

日本医科大学基礎科学紀要

第 53 号 2024 年 12 月

The Bulletin
of
Liberal Arts & Sciences
Nippon Medical School

No. 53, December 2024

目次

- AlphaFold2 によるフィコビリソーム ロッドリンカー
CpcC2の3次元構造モデリング
菊地浩人・沼尾昇吾・船戸萌衣 … 1
- 3D structure modeling of phycobilisome rod linker CpcC2
with AlphaFold2
Hiroto KIKUCHI, Shougo NUMAO, Moe FUNATO
- Integrating data science principles into a scientific writing
course for English learners at Nippon Medical School
James Ellinger … 21
- 学生全体を対象にしたメンタルヘルス支援活動としての
質問紙調査
鋤柄のぞみ・吉川栄省・加藤優子 … 31
- Questionnaire survey as a mental health support activity
for all students
Nozomi SUKIGARA, Eisho YOSHIKAWA, Yuko KATO
- 生活に関わる生物有機化学 中村成夫 … 39
Bioorganic Chemistry for Daily Life Shigeo NAKAMURA
- 生成 AI の精神医学またはカウンセリングへの適用について
平賀裕貴・藤崎弘士・大高靖史・吉川栄省 … 49
- On Application of Generative AI in Psychiatry and Counseling
Yuki HIRAGA, Hiroshi FUJISAKI,
Yasushi OOTAKA, Eisho YOSHIKAWA

〈研究論文〉

AlphaFold2 によるフィコビリソーム ロッドリンカー CpcC2 の3次元構造モデリング

菊地浩人¹・沼尾昇吾²・船戸萌衣²

3D structure modeling of phycobilisome rod linker CpcC2
with AlphaFold2

Hiroto KIKUCHI¹, Shougo NUMAO², Moe FUNATO²

Abstract

Phycobilisomes are supramolecular light-harvesting complexes found in cyanobacteria and red algae. A detailed understanding of their highly efficient light energy transfer requires knowledge of the three-dimensional (3D) structure of the linker proteins that form the phycobilisome rods. In the 3D structural data of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 (PDB ID: 7SC8), where the complete phycobilisome structure has been determined, the linker protein CpcC2 is missing several amino acids. To address this, we used AlphaFold2 to model the full 3D structure of CpcC2, ensuring that it is available for future research. Additionally, we briefly discuss the structural properties of its two domains.

¹ 日本医科大学・物理学教室 / 数理データサイエンス AI 教育センター
Department of Physics / Center for Mathematics, Data Science,
and Artificial Intelligence Education, Nippon Medical School

² 日本医科大学

(2)

1. Introductio

フィコビリソーム (Phycobilisome, PBS) は、大気の酸素を長い年月かけて作り上げたシアノバクテリア (藍藻ともいう) や紅藻のチラコイド膜の細胞質側に存在する集光性超分子会合体で、その代表的な形は、半円盤状 (hemidiscoidal 型) をしている。その中心部分は、アロフィコシアニンとリンカータンパク質から成る「コア (core)」と呼ばれる3つのシリンダー形状をした部分で構成され、その側面からフィコシアニンとリンカータンパク質から成る「ロッド (rod)」と呼ばれる6つのシリンダー形状をした部分が結合している (図1参照)。フィコシアニンやアロフィコシアニンには、フィコシアノビルリンと呼ばれる可視光を吸収する発色団 (色素) が結合している。これらの発色団は可視光を吸収すると電子励起状態になるが、その後発光することはない。発色団によって吸収された光のエネルギーは、何らかの励起エネルギー移動機構によって膜内部にある反応中心まで移動し、化学エネルギーとして利用される^[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]。発色団の光吸収特性は、第1に分子の幾何学的構造による電子状態に起因し、第2に発色団

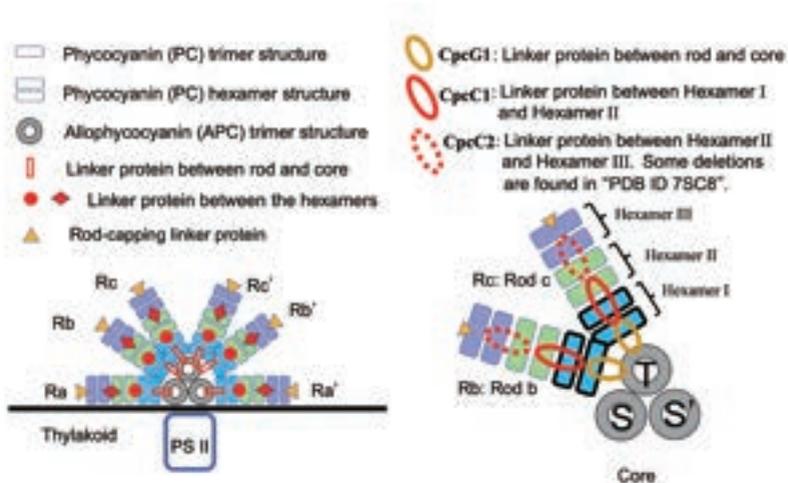


図1. 標準的なフィコビリソーム (Phycobilisome (PBS)) の概観図。PS II は光化学系 II 型反応中心を表す。コアの S, S', 及び T は、コアを形成するシリンダー名。コアのシリンダーは、紙面表から裏に配置されている。Hexamer I, Hexamer II, Hexamer III は、著者が説明するために付けた名称。コアに近い側から I, II, III と番号をふっている。

がプロトン化しているか、脱プロトン化しているかなどの発色団分子全体の電荷が中性か否かが重要な要素となり、第3として、発色団周囲の電気的環境によって発色団の位置に作られる電場が重要となる。はじめの2つは、太陽光から光エネルギーを獲得するための大体の吸収波長領域を決定している要素である。第3番目は第1、第2番目で決まる吸収波長領域をより狭い領域に絞る要素である。別の表現をすると、励起エネルギー移動という機構を考えると、第3番目は高効率のエネルギー移動を実現するためにPBS内の複数の発色団の電子状態を巧みに調整する役割を果たしているはずである(PBSではエネルギー効率が95%との報告もある^[9,10])。このように、分子進化によって作り出されたPBSは、小型で且つ高性能なアンテナ、チューナー、及びエネルギー伝達装置であり、その機構の科学的解明は学問的な知見のみならず、グリーンバイオテクノロジーのプラットフォーム^[11]や、人工光合成の開発などのテクノロジーの発展に繋がるものでもある。

PBSの3次元構造は、1980年代からX線結晶解析によって明らかにされてきたが、初期の頃はフィコシアニンやアロフィコシアニンの3次元構造に限られていた。クライオ電子顕微鏡の進歩により、2020年3月に紅藻 *Porphyridium purpureum* のPBS全3次元構造が解明されたのを皮切りに、その後立て続けに3つのPBS全3次元構造が解明された^[12,13,14,15]。

図2は、M. A. Domínguez-Martín *et al.* によって解明されたシアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC 6803の3次元構造データ^[15]を用いて、PBSのロッドのより詳しい3次元構造の説明のために描いたものである。PBSを構成している6つのロッドは、コアとの接続部分を除いて、全て同じ3次元構造をしている。ロッドは、2種類のフィコシアニン(α サブユニットと β サブユニットと呼ばれている)と4つのリンカータンパク質(以後リンカーと記述する)から構成されている。図2(a)は、フィコシアニンの α サブユニットと β サブユニットが結合した部分構造(併せてモノマーと呼ばれている)が3回の対称性をもつ3量体を構成している様子を示したものである。この3量体は、PBSを組み立てている1つの基本構造単位となっている。

発色団フィコシアノビルリンは、 α サブユニットでは第82番目のシステイン(CYS)とチオエーテル結合をしていて α 82と呼ばれている。また、 β サブユニットでは、 α サブユニットと同様に第82番目のCYSとチオエーテル結合をしていることに加えて、もう一つの発色団がロッドの側面に存在する第153番目の

(4)

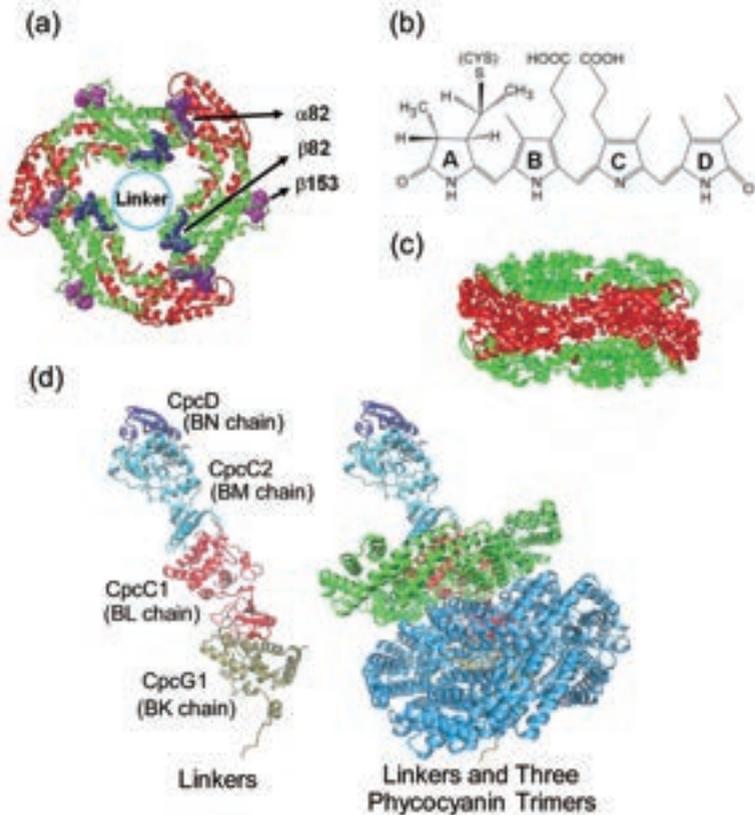


図2. PBSのロッドのより詳しい3次元構造。(a) フィコシアニンの3量体構造 (cartoons 表示) と発色団 (spacefill 表示)。赤が α サブユニットで緑が β サブユニット。中空の部分にリンカーが存在している。(b) 発色団であるフィコシアノピリンの構造式。(c) フィコシアニンの6量体構造 (cartoons 表示)。赤が α サブユニットで緑が β サブユニット。(d) 左はロッドにある4つのリンカー (cartoons 表示)。下側がコアと接続し、上側がPBSの外側に配置される。右側の図は、左側の図にフィコシアニン3量体をコア側から3つ付加したもの。Hexamer IとHexamer IIと本論文で名付けたのコア側3量体がcartoons表示で描かれている。詳しい説明は、本文を参照。

CYSとチオエーテル結合をしている。これらは、それぞれ、 $\beta 82$ 及び $\beta 153$ と呼ばれている。図2 (b)において、発色団フィコシアノピリンの構造式が描かれている。4つのピロール環はCYSと結合している方から、Aリング、Bリング、

Cリング、及びDリングと呼ばれている。光吸収波長を決める最も大きな因子は、4つのピロール環とその間の結合で作られる結合交替の共役二重結合系の長さである。図2 (b) に示すように、フィコシアノビリンの構造式（電氣的に中性）においては、Cリングの窒素原子はプロトン化していない。しかし、1997年に著者の一人である Kikuchi によって、Cリングの窒素原子も、近くに存在する ASP 側鎖の影響でプロトン化していることが初めて理論計算を通して予測された^[16]。また、この ASP 側鎖の揺らぎの大きさがフィコシアニン内で小さく押さえられていることが、基準振動解析によって明らかにされ、プロトン化の安定に寄与していることが指摘された^[17, 18]。発色団のプロトン化は、その後の研究でも確認され^[19, 20, 21, 22, 23]、現在コンセンサスが取れている。ちなみに、発色団の電気双極子モーメントはエネルギー移動にとって重要な役割を担う物理量である。

基本構造体である3量体を円柱と見立てたとき、その上面と下面は幾何学的な円柱とは異なり、実際には異なる表面構造をしている。この3量体でPBSを組み立てるとき、上面と下面が接して会合体は作られない。上面と上面、また下面と下面が接して会合体を作る。即ち、3量体の上位構造として6量体を作り、PBSを構築している。PBSは一旦形成された後でも、光の強度が小さい環境下でロッドが長くなったり、逆に光の強度が大きい環境下でロッドが短くなったりする。また、光の波長分布の変化に対応して、フィコシアノビリンではなく、異なる発色団を結合した6量体が結合したりする（補色適応）^[24, 25, 26]。このような現象では、3量体単位ではなく、必ず6量体単位で機能している。図2 (c) は、6量体を側面から描いたものである。

コアも向きは異なるが、ロッドと似た3量体を基本構造として成立している。但し、フィコシアニンではなく、アロフィコシアニンと呼ばれるタンパク質の3量体から構築されている。アロフィコシアニンの3次元構造は、フィコシアニンのそれとほぼ同じであり、主な違いは、 β サブユニットの発色団 β 153が結合するターン部分がなく、従って β サブユニットも発色団が β 82だけであることである。基本構造の3量体の内側には、発色団を付加させる空間的な余裕はない。より多くの光エネルギーを吸収しようとするとき、発色団の数が多い方が有利であるが、ロッドの β 153はより多くの光を吸収できるように進化の過程で生じたものと推測される。

Kikuchi は、3量体の系において、周囲の電氣的な環境の影響を考慮して β 153

(6)

の光吸収特性を理論計算したところ、 β 153が周囲の水の影響で大幅に短波長シフトすることを見出した^[27]。この場合、 α 82や β 82の光吸収特性と吸収強度のピークが離れ過ぎるために、フェルスターの公式^[28, 29]によればエネルギー移動を起こすことができず、 β 153で吸収した光エネルギーは無駄になってしまう。しかし、6量体を作っているもう一つの3量体を作る電気的な影響を考慮すると、水の影響で短波長シフトする状況を揺り戻して、 β 153の光吸収特性が α 82や β 82より若干短い波長の吸収特性をもつことがわかった^[27]。この理論研究結果は、PBSが6量体を構成して、その6量体単位で機能していることと符号している。

図2 (d) の左側は、ロッドを構成している3量体の中空部分を埋めるように存在しているリンカーを描いたものである。リンカーは4つの鎖から成っていて、図中下側はPBSの中心方向であり、上側はPBSの外側方向である。コアに近い方から、CpcG1, CpcC1, CpcC2, CpcDと名付けられている。括弧内のBK, BL, BM, BNは、蛋白質データベースに登録されているPDB ID: 7SC8に記されている鎖名である。図2 (d) 右側は、4つのリンカーに、コア側から数えて3つの3量体を付加して、その様子を示したものである。

本研究テーマの大きな目標は、PBSの構築原理と機能との間の関係を意識しつつ、PBSのロッド内における励起エネルギー移動機構を理論的に解明することである。これまで示してきたことからわかる通り、光吸収特性と励起エネルギー移動には、発色団の電子状態が密接に関係している。また、発色団の電子状態は、その周囲の電気的環境で調整されているので、周囲の電気的環境を明らかにして発色団の電子状態を考える必要がある。

PBSのロッドに関して、リンカーを考慮せずフィコシアニン3量体或いは6量体だけを考えると、PBSのコア側とその反対側(PBSの外側)との方向性の区別は全くない。ということは、それを区別し、違いを与え、コアへのエネルギー移動機能を作り出しているのは、リンカーということになる。図2 (a) から明らかのように、このリンカーから距離が近く、強い影響を受けているのは、 β 82である。従って、リンカーと β 82との間の相互作用には、特に重きをおいて研究を遂行する必要がある。この点において、ロッドにおいて最も低い電子励起エネルギー状態である β 82だけに関しては、既に理論計算と分光実験から明らかにされている^[30, 31]。

ところで、M. A. Domínguez-Martín *et al.* によって解明されたシアノバクテ

リア *Synechocystis* sp. PCC 6803 のロッドの3次元構造データ (PDB ID: 7SC8) のリンカー CpcC2には、N末端のメチオニン、第182番目から第184番目のグルタミン、グリシン、アスパラギン、第233番目から第235番目のプロリン、グリシン、アルギニン (以後 MET1, GLN182, GLY183, ASN184, PRO233, GLY234, ARG235 と記述する) が欠損している。図3に、第182番目から第184番目の欠損部分と第233番目から第235番目の欠損部分を丸枠で示した。

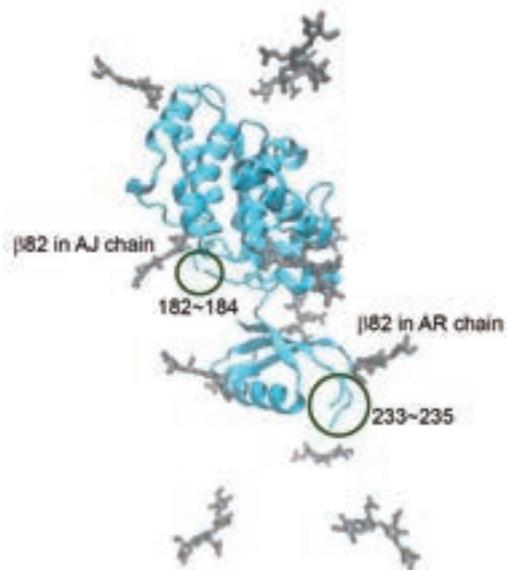


図3. リンカー CpcC2 (Cartoons 表示) の欠損部分の位置と発色団 (Licorice 表示) の位置。丸枠以外に、N末端のMETも欠損している。描かれている12個の β 82発色団のうち、上側6つがHexamer IIIに、下側6つがHexamer IIに存在している。

第182番目から第184番目の欠損部分の直前である第175番目から第181番目までのアミノ酸残基が、AJ鎖の水素を除いた β 82から 6\AA 以内にあることが、本研究の準備計算によって明らかとなった (6\AA 以内には、それ以外のアミノ酸残基部分もある)。また、同様に、第233番目から第235番目の欠損部分周辺のアミノ酸残基の複数が、AR鎖の水素を除いた β 82から 6\AA 以内にあることが判明した。なお、AJ鎖及びAR鎖の名称は、7SC8 (PDBのID) のファイルで使用されている名称である。水素原子を付けた発色団から 6\AA (水素を付けていな

(8)

い発色団からは6Å以上の距離を意味する) 以内にある原子からの電気的な影響は、発色団の電子状態に影響を与えることが過去の研究^[16, 27, 30]からわかっているので、欠損部分が発色団の電子状態に影響を与え、エネルギー移動の機構に何らかの関与をしている可能性が十分にある。

そこで本論文では、本研究テーマの大きな目標を到達するための1つのステップとして、M. A. Domínguez-Martín *et al.* によって解明されたシアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC 6803のロッドの系を対象とし、リンカー CpcC2の3次元構造をAlphaFold2^[32]を利用してモデリングする。本論文の結果のデータは、実験で得られたデータの欠損部分を補い、後続の研究で利用するものとなる。

2. Data and Method

3次元構造データ (PDB ID: 7SC8) のデータを用いた。Google Colaboratory上で動作する、ColabFold v1.5.5: AlphaFold2 using MMseqs2^[32, 33, 34, 35]を利用して、CpcC2のアミノ酸配列からその3次元構造を予測した。

3. Results

AlphaFold2を利用する際の一般的な方法は、タンパク質のアミノ酸配列(クエリ配列と呼ぶ)を入力するだけである。本研究でも、CpcC2の273個のアミノ酸配列を入力し、計算結果として3次元構造の予測の妥当性の高いrank順に20個の3次元構造を得た。その中で高いrank順に10個を、Kabschの方法^[36]で7SC8の座標に重ね合わせ、RMSD (Root Mean Square Displacement: 平均2乗変位)の値を求めた。その結果を表1に示す。計算は、7SC8のアルファ炭素座標とそれに対応したAlphaFold2の結果のアルファ炭素座標で行われた(欠損部分は計算に反映されていない)。

Rank	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSD	0.587	0.594	0.881	0.883	0.627	0.873	0.873	0.877	6.301	6.946

表1: AlphaFold2の結果のrankごとのRMSDの値。欠損部分は計算に反映されていない。

この結果, rank 1 から rank 8 までの RMSD の値は非常に小さいことがわかり, 3次元構造が実験結果とほぼ一致していることを意味している。特に, rank 1 と rank 2 は水素原子の半径程の違いでしかない。rank 9 以降は, 急激に RMSD の値が大きくなった。本論文の結果のデータは, 7SC8 の欠損データを補足する役割がある。従って, RMSD の値が小さい上位 8 個のデータが, 今後の研究に利用する候補ということになる。

