻害され、将来の能力や健康に大きなダメージを与える可能性があります。  
高校生：そうなんですね...でも、一度使ったらもうダメなんですか？  
神経科学者：一度失われた神経細胞は回復しません。また、大麻の使用は依存症のリスクもあります。一度始めるとやめられなくなり、さらに深刻な問題を引き起こす可能性があります。  
高校生：なるほど、大麻は思っていた以上に危険なんですね。もっと詳しく知りたいです！  
神経科学者：ぜひ、科学的な情報をしっかり学んで、正しい判断をしてください。あなたの脳は大切な宝物です。未来を守るために、大麻のリスクを正しく理解しましょう。

図8. 質問対話形式のQ&Aの例2

大麻成分が危険だという理由を神経科学の基本知識から教えようとする例

## インターラクティブなゲーム形式

- ① 導入質問(3択)  
「大麻は怖いと思いますか？」  
思う、思わない、わからない
- ② 認識確認(3択)  
「大麻の危険性について聞いたことがありますか？」  
ある、ない、わからない
- ③ 実験シミュレーション「では、実際に研究室で何が起きているか見てみましょう」  
 実験室パート  
プレイヤーが研究者となり、細胞の観察を行う  
正常な神経細胞とCP55940投与後の細胞を比較
- ④ 理解促進パート身近な例えを使って説明：「スマートフォンの例で考えてみよう」  
正常な神経細胞 → 新品のスマホ(バッテリーも良好、アプリも快適)  
大麻影響下の細胞 → バッテリーが劣化し、アプリが重くなったスマホ  
さらに進行すると → 動作不能になったスマホ
- ⑤ 最終選択「この実験結果を見て、あなたはどのように考えますか？」  
自分の脳を大切にしたい、もっと詳しく知りたい、友達にも教えたい

図 9. インターラクティブなゲーム形式の例

実験室では、どんな実験をしているかを見せる方向に誘導するやり方

## 若年者へのアピールの仕方に関する提案

### 学習用ノベル・ゲーム(質問形式)



図 10. 実際に培養細胞の方法を教えるための学習用ノベル・ゲームの例

株式会社セルミミックの HP より引用した。ゲーム感覚で培養細胞の方法を教えていくやり方で学会の若

手研究者や企業技術者相手に技術を習得させる方法

## その他、インタビュー形式

### ・大麻と若年脳の発達:関野祐子教授へのインタビュー

#### 高校生と神経科学者の対話

高校生: 関野先生、こんにちは。今日は大麻が若者の脳に与える影響について教えていただきたいと思います。先生が行われている研究について簡単に教えていただけますか？

関野教授: こんにちは。私は海馬神経細胞を培養して、カンナビノイドの脳発達への影響を研究しています。特にCP55940という合成カンナビノイドを使用していますが、これは大麻の主成分THCと同様の作用を持つ物質です。

高校生: 実験ではどのようなことをされているのですか？

関野教授: 私たちの実験では、14日間培養した海馬神経細胞に10 $\mu$ MのCP55940を7日間投与し、その影響を観察しています。神経細胞の構造を可視化するために、drebrinとMAP2というタンパク質を抗体を使って蛍光色素で見えるようにして、顕微鏡で観察し、写真撮影しています。

#### 図1 1. インタビュー形式で高校生と関野教授が対談する方法

高校生がインタビュアーとなり、関野が行っている研究内容を説明してもらう。

NHKE テレの科学番組や高校講座で使われている方法

## 脳科学クイズ！大麻と若い脳の関係

・クイズマスター: みなさん、こんにちは！今日は神経科学者の関野祐子教授をお迎えして、「大麻と若い脳」についてのクイズを行います。関野先生、よろしくお願いします。

関野教授: こんにちは。今日は私の研究室で行った実験結果をもとに、大麻が若い脳に与える影響について一緒に学んでいきましょう。

クイズマスター:

それでは第1問です！

・Q1: 関野教授の実験では、大麻の主成分に似た合成カンナビノイド「CP55940」を使用しました。この物質を神経細胞に与えると、どのような変化が観察されましたか？

・A) 神経細胞が増殖した B) 神経細胞の樹状突起の形態が変化した C) 神経細胞の色が変わった D) 変化は見られなかった

・高校生A:

・えっと... Bの「神経細胞の樹状突起の形態が変化した」かな？

・関野教授:

・正解です！実験画像を見ると、CP55940を投与した神経細胞では、時間の経過とともに樹状突起という神経細胞の「枝」のような部分の形が変化しています。Stage 1からStage 3へと進むにつれて変化が顕著になっています。

#### 図1 2. 脳科学クイズとして大麻のリスクを学んでもらう方法

このようなクイズ形式の番組はないが、SNS での発信などには良いかもしれない。