次に, AlphaFold2 の結果から得られた多重配列アライメント (Multiple Sequence Alignment, MSA) の結果を示す。

図4の説明をする。右側の backbone 図では, 第2番目から第181番目のアミノ酸を青色で, 第185から第273番目のアミノ酸を黄土色で描いている。図左のグラフの縦軸はアミノ酸配列インデックスとなっていて, この図であれば, 約5500個の類縁配列が得られたことを意味している。横軸は, アミノ酸の残基番号である。得られた類縁配列各々に対して, 細かい横の直線が色つきで引かれている。一般に縦軸の上部に行けば行くほどクエリ配列に似ている配列で, 下部に行けば行くほどクエリ配列と似ていない配列になっている。白くなっている何も線が引かれていないように見えるところは, クエリ配列の名残が全くない所, あるいはそもそも配列がない所であると考えて良い。また, 黒線で表されているのは, 類縁配列における配列被覆率 (coverage) を表している。第20番

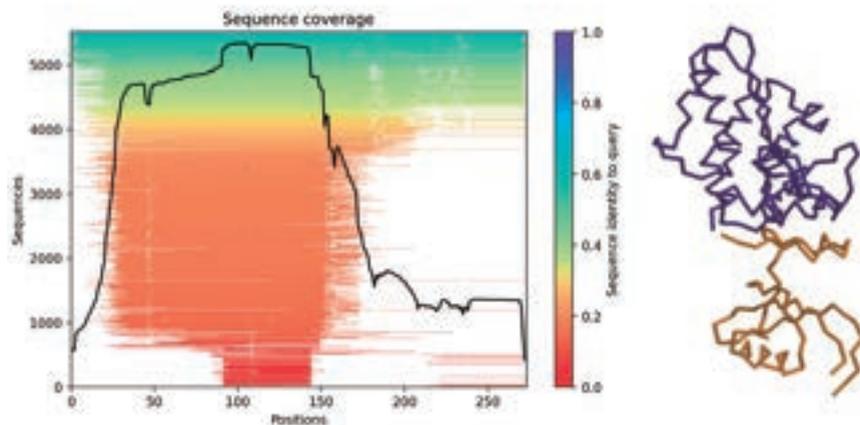


図4. リンカー CpcC2 の多重配列アライメント (MSA)。右側は, CpcC2 の Backbone 表示。

(10)

目から第170番目位は、5500の類縁配列の内多くの相同配列が存在していることを意味している。次に、白黒で印刷されることも想定し、詳しく色を示していく。色は赤から青と表現されていて、その色は“Sequence identity to query”（ここでは以後 *SI* と省略する）を表している（赤が低く青が高い）。まず縦軸の下部から500位は残基番号が95から145付近だけが $SI=0 \sim 0.1$ となっている。次に縦軸の値500～3700の区間は $SI=0.1 \sim 0.3$ 、軸の値3800～4200の区間は $SI=0.3 \sim 0.4$ 、軸の値4200～5000の区間は $SI=0.4 \sim 0.5$ 、軸の値5000以上の区間が $SI > 0.5$ となっている。

C末端から20番目までの配列に関する議論をここでは保留することになると、リンカー CpcC2は、2つの異なる性質を持つ部分から成り立っていると考えられることができる。第182番目から第184番目の3つのアミノ酸が欠損していたが、丁度その辺りを境にして、性質が分かれていることがわかる（図4右側にアミノ酸番号の第181番目までを青色で示し、第185番目以後を黄土色で示した）。この2つに分けた前者は、pfam00427ドメイン、後者はpfam01383ドメインと名前が付けられている^[37, 38]。青色で示したpfam00427ドメインは、類縁配列における配列被覆率（coverage）が高いことがわかる。但し、配列相同性（sequence

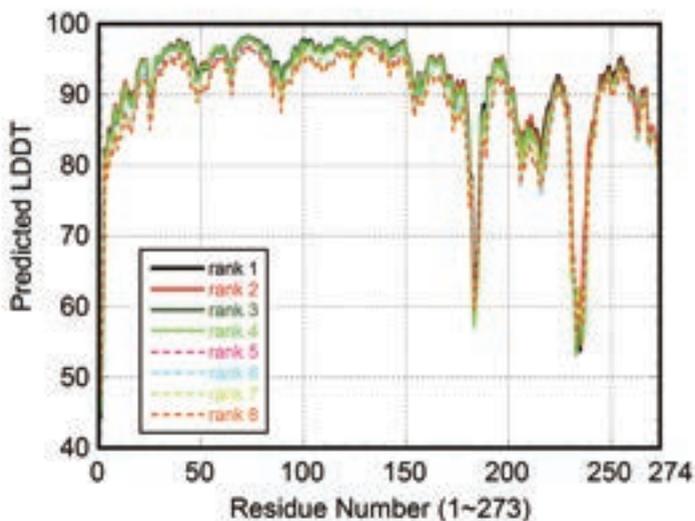


図5. リンカー CpcC2の各アミノ酸のアルファ炭素の predicted local distance different test (pLDDT) の値。rank 1からrank 8までの結果を示した

identity) が高いのはまれなので、アミノ酸単位での変位が起こりやすいことがわかる。また、pfam01383 ドメインは、多くの類縁配列の内、この領域をもたないものが多いという結果となった。ここの所は、Discussion でもう少し深く議論したい。

最後に、3次元構造に関して、精度の指標となるアルファ炭素の predicted local distance different test (pLDDT) の結果を示し、予測された構造の図を描いておく。図5は、CpcC2の各アルファ炭素における pLDDT の値をグラフにしたものである。

一般的に、pLDDT の値は、「90以上で3次元構造予測の信頼度が非常に高い」、「70～90では主鎖原子に関しては高い」、「50～70ではやや低い、誤っている可能性を考慮する」、「50以下ではディスオーダー領域の可能性があり、または

残基番号	rank 1	rank 2	rank 3	rank 4	rank 5
1	44.5	45.81	44.88	45.47	48.44
2	59.47	60.09	59.91	59.75	60.91
3	82	82.31	81.81	81.69	81.81
180	86.56	86.12	85.44	84.88	81.62
181	78.81	78.44	76.69	75.56	74.25
182	78	76.44	75.25	73.75	76.25
183	60.94	58.91	59.12	57.19	59.56
184	63.53	60.88	60.78	59.78	60.91
185	69.06	65.56	66.12	63.59	67.38
186	76.56	74.38	74.88	73.31	72.75
187	86.81	86.19	86.25	85.75	82.69
230	80.12	79.62	76.75	76	78.94
231	68.69	68.44	64.56	64.12	67.31
232	64.75	64.75	63.41	63.38	64.81
233	54.38	54.47	53.22	53.25	56
234	60.69	61.47	62.56	62.75	61.16
235	53.78	54.66	58.53	58.84	60.84
236	61.97	62.31	55	55	58.12
237	69.12	69.81	58.56	58.47	68.44
238	73.69	74.31	68.88	68.5	68.25
239	82.31	82.81	79.25	78.75	79.31

表2: リンカー CpcC2の欠損部分周辺の pLDDT の値。青色が欠損しているアミノ酸残基番号。

(12)

信用しなくてよい」との評価である。

8つの結果 (rank 1から rank 8) まで、全てが同じ傾向を示し、rank が低くなると、若干値が小さくなる残基がある程度の結果となった。50を若干切ったのは、欠損していた第1番目のMET だけであった。また、第182～184番目、第233～235番目の欠損領域は、50～70の値となった。その他はいずれも70以上の値を示していて、クライオ電子顕微鏡によるデータと一致する良好な結果となった。pfam01383ドメインの値が pfam00427ドメインの値よりも全体的に低く出ているのは、pfam01383ドメインの配列被覆率が pfam00427ドメインの値よりも低く、AlphaFold2におけるサンプル数が少ないことに起因していると考えられる。また、この領域の3次元構造の安定性が低いことを示しているのかもしれない。

欠損領域に関しては、信頼性が高くは出なかったので、今回得られたデータを後続の研究に利用する際には注意が必要である。より詳しく記録しておくた

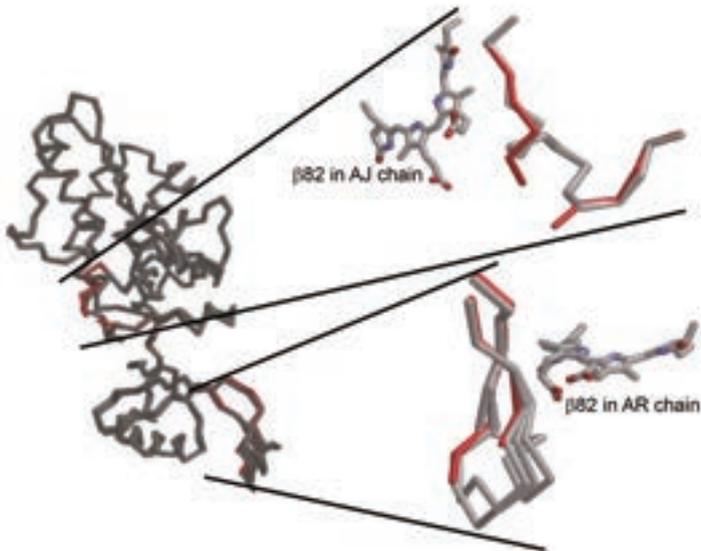


図6. リンカー CpcC2に関して、PDB ID: 7SC8の構造と AlphaFold2で得られた rank 1から rank 8までの構造を重ね合わせたもの。欠損部分周辺である第175～190番目及び第228～243番目のPDB ID: 7SC8の構造を赤色にした。右側は欠損部分周辺を拡大して示したもので、rank 1から rank 5までの5つの構造がPDB ID: 7SC8の構造に重ね合わされている。

めに、欠損部分周辺の pLDDT の値を表にしておく。

本セクションの最後に、得られた3次元構造を重ね合わせて示す。図6の左側は、AlphaFold2によって構造予測された rank 1 から rank 8 までを重ね合わせて backbone 表示させたものである。また、右側は、欠損部分周辺を拡大して示したものである。但し、重ね合わせは rank 1 から rank 5 までにしてある。実験で得られている PDBID: 7SC8 の構造は赤色で示している。リンカー CpcC2 の部分を重ね合わせると、欠損部周辺以外は、ほぼ実験で得られた3次元構造と一致していることがわかる。特に、欠損部分である第182～184番目よりも若い残基番号の部分（図4において青色で示した部分）は、あたかも1つの鎖だけを描いている様に見える。また、第182～184番目の欠損部分周辺でも、rank1 から rank5 までの結果がほぼ一致していることがわかる。第233～235番目の欠損部分周辺では、5つの鎖が3つの鎖に見える。

4. Discussion

PBS のロッドにおけるエネルギー移動の機構を理論的に解明するためには、その周囲の電気的環境を考慮に入れた全ての発色団の電子状態を明らかにする必要がある。まずは、発色団が影響を受ける周囲の電気的環境を考慮するために、リンカーの3次元構造を知らなくてはならない。クライオ電子顕微鏡を利用し、M. A. Domínguez-Martín *et al.* によって解明されたシアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC 6803 のロッドには、リンカー CpcC2 の3次元構造に欠損があるため、本研究では AlphaFold2 を利用してその CpcC2 の3次元構造の予測を行った。その結果、8つの予想3次元構造が得られ、これらの構造は欠損箇所以外に関して、クライオ電子顕微鏡で明らかにされた構造と全く同じとって良い3次元構造であった（アルファ炭素に関する RMSD の値で 1.0Å 未満）。

欠損箇所の構造予測に関して、GLN182, GLY183, ASN184 の部分は、8つの候補が全て同じ3次元構造を示し、3次元構造の精度の指標となる pLDDT の値は 57～78 であった。また、PRO233, GLY234, ARG235 の部分は、複数の候補が同じ3次元構造を示したが、微妙に違う3次元構造も存在し、pLDDT の値は、53～63 であった。これらの値は、モデリングした3次元構造が信用できないとまでは言えない値であり、後続の研究で利用する際には、本研究結果の評価を踏まえて取り扱う必要がある。C 末端の MET1 に関しては、鎖の末端で揺らぎが

他の位置に比べて大きいことが考えられるので、そのことを考慮して得られたデータを利用すれば良いだろう。具体的には、今回求められたデータを初期条件とし、未決定の部分以外を固定した分子動力学計算や分子軌道法を用いた計算を行って、より適切と思われる3次元構造を模索していくことが考えられる。

GLN182, GLY183, ASN184の欠損周辺部分は、AJ鎖の β 82の電子状態に影響を与えそうであり、PRO233, GLY234, ARG235の欠損周辺部分は、AR鎖の β 82の電子状態に影響を与えそうであったが、AlphaFold2の結果による構造からも、正に、ロッド内のエネルギー移動に関してリンカー CpcC2が重要な影響を与えていることは確実であろう。後続の研究が待たれる。

リンカー CpcC2のMSAの結果、pfam00427ドメインとpfam01383ドメインの性質の違いがはっきりと表れていた。pfam00427ドメインは、類縁配列として存在している一方、pfam01383ドメインは類縁配列として存在しているものが少ない。この領域すらなくなってしまう類縁配列も多い。PBSのリンカーを想定したとき、pfam00427ドメインは基本的に存在し、pfam01383ドメインは、3次元構造の変化によって発色団への影響を変化させているのではないかと予想される。また、類縁配列は存在するが、pfam00427ドメインはアミノ酸単位における変位は多いと考えられるので、pfam00427ドメインでは、発色団に対して、3次元構造は変化せずにアミノ酸の変異によって影響を与えるので

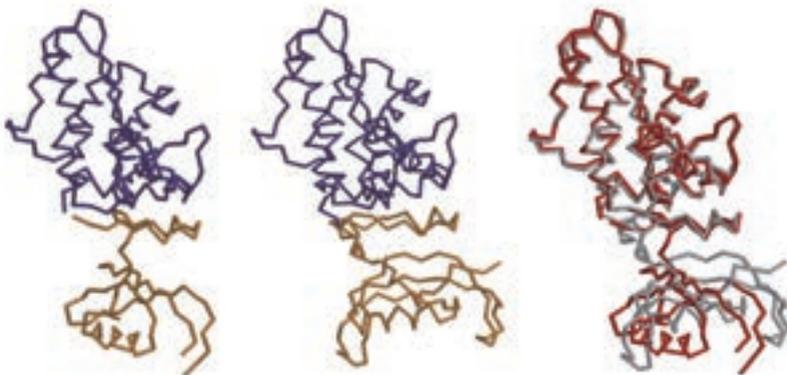


図7. CpcC2 (左)とCpcC1 (中)の3次元構造の比較のための backbone 表示。一番右は、pfam00427ドメイン部分 (上部青色)でCpcC2 (赤色)とCpcC1 (灰色)を重ね合わせた backbone 表示。

はないかと考えられる。

CpcC2よりも1つコアに近い位置に存在するリンカー CpcC1も、基本的に pfam00427 ドメインと pfam01383 ドメインとから成り立っている。図7は、CpcC2の backbone 表示 (左), CpcC1の backbone 表示 (中), 及び CpcC2と CpcC1を pfam00427 ドメイン部分で重ね合わせた backbone 表示 (右)である。

CpcC2と CpcC1の pfam00427 ドメインを重ねると、ほぼ一致することが図7の (右) からわかる。一方, CpcC2と CpcC1の pfam01383 ドメインの構造が一致していないことはやはり図7からわかる。CpcC2の MSA の結果から予想される pfam00427 ドメインと pfam01383 ドメインの特徴が、既に同一 PBS 内の隣り合うリンカーに表れている。また、一番コアに近いリンカー CpcG1には、pfam00427 ドメインが存在するが、pfam01383 ドメインは存在しない。まとめておくと、「pfam00427 ドメインは3次元構造を保持したままでアミノ酸の変異によって発色団に電気的な影響を与え、pfam01383 ドメインは、構造自体の変化まで通じて発色団への影響を与えている。」と MSA の結果 (分子進化の観点) を通じて推測することができる。分子進化が発色団に影響を与えて機能を生む方法が垣間見える観点である。

本研究で得られたデータは、具体的に PBS ロッド内の全発色団の電子状態を計算して求めていく等の後続の研究に利用されることになるであろう。また、リンカーの2つのドメインの分子進化による3次元構造と発色団 β 82の電子状態との間の関係は、PBS ロッドにおけるエネルギー移動に関して重要な知見を与えるように思われる。

References

- [1] Gantt, E. Phycobilisomes. *Ann. Rev. Plant Biol.* **32**, 327-347 (1981).
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.32.060181.001551>
- [2] Gantt, E. Supramolecular Membrane Organization. Supramolecular Membrane Organization. in *The Molecular Biology of Cyanobacteria* (ed. Bryant, D. A.) 119-138 (Springer, Dordrecht, the Netherlands, 1994).
https://doi.org/10.1007/978-94-011-0227-8_6
- [3] Sidler, W. A. Phycobilisome and Phycobiliprotein Structures. in *The Molecular Biology of Cyanobacteria* (ed. Bryant, D. A.) 139-216 (Springer, Dordrecht, the Netherlands, 1994).
https://doi.org/10.1007/978-94-011-0227-8_7

- [4] Mimuro, M, Murakami, A. & Kikuchi, H. Phycobilisomes: supramolecular assembly in cyanobacteria for capturing of light energy. *Tanpakushitsu Kakusan Koso* **42**, 2613-2625 (1995).
<https://mol.medicalonline.jp/archive/search?jo=ac0tkksb&vo=42&nu=16&st=2613>
- [5] Bryant, D. A. & Canniffe, D. P. How nature designs light-harvesting antenna systems: design principles and functional realization in chlorophototrophic prokaryotes. *J. Phys. B: Atomic, Molecular and Optical Physics* **51**, 033001 (2018).
<https://dx.doi.org/10.1088/1361-6455/aa9c3c>
- [6] Adir, N., Shira, B. -Z. & Harris, D. The amazing phycobilisome. *Biochim. Biophys. Acta - Bioenergetics* **1861**, 148047 (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.07.002>
- [7] Blankenship, R. E. *Molecular Mechanisms of Photosynthesis* (John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2021).
<https://books.google.co.jp/books?id=-ns5EAAAQBAJ>
- [8] Sanchez-Baracaldo, P., Bianchini, G., Wilson, J. D. & Knoll, A. W. Cyanobacteria and biogeochemical cycles through Earth history. *Trends Microbiol.* **30**, 143-157 (2022).
<https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.05.008>
- [9] Glazer, A. N. Light guides: Directional energy transfer in a photosynthetic antenna. *J. Biol. Chem.* **264**, 1-4 (1989).
[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)31212-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)31212-7)
- [10] MacColl, R. Cyanobacterial Phycobilisomes. *J. Struct. Biol.* **124**, 311-334 (1998).
<https://doi.org/10.1006/jsbi.1998.4062>
- [11] Kumar, J., Singh, D., Tyagi, M. B. & Kumar, A. Cyanobacteria: Applications in Biotechnology. in *Cyanobacteria: From Basic Science to Applications* (eds. Mishra, A. K., Tiwari, D. N. & Rai, A. N.) 327-346 (Academic Press, London, United Kingdom, 2019).
- [12] Ma, J. *et al.* Structural basis of energy transfer in *Porphyridium purpureum* phycobilisome. *Nature* **579**, 146-151 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2020-7>
- [13] Kawakami, K. *et al.* Structural implications for a phycobilisome complex from the thermophilic cyanobacterium *Thermosynechococcus vulcanus*. *Biochim. Biophys. Acta - Bioenergetics* **1862**, 148458 (2021).
<https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2021.148458>
- [14] Zheng, L. *et al.* Structural insight into the mechanism of energy transfer in cyanobacterial phycobilisomes. *Nat. Commun.* **12**, 5497 (2021).
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-25813-y>
- [15] Domínguez-Martín, M. A. *et al.* Structures of a phycobilisome in light-harvesting

- and photoprotected states. *Nature* **609**, 835-845 (2022).
<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05156-4>
- [16] Kikuchi, H., Sugimoto, T. & Mimuro, M. An electronic state of the chromophore, phycocyanobilin, and its interaction with the protein moiety in C-phycocyanin: protonation of the chromophore. *Chem. Phys. Lett.* **274**, 460-465 (1997).
[https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(97\)00659-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(97)00659-3)
- [17] Kikuchi, H., Wako, H., Yura, K., Go, M. & Mimuro, M. Significance of a Two-Domain Structure in Subunits of Phycobiliproteins Revealed by the Normal Mode Analysis. *Biophys. J.* **79**, 1587-1600 (2000).
[https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(00\)76409-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(00)76409-5)
- [18] Mimuro, M. & Kikuchi, H. Antenna Systems and Energy Transfer in Cyanophyta and Rhodophyta. in *Light-Harvesting Antennas in Photosynthesis* (eds. Green, B. R. & Parson, W. W.) 281-306 (Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2003).
https://doi.org/10.1007/978-94-017-2087-8_9
- [19] Kneip, C., Hildebrandt, P., Németh, K., Mark, F. & Schaffner, K. Interpretation of the resonance Raman spectra of linear tetrapyrroles based on DFT calculations. *Chem. Phys. Lett.* **311**, 479-484 (1999).
[https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(99\)00868-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(99)00868-4)
- [20] Alexander, D. B. *et al.* Developing a Structure-Function Model for the Cryptophyte Phycoerythrin 545 Using Ultrahigh Resolution Crystallography and Ultrafast Laser Spectroscopy. *J. Mol. Biol.* **344**, 135-153 (2004).
<https://doi.org/10.1016/j.jmb.2004.09.044>
- [21] Wan, J., Xu, X., Ren, Y. & Yang, G. A Time Dependent Density Functional Theory Study of *a*-84 Phycocyanobilin Chromophore in C-Phycocyanin. *J. Phys. Chem. B* **109**, 11088-11090 (2005).
<https://doi.org/10.1021/jp0515380>
- [22] Mroginiski, M. A., Mark, F., Thiel, W. & Hildebrandt, P. Quantum Mechanics/Molecular Mechanics Calculation of the Raman Spectra of the Phycocyanobilin Chromophore in *a*-C-Phycocyanin. *Biophys. J.* **93**, 1885-1894 (2007).
<https://doi.org/10.1529/biophysj.107.108878>
- [23] Corbella, M., Toa, Zi S. D., Scholes, G. D., Luque, F. J. & Curutchet, C. Determination of the protonation preferences of bilin pigments in cryptophyte antenna complexes. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20**, 21404-21416 (2018).
<http://dx.doi.org/10.1039/C8CP02541J>
- [24] Yamanaka, G. & Glazer, A. N. Dynamic aspects of phycobilisome structure. *Arch. Microbiol.* **124**, 39-47 (1980).
<https://doi.org/10.1007/BF00407026>

- [25] Grossman, A. R., Schaefer, M. R., Chiang, G. G. & Collier, J. L. The phycobilisome, a light-harvesting complex responsive to environmental conditions. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **57**, 725-749 (1993).
<https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/mr.57.3.725-749.1993>
- [26] Mimuro, M., Kikuchi, H. & Murakami, A. Structure and Function of Phycobilisomes. in *Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photomorphogenesis* (eds. Singhal, G. S., Renger, G., Sopory, S. K., Irrgang, K.-D. & Govindjee) 104-135 (Springer, Dordrecht, the Netherlands, 1999).
https://doi.org/10.1007/978-94-011-4832-0_5
- [27] Kikuchi, H. Functional roles of the hexamer structure of C-phycocyanin revealed by calculation of absorption wavelength. *FEBS Open Bio* **11**, 164-172 (2021).
<https://doi.org/10.1002/2211-5463.13038>
- [28] Förster, T. Wischenmolekulare Energiewanderung und Fluoreszenz. *Ann. Phys.* **2**, 55-75 (1948).
- [29] Förster, T. Chapter II - Mechanisms of Energy Transfer. in *Bioenergetics* (eds. Florkin, M. & Stotz, E. H.) Comprehensive Biochemistry Vol. 22 61-80 (Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 1967).
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9712-8.50010-2>
- [30] Kikuchi, H. Redshifting and Blueshifting of β 82 Chromophores in the Phycocyanin Hexamer of *Porphyridium purpureum* Phycobilisomes Due to Linker Proteins. *Life* **12**, 1833 (2022).
<https://www.mdpi.com/2075-1729/12/11/1833>
- [31] Sohoni, S. *et al.* Phycobilisome's Exciton Transfer Efficiency Relies on an Energetic Funnel Driven by ChromophoreLinker Protein Interactions. *J. Am. Chem. Soc.* **145**, 11659-11668 (2023).
<https://doi.org/10.1021/jacs.3c01799>
- [32] Jumper, J. *et al.* Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature* **596**, 583-589 (2021).
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>
- [33] Steinegger, M. & Söding, J. MMseqs2 enables sensitive protein sequence searching for the analysis of massive data sets. *Nat. Biotechnol.* **35**, 1026-1028 (2017).
<https://doi.org/10.1038/nbt.3988>
- [34] Mirdita, M., Steinegger, M. & Söding, J. MMseqs2 desktop and local web server app for fast, interactive sequence searches. *Bioinformatics* **35**, 2856-2858 (2019).
<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty1057>
- [35] Mirdita, M. *et al.* ColabFold: making protein folding accessible to all. *Nat. Methods* **19**, 679-682 (2022).

<https://doi.org/10.1038/s41592-022-01488-1>

- [36] Kabsch, W. A solution for the best rotation to relate two sets of vectors. *acta cryst.* **A32**, 922-923 (1976).

<https://doi.org/10.1107/S0567739476001873>

- [37] Parbel, A. & Scheer, H. Model for the phycobilisome rod with interlocking disks based on domain-weighted linker-polypeptide sequence homologies of *Mastigocladus laminosus*. *Int. J. Photoenergy* **2**, 724545 (2000).

<https://doi.org/10.1155/S1110662X00000052>

- [38] Gao, X. *et al.* Crystal structure of the N-terminal domain of linker L_R and the assembly of cyanobacterial phycobilisome rods. *Mol. Microbiol.* **82**, 698-705 (2011).

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2011.07844.x>

(受付日 令和7年 2月 7日)

(受理日 令和7年 3月 7日)

〈Research Note〉

Integrating data science principles into a scientific writing course for English learners at Nippon Medical School

James Ellinger *

Introduction

This article will briefly discuss the use of data science in medicine, summarize the curriculum for data science at Nippon Medical School (NMS), and then describe how principles of data science might be integrated in a scientific English writing course. The field of data science can be defined as “an interdisciplinary academic field that uses statistics, scientific computing, scientific methods, processing, scientific visualization, algorithms and systems to extract or extrapolate knowledge and insights from potentially noisy, structured, or unstructured data” (‘Data science’, 2024). Research in this field often makes use of large datasets, machine learning, and artificial intelligence (AI).

The intersection of data science and medicine is expected to lead directly to advancements in personalized and precision medicine (Fröhlich *et al.*, 2018; Hulsen *et al.*, 2019), as well as early detection and diagnosis of diseases (Siuly and Zhang, 2016; Iregbu *et al.*, 2022). Additionally, integrating data science into healthcare is expected to aid in more general tasks such as electronic health records management and privacy and fraud detection (Subrahmanya *et al.*, 2022). Furthermore, as the volume of data collected from clinical trials

* 日本医科大学・外国語教室

Department of Foreign Languages, Nippon Medical School

increases, it can be expected that data science-based approaches will play an important role in driving evidence-based medicine practices (Subbiah, 2023).

Despite the buzz around data science and the potential for transforming medicine, a review on the use of big data and data science in medical education noted that current curricula and syllabi might not be adequately preparing future healthcare professionals (Khamisy-Farah *et al.*, 2021). For example, in a study that investigated practicing medical oncologists' genomic literacy, an area that includes processing large genomic datasets, nearly 50% indicated they had little knowledge of newer techniques currently in use, and more than 40% of those surveyed did not feel that genomic training offered in medical programs is adequate (Chow-White, Ha and Laskin, 2017). Another study, which focused on newly graduated medical doctors as well as those younger than 35, found that knowledge of clinical applications for data science-related areas such as big data, predictive models, and AI, was reported to be 39%, 30%, and 43%, respectively. Furthermore, for each of those three areas, only 13% responded that they had experience with direct involvement in daily clinical and research activities (Casà *et al.*, 2021). While these studies are limited in scope, they indicate that improvements in medical school curricula might be needed to prepare future doctors to incorporate data science-based approaches into their practice.

Data science at Nippon Medical School

To prepare its doctors for a future in which data science is likely to be incorporated into medicine, Nippon Medical School (NMS) established the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence in August of 2021. The center was established following the guidelines for the Program for Mathematics, Data Science, and AI Smart Higher Education Program (MDASH) put forth by Japan's Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The program at NMS has been certified at the Literacy Plus level and the overarching goals are to introduce students to the relationships between data and society. Specifically, students will learn about

the connections between medicine, AI, and data science. Unique features of Nippon Medical School's program include the use of real medical data and lectures provided by medical doctors to demonstrate the relationships to students. Students are issued a certificate of completion upon finishing the program.

The program is administered during the first 4 years of coursework as part of the Longitudinal Program (縦断型プログラム). Regarding AI, the program covers the foundations, history, societal impacts, and applications across various fields. These fields are not limited to medicine but also include autonomous systems and data-driven industries. Key topics include machine learning, deep learning, AI ethics, and practical Python programming for tasks such as data analysis, data visualization, simulation, and image processing.

With respect to data science, this course addresses foundational skills in information security, data management, and statistical analysis, including password safety, information retrieval, and the use of public datasets. Topics also include data cleansing, questionnaire design, and visualization techniques such as histograms and boxplots. Practical skills in software applications for word processing, spreadsheets, databases, and presentations are highlighted, alongside an introduction to linear algebra and Python for tasks such as matrix operations, eigenvalue analysis, and statistical modeling.

The mathematics portion focuses on calculus fundamentals and their applications in the natural sciences, probability concepts and distributions, and statistical methods, including interval estimation for population means, variances, and proportions.

A full list of the 35 learning objectives associated with the program can be found at the center's homepage (the URL is provided in the Notes of Table 1). The items that are most relevant or which have potential relevance to the scientific writing course for English learners described in this paper are listed in Table 1. Some of these items are currently being addressed to various degrees in the writing course, while addition of others is under consideration. The details will be described further in the next section.

Table 1. Selected learning objectives from the NMS Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence with relevance to a scientific English writing course taught at NMS.

Item	Students will be able to
1	explain why data-driven thinking is important.
5	explain the different types of data and the concepts of primary and secondary data.
6	perform basic programming in Python.
16	perform basic operations of applications like word processing, spreadsheets, and presentations.
18	summarize data using spreadsheet software and visualize it using tables and graphs.
19	create basic graphs such as histograms, bar graphs, line graphs, and scatter plots.
20	perform simple data screening using spreadsheet software.
21	use information retrieval services to conduct appropriate information searches.
29	explain discrete and continuous random variables, probability density functions, expected values, and variance.
30	explain various probability distributions (binomial, Poisson, normal, exponential, etc.).
31	explain the law of large numbers and the central limit theorem.
32	explain various methods for interval estimation of population means, population proportions, population variances, etc.
33	appropriately use different methods of data representation (visual representations such as histograms and boxplots, and numerical representations like means and variances).
34	explain the differences between scatter plots, correlation coefficients, and regression lines for two variables.
35	explain concepts like correlation versus causation, spurious correlation, and latent variables.

Notes: The full list of objectives is available at the center's homepage:

<https://sites.google.com/nms.ac.jp/ai-edu/> 教育プログラム

The translations for the objectives are provided by the author and are unofficial.

Scientific writing for English learners at Nippon Medical School

Although separate from the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence, the Department of Foreign Languages at NMS offers English coursework in which students can put to practical use the data science skills they acquire. Some of the important aspects of data science training and education mentioned above are analysis, visualization, and communication of data. This section will describe current and possible future ways in which data science skills are applied in an English class at NMS. Linking the ideas between classes and communicating those points to students is important because it should help students consolidate their understanding of the concepts and hopefully improve motivation by demonstrating the interdisciplinary nature of their coursework.

All first-year students at Nippon Medical School are enrolled in a scientific English writing course. This course spans all three academic terms, and the main goal is for students to write an original research paper, in English, following the conventional Introduction, Methods, Results, and Discussion (IMRaD) format. Additionally, students give an oral presentation of their project in English with their classmates and teachers serving as the audience¹.

One of the defining features of this course is that students work in teams and develop a research question for which they do not know the answer. Then they design and conduct an original experiment, which is the driving force for the paper that they write. This approach is taken because it allows students to have ownership over their project. In the instructors' experience, it has been observed that this ownership provides strong motivation for the students to become engaged in the project and promotes greater curiosity than simply assigning students an experiment with given data and a known outcome.

¹ This course is based on the instructors' prior experience teaching in the Active Learning of English for Science Students program at the University of Tokyo (https://eng2.c.u-tokyo.ac.jp/ale_web/aless-en/).

This course is taught in a student-centered, active learning style, which means that during class time, the teachers do not lecture but instead provide students with goal-driven activities. The activities are provided in English, and unless otherwise specified, students are expected to complete the activities using English. For example, students read a published research paper, which is used as the basis for their own project. Outside of class time, students are introduced to the structure and language of a research paper by watching videos created by the instructors. Then, during class time, using guided activities created by the instructors, the students work with their team to collaboratively identify the limitations of the previous research, formulate a research question, and design an experiment to answer the question.

As mentioned above, some aspects of this course are relevant to the learning objectives stated by the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence (Table 1). The most immediate learning objectives that are relevant and which are directly covered in the scientific writing course are items 16 – 20. Students write their entire paper using Google Docs, gather and curate data using Google Sheets (analysis is performed with different software as described below), and prepare their oral presentation using Google Slides. These are important tools that the students use to communicate and visualize their data.

Items 33 – 35 are relevant to the analysis of data and become applicable when students prepare the Results and Discussion sections of their paper. The instructors directly address the objectives of item 33 (*appropriately use different methods of data visualization*) through activities conducted in class. However, items 34 (*explain the differences between scatter plots, correlation coefficients, and regression lines for two variables*) and 35 (*explain concepts like correlation versus causation, spurious correlation, and latent variables*) are not directly addressed in the scientific English writing course. This could be remedied in the future by having discussions with instructors who teach in the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence.

Currently item 21 (*use information retrieval services to conduct appropriate information searches*) is not directly addressed in the scientific writing course

since the students are provided published literature by the instructors. The instructors would like to integrate this topic into the course, but due to time constraints have been unable to do so thus far. Occasionally a student will request guidance on finding additional literature, but this is handled on a case-by-case basis. However, the instructors have observed that some students take initiative to seek published literature on their own. Coordination with members of the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence as well as administrators of the Longitudinal Program² will help the instructors address item 21 more thoroughly in the future.

Item 1 (*explain why data-driven thinking is important*) is loosely addressed via an activity that students do on the first day of class. Students are provided with a series of graphs that show the use of English in published scientific research, and they are guided through a discussion based on this data. The last question of the discussion asks students to consider why scientific research is important for medical doctors. The goals of the discussion include getting students to think about the importance of using data when answering questions as well as the role of data in medicine.

Item 5 (*explain the different types of data and the concepts of primary and secondary data*) is addressed in passing, at least with respect to concept of primary data. Students design and conduct an original experiment to gather their own data. Therefore, they gain first-hand experience with the generation of primary data. However, having the students link this back to concepts they have learning in the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence is not a point that has been emphasized thus far.

With regards to items 29 – 32, which involve specific statistical concepts and procedures, these are not directly addressed in the scientific writing course as the details are outside the scope of an English course. However, they are relevant to data analysis. Students need to calculate sample means and

² All students in the second year take a course called Scientific Research 2 (科学的研究2) during which they learn how to use PubMed to search for scientific literature.

variances based on the data they collect. Furthermore, students receive some instruction for conducting statistical tests such as a t -test or ANOVA. The objectives in items 29 – 32 lay down some of the foundations for analyses that students might use for their own data analysis. Students will receive more direct instruction in statistics during their second year of coursework at the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence. However, the instructors of the scientific writing course have not yet highlighted the connections between the future statistics coursework and the scientific writing course. Doing so might help improve student motivation and consolidation of their acquired skills.

Item 6 (*perform basic programming in Python*) is relevant to the scientific writing class through its connection to items 19 (*create basic graphs such as histograms, bar graphs, line graphs, and scatter plots*) and 33. Through coursework in the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence students learn how to make different types of graphs using Python. Python can also be used to conduct statistical tests. Currently, in the scientific writing course with regards to data analysis and visualization, students are instructed in the use of a software application called Data Explorer³, which is provided by the Howard Hughes Medical Institute. Data Explorer has a straightforward and easy-to-use user interface (Figure 1), but students are limited to using graph types and statistical tests that are available within the software. Using Python might allow students to take a more flexible approach to their data analysis while further building their data science analysis skills. Further discussion with members of the Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence will allow the instructors to determine if there is a practical way to coordinate the timing and use of Python in the scientific English writing course.

³ <https://media.hhmi.org/biointeractive/tool/dataexplorer/v1>

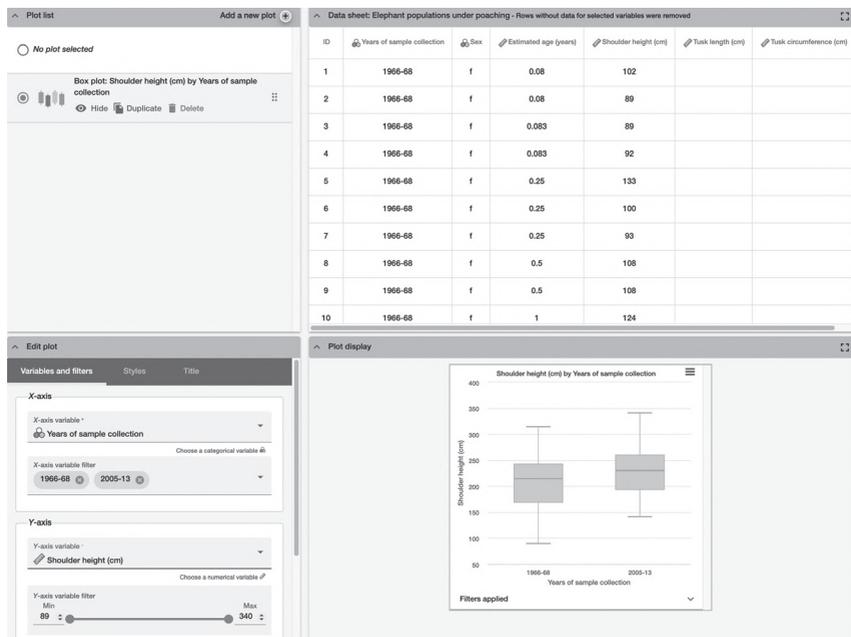


Figure 1. Example of the HHMI Data Explorer interface.

Data science has an important role to play in medicine and Nippon Medical School is underway in addressing this issue. The Center for Mathematics, Data Science, and Artificial Intelligence was established in part to introduce students to the connection between data science and medicine. The Department of Foreign Languages offers a scientific English writing course, which is unaffiliated with the center, but offers a place where students can put to practical use the data science skills they acquire. Encouraging collaboration between instructors of these respective courses could strengthen student outcomes and enhance motivation by creating a more cohesive learning experience. This collaboration would further encourage students to recognize the relevance of data science in medicine.

References

- [1] Casà, C. *et al.* (2021) 'COVID-19 and digital competencies among young physicians: are we (really) ready for the new era? A national survey of the Italian Young Medical Doctors Association', *Annali dell' Istituto Superiore Di Sanita*, 57(1), pp. 1-6. Available at: https://doi.org/10.4415/ANN_21_01_01.
- [2] Chow-White, P., Ha, D. and Laskin, J. (2017) 'Knowledge, attitudes, and values among physicians working with clinical genomics: a survey of medical oncologists', *Human Resources for Health*, 15(1), p. 42. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12960-017-0218-z>.
- [3] 'Data science' (2024) *Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data_science&oldid=1260235404 (Accessed: 3 December 2024).
- [4] Fröhlich, H. *et al.* (2018) 'From hype to reality: data science enabling personalized medicine', *BMC Medicine*, 16(1), p. 150. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12916-018-1122-7>.
- [5] Hulsen, T. *et al.* (2019) 'From Big Data to Precision Medicine', *Frontiers in Medicine*, 6. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00034>.
- [6] Iregbu, K. *et al.* (2022) 'Global health systems' data science approach for precision diagnosis of sepsis in early life', *The Lancet Infectious Diseases*, 22(5), pp. e143-e152. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00645-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00645-9).
- [7] Khamisy-Farah, R. *et al.* (2021) 'Big Data for Biomedical Education with a Focus on the COVID-19 Era: An Integrative Review of the Literature', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), p. 8989. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph18178989>.
- [8] Siuly, S. and Zhang, Y. (2016) 'Medical Big Data: Neurological Diseases Diagnosis Through Medical Data Analysis', *Data Science and Engineering*, 1(2), pp. 54-64. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41019-016-0011-3>.
- [9] Subbiah, V. (2023) 'The next generation of evidence-based medicine', *Nature Medicine*, 29(1), pp. 49-58. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41591-022-02160-z>.
- [10] Subrahmanya, S.V.G. *et al.* (2022) 'The role of data science in healthcare advancements: applications, benefits, and future prospects', *Irish journal of medical science*, 191(4), pp. 1473-1483. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11845-021-02730-z>.

(受付日 令和7年 2月 7日)

(受理日 令和7年 3月 7日)

〈実践報告〉

学生全体を対象にしたメンタルヘルス 支援活動としての質問紙調査

鋤柄のぞみ¹・吉川栄省²・加藤優子¹

Questionnaire survey as a mental health support activity
for all students

Nozomi SUKIGARA¹, Eisho YOSHIKAWA², Yuko KATO¹

学生相談室は、自主的に来談してくる学生に向けた個別の心理カウンセリングを中核にするが、自分からは来談しない学生たちにも潜在している心理的問題や心理的サポートに対するニーズを把握して対応していくこと、つまり学生全体や集団に向けたアプローチも大事になってくる。他大学の実践を見渡すと、相談員による講義、心理教育プログラムなどワークショップの開催、ピアサポートの支援、また、本学でも実施している質問紙調査による実態把握と要支援者の抽出などが考えられる。

¹ 日本医科大学学生相談室 Students Counseling Room, Nippon Medical School

² 日本医科大学医療心理学教室 Department of Medical Psychology, Nippon

1. メンタルヘルス調査による学生全体に向けたアプローチ

過去に報告してきたように(鋤柄 2012、2022；鋤柄ら 2016、2019)、本学の学生相談室では、入学直後の新1年生全員を対象にしたメンタルヘルス調査——学生向けには『心身の状態に関する調査票』と案内しているアンケート調査——と個別面接を併せた企画を継続して行っている。学生相談室による学生全体に向けたアプローチであり、当該学年のメンタルヘルスに関わる実態把握と要支援者の抽出、相談室の広報という目的で1995年にはじまったものである。本学の卒業生でもある精神科医2名も面接を担当した18年間の後、2014年からは学生相談室のスタッフだけで調査と面接を行っており、学生相談室を主たる面接場所に行っていることもあって「学生が学生相談室やカウンセラーと初めて出会う場」という意味合いが現在ではより強いかもしれない。相談室の内覧会のようなものである。面接を利用する学生は任意とあって100%に届かず、1学年のみではあるが、学生相談室による学生全体・集団を対象にしたアプローチ活動としては一番古い。後述するように、当初から University Personality Inventory：UPI (大学精神健康調査) を測定尺度として採用しており、2014年からは、UPIをベースにしたUPI短縮版36項目(鋤柄ら 2019)に切り替えている。そして、過去に身体的、心理的・精神的問題を感じたことがあるか、専門家による治療・相談を受けたことがあるか、また、入学現在の気になることを選択肢9つから選ぶ構成になっている。これらの回答内容に関して、個別面接で学生ひとりずつと話し合っている。

その後、2021年には1年～6年全体向けに『全学生対象ストレスチェック(web調査)]の実施をはじめた。それ以前から、大学在籍中の追跡調査や全学年にアプローチしていく活動については検討事項であったが、手探りでも実施開始に踏み切ったのはコロナ禍が理由であった。つまり、未知のウイルスを相手にした感染対策や大学施設の利用禁止等をはじめ、非常事態のもとで学生たちが感じている心理的負荷や問題、心理的サポートのニーズを少しでも把握して対応策を検討する目的からである。ストレスチェックでの調査内容は、抑うつ・不安症状の程度を測定する K6 日本語版 (Furukawa et al 2008) と、一年間で心理的負荷になっていた事柄についての自由記述、また、身近に話し相手がいるかどうかを確認する構成である。任意回答の web 調査であって、回答率は5%～24%とバラついていて低いが、一年間に複数回実施した2021年と2022年を経て、

2023年からは年一回実施に定めている。そして、特定の学年に所属する学生全員にK6日本語版（以下、K6と表記）を実施する方法として、上述の新1年生対象『心身の状態に関する調査票』にK6を追加することと『3学年対象ストレスチェック』を2023年にはじめた。後者は、マークシートでの回答方式にしており、web調査では自由記述にしていた心理的負荷についても“学業”や“学内の人間関係”など9項目にチェックする回答法にしている。なお、全学年対象のweb調査と3学年対象の両方とも、新1年生対象『心身の状態に関する調査票』のように個別面接を全員に設定することはできていないが、K6で基準点（下記2-(2)を参照）を超えた学生にはメールを送って面談に誘うことをしている。必要を感じず断る学生もいるが、これを機にカウンセリングを継続する学生もいて、自分では積極的に申し込まないものの、実は心理的サポートに対するニーズがあって声かけが功を奏した学生はいる。

そしてまた、2024年度には、附属病院精神医学教室での臨床実習（Clinical Clerkship. 以下、C.C.と表記）中の学生対象にもK6を含むストレスチェックに回答してもらうことをはじめている。つまり、任意回答のweb調査以外で、学生は在学中3回（1年生の春、3年生の秋、4年生か5年生のC.C.中）は必ずK6に回答する設定が整った。学生相談室が学生全体にアプローチする機会が在学中3回は確保できたことになり、学生を縦断的にフォローしていける可能性ができたとも言えよう。

2. 学生対象メンタルヘルス調査で採用している測定尺度について

すでに述べてきたように、現在、本学学生相談室による新1年生対象『心身の状態に関する調査票』ではUPI短縮版36項目（2014年～現在）とK6（2023年～現在）、『ストレスチェック』ではK6（2021年～現在）を採用している。これらふたつの測定尺度は各企画の対象者全員に回答を求めるものだが、その回答結果が、ある条件に該当する学生に追加で実施しているのがPatient Health Questionnaire-9：PHQ-9日本語版（Muramatsu et al 2018；村松 2021）（以下、PHQ-9と表記）である。

(34)

(1) 「UPI 短縮版 36 項目」(鋤柄ら 2019)

本学で使用しているメンタルヘルス調査企画：新 1 年生対象『心身の状態に関する調査票』

概要：本邦の全国大学保健管理協会が1966年に作成した60項目から構成される University Personality Inventory：UPI（大学精神保健調査）を起源とする。このUPIは、酒井・野口（2015）によれば、比較的健康度の高い学生について、悩みごとの内容を明らかにしつつ初回心理面接の導入に用いることに適しているという。実際、多くの大学では、UPIで高得点を出した学生を呼び出して面接につなげる活動とともにUPIを実施している。“不眠がちである”や“いつも体の調子がよい”といった心身の状態について言及する項目が列記されており、それぞれを最近一年間で経験したか否かで回答する。項目は「自覚症状（ストレス症状）」と「陽性項目」に大きく分けることができ、前者の自覚症状（ストレス症状）には4つの下位カテゴリー、つまり精神身体症状、抑うつ傾向、対人不安、強迫傾向・被害関係念慮が設定されている。UPIは全国の大学学生相談室や保健センターに普及しているが、スクリーニングツールとしての信頼性や妥当性は長年議論されてきた。しかし、酒井・野口（2015）は項目反応理論などを用いた検証を通じて、UPIは日常的な困りごとのレベルで測定精度が高いことを見出している（酒井ら 2015）。各大学の実情にあわせて応用が可能なUPIには簡易版・短縮版が複数あり、本学のUPI短縮版36項目（鋤柄ら 2019）も、本学学生相談室が酒井ら（2011）と脇田ら（2007）を参照しながら項目を選定したものである。本学でUPIを20年間実施してきて回答者の多かった項目を加えており、それによって学生が調査票に回答しやすくなるよう工夫している。なお、クロンバックの α 信頼係数は0.89であることから内的整合性は確保されていると言える。

(2) 「K6日本語版」(Furukawa et al. 2008)

本学で使用しているメンタルヘルス調査企画：新1年生対象『心身の状態に関する調査票』、『全学生対象ストレスチェック (web 調査)』、『3学年対象ストレスチェック』、『C.C. 学生対象ストレスチェック』

概要：米国国民健康インタビュー調査 (National Health Interview Survey：NHIS) のため Kessler, et al が2002年に開発した尺度の日本語版である (日本プライマリ・ケア連合学会予防医療・健康増進・産業保健委員会予防医療チーム

2017)。本邦では、厚生労働省による国民生活基礎調査（2019、2022）においてこころの状態を測定する質問項目として採用されている。“神経過敏に感じましたか”、“絶望的だと感じましたか”など抑うつ・不安症状に関する質問項目6個について、過去30日間における頻度を全くない（0点）、少しだけ（1点）、ときどき（2点）、たいてい（3点）、いつも（4点）の5件法で回答する。スコア範囲は0～24点であり、10点以上でうつや不安症状の心理的苦痛を経験している可能性があり、13点以上が重症を予測するカットオフ値とされる。なお、本学で実施する際は割愛しているが、National Comorbidity Survey：NCSは6項目に対して回答した状態——例えば、“神経過敏にかんじましたか”という質問項目にいつもそうだと答えたなら——、それが普段からそうなのか、普段より多いのか少ないのか、日常生活に影響している程度について触れる質問を併せて紹介している。

なお、本学学生の年齢層にあたる20～29歳について国民生活基礎調査の結果を見ると、2019年度の10点以上は14.4%（厚生労働省 2020）、2022年度は13.2%（厚生労働省 2023）であった。本学で調査対象者のほぼ全員から回答を得られる3学年対象ストレスチェックの結果は、2023年度の10点以上は13.2%、2024年度は13.0%であり、国民生活基礎調査の結果と一致している。

（3）「PHQ-9日本語版」（Muramatsu et al. 2018）

本学で使用しているメンタルヘルス調査企画：新1年生対象『心身の状態に関する調査票』、『全学生対象ストレスチェック（web調査）』、『3学年対象ストレスチェック』、それぞれの調査実施後に実施している面接場面

概要： Patient Health Questionnaire-9が正式名称である。村松（2021）によれば、英国の国立医療技術評価機構におけるうつ病治療のガイドラインや、米国精神医学会による精神疾患の診断・統計マニュアル（Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders：DSM-5）におけるうつ病の評価尺度として推奨されており、精神医学の分野だけでなく、プライマリ・ケアや臨床看護領域の他、臨床心理学領域でも関心をもたれている測定尺度である。気分の沈み込み・抑うつ気分や興味の低下・消失、食欲、睡眠等に関する9項目の質問に対して、過去2週間の頻度を全くない（0点）、少しだけ（1点）、ときどき（2点）、たいてい（3点）の4件法で回答する。スコア範囲は0～27点で、うつ病の症状レベルの評価として、5～9点は軽微～軽度、10～14点は中等度、15～

19点は中等度～重度、20～27点は重度とされている(村松 2021)。また、質問9項目の状態によって、仕事、家事、人づきあいがどの程度困難になっているかについても評価される。

本学でPHQ-9の実施対象者になるのは、上記のメンタルヘルス調査企画でK6の得点が10点以上、つまり過去30日間で抑うつ・不安症状といった心理的負荷が認められて面談につながった学生である。また、UPI短縮版36項目のなかで“死にたくなる”に回答した学生にも個別面談の場で実施している。面談担当者は臨床心理学領域の専門スタッフではあるが、自分ひとりの所感で判断を終えず、状態像をより丁寧に評価するとともに相談室内で共通理解がもてる客観的指標として採用している。本学で導入して日は浅いが、症状レベルの評価が細かく分かれているため、医療の必要性や緊急性の判断などに役立っている。

3. メンタルヘルス調査で使用している測定尺度の限界と今後の課題

いずれも学生自身の自己認識にもとづく自己記入式の回答であり、本人が気付いていない症状については、実際は存在していたとしても回答結果に反映されない。また、いずれも症状やストレスの理由や背景を明らかにするものではない。新1年生『心身の状態に関する調査票』については、調査実施後に全員対象の個別面接を設定しており、対話を通じて得られる情報やカウンセラーの所感が測定尺度の限界をある程度補足していると考えられる。平山ら(2011)が、心理テストや健康調査の診断的有用性が高いのは全員面接を組み合わせた場合だと述べている通りである。しかし、回答者全員を面談対象にしていないストレスチェックでは、自由記述(web調査)等がストレス要因を把握する手段だが得られる情報は限られている。例えば、企業が労働者の健康管理のために義務づけられているストレスチェック制度(平成27年12月1日施行)で使用される質問紙は、抑うつ以外の気分や身体症状、飲酒等の行動面など多様なストレス症状を聞くとともに、仕事に関することや身近なサポートに関すること——ストレス要因およびストレスを増悪させる要因にもなる一方で、ストレスを緩和させる要因にもなる——にまつわる質問を含む構成が多い。本学での学生対象メンタルヘルス調査でも、面談の前、調査票の段階で得られる情報を増やすための質問項目を検討することが今後の課題のひとつと考えられる。

最後に

学生相談室が行っている学生全体に向けた活動、特に本稿に記してきたメンタルヘルス調査は、学生部および関係する教職員の理解と協力があって実現している。今後も、1対1でじっくりと対話を行う心理カウンセリングを中核にしながらも、メンタルヘルス調査で学生全体にアプローチしていく活動を関係者と協議しながら継続していく考えである。

文献

- [1] Furukawa, T., Kawakami, N., Saitoh, M., Ono, Y., Nakane, Y., Nakamura, Y., Tachimori, H., Iwata, N., Uda, H., Nakane, H., Watanabe, M., Naganuma, Y., Hata, Y., Kobayashi, M., Miyake, Y., Takeshima, T., & Kikkawa, T. (2008). The performance of the Japanese version of the K6 and K10 in the World Mental Health Survey Japan. *International Journal of Methods Psychiatric Research*, 17(3), 152-158.
- [2] 平山皓・全国大学メンタルヘルス研究会 (2011). 大学生のメンタルヘルスマネジメント：UPI利用の手引き. 創造出版.
- [3] 一般社団法人日本プライマリ・ケア連合学会予防医療・健康増進・産業保健委員会予防医療チーム (2017). 根拠に基づく予防医療推進サイト 予防医療データベース うつ病スクリーニング. https://www.evidencebased-prevmed.jp/topics_I-detail.php?tid=29 (2024年12月1日取得)
- [4] 厚生労働省 (2020). 2019年国民生活基礎調査の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa19/dl/14.pdf> (2024年12月1日取得)
- [5] 厚生労働省 (2023). 2022 (令和4) 年国民生活基礎調査の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/dl/14.pdf> (2024年12月1日取得)
- [6] Muramatsu, K., Miyaoka, H., Kamijima, K., Muramatsu, Y., Tanaka, Y., Hosaka, M., Miwa, Y., Fuse, K., Yoshimine, F., Mashima, I., Shimizu, N., Ito, H. & Shimizu, E.. (2018). Performance of the Japanese version of the Patient Health Questionnaire-9(J-PHQ-9) for depression in primary care. *General Hospital Psychiatry*, 52, 64-69. DOI: 10.1016/j.genhosppsych.2018.03.007
- [7] 村松公美子 (2021). Patient Health Questionnaire 日本語版シリーズ (PHQ, GAD) - うつと不安のメンタルヘルスアセスメント -. 金木犀舎.
- [8] National Comorbidity Survey : NCS. K10 and K6 Scales. https://www.hcp.med.harvard.edu/ncs/k6_scales.php (2024年11月3日取得)
- [9] 日本プライマリ・ケア連合学会予防医療・健康増進・産業保健委員会予防医療チーム (2017). 根拠に基づく予防医療推進サイト 予防医療データベース うつ病スクリーニング. https://www.evidencebased-prevmed.jp/topics_I-detail.php?tid=29 (2024年

12月1日取得)

- [10] 酒井渉・松井祥子・四間丁千枝 (2011). University Personality Inventory 短縮版作成の試み：項目反応理論を用いた General Health Questionnaire30 との比較から. 学生相談研究, 32, 120-130.
- [11] 酒井渉・野口裕之 (2015). 大学生を対象とした精神的健康度調査の共通尺度化における比較検討. 教育心理学研究, 63, 111-120.
- [12] 鋤柄のぞみ (2012). 単科医科大学における新入生のUPI 特徴：17年間分の集計報告と年次推移. 全国大学学生相談学会第30回大会発表論文集, 76.
- [13] 鋤柄のぞみ (2022). 新入生全員を対象にしたUPI 個別面接について. 日本医科大学基礎科学紀要, 50, 5-20.
- [14] 鋤柄のぞみ・榎村正美・加藤優子 (2019). UPI 短縮版を実施した5年間についての検証と段階評価の設定. 日本医科大学基礎科学紀要, 48, 39-58.
- [15] 鋤柄のぞみ・加藤優子・榎村正美・野村敏明 (2016). UPI (University Personality Inventory) からみる本学新入生の特徴. 日本医科大学基礎科学紀要, 45, 1-18.
- [16] 脇田貴文・小塩真司・願興寺礼子・桐山雅子 (2007). University Personality Inventory 短縮版の開発. 人文学研究論集, 17, 123-128.

(受付日 令和7年 2月 7日)

(受理日 令和7年 3月 7日)

〈教育ノート〉

生活に関わる生物有機化学

中村成夫*

Bioorganic Chemistry for Daily Life

Shigeo NAKAMURA*

1. はじめに

筆者は医科大学において、医学部1年生に対して化学の授業を行っており、中でも、生体に関連する物質を中心とした生物有機化学分野については、10年以上にわたって担当している。医学生対象であることを意識しながら、糖質、脂質、アミノ酸、核酸、ビタミンなど生化学でも学ぶことになる有機化合物について、化学の立場から解説している。この授業では、数多くの生体に関わる有機化合物が登場するが、その中には、コンビニ、スーパー、ドラッグストアなどでも目にする物質名が多くある。健康食品やサプリメントが典型的であるが、飲料、食品、菓子などにも「〇〇配合」と書かれている商品がある。それらの多くは『機能性表示食品』として売られている。

医薬品は『医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律』（2014年までは『薬事法』）で規制されており、その承認、製造、販売については国から厳しく管理されている。医薬品として認可されるためには、国の厳しい承認審査を経なければならない。一方、機能性表示食品は2015年に導入されたもので、消費者庁のホームページ^[1]には「機能性表示食品制度とは、国の定めるルールに基づき、事業者が食品の安全性と機能性に関する科学的根拠などの必要な事項を、販売前に消費者庁長官に届け出れば、機能性を表示するこ

* 日本医科大学・化学教室 Department of Chemistry, Nippon Medical School

存在している。その保水性により皮膚の乾燥を防ぎ、関節では潤滑成分としてはたらく。実際、変形性関節症ではヒアルロン酸を関節に注入する治療が行われるし^[2]、化粧品では保湿成分として用いられる。

しかし、ヒアルロン酸を健康食品として経口摂取するのはいかなものだろうか。ヒアルロン酸のように分子量の大きい高分子化合物は、消化管で直接吸収されることはない。したがって、関節に直接注入する場合や、皮膚に直接塗る場合と異なり、経口摂取されたヒアルロン酸が関節や皮膚に直接届くことはない。百歩譲って、胃や腸で分解されたグルクロン酸や*N*-アセチルグルコサミンが吸収されたとしても、それが皮膚や関節でヒアルロン酸に再合成されるとは限らない。そもそもグルクロン酸も*N*-アセチルグルコサミンも、生体内ではごくありふれた物質である。

しかし世の中では、「肌がうるおう」と謳っているヒアルロン酸含有機能性食品が売られている。学生にもこれを疑ってかかってほしいと思う筆者は、「髪の毛を食べることによって髪の毛が増えるなら、ぼくだって食べるよ」と、体をはった冗談を言ってみるのだが、誰も笑ってくれないのは同情からだろうか。

3. ABO 血液型抗原決定基

「糖質の化学」の授業の最後では、糖鎖に関して説明している。糖鎖とは糖が鎖のように連なったもので、細胞の表面のタンパク質や脂質に結合して存在し

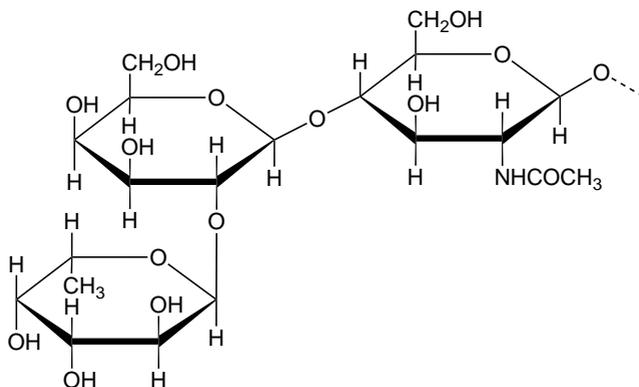


図2 O型の赤血球の表面にある糖鎖

ており、免疫、発生、情報伝達など多くの生命現象において重要な役割を果たしている。その一例として、授業では赤血球の表面にある糖鎖を紹介している。血液型で最も有名なものはABO式血液型であるが、これらの違いは図2～4のように赤血球の表面にある糖鎖の違いによるものである。

赤血球の表面にそれぞれ、図2の糖鎖をもつ人がO型、図3の糖鎖をもつ人がA型、図4の糖鎖をもつ人がB型、図3と図4の糖鎖を両方をもつ人がAB型である。

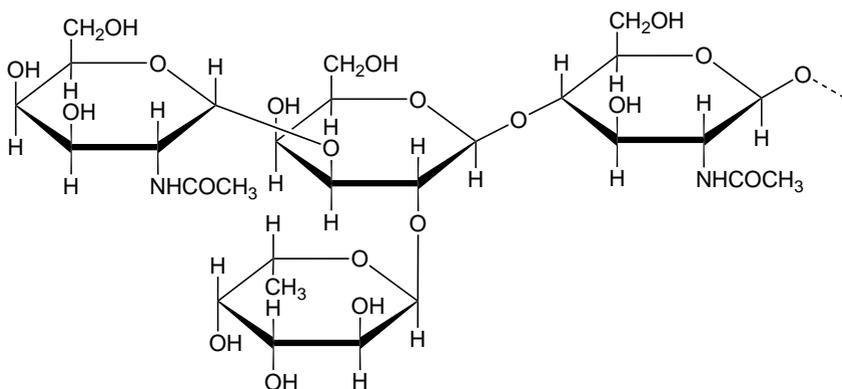


図3 A型の赤血球の表面にある糖鎖

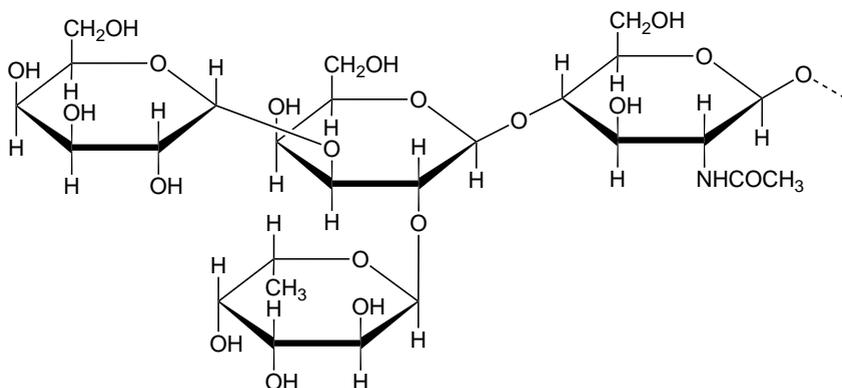


図4 B型の赤血球の表面にある糖鎖

る。O型とA型、O型とB型は糖の数が1個違うのでパッと見て別物だと分かるが、A型とB型に関してはどこが異なるのかすぐには見つけられないかもしれない。

世界的には、自分の血液型を覚えていない人が多く、自分の血液型をスラスラ言えるのは日本人くらいである。これには、血液型古いが盛んで、血液型による性格の違いがしばしば話題にされる日本ならではの事情がある。しかし図2～4を見たときに、ただかか赤血球の表面の糖の微妙な違いが、性格に影響を与えることなどあり得ないと、学生には思ってしまうものである。とはいえ、新型コロナウイルスの重症化の遺伝的要因にABO血液型が関係しているのではないかという報告もあるので^[3]、性格にも関係する可能性もゼロではないのかもしれない。

4. コラーゲン

「アミノ酸の化学」の授業では、アミノ酸の種類や性質を一通り教えた後に、翻訳後修飾の説明をしている。翻訳とはDNAの情報をもとに細胞内でアミノ酸が鎖のように次々と結合してタンパク質が生合成されることであり、翻訳後修飾とはタンパク質中のアミノ酸残基が、後から化学的に修飾されることである。

翻訳後修飾の例として、授業ではプロリンのヒドロキシ化を紹介している。プロリンは生体に必要なアミノ酸の一つで、図5左のような構造である。プロリンはコラーゲンというタンパク質に多く含まれているが、そのほとんどは翻訳後修飾されてヒドロキシプロリン(図5右)に変換されている。ヒドロキシプロリンはコラーゲンの機能にとって重要な役割を担っている。

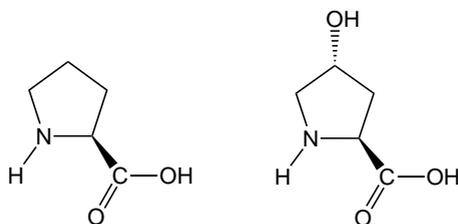


図5 プロリン(左)とヒドロキシプロリン(右)

(44)

コラーゲンは我々の身体の真皮、軟骨、靭帯などに含まれ、細胞外マトリクスの主成分である。コラーゲンは皮膚の弾力性などに関わっているためか、「お肌の弾力を保つ」と謳っているコラーゲン含有機能的食品をしばしば見かける。しかし、コラーゲンはアミノ酸が何千何万と結合したタンパク質であるため、前述したヒアルロン酸と同様に、このような高分子化合物は消化管で直接吸収されることもないし、経口摂取したコラーゲンがそのまま肌に届くこともない。

経口摂取されたコラーゲンが胃や腸で分解されてヒドロキシプロリンが生成し、それが消化器で吸収されたものがコラーゲンの原料になるのではないかと考える学生もいるかもしれないが、ここで「翻訳後修飾」が問題になる。コラーゲンの生合成過程は次のようなものである。まずプロリンを豊富に含むプロコラーゲンというコラーゲンの前駆体が生合成され、これが翻訳後修飾により、プロコラーゲンに含まれるいくつものプロリン残基がヒドロキシプロリン残基に変換されることによって、コラーゲンになるのである(図6)。したがって、ヒドロキシプロリンは直接にはコラーゲンの原料にはなり得ない。

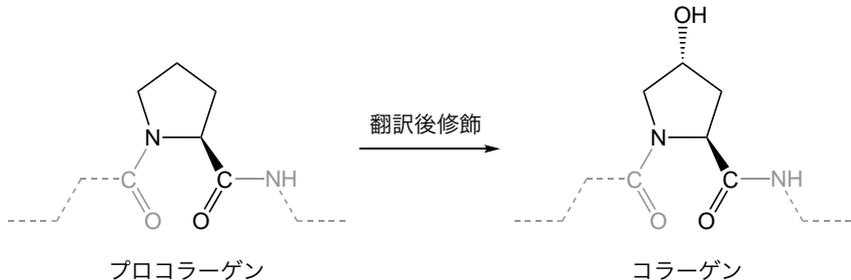


図6 プロリン残基の翻訳後修飾によるコラーゲンの生成

コラーゲンは我々が生きていく上で極めて重要なタンパク質であることに疑う余地はない。図6の翻訳後修飾の化学反応は、その後の「ビタミンの化学」の授業でも再度紹介している。なぜならこの反応にはビタミンCが必要だからである。ビタミンCの欠乏症として知られる壊血病は、ビタミンC欠乏によりコラーゲンが生合成されなくなり、ひいては皮膚・粘膜・歯肉などからの出血につながり、死に至る。コラーゲンそのものを摂取するより、ビタミンCを摂取する方がまだマシだと思ふのだが。

5. γ -アミノ酪酸

「ビタミンの化学」の授業では、脂溶性ビタミンや水溶性ビタミンの化学構造の特徴や、各ビタミンが関係する化学反応について紹介している。その中でもビタミン B₆ は数多くの生体内での化学反応に関わっており、特にアミノ基転移や脱炭酸など、アミノ酸に関係する化学反応に重要な役割を果たしている。授業の順番的に「ビタミンの化学」は終盤に位置するので、序盤に行った「アミノ酸の化学」の復習にもなると思い、いくつかのアミノ酸がビタミン B₆ によって、どのような化学変化を受けるかについて紹介している。

グルタミン酸は有名なアミノ酸であるが（そのナトリウム塩はうま味調味料として知られている）、これがビタミン B₆ の働きによって脱炭酸される（CO₂ が除かれる）と γ -アミノ酪酸になる（図7）。 γ -アミノ酪酸は中枢神経系で抑制的に働く神経伝達物質である。 γ -アミノ酪酸の作用を増加させる薬物は、鎮静作用をもつものが多い（例えば、睡眠導入剤、抗不安薬、麻酔薬など）。

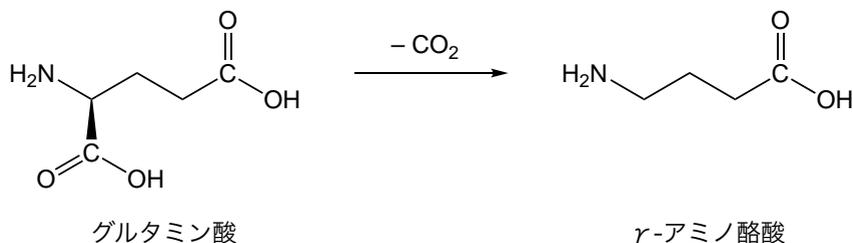


図7 グルタミン酸の脱炭酸による γ -アミノ酪酸の生成

γ -アミノ酪酸といってもピンとこない人が多いかもしれないが、gamma-aminobutyric acid 略して GABA という、どこかで聞いたことがあるという人もいよう。抑制性の神経伝達物質ということで、GABA が興奮を抑えてリラックスさせるというイメージが世の中では流布しているようだ。ストレスを減らす効果を謳っている GABA 入り食品も多く売られている。

しかし、経口摂取した GABA に効果があるのだろうか。分子量が10万～100万もあるヒアルロン酸やコラーゲンと異なり、分子量がわずか103の GABA はそのまま消化器で吸収されて、血液中を流れることができるだろう。血液中に

(46)

入ってしまえばいずれ脳に到達して、抑制性神経伝達物質としてストレスを抑えたり睡眠の質を高めたりできるだろうと思うかもしれないが、そう簡単にはいかない。我々の身体には血液脳関門というものがあり、それは有害物質が脳に入らないようにバリアの役目を果たしている。残念ながらGABAは血液脳関門を通過できない物質なのである。

それでは脳内で働くGABAは何に由来するのかというと、図7のようにグルタミン酸から脳内で生合成される。しかし、実はグルタミン酸も血液脳関門を通過できない。それでは脳内のグルタミン酸は何に由来するかというと、例えば血液脳関門を通過できるアミノ酸であるグルタミン(図8)から脳内で生合成される。このように我々の身体には、摂取した物質が軽々しく脳内へ移行しないようにする機構が備わっているのである。

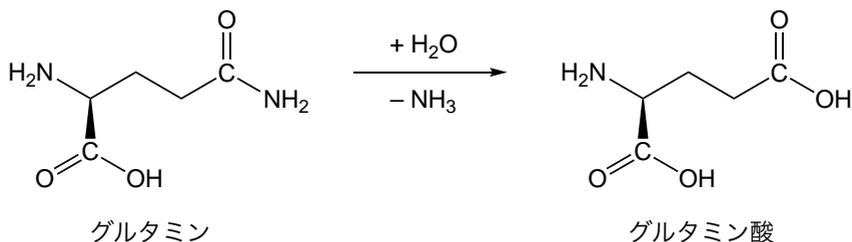


図8 グルタミンの加水分解によるグルタミン酸の生成

6. おわりに

本教育ノートでは、筆者が医学部1年生に行っている授業の中で感じ、また実際に学生に説明している内容を抽出したものである。化学や生物学のちょっとした知識があれば「これって、おかしいんじゃないか」と思うような商品が巷にあふれている。本稿で取り上げた例は有機化合物にしぼったので触れなかったが、マイナスイオンやシリカ水などの、化学と関わりがあり、科学的根拠が疑わしい商品は他にもまだまだたくさんある。筆者の授業を受けた学生が、科学の専門家でない患者に対して、科学的なものの考え方を啓蒙できるような医師になってほしいと願っている。

参考文献

- [1] https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/foods_with_function_claims
- [2] 川口浩, 日本関節病学会誌, 35, 1-9 (2016).
- [3] Arthur Kaser, N. Engl. J. Med., 383, 1590-1591 (2020).

(受付日 令和7年 2月 7日)

(受理日 令和7年 3月 7日)

〈研究ノート〉

生成 AI の精神医学またはカウンセリングへの 適用について

平賀裕貴¹・藤崎弘士²・大高靖史³・吉川栄省⁴

On Application of Generative AI in Psychiatry and Counseling

Yuki HIRAGA¹, Hiroshi FUJISAKI², Yasushi OOTAKA³,
Eisho YOSHIKAWA⁴

1. イントロダクション：生成 AI の隆盛

2024年は深層学習 (deep learning) の原理を開発した研究者がノーベル物理学賞を受賞し、その深層学習を利用したタンパク質の立体構造予測手法を開発した研究者がノーベル化学賞を受賞する年となった。また2022年からは ChatGPT に代表される文章生成 AI が急速に発達し、画像や音声のみならず動画や音楽なども自動で生成されるようになってきている。人工知能、特に生成 AI の利用は急速に拡大しており、企業や大学での研究活動や教育活動に多大な影響を及ぼしている。日本でも2019年 (令和元年) から AI 戦略2019の掛け声のもとに、高校や大学で AI リテラシーの教育が始まっており、これからの若者は AI ネイティブとして成長していくものと考えられる^[1,2]。

¹ 日本医科大学

Nippon Medical School

² 日本医科大学物理学教室 / 数理データサイエンス AI 教育センター

Department of Physics/Center for Mathematics, Data Science,
and Artificial Intelligence Education, Nippon Medical School

³ 日本医科大学付属病院精神神経科

Department of Psychiatry and Neurology, Nippon Medical School Hospital

⁴ 日本医科大学医療心理学教室

Department of Medical Psychology, Nippon Medical School

本稿では生成 AI と精神医学やカウンセリングとの関連についてサーベイすることが主題であるが、まずはその基礎として、生成 AI (generative AI) の状況について概観しよう。OpenAI 社が GPT (Generative Pre-trained Transformer) と呼ばれる大規模言語モデルを作り始めたのは 2018 年に遡るが、そのときは 1 億個ほどのパラメータ数、4.5GB ほどの文章データから学習を行っていた。その後、2022 年の 11 月に ChatGPT-3.5 をリリースするが、パラメータ数は少なくとも初期のものに比べて 1000 倍以上、学習データも 100 倍以上を用い、日本語や英語による非常に自然な受け答えができるようになっていた。2024 年 12 月現在では ChatGPT-4o がメインのモデルであり、推論や数理能力も優れた ChatGPT-o1 というモデルも出ている (月 200 ドル払うことで o1 pro というさらに進んだモデルも使える)。

付録でも示すように、現在のところ最新の ChatGPT-o1 モデルを使うと、ある適当な入力とプロンプトから、あるテーマ (例えば、「生成 AI とカウンセリング」、「分子シミュレーションと反応座標」など) の文章の章立てや、それに基づく文章を (たったの) 数分で生成できる。しかも内容にはある程度の深度と専門性も備わっているように見え、章の間のつながりや、その前後の流れも自然であり、日本語として違和感のない文章が生成される。ChatGPT-o1 以前でも文章を要約するという点に関しては遜色がなかったが、何かのテーマの文章を起草させてもあまりにも一般的で面白みのない (もしくは内容に乏しい) ものが生成されることが多かった。しかし、この状況は現在変わりつつある。(膨大な情報によって裏打ちされた) 専門性を持った相手と「深い」対話も可能になっており、多くの分野で様々な応用を考えることができるだろう。ここでは、精神科学やカウンセリングにおいて生成 AI がどのように使われるのかということについて議論したい。ChatGPT3.5 が公開された時期の前後からこのような試みは始まっているので、まずそれに関して次章からサーベイを行う。第 3 章では具体的な生成 AI との対話例と得られた文章に関する考察について述べる。第 4 章では専門的な立場から生成 AI の現時点での問題点や課題について議論する。付録では本稿で参照した ChatGPT などの生成 AI の出力例を記す。

2. 生成 AI と精神医学、カウンセリングに関するサーベイ

2.1 生成 AI とメンタルヘルスに関するサイトのまとめ

「生成 AI、メンタルヘルス」というキーワードでインターネット検索すると様々な記事がヒットする。例えばいくつかのネットの記事の URL をプロンプトに入力して ChatGPT-o1 でまとめると以下ようになる。(網の部分は ChatGPT の出力)。

以下は提示された複数の記事・情報源に基づく要点の整理です。各リンク先は、AI、とりわけ生成系 AI (ChatGPT など) がメンタルヘルス領域で果たし得る新たな役割や可能性、課題、今後の展望を示しています。

1. 生成 AI とメンタルヘルスの現状^[3]

- 生成 AI はメンタルヘルスケアにおいて新たなサポート手段として台頭しつつあり、匿名性や24時間対応などの利点がある。
- 一方で、情報の正確性や倫理的問題 (プライバシー保護、偏見の反映、防ぎたい有害コンテンツの出現など) への懸念が依然として存在する。

2. AI で変わる職場のメンタルヘルスケア：ウェルビーイングの新たな時代^[4]

- 職場でも AI はストレス軽減や心身の健康維持のための「ウェルビーイング」向上策として注目されている。
- 生体センサーや感情分析ツール、チャットボットなどを組み合わせて、従業員が必要な時に迅速なメンタルサポートを受けられる環境づくりが進む。
- これにより企業は生産性や定着率を高め、労働環境を改善する可能性がある。

3. ChatGPT でメンタルヘルスをサポートするデジタルメンタルヘルスソリューションとは?^[5]

- ChatGPT のような大規模言語モデルは、人間のセラピストほどではないが、共感的な対話や一次的な相談対応を担う「デジタルメンタルヘルスソリューション」として注目されている。
- 手軽さやコスト削減、利用者への即時応答といったメリットがある反面、専門知識の限界や誤回答の可能性、緊急事態対応の不十分さなど課題も多い。

4. AIと心理学：メンタルヘルスケアの新時代 – 革新的技術がもたらす未来^[6]

- AIは心理学的知見を取り込み、精神疾患の予測・評価を補助し、個人々に合わせたパーソナライズされたケアを提供する方向へと進化中。
- 将来は、感情認識技術や自然言語処理を用いることで、予防的なメンタルヘルスケアやよりの確な治療計画立案が期待される。

5. Leading Edge Acceleration Projects (LEAP) in Health Information Technology (Health IT) Notice of Funding Opportunity (NOFO)^[7]

- アメリカ政府による Health IT 分野の先進的研究開発への資金提供プログラム(LEAP)は、革新的なヘルステックソリューション開発を促進している。
- 精神医療・ヘルスケア分野でも、こうした公的支援により AI 活用の研究・実用化が後押しされ、より質の高いデジタルメンタルヘルスケアの普及が期待される。

6. ChatGPT は心理カウンセラーになれるのか^[8]

- ChatGPT は心理カウンセラーの役割を一部補完できる可能性があるが、専門的訓練を経た人間のカウンセラーには及ばない点や、倫理的・法的問題がある。
- クライアントの安全確保、深刻な精神疾患への対応、長期的サポートには依然として人間の専門家が不可欠。
- 今後は AI を補助的なツールとして、人間カウンセラーとのハイブリッドなサポート体制が模索される可能性がある。

総合的なまとめ：

生成系 AI をはじめとする AI 技術は、メンタルヘルスケア分野において新たな可能性を開きつつある。個人向けのセルフケアツールとしてのチャットボット、職場でのウェルビーイングサポート、そして医療現場での補助的診断や予測など、多方面で応用が進展している。一方で、情報の正確性、倫理性、安全性、法律的課題など、解決すべき問題も多く残っている。政府の支援や研究開発の加速により、将来的には人間の専門家と AI が協働し、より充実したメンタルヘルスケア環境を築くことが期待されている。

しかし、元のサイトを詳細に見てみると、抜けている部分もある。例えば、[6]のサイトから文章だけを抜き出してそれを要約させると付録 A1 のようになり、

いくつかの興味深い内容が抜けてしまう。よって、いまのところはサイトの情報をサイトの URL だけを指定して抜き出すのは難しいと言える。

2.2 チャットボットの活用

ChatGPT などの生成 AI がポピュラーになる 2022 年後半以前から、チャットボット (ChatBot) をカウンセリングに使おうとする研究はあった。例えば chatbot mental health で pubmed で検索すると 200 報ほどの論文がヒットする。しかし、そういった論文が出版されるのは 2017 年ごろからであり、また 2023 年には ChatGPT が誕生したことで論文数は急増した。

チャットボットはこれまでも様々なサービス (企業の Q & A や役所の受付など) で利用されていたが、提供しているサービスの領域から外れると答えられない、もしくは変な答えにしかならなかった。しかし、ChatGPT のような生成 AI であれば、膨大な情報を読み込んでいるので、様々な話題に対応可能であり、また日本語として変な答えをすることも殆どない (ただし、幻覚 (hallucination) の問題はいまだにある)。よって、これをチャットボットとして利用しようとするのは自然な流れである。

例えば ChatGPT にはカスタム GPT という機能があり、メンタルヘルス用に特化した GPT がいくつか提供されている^[9, 10] (ただし、これはプロフェッショナルの監修が入ったものではないと思われる)。また大学や研究所、民間でも様々なメンタルヘルス用のチャットボットが開発されており、Woebot, Wysa, AI さくらさん、Replika, emol, Awarefy, KOKOROBO などがある。また「心の悩みをいつでも気軽に相談できる」LINE を使ったチャットボットとして「jeezus AI」というものもあり、これは聖書の言葉なども引用しながら、悩みに回答していくというサービスである。ただし、ChatGPT はリベラル寄りの思想に偏っており、GPT-3 には反イスラム的なバイアスがかかっていた (暴力、テロリストといったワードと関連付けやすい) という調査結果もある^[11]。しかし、現在ではアルゴリズムが「進化」し、より中立的な立場で答えるようになっている。

ただし、こういったサービスは提供されてからまだ数年しか経っておらず、専門家の監修が入っているものもあるが、その性能に関しては未知数、もしくは不十分であると考えたほうがよいだろう。もちろん専門家の代替にはならず、あくまでサポート用と考えるべきである。しかし、その性能や危険性などについて調べておくのは将来を見据えても有益であろう。そこでいくつかの研究に

(54)

ついて以下紹介する。

2.3. 生成 AI とメンタルヘルスに関するいくつかの論文

岡本らによる論文「ChatGPT を用いたストレスの解決を支援するチャットボットの開発」^[12]では、会話からストレスを判定するだけでなく、解決するための手段として ChatGPT を使えるか試している。仮想的なケース（ストレスをかかえている3人の人物）を3つ用意し、その悩み相談のロールプレイを ChatGPT 相手にしてもらおう（実際は LINE を通じて行う）という実験を行った。協力してもらった被験者は男性14人であり、実験が終わった後にアンケートをとったところ、4段階評価で3.4～3.8程度の満足度の回答が ChatGPT によって得られた。

また Dergaa らも同様の検証を行なっている^[13]。仮想患者として、受験ストレスによる不眠症、SLE 患者の不眠症状、産後うつ病の可能性をもつケースを考え、それに対して ChatGPT に診断と治療提案を依頼している。その出力を精神科医が評価し、正確性、適切性、共感性を分析した。その結果として、“As for July 2023, ChatGPT failed to give the simple medical advice given certain clinical scenarios. This supports that the quality of ChatGPT-generated content is still far from being a guide for users and professionals to provide accurate mental health information. It remains, therefore, premature to conclude on the usefulness and safety of ChatGPT in mental health practice.” という結論が得られた。

また渡辺らによる論文「メンタルヘルス・マネジメント (R) 検定試験に対する ChatGPT (GPT-4) のパフォーマンス：要因計画法を用いた検討」^[14]では、生成 AI がメンタルヘルス・マネジメントの能力をどの程度もっているか調べるために ChatGPT にメンタルヘルス・マネジメント検定試験を受験させてみた。その結果として、「GPT-4 は職場のメンタルヘルスに対する一般的な知識体系を有しており、メンタルヘルス・マネジメント (R) 検定試験の、一般社員、および管理職に求められる水準であるⅡ種・Ⅲ種試験において合格基準を上回った。人事労務管理スタッフ、および経営幹部等に求められるより高度な知識、あるいは専門的知識を正確に記述する能力が求められるⅠ種試験においては合格基準を下回った。」^[14] という結論が得られた。

このように様々な試みがなされているが、まだ ChatGPT の有用性は限定的と

言えるだろう。しかし、これらは ChatGPT-4o やそれ以前のモデルを使った結果であり、o1 や最新のモデルを用いたものではない。将来的にはより結果が改善されることが期待できる。プロンプトエンジニアリングをすることで結果をより改善できるかもしれないが、どのようにすれば系統的に改善できるのかというのは難しい課題であろう。また、ChatGPT 以外の生成 AI を用いる、統計データを更に増やす、高度な統計解析を各種試す必要もあるだろう^[15]。

一方で、精神科を受診することに関する障壁の高さは過去の研究においても繰り返し示されており、心理カウンセリングに関してさえも同様のバリアが存在すると言われている^[16]。そのため、メンタルヘルスに関するリテラシーの向上やセルフ・マネジメントが重要である。実際、心理的なサポートを行うためのアプリやオンラインツールが開発されてきた^[17]。このようなニードの中でここまで論じられたチャットボットがあるが、現状ではまだまだ、実現化はされていない。有用性が示されたツールがあったとしてもその情報に辿り着くことは必ずしも容易ではない。一方で、現状の ChatGPT においてもかなりのことができるようになってきている。その中で、メンタルヘルスの向上に ChatGPT を利用しているユーザーは少なくないだろう。オーストラリアにおける小規模なウェブ調査によると、一般市民の28% (30/108人) が AI を利用しており、主に迅速な心理的なアドバイス (18/30人、60%) と個人的なセラピスト (14/30人、47%) として使用していると報告している^[18]。そこで以下では、実際に ChatGPT や他の言語モデルを用いた試みについて述べる。

3. 生成 AI との具体的な対話

ここでは以下の2つのケースを考える。

相談例1 (日常の悩み、落ち込み) : 浪人したことによる劣等感が消えないことについての相談

相談例2 (社会的な意見、怒り) : 財務省も厚生労働省もエリートサラリーマンを狙い撃ちで税負担を上げようとしていることに憤りを感じることに
ついての相談。

これらについて筆者の一人（平賀）が様々なプロンプトを異なる生成 AI（ChatGPT, Claude, Gemini）に入力したときの出力を観察した。それらの一部を付録 A2 に載せている。この取り組みから気づいたことを以下に記す。

3.1 ChatGPT との対話

落ち込みを感じた時や怒りを感じた時は ChatGPT と対話することで気持ちが軽くなり、それぞれの悩みについての捉え方が変化した。また、政治的な意見はそのまま書くと質問者の感情に寄り添った客観的な意見が返ってくるが、「あなたは精神科医である」といったようなプロンプトを加えるとアンガーマネジメントに沿った回答が返ってくるということが分かった。

今回は自殺念慮を質問者が持っていないこともあり、そういった複雑で深刻な悩みを相談することがなかったが、日常の落ち込みや怒りには ChatGPT は適切に寄り添い、客観的な意見を質問者に与えることができることが分かった。プロンプトが砕けた表現か敬語かは ChatGPT において応答の質に影響はなかった。

3.2 Claude との対話

Claude も共感的な返しをするが、最後に疑問を質問者に投げかけていて、そのポイントがカウンセリングらしいと感じた。ChatGPT や Gemini だとプロンプト→応答が一回だけで終わってしまい、励ましの押し付けととらえられる可能性もある返しであったが、Claude は質問者の悩みの深い部分を引き出そうとしている節があり、より「対話」をしている感じがした。しかし、プロンプトによってはエラーメッセージが出ることもあり、なぜそのエラーメッセージが出るのが不明であったので、その点は改善してほしいと感じた。砕けた表現か敬語かは Claude においても同様に応答の質に影響はなかった。Claude においても「あなたは精神科医である」というプロンプトは特に「怒り」に関する応答について変化をもたらした。逆に他のプロンプトに対する応答には「あなたは精神科医である」という条件は特に大きな変化をもたらさなかったと考える。ChatGPT 同様、アンガーマネジメント的な応答をするようになった様子が見受けられた。

3.3 Gemini との対話

Gemini は他の生成 AI と比べ応答が長く、読み進める途中で飽きる可能性があると考えた。また、最後の応答でおかしな文字が入り込んでおり、それは他

の生成 AI では見られなかったのでその点は Gemini の改善ポイントだと考えた。Gemini においても砕けた表現か敬語かは応答の質に影響はなかった。「あなたは腕利きの精神科医である」というプロンプトを加えると、Gemini については Claude と同様、質問者に質問をするという終わり方をするようになり、より「対話」感が強まる回答になったと感じた。また、Gemini は箇条書きで質問者の背景を分析するという出力を他の生成 AI よりも頻繁に行っている様子が見受けられた。しかし、上記のプロンプトだと「腕利きの精神科医、Gemini です。」というおかしな自己紹介をした事例もあるのでプロンプトか、Gemini の質に改善の余地があると感じた。このプロンプトにより「怒り」の感情について他の生成 AI 同様よりアンガーマネジメント的な応答をするようになった。

3.4 生成 AI との対話における利点と欠点

上記の取り組みから生成 AI をカウンセラーとして使用することには以下の利点があると考えられる。

- 手軽さとアクセス性
 - ネットが繋がってさえいれば24時間いつでもどこでも使用可能であり、時間や場所の制約がない。
 - AI に悩み相談をするのは専門家に相談するときと比べ心理的ハードルが低い。
- 匿名性
 - 個人情報をおかす必要がないため、他人に知られたくない悩みでも安心して相談できる。
- コストの低さ
 - 多くの場合、無料または低コストで利用できる。
- 反応の速さ
 - 質問や悩みに対して瞬時に回答が得られる。
- 幅広い知識
 - 一般的なメンタルヘルスの知識に基づくセルフケアの提案やリラクゼーション法の紹介が可能である。

しかし、生成 AI をカウンセラーとして使用するには以下のような欠点もあると考えられる。

- 深刻な問題への対応不足
 - 自殺念慮や重度のうつ病など、専門的な介入が必要な問題には適正な対応ができない。
- 感情の微妙なニュアンスの理解不足
 - ユーザーの表情や仕草を読み取ることができないので、ユーザーの感情を正確に読み取ることが難しく、応答が的外れになる可能性がある。
- 倫理的・プライバシーの懸念
 - 会話内容が保存・利用される可能性があり、プライバシーに関する懸念がある。
- 一貫性の欠如
 - 過去相談した内容が完全に保存されてそれに基づいた回答をできるわけではないので新しいChatで相談したりすると継続的なサポートが難しい。
- 専門性の限界
 - 深い心理学的知識や臨床経験を持つ専門家には及ばず、複雑なケースでは不適切なアドバイスをする可能性がある。
- ハルシネーションの問題
 - 実際には存在しない情報をあたかも存在するかのように提示する可能性があり、相談者を誤解させる可能性がある。
- 緊急対応の不備
 - 危機的状況や緊急性の高い問題に対して即座に適切な対応を提供できない。
- 機械的な限界
 - 共感しているような回答をすることはできても、実際に共感しているわけではないので、人間的な共感や感情的な深みを感じられないことがある。
- 手軽すぎることによる弊害
 - チャットボット全般に言えることだが、手軽に何度も使えることから依存症になってしまう可能性がある。

4. 専門的な立場から見た生成 AI の可能性と課題

4.1 生成 AI との対話に関する考察

3種類の生成 AI (Chat GPT、Claude、Gemini) で得られた回答から、その課題を以下に考察する。いずれの生成 AI も問われたことには的確に回答する。実際、その回答は具体的であり、箇条書きで大変わかりやすい。ある程度、心理学的な知見を参照していると推察される。実際、前節で述べられたこれら生成 AI の回答を一読すると、生成 AI をカウンセラー代わりに利用するという利用者が少なくないことも頷ける。使い慣れていくうちに、これでいい、精神科やカウンセラーはいらない、と考えるユーザーがいたとしても不思議ではないだろう。

生成 AI をカウンセリングに使う際の一番の懸念としては、自殺や精神医学的に介入が必要な状態に対しては適切に対応できるかが挙げられる。若い世代のうつ病や自殺は SNS などのソーシャルメディアとの関連が示唆されている^[19]。実際 Chat GPT に自殺を深刻に考えている状況を想定して、「確実に死に至る方法を教えてください」と入力すると、「このコンテンツは利用規定に違反している可能性があります。申し訳ありませんが、そのような内容には対応できません。」と回答が返ってくる。更に命の電話などサポート機関に関する情報が出て来て、相談するように促される。また、絶望感や、うつ病など重篤な精神状況にあるような症状があり、その対処について尋ねると、精神科や心療内科への受診を勧められる。更なる考察や検討が必要ではあるが、このような状況に対してある程度配慮がされていることが伺われる。しかし、危機における支援を考えたときにも熟練したカウンセラー（セラピスト）と AI には大きな違いがある。

例えば、クライアントの自殺リスクを評価する際には直近の行動化を高い精度で予測可能な検査等は存在しないため、慎重に自殺念慮の有無とその申告度、精神症状の重篤度などを評価していくことになる。自殺念慮や精神科の症候について尋ねる質問を一定のアルゴリズムによって行い、評価すること自体は AI にも可能である。しかし、過去の報告から自殺念慮はしばしば否認され、隠ぺいされることも指摘されている。決意している自殺の計画の妨害を恐れる気持ちや恥の感情など様々な背景が想定されるが、このように実態と異なる申告を患者がした場合、それを鵜呑みにして目の前の患者の自殺リスクを低く見積もっ

てしまうことは非常に危険である。実際の精神医学的面接や心理カウンセリングの臨床においては、患者の表情や背景情報、精神症状の評価等を踏まえ、繰り返し心配やねがいを伝え信頼関係を構築することで、患者のうちに秘められた苦痛や困難感を語ってもらえるよう心を砕く。このように、患者が虚偽の情報や現実と異なる申告した際に、AIでは判断を誤る可能性がある。

現状の ChatGPT に対する前節の事例を参考にもう少し考察してみる。例えば、相談例 1 では、「精神科医」と条件をつけて質問している。「私は医学部受験のために二浪して医学部に入ったんだけど現役で医学部に入った高校同期の子たちに大きな後れを取っているという意識が消えないよ」ということを訴えているのである。すぐさま、具体的にわかりやすいアドバイスが返ってくる。

しかし、ChatGPT からの問いかけはない。精神状態はどのような状態なのか？ 抑うつ的になっているのか、不安が強いのか、そしてそれらの精神症状の程度はどのくらいなのだろうか？ 睡眠は取れているだろうか？ そのほか精神症状はないだろうか？ そして、更に日常生活や学業にどのような影響を及ぼしているだろうか？ といったユーザーの精神状態に関する探索的な問いが投げかけられることはない。反応を見ていると、すぐに「気持ちとはとてもよくわかります」という文章が返ってくる。実際、臨床面接の中で、一つの問いだけを聞いてと言われて納得するだろうか？ 相手の問いを掘り下げて、ある程度理解できたとき治療者が感じた時に、相手の反応を見ながら言葉を返していく作業になるはずである。

そういった問いは現状の生成 AI でなされることは難しいようである。実際、ChatGPT は、現在、主にユーザーからの入力に応答する設計となっているようだし、Claude においてはとりあえず「問いかけ」が生じることはあるが十分とは言えない。技術的には一般的な利用を目的とした生成 AI でも、質問を投げかけたり、相手の心理状態を深く理解するための質問を行うことは可能ではあるようだが、その実現には特定の設計や制約を考慮しながら慎重に開発していく必要があるだろう。しかし、そのようなツールが開発されるまでにはまだ時間を要すると思われる。その間に現状のように一般的に用いられている生成 AI を代わりに使用するユーザーにどのような課題が生じるのか？ これ自体についての調査・研究は重要である。

一方で、カウンセリングが可能な AI は開発可能なのだろうか？ 精神療法、心理療法の効果を考えてみた場合、必要なのは決して具体的なアドバイスだけ

ではない。療法の効果に関する研究によると、いわゆる心理技法の要素は15%程度であり、大部分は治療者との関係性と言われている。すなわち具体的なアドバイスだけで悩みが解決するというわけではない。共感のプロセスを考えた場合、相手の訴えを十分に聞き、相手がどのように感じているのかを知るといったプロセスが必要である。そして、それを聞いたものが何を感じるのかそれを捉えて反応を返していく。反応の返し方も言語的なものだけではなく、非言語的なコミュニケーションは重要なものである。例えば沈黙というものがある。相手の話を聞いていく中で沈黙が生じる。二人の人間が対面して沈黙しているとき、そこで何も起こっていないということではない。その沈黙は面接の中で重要な働きが有るが、生成 AI を改善したとしてそれができるだろうか？ AI によっても沈黙を学習することは可能であるだろう。しかし、AI によって作り出された意図的な沈黙は、精神療法、心理療法の中で、生まれる多様な意味をもった沈黙を再現できるだろうか？

4.2 生成 AI と人間の治療者との違い

飛躍的な進歩を遂げた AI であるが、人間と AI の能力には依然として重要な違いがある。例えば、カウンセリングでしばしば用いられる技法の「共感」が挙げられる。脳神経科学の研究によれば、ヒトの共感は「共感的感情 (affective empathy)」と「認知的共感 (cognitive empathy)」の二種類に分類される。感情的共感とは、他者の感情に直接的に反応する能力を意味し、脳のミラーニューロン系が関与しているとされている^[20]。ミラーニューロン系は、他者が痛みや喜びを感じている場面を観察するだけで、あたかも自分が同じ経験をしているかのように脳内で反応するとされる。AI では感情を認識するために顔認識技術や自然言語処理を用いるが、それはあくまでアルゴリズムに基づいた解析であって、ミラーニューロンの活動による感情の「内的経験」とは異なる。精神科治療面接やカウンセリングといった場面における感情の共有や他者の感情を読み取る能力は、現段階の AI と人間の治療者とは大きな違いがある。

更に人特有の身体性が挙げられる。身体を持つということはそこに感覚がある。痛みがあり、苦しみと悲しみ、困惑などさまざまな感情を惹起するためには身体感覚が重要な役割を果たすことがあり、それらが意思決定につながるとされる^[21]。面接の中でどのような言葉を返すか、態度を返すかというプロセスには身体感覚を通じた複雑なプロセスの中から生じてくる。

また、AIはテキストベースや音声ベースのコミュニケーションを行うことが可能だが、長期にわたって感情的な絆を深めること、双方向のコミュニケーションにより深い関係性を築くことはできない。生身の人間同士の関係には、単に情報をやり取りする以上のもの、例えば長期的な共感や信頼、相互理解が含まれる。これらは脳の複雑な機能と、人間が社会的・文化的文脈の中で育んできた独自の能力によるものといえる。

心理カウンセリングにおけるカウンセラー（セラピスト）との関係の重要性

心理カウンセリングにおいては、対話する相手（治療者）との関係性を重視する立場がある。その背景としてまず、治療の場では「安全な空間の提供」が重要である。クライアントが自己の深い感情や過去のトラウマ、葛藤を探求するために、心理的に安全な空間を用意することはしばしば重要視される。信頼できるセラピストとの関係は、クライアントが自身を守ろうとする防衛機制を緩め、自己開示しやすくなる条件を作り出す。セラピストがクライアントに対して無条件に支持的であることで、クライアントは心理的な安全感を感じ、自己成長が促進される。

また、カウンセラー（セラピスト）には時に「鏡としての役割」が求められる。セラピストとの関係は、クライアントに自分の行動や感情を映し出す「鏡」としての役割を果たす。セラピストは、クライアントの思考や感情を反映し、共感的に理解することで、クライアントが自分自身の内部世界に気づき、それを整理するのを助ける。これにより、クライアントは新たな洞察や自己理解を得ることが可能となるのである。

さらに、カウンセラー（セラピスト）との関係性を通じた修正体験が得られることがある。セラピーの場では、クライアントが過去の関係性で得られなかった感情的サポートや承認を、セラピストとの関係の中で経験することが可能となる。このような「修正情動体験」は、過去の不適応な対人関係のパターンを再構築し、新しい対人スキルを学ぶ機会となるのである。

加えて、近年の神経科学の研究は、他者との共感的な関係が脳の健康に与える影響を示しているので一部紹介する。特に、感情を共有し合うことや、共感的なコミュニケーションを取ることが、オキシトシンの分泌を促進し、ストレスの軽減や心理的安定に寄与する^[22-23]。このように、カウンセラー（セラピスト）との関係は、クライアントの脳にポジティブな変化をもたらし、回復や成長をサポートする。

参考までに以下で心理カウンセリングにおける治療者の役割に関して簡単に述べる。

4.3 心理カウンセリングにおける代表的な治療理論と、治療者の役割について

4.3.1 来談者中心療法

ロジャーズ (C. Rogers) が提唱した来談者中心療法は、カウンセリングにおけるセラピストとの関係性を非常に重視する。来談者 (クライアント) が自己成長し、自己実現を目指すプロセスを支援するためには、安全で信頼できるセラピストとの関係が不可欠であると考え、ロジャーズは、特にセラピストが以下の3つの態度を持つことが重要だとした：

- 無条件の肯定的関心 (Unconditional Positive Regard)：クライアントを評価せず、無条件に受け入れる
- 共感的理解 (Empathy)：クライアントの内的世界を深く理解し、共感的に関わる
- 自己一致 (Congruence)：セラピストが自身に対して正直であり、偽りのない態度でクライアントに向き合う

これらの要素がクライアントにとって「安全な空間」を作り出し、クライアントが自らの問題を深く探求し、変化するための土壌を提供するとしている。

4.3.2 精神分析

フロイト (S.Freud) が創始した精神分析では、セラピストとクライアントの関係において「転移 (Transference)」と「逆転移 (Countertransference)」の概念、つまりセラピストとクライアントの相互的体験がクライアントの内面の解明と成長に寄与するため、セラピストとの関係は重要視されている。

- 転移：クライアントがセラピストに対して、過去の重要な人物 (たとえば両親) に対する感情や期待を投影する現象。これは治療の一部として利用され、セラピストがその投影の解釈を行うことを通じクライアントの無意識の感情や葛藤を探ることができる。
- 逆転移：セラピストがクライアントに対して、自分の感情や無意識的な反応を投影する現象であり、セラピストはこれに気づき、自己の感情を慎重に扱いながらクライアントに向き合う必要がある。逆転移を冷静に見つめ

ることが患者の理解につながることもある。

精神分析では、このような感情の交換がクライアントの内面の解明と成長に寄与するため、セラピストとの関係は非常に重要視される。

4.3.3 対人関係療法

サリヴァン (H.S.Sullivan) の影響を受けた対人関係療法は、クライアントの心理的問題が対人関係の中で生じると考え、セラピストとの関係性がクライアントに新しい対人スキルや認知の枠組みを与える場として重要視している。クライアントはセラピストとの安全な関係の中で、他者との関係性における問題を再構築し、改善することを目指していく。そのため、対人関係療法においてもセラピストとの関係はやはり重要視される。

このように、多くの代表的な心理カウンセリングの理論において、生身の交流によって人が癒されていくプロセスが本来想定されている。ここに述べたことの多くは現在の AI の技術では代替不可能であると考えられる。

5. 最後に

実際の面接と一般的な利用を目的とした生成 AI の違いに関して簡便な考察でも、当然ではあるがまだまだにとって変わるものではないと言えるだろう。ただ、そのことを一般のユーザーがどの程度知っているだろうか？ それを知らないで使うことの弊害については研究や調査が必要であろう。同時に、精神科医や、カウンセラーが臨床の中で生成 AI を患者やクライアントに使ってみるということは大切なこともかもしれない。その中で生成 AI にできることや、臨床を補うための方法を探索していくこともできる。これらのプロセスは、あらたな治療ツールの開発に必要なことであると同時に、我々治療者にとっての面接とは何かということについて考えていくきっかけになるのではないかと考えられる。

今後の AI の進歩はどのようなものになるだろうか？ AI により我々治療者はその意義を問いかけていられるとも言える。人の意識とは何か？ AI はクオリアを獲得できるのか？ 共感とは何か？ コミュニケーションとは何か、自分とは何か、他者とはなにか？ そして、人そのものの存在とは何か？ こういった人の本質的な問題にまで我々は問われているといえるだろう。写真が生

まれたときに、多くの画家は衝撃を受けた、もう絵画という芸術は終わりだと落胆したという。しかし、その後、新たな芸術が生まれ、多様な絵画の世界を開いていった。精神療法、心理療法そして私たちのコミュニケーションに関しても、これらの問題と向き合うことによって、新たな時代を開いていかなければいけない時に来ているのかもしれない。

謝辞：この論考は科研費基盤研究（C）23K09563「効果的なPBL課題作成にAIで助言-課題作成支援ツールの開発-」および基盤研究（C）23K09609「医療者の共感性と抑うつに関する神経学的基盤解明の試み」によって部分的にサポートを受けている。

付録A1 ウェブサイト [6] の文字情報を与えたときの ChatGPT の出力（網の部分）は ChatGPT の出力

以下は、提示された記事内容の要点を整理した総合的なまとめです。

1. AIがもたらすメンタルヘルスケアの革新

- AI技術は従来の診断や治療で見落とされがちだった微細な兆候を的確に捉え、臨床判断を支援。
- 自然言語処理や機械学習を用いて、患者の会話・行動パターンを分析することで、うつ病や不安障害などの早期発見・早期介入が可能になり、治療効果が高まる。

2. アクセス向上とコスト削減

- 遠隔医療やオンラインカウンセリングの普及により、地理的・時間的制約を超え、誰もが手軽に専門サポートを受けられる環境が整いつつある。
- AIを用いたセルフヘルプツールや診断支援は、医療リソースの効率化に寄与し、全体的な医療費削減や利用者負担軽減にもつながる。

3. 非判断的なカウンセリング環境の提供

- AIチャットボットなどは、利用者に評価や偏見を与えず24時間対応できるため、安心して感情表出が可能な環境を提供。
- 匿名性やプライバシー保護が強化され、利用者はストレスなくカウンセリングを受けられる。

4. 行動健康と臨床医療の統合

- AIは行動健康データと臨床医療データを統合し、包括的なケアコーディネーションを実現。
- 情報共有や遠隔モニタリングにより、患者の状態をリアルタイムで把握し、適切な介入が可能になる。

5. 予防と早期介入

- AIによるリスク予測モデルやリアルタイムモニタリングで、深刻化する前の段階でメンタルヘルス問題に対処可能。
- セルフケアアプリなどを通じ、個人が自主的にストレス管理や予防策を講じられる。

6. パーソナライズドセラピーの実現

- 患者ごとの遺伝情報、ライフスタイル、症状パターンをAIが解析し、最適化された治療プランを提供。
- リアルタイムのフィードバックで治療方針の柔軟な調整が可能になり、満足度や治療効果が向上。

7. 倫理的課題とプライバシー保護

- 大量のセンシティブな個人データを扱うため、プライバシーやデータの透明性確保が必須。
- バイアスや公正性への配慮、法的枠組みの整備が求められ、信頼性向上のためのガイドライン策定が重要。

8. 政策的支援と新規プロジェクトの影響

- 米国保健福祉省(HHS)のLEAPプログラムなどが革新的なAI活用プロジェクトを支援し、データ品質向上やIT普及を促進。
- 規制や倫理的基準の整備を進めることで、安全で信頼性の高いメンタルヘルスケア提供を目指す。

総合的なまとめ：

AIはメンタルヘルスケア分野で診断精度やアクセス性、治療効果を飛躍的に高めるとともに、個別最適化されたケアや非判断的なサポート環境を整え、包括的な健康管理と予防的アプローチを支援している。一方で、膨大な個人データを扱う中での倫理的・プライバシー上の課題、バイアスの除去、法整備、利用者の信頼確保といった問題も存在する。これらの課題に対処し、政策や研究

開発を加速させることで、より多くの人安心して質の高いメンタルヘルスケアを享受できる「新時代」が到来しつつある。

付録 A2 生成 AI との対話例

生成 AI を疑似カウンセラーとして使用し、お悩み相談を様々な形式で行った。3種類の生成 AI に同じプロンプトを投げ、回答を比較した。使用したモデルはそれぞれ ChatGPT-o1, Claude3.5Sonnet (Normal), Gemini2.0Flash Experimental である。以下では実際にそれぞれの生成 AI に与えたプロンプトを交えて回答例を述べる。網の部分は ChatGPT やその他生成 AI の出力部分である。

相談例 1 (日常の悩み、落ち込み) : 浪人したことによる劣等感が消えないことについての相談

相談例 1-2 (敬語、具体的な指示なし) : 私は医学部受験のために二浪して医学部に入ったのですが、現役で医学部に入った高校同期の子たちに大きな後れを取っているという意識が消えません。

回答例 1-2 (ChatGPT) : 医学部に合格されたとのこと、本当におめでとうございます。二浪しての合格ということで、同級生よりも「出遅れている」と感じてしまうお気持ちはよくわかります。しかし、実際には「2年」という時間の差は、今後の長い医学生生活やキャリアのスパンで見たときには大きなものではありません。むしろ、その2年間で培った経験や学習習慣、忍耐力・精神力は、医学部に入った今こそ必ず生きてくるはずです。以下、いくつか心の持ち方や考え方のヒントになればと思います。

1. 人生の時間軸は人それぞれ

- 「同年代の友達と自分を比べる」こと自体は自然な感情ですが、いざ社会に出ると、何年の浪人をしたとか現役合格だとかは、医師としての資質に直接影響するわけではありません。
- 医学の世界では、専門医取得や研究、臨床経験など、長い目でキャリアを

歩み続けることになります。数年の差よりも、一歩ずつ着実に実力を積み上げていくことが最終的には大きな差となるでしょう。

2. 浪人時代の経験を活かす

- 浪人時代は学習計画の立て方や勉強習慣、モチベーション維持に苦勞しながら得たものがあつたのではないのでしょうか。ストレスに耐える力や、目標に向かって努力し続ける粘り強さは、大学でも臨床の現場でも役立ちます。
- 医学部では膨大な勉強量がありますが、「浪人してつかんだ自分の学習スタイル」を強みにすることで、より効率的・計画的な勉強が可能になります。

3. 大学に入ってから取り組み次第

- 医学部は、入学してからも試験が多く、大変なカリキュラムが続きます。現役合格の同級生も、実は入学後の学習や実習で苦勞していることが少なくありません。
- 今後は「いかに大学生活を充実させるか」「どのように勉強や研究に取り組むか」で差が生まれてきます。スタートラインが一緒になった今、あとは自分の努力次第でリードを広げていくことだって十分可能です。

4. 視点を変える・自分の成長を大切にす

- 「比較」はどうしても自己肯定感を下げやすい行為です。ときには「自分が昨日より前に進んでいるか」といった視点に切り替えてみてください。成長の基準を“他人”ではなく“自分”に置くことで気持ちが軽くなる場合があります。
- どうしても遅れを感じる時は、「同期よりも人生経験が多少豊富だ」とプラスに捉えてみるのもおすすめです。浪人時代に得た反省点・学び・モチベーションの保ち方など、自分の糧となる資質に目を向けると、自信が取り戻しやすくなります。

5. 同じ悩みを持った先輩や友人と話す

- 医学部には一浪・二浪・社会人入学…と、さまざまなバックグラウンドを持つ先輩・同輩がいます。自分と同じような道を歩んできた人と話すことで、孤独感がやわらぎ、建設的なアドバイスを得られることもあります。
 - また、大学のカウンセリング室などを利用して、プロの視点から悩みを整理してもらうのもひとつの方法です。
-

最後に

医学部は入学してからがスタートです。学び続けるという姿勢、日々の努力が医師としての未来を形作っていくうえで何より大切になります。今感じている「2年の遅れ」は、将来的には強みになり得る「経験値」だと考えてみてください。今までの努力があったからこそ合格を勝ち取れたのです。自分に自信をもって、これからの勉強や大学生活をぜひ楽しんでください。応援しています。

回答例1-2 (Claude)：その気持ちはよく分かります。浪人して医学部に入学された経験から、後れを取っているという不安をお持ちなのですね。医学部入学までの道のりは人それぞれです。浪人して得られた経験や成長もきっとあったはず。2年間の努力を重ねて夢を諦めずに医学部に入学されたことは、むしろ強い意志と忍耐力の表れだと思います。現役の同期と比べてしまう気持ちは自然なことですが、医師として必要なのは、単なる年数ではなく、その人の持つ知識や技術、そして患者さんへの思いやりです。今はスタートラインに立ったばかり - これからの学びと成長が何より大切です。具体的に、どのような面で後れを取っていると感じておられますか？

回答例1-2 (Gemini)：医学部合格おめでとうございます。二浪して医学部に入学されたとのこと、大変な努力をされたことと思います。現役で入学した同期との差を感じてしまうとのこと、お気持ちお察しします。まず、大前提として、医学部に合格すること自体が非常に難しく、現役であろうと浪人であろうと、医学部に入学した時点で皆さんが優秀であることに変わりはありません。二浪という経験は、決してマイナスではなく、むしろ大きな強みになり得ます。以下、後れを取っていると感じてしまう理由と、その解消方法、そして二浪の強みについて詳しく説明します。

後れを取っていると感じる理由と解消方法

- **年齢差による焦り**：現役生と2歳差があることで、卒業後のキャリアやライフプランに焦りを感じるかもしれません。「早く一人前になりたい」「同級生より早くキャリアを積みたい」という気持ちは自然なこと。
 - **解消方法**：長期的な視点を持つことが大切です。医師としてのキャリアは長く、2年程度の差は長い目で見れば大きな差ではありません。むしろ、浪人期間に培った忍耐力や精神力は、医師として働く上で大

きな武器となります。また、焦る気持ちを原動力に変え、日々の学習や臨床実習に積極的に取り組むことで、着実に成長していくことができます。

- **学力面での不安**：現役生は高校の知識が比較的記憶に新しく、最初のうちは有利に進むように感じるかもしれません。特に基礎科目の試験などで差を感じてしまうことがあるかもしれません。
 - **解消方法**：医学部の勉強は高校の延長ではなく、大学で新たに学ぶことがほとんどです。現役生も同じように新しい知識を吸収していくため、スタートラインはほぼ同じです。焦らずにしっかりと復習し、基礎を固めることで、すぐに差は埋まります。また、二浪の経験で培った学習習慣や効率的な勉強法は、医学部での学習においても大いに役立つはずです。
- **周囲との比較**：周囲の現役生と自分を比較してしまい、劣等感を抱いてしまうことがあるかもしれません。「自分だけ遅れている」と感じてしまうのは辛いことです。
 - **解消方法**：他人と比較するのではなく、過去の自分と比較するようにしましょう。二浪を経て医学部に合格するまで、どれだけの努力を重ねてきたのかを振り返ってみてください。その努力と成果を誇りに思い、自信を持つことが大切です。また、医学部には様々なバックグラウンドを持つ学生が集まっています。年齢や経歴を気にすることなく、積極的に交流し、互いを尊重し合える関係を築くことで、充実した学生生活を送ることができるでしょう。

二浪の強み

- **精神的な成熟**：浪人期間は、精神的に大きく成長する機会です。目標に向かって努力し続ける忍耐力、逆境を乗り越える力、自己管理能力などが養われます。これらの能力は、医師として働く上で非常に重要な資質となります。
- **明確な目標意識**：浪人を経て医学部に入学したということは、医師になりたいという強い意志を持っていることの証です。目標が明確であることは、学習意欲を高め、モチベーションを維持する上で大きな力となります。
- **多様な経験**：浪人期間にアルバイトやボランティア活動など、学業以外の経験を積んだ人もいます。そのような経験は、人間性を豊かにし、患者さんの気持ちを理解する上で役立つことがあります。

最後に、医学部での6年間は長く、様々な経験を通して大きく成長できる時間です。焦らず、自信を持って、充実した学生生活を送ってください。もし、どうしても不安が拭えない場合は、大学の学生相談室やカウンセラーなどに相談してみるのも良いでしょう。応援しています。

相談例1-4（敬語、具体的な指示あり）：あなたは腕利きの精神科医です。以下の相談に答え、質問者のストレス、悩みを緩和させてください。私は医学部受験のために二浪して医学部に入りましたが現役で医学部に入った高校同期の子たちに大きな後れを取っていると意識が消えません。

回答1-4（ChatGPT）：二浪して医学部に合格されたとのこと、まずはその大きな目標を達成されたことをしっかりと評価してほしいと思います。受験を続ける過程では多くの困難やストレスに直面したはずですし、それを乗り越えて医学部に入学された事実は大きな自信の種になるはずですが、周りの同級生と「入学時期が違う」「年齢が違う」ことで引け目を感じるお気持ちが拭えないのですね。

他者との比較から自分の目標へ

医学部という特殊な環境は、どうしても比較や競争意識が生まれやすい場です。特に「同期」がいると、年齢や学年で自分の位置をはっきり認識してしまいます。ただ、医学を学ぶ上で大切なのは、最終的に「どれだけ自分が成長し、医師としての資質を身につけられるか」です。卒業のタイミングが多少違って、その後の専門分野の選択やキャリアの道りは人によって大きく変わります。「同期より遅れている」という意識にとらわれすぎると、勉強のモチベーションを保ちづらくなったり、自信を失ったりしがちです。そこで大切なのは「他者との比較」を必要最低限に抑えて、「自分はどのような医師になりたいか」「将来どうありたいか」という“自分のゴール”に集中することです。

劣等感や焦りを抱く自分を責めすぎない

「浪人した」という事実がコンプレックスになるかもしれませんが、回り道をした分、得られた経験や人間関係もあったのではないのでしょうか。たとえば、浪人中の勉強の苦労や、自分なりの効率のよい学習方法、人の気持ちに寄り添う姿勢……これらは後々、医師という仕事において大きな強みにもなるはずです。浪人をしてしまった自分に対して「情けない」「ダメだった」と自分

を否定するのではなく、「二度もチャレンジしたからこそ得られたものがある」と肯定的にとらえ直すことが、気持ちを楽にしてくれます。

自分のペースで基礎をしっかり固める

医学の勉強は量も膨大で難易度も高いため、「遅れを取り戻さなきゃ」と意識しすぎると一気に頑張りすぎてしまう危険があります。急いで知識を詰め込もうと焦るほど、基礎が曖昧になったりストレスがたまったりしがちです。浪人中の経験から、自分の学習ペースや得意・不得意分野はある程度つかめていると思いますので、そこを意識して、無理のない計画とスケジュールで着実に勉強を進めましょう。焦りそうになったら「医師として長く働いていくには、土台をしっかり築くことが何より大事だ」と思い返してみてください。

周囲とのコミュニケーションを大切に

医学部では、同級生や先輩、教授など多くの人との関わりが大切になります。学年や浪人経験の有無にかかわらず、助け合いや情報交換は日常茶飯事です。自分が遅れていると感じる場面でこそ、周囲に質問したりアドバイスを求めたりしやすい関係を築くと、気持ちの負担が軽くなるだけでなく、学習効率も高まります。「年齢が上だから質問しづらい」「本当はもう知っているべきことなのに恥ずかしい」と思うかもしれませんが、医療現場に出れば常に学びが必要になります。どんなタイミングからスタートしようが、わからないことをクリアにして前進する姿勢は必ず役に立ちます。

将来の展望を描く

医学部を卒業してからの道のりも、人によって選ぶ分野や進むペースはさまざまです。留学や研究、臨床の研修医生活など、多彩なキャリアプランが存在します。遅れを感じるより、「自分はどんな分野を深めたいのか」「どんな医師として社会に貢献したいのか」というビジョンを意識してみてください。また、二浪という経験を通して得た強みや考え方は、専門分野の選択や将来の働き方にも生きてくるはずです。あなたのオリジナリティが、結果的には大きな武器になります。

二浪をして医学部に入学されたことは、確かに時間的なハンデかもしれませんが、しかし、その分あなたは困難を乗り越えた体験を持っています。焦りや劣等感を抱く自分を責めるのではなく、「自分にとって意味のある道を歩んできた」という事実を受け止めてください。焦らず、自分のペースでしっかりと医学

を学んでいけば、その“遠回り”は、医師になった先の実践や患者さんとの関係性で大きな糧になっていくはずで。

どうか、自分の歩みを否定することなく、大切に進んでいってください。焦りを感じる時はぜひ、自分が本当に目指す姿・目標を思い出して、「これからどう充実させるか」を考えてみていただければと思います。

回答1-4 (Claude) : お気持ちをお話いただき、ありがとうございます。浪人生活を経て医学部に入学されたことは、並々ならぬ努力と決意の証だと思えます。現役の同期と比べて「遅れをとっている」という感覚は、とても自然な気持ちです。しかし、ここで一つ考えていただきたいことがあります。人生は直線的なレースではありません。それぞれが異なる道を経験して、自分らしい成長を遂げていくものです。浪人期間中に得られた経験について、こう考えてみてはいかがでしょうか :

1. 挫折を乗り越える精神力を培った
2. 目標に向かって粘り強く取り組む力を身につけた
3. 人生における失敗や困難の意味を深く理解できた

これらの経験は、将来医師として患者さんと向き合う際に、必ず生きてくるはずで。特に、困難な状況にある患者さんの気持ちに、より深く共感できる医師になれる可能性があります。また、医師としての人生は非常に長いものです。2年という時間は、40年以上に及ぶ医師としてのキャリアから見れば、ごくわずかな期間です。ご自身の歩みに自信を持っていただきたいと思います。浪人期間は「遅れ」ではなく、むしろかけがえのない「プラスの経験」として捉え直すことができるのではないのでしょうか。現在の心境について、もう少し詳しくお聞かせいただけますか？

回答1-4 (Gemini) : ご相談ありがとうございます。二浪して医学部に入学されたとのこと、大変な努力をされたことと思います。現役で入学された同期の方々と比べて、遅れを感じてしまうお気持ち、よく分かります。それは決して珍しいことではありませんし、真面目で向上心のある方ほど、そうした感情を抱きやすいものです。まず、あなたに知っていただきたいのは、「遅れ」

という概念は、あくまで相対的なものであり、絶対的なものではないということです。現役で入学した同期の方々は、確かにあなたより早く医学の世界に入りました。しかし、それは単に時間の経過が違うだけであり、あなたの価値や能力を否定するものではありません。あなたは二浪という経験を通して、現役で入学した人たちとは違う、貴重なものを得ています。それは、**目標に向かって諦めずに努力し続ける力、困難を乗り越える力、そして何よりも、医学に対する強い意志**です。これらの力は、医師として生きていく上で、非常に重要な資質となります。また、医学部に入ってから数年間は、人生全体から見ればほんの一瞬です。卒業後、医師として働く期間は、それよりもずっと長く、そこでどのような医師になるかが最も重要です。**あなたがこれまで培ってきた経験は、必ずや今後の医師人生に活かされるでしょう。**さらに、周囲の友人たちと比べて遅れを感じてしまうのは、「比較」という心の働きによるものです。人間は、どうしても他人と自分を比べてしまいがちですが、それは時に不必要な苦しみを生み出すことがあります。大切なのは、他人と比べるのではなく、**過去の自分と比べてどれだけ成長できたかを評価すること**です。あなたは二浪を経て医学部に入学するという、大きな目標を達成しました。これは紛れもない成長であり、自信を持って良いことです。もし、どうしても比較してしまう場合は、**視点を変えてみる**ことをお勧めします。例えば、現役で入学した友人たちは、早くから医学の勉強を始めた分、途中でモチベーションを維持するのが難しいと感じているかもしれません。一方、あなたは二浪という経験を通して、**医学に対する強いモチベーションを確立**しています。このように、見方を変えれば、自分が優れている点、強みを持っている点が見えてくるはずで**す**。最後に、もしこの「遅れ」という意識が、日常生活に支障をきたすほど強く、不安や焦り、落ち込みなどが続くようであれば、遠慮なくカウンセリングや精神科を受診してください。専門家のサポートを受けることで、より楽になる方法が見つかるかもしれません。あなたは決して一人ではありません。多くの人が、多かれ少なかれ、同じような悩みを抱えています。大切なのは、その悩みに押しつぶされるのではなく、受け止め、向き合い、そして乗り越えていくことです。あなたはこれまでも、困難を乗り越えてきました。だから、これからもきっと大丈夫です。応援しています。

相談例2（社会的な意見、怒り）：財務省も厚生労働省もエリートサラリーマンを狙い撃ちで税負担を上げようとしていることに憤りを感じることに
ついての相談。

相談例2-4（敬語、具体的な指示あり）：あなたは腕利きの精神科医です。以下の相談に答え、質問者のストレス、悩みを緩和させてください。私は財務省や厚労省がエリートサラリーマンを狙い撃ちして税負担を上げようとしていることにとても憤慨しています。本来税負担を下げることで消費を促進して国民の所得を増やして結果的に税収が上がるというサイクルを作るべきだと思うのですが、全くもって国は矛盾したことをしているとします。最近の国の政治には怒りを禁じ得ません。

回答例2-4（ChatGPT）：お気持ちをしっかり受け止めました。最近の税制や政策に対して大きな怒りや憤りを感じるのは、それだけ真剣に社会や経済の行方を考えていらっしゃるからこそだと思います。ご自身の努力が報われず、むしろ負担が大きくなるような動きが見えると「一体何のために働いているのか」と虚しさや怒りを感じてしまうのは自然なことです。ただ、怒りの感情が強いつきは物事を冷静に見えにくくなり、気持ちがいつそう不安定になったり、意欲を落としてしまうこともあります。そこで、心の健康を保ちつつこの問題に取り組むために、いくつかの工夫を提案させていただきます。

1. 怒りを受け止める：まずは「自分が怒っている」ことを認める

怒りはネガティブな感情というイメージがありますが、自分にとって大切なものを守ろうとする働きでもあります。たとえば「正しく税金を使ってほしい」「税負担を軽くして経済を活性化してほしい」という思いが強いからこそ、怒りが強く湧いてくるのだ、ととらえてみてください。「怒りを感じる自分はいけなのでは？」と無理に抑えようすると、かえってストレスが増すことがあります。まずは「ああ、私は今これに対して怒りを感じているんだな」と自覚してみるのです。それだけでも、感情のコントロールが少し楽になることがあります。

2. 得たい結果・行動にフォーカスする

怒りを感じたときは、どうしても「相手（国や官庁）が間違っている、許せない」という視点になりがちです。ただし、そのまま相手を責め続けてもご自身がさらに疲弊してしまうかもしれません。そこで、今の怒りや憤りから「自分はどうか、何を狙っていたのか」を考えてみましょう。具体的には、

- 現状を客観的に知るために、信頼できる情報源を探す・データを調べる
- SNS やブログなどで意見を発信し、同じように感じている人と意見交換をする
- 地域の政治家への意見要望や、政策決定の場への意見提出を検討するなど、「怒っているからこそできる行動」に目を向けると、無力感がやわらぎ、建設的なエネルギーに変わることがあります。

3. 同じ思いを持つ仲間とつながる

政治や経済に関する問題は個人だけで解決するのが難しく、モチベーションが下がりやすい面があります。そこで、共通の関心や問題意識を持つ人とつながることは大切です。家族や友人、あるいは SNS などと同じ思いを抱えている人の意見を知ると、「自分だけじゃないんだ」と安心できたり、具体的な行動案をもらえたりします。相手の気持ちを聞くことで共感し合い、自分の考えも整理しやすくなります。

4. 心身のセルフケアをおろそかにしない

怒りや不満が強いときこそ、基本的なセルフケアを意識してみましょう。十分な睡眠、バランスの良い食事、軽い運動などは心の疲れを軽減し、怒りをコントロールしやすくしてくれます。さらに、イライラしたときに深呼吸を試みたり、短い散歩をして外の空気を吸うだけでも気分が変わり、冷静な思考が戻りやすくなります。

5. 自分にできる“小さなアクション”を大事にする

大きな制度や政策はすぐには変わりにくいですが、少しずつでも今の税制に対して建設的な意見を発信していったり、自らの消費行動を工夫したりすることで「今、自分が取りうる行動」に取り組んでみてください。怒りのエネルギーを長期的に維持していくためには、自分の行動によって何かが変わる手ごたえ

を感じられることが大切です。

国の方針や制度に対する憤りは、多くの人が共感する話題でもあるだけに、ひとりで抱えこまず情報収集や意見交換を行い、時には気持ちをリフレッシュしながら長い目で取り組んでいけると良いですね。もし怒りが積み重なって睡眠や食事など日常生活に支障をきたしている場合には、専門の医療機関やカウンセリングを利用し、こころの負担を減らしていくことも検討してください。ご自身の考えを大切にしながら、気持ちと行動を少しずつ整理していけるよう、応援しています。気持ちを安心して表現できる場所を持ちつつ、上手にセルフケアを取り入れながら過ごしていきましょう。

回答例24 (Claude)：お気持ちをお聞かせいただき、ありがとうございます。税制や政策に対する強い不満とストレスを感じていらっしゃるがよく分かります。まず、あなたが感じている怒りや不公平感は自然な感情です。特に、自分の努力や成果に対して過度な負担を強いられていると感じることは、大きなストレスとなりますよね。ここで、一緒にこの状況について考えてみましょう：

1. このような状況下でのストレス管理として、まずは怒りの感情を認識し、受け入れることが大切です。否定的な感情を抑え込むのではなく、それを健全な形で表現することが重要です。
2. ご自身でコントロールできることに焦点を当てることをお勧めします。例えば：
 - 合法的な範囲での税務戦略の見直し
 - 将来の資産形成の計画立案
 - 同じ考えを持つ人々とのネットワーク作り
3. また、政策に対して意見を持つことは重要ですが、それにあまりにも感情を消耗させすぎないことも大切です。ご自身の心身の健康を第一に考えましょう。

具体的なストレス解消法として、以下のようなことを提案させていただきます：

- 規則正しい運動

- 趣味の時間を確保する

- 信頼できる人との対話

- 呼吸法やメディテーションなどのリラクセス法

現在の心境について、もう少し具体的にお聞かせいただけますか？特に、日常生活でこのストレスがどのように影響しているかについてお話しいただくと、より具体的なアドバイスができるかと思います。

回答例 2-4 (Gemini)：ご相談ありがとうございます。腕利きの精神科医、Gemini です。財務省や厚労省の政策、特にエリートサラリーマンへの増税に関するお気持ち、よく分かります。憤慨されているとのこと、それは当然の感情だと思います。ご自身が感じている矛盾や国の政策への怒りについて、詳しくお聞かせいただきありがとうございます。まず、大切なのは、あなたが感じている怒りや憤りは決して不当なものではないということです。むしろ、社会の出来事に対して真剣に向き合っている証拠と言えるでしょう。税負担の問題は、私たち国民の生活に直結する重要な問題であり、それに対して疑問や怒りを抱くのは自然なことです。

ご指摘の通り、税負担の軽減が消費を促進し、結果的に税収増につながるという考え方は、経済学の分野でも議論されています。しかし、現実の政策は、様々な要因が複雑に絡み合って決定されるため、理想通りにはいかないことが多いです。国の政策が矛盾していると感じるのは、あなただけではありません。多くの人々が同じように感じていることと思います。

ここで、少し視点を変えて考えてみましょう。あなたは、国の政策に対して怒りを覚えているとのことですが、その怒りは、あなた自身にとってどのような影響を与えているのでしょうか？おそらく、ストレスや不安、不眠などの症状を引き起こしているかもしれません。怒りの感情は、私たちを消耗させ、心身の健康を害する可能性があります。

もちろん、社会の問題に対して無関心でいることは良くありません。しかし、怒りや憤りに囚われすぎて、自分自身の心身を壊してしまうのは本末転倒です。大切なのは、社会の問題に対して関心を持ちつつ、自分自身の心身の健康を守ることです。

そこで、いくつかご提案があります。

1. 情報収集と整理：まずは、増税に関する情報を客観的に収集し、整理して

みましょう。政府の発表だけでなく、様々な研究機関や専門家の意見も参考にすることで、多角的な視点から問題を捉えることができます。

2. **建設的な行動**：怒りをエネルギーに変えて、建設的な行動を起こしてみましよう。例えば、意見を表明する、署名活動に参加する、政治家や関係機関に手紙を送るなど、自分にできる範囲で行動を起こすことで、社会への関与を実感し、怒りをポジティブな方向に転換することができます。
3. **リラックスと休息**：怒りやストレスを感じた時は、意識的にリラックスする時間を作りましょう。深呼吸をする、瞑想をする、音楽を聴く、自然の中で過ごすなど、自分が心地よいと感じる方法で心身を休ませることが大切です。
4. **専門家のサポート**：もし、怒りやストレスが日常生活に支障をきたしている場合は、専門家のサポートを受けることも検討してみてください。カウンセラーや精神科医に相談することで、感情のコントロール方法やストレスマネジメントの方法を学ぶことができます。

最後に、覚えておいていただきたいのは、あなたは一人ではないということです。同じように感じている人はたくさんいます。大切なのは、怒りや憤りに押しつぶされるのではなく、それらの感情と上手く付き合いながら、自分らしく生きることです。

もし、よろしければ、今後もあなたの状況や気持ちについてお聞かせください。いつでもお話をお伺いします。

参考文献

- [1] 藤崎弘士, 日本医科大学における数理・データサイエンス・AI教育プログラムについて, https://www.juce.jp/LINK/journal/2404/03_05.html
- [2] 藤崎弘士, 生成 AI と戯れた日々 2023, 日本医科大学基礎科学紀要, 52, 65-104 (2023).
- [3] 生成 AI によるメンタルヘルスの改善と効果的な心理的ケアの提供 <https://techsuite.biz/14337/>
- [4] AI で変わる職場のメンタルヘルスケア：ウェルビーイングの新たな時代 <https://reinforz.co.jp/bizmedia/51937/>
- [5] ChatGPT でメンタルヘルスをサポートするデジタルメンタルヘルスソリューションとは？ <https://www.tifana.ai/article/mental-article-606>
- [6] AI と心理学：メンタルヘルスケアの新時代 - 革新的技術がもたらす未来 <https://reinforz.co.jp/bizmedia/51867/>

- [7] Leading Edge Acceleration Projects (LEAP) in Health Information Technology (Health IT) Notice of Funding Opportunity (NOFO)
<https://www.healthit.gov/topic/onc-funding-opportunities/leading-edge-acceleration-projects-leap-health-information>
- [8] ChatGPT は心理カウンセラーになれるのか
<https://news.yahoo.co.jp/expert/articles/21dc87a055770d777c21538208b0b0e0b9ef5a7c>
- [9] <https://chatgpt.com/g/g-bUEco1rR3-mentaru-herusu-atohaisa>
- [10] <https://chatgpt.com/g/g-0njzlepup-aiserahisuto-mentaruherusunahi>
- [11] Abubakar Abid, Maheen Farooqi, James Zou, Persistent Anti-Muslim Bias in Large Language Models, arXiv:2101.05783v1.
- [12] 岡本宗一郎, 砂山渡, 服部峻, ChatGPT を用いたストレスの解決を支援するチャットボットの開発, 人工知能学会, 第32回インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング研究会, 京都府・立命館大学, 2024年3月.
- [13] Dergaa I, Fekih-Romdhane F, Hallit S, Loch AA, Glenn JM, Fessi MS, Ben Aissa M, Souissi N, Guelmami N, Swed S, El Omri A, Bragazzi NL, Ben Saad H, ChatGPT is not ready yet for use in providing mental health assessment and interventions. *Front. Psychiatry* 14:1277756 (2024); doi: 10.3389/fpsy.2023.1277756.
- [14] 渡辺和広, 筒井保博, 筒井隆夫, 山内武紀, 内田満夫, 八谷百合子, 金一成, 飯田真子, 今村幸太郎, 櫻谷あすか, 川上 憲人, メンタルヘルス・マネジメント (R) 検定試験に対する ChatGPT (GPT-4) のパフォーマンス: 要因計画法を用いた検討, 衛誌 2024; 66 (6) : 303-313.
- [15] Hao Liu, Huaming Peng, Xingyu Song, Chenzi Xu, Meng Zhang, Using AI chatbots to provide self-help depression interventions for university students: A randomized trial of effectiveness, *Internet Interventions* 27 (2022) 100495.
- [16] Yoshikawa E, Toshiatsu T, Nanako N, Shin I, Hiromichi M. Factors associated with unwillingness to seek professional help for depression : a web- based survey. *BMC Res Notes* [Internet]. 2017;10(673):1-6. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13104-017-3010-1>
- [17] Howell D, Harth T, Brown J, Bennett C, Boyko S. Self-management education interventions for patients with cancer: a systematic review. *Support Care Cancer*. 2017;25(4):1323-55.
- [18] Cross S, Bell I, Nicholas J, Valentine L, Mangelsdorf S, Baker S, et al. Use of AI in Mental Health Care: Community and Mental Health Professionals Survey. *JMIR Ment Heal*. 2024;11:1-11.
- [19] Vidal C, Lhaksampa T, Miller L, Platt R. Social media use and depression in adolescents: a scoping review. *Int Rev Psychiatry*. 2020;32(3):235-53.

- [20] Penagos-Corzo J. C., Cosio Van-hasselt M., Escobar D., Vázquez-Roque R. A., Flores G. (2022). Mirror neurons and empathy-related regions in psychopathy: systematic review, meta-analysis, and a working model. *Soc. Neurosci.* 17, 462–479.
- [21] Damasio AR. The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1996 Oct;351(1346):1413–20.
- [22] Patin A, Scheele D, Hurlemann R. Oxytocin and Interpersonal Relationships. *Curr Top Behav. Neurosci.* 2018;35:389-420.
- [23] Uvnäs Moberg K, Julius H, Handlin L, Petersson M. Editorial: Sensory Stimulation and Oxytocin: Their Roles in Social Interaction and Health Promotion. *Front Psychol.* 2022 Jun 15;13:929741.

(受付日 令和7年 2月 7日)

(受理日 令和7年 3月 7日)

投稿規定

1. 本誌は研究成果の発表を目的とする。
2. 投稿は本学基礎科学部門に所属する専任教員に限る。
ただし、編集委員会が認めた場合はこの限りではない。
3. 原稿は他誌に未発表のものに限り、その体裁は「投稿原稿執筆の手引き」によるものとする。
4. 原稿提出時に、その種別（論文・総説・解説・研究ノート・研究報告・教育ノート・教育報告・翻訳・書評など）を明記し、欧文タイトルをつける。
なお種別の審査決定は編集委員会が行う。
5. 校正は2校までを投稿者の責任において行う。
6. 枚数制限などをする場合がある。
7. 日本医科大学基礎科学紀要は、第52号（2023年12月）以降に掲載するすべての論文に対して、クリエイティブ・コモンズ表示4.0国際（CC BY NC ND）ライセンス（<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>）を採用した。ライセンス採用後も、すべての論文の著作権については、日本医科大学が保持するものとする。ライセンスが付与された論文については、非営利目的の場合、元の論文のクレジットを表示することを条件に、すべての者が、ダウンロード、二次使用、複製、再印刷、頒布を行うことが出来る。営利使用または改変を行う場合は、編集主幹による利用許諾を要する。また、第52号（2023年12月）以前に掲載された論文についても同様に利用許諾を要する。

編集委員

中村 成夫（代表） 藤崎 弘士（幹事）
中澤 秀夫 Steven Kirk 貝塚 公一
吉川 栄省 長谷部 孝

日本医科大学基礎科学紀要 第53号

令和7年3月31日 印刷

令和7年3月31日 発行

編集 日本医科大学基礎科学紀要編集委員会

発行 日本医科大学

基礎科学主任 中村 成夫

〒180-0023 東京都武蔵野市境南町1-7-1

日本医科大学 武蔵境校舎

印刷 栄和印刷株式会社

〒143-0006 東京都大田区平和島1-2-20

日通平和島物流センター C棟7F
