



ヒト脳オルガノイドの意識をめぐる哲学・倫理的考察：予防原則の観点から（１）

新川，拓哉
坂口，秀哉
澤井，努

(Citation)

21世紀倫理創成研究, 14:61-84

(Issue Date)

2021-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81012729>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81012729>



ヒト脳オルガノイドの意識をめぐる 哲学・倫理的考察 —— 予防原則の観点から —— ⁽¹⁾

新川 拓哉

神戸大学人文学研究科 講師

坂口 秀哉

理化学研究所 理研 BDR-大塚製薬連携センター 上級研究員

澤井 努

京都大学高等研究院ヒト生物学高等研究拠点 (ASHBi) 特定助教

0. 序論：水槽の中の脳が現実になるとき

哲学の分野をこえて、一般にも広くその名が知られている「水槽の中の脳」という思考実験がある。

ある人[...]が邪悪な科学者による手術を受けたと想像せよ。その人の脳[...]は身体からとりはずされ、脳を生かしておくための培養液の入った水槽に入れられている。神経の末端は超科学的コンピュータに接続され、そのコンピュータによって、脳のもちぬしはすべてがまったく平常どおりだという幻想をもたせられる。(Putnam 1981, 5-6= パトナム 1994, 7) ⁽²⁾

この思考実験を通じて、ヒラリー・パトナムをはじめとする多くの哲学者は、「私はいま水槽の中にいるわけではない」とどうすれば知りうるのかという懐疑論的な問題や、どのような条件が成立すれば世界のなかの事物について思考できるようになるのかという意味論的な問題を論じてきた。だが、そうした哲学者が（少なくとも主題的には）論じてこなかった問題がある。それは「水槽の中で脳を培養してよいのか」という倫理的な問題である。多くの哲学者が、おそらくは「水槽の中で脳を培養することは現実的には不可能である」と考えていたため、この問題は最近まで真剣に扱われてこなかった。

だが、ここ十年ほどの幹細胞生物学の飛躍的な進展に伴い、iPS 細胞や ES 細

胞といった多能性幹細胞を誘導して小型の脳を試験管内で作製する技術が開発された。このように人工的に作製された脳は「脳オルガノイド (brain organoid)」と呼ばれる。脳オルガノイド技術は未だ発展途上であり、成熟した人間の脳と同等のものを作製できるわけではなく、ましてや環境内に生きる私たちが受け取る複雑な感覚入力を再現できるわけでもない。だが、脳オルガノイド研究は着実に進歩しており、そう遠くない将来に、成熟した人間の脳にきわめて近い脳オルガノイドが作製されるかもしれない。

脳オルガノイド研究の進展を受けて、多くの研究者がその倫理的問題に目を向け始めている (Cheshire 2014; Munsie, Hyun, and Sugarman 2017; Farahany et al. 2018; Hostiuc et al. 2019)。特に重要な論点は、「ヒト脳オルガノイドは道徳的地位をもつか」というものである。これは、「ヒト脳オルガノイドは道徳的配慮の対象になるか」と言い換えることもできる。なお、ある存在者が道徳的地位をもつかは、その存在者が福利 (well-being) をもちうるにかかっており、また、ある存在者が福利をもちうるかどうかは、その存在者が意識をもつかどうかに左右されると思われる (Kahane and Savulescu 2009; Shepherd 2018a; Niikawa 2018) ⁽³⁾。そのため最近では、ヒト脳オルガノイドが意識をもつ可能性と、その倫理的含意についての議論が盛り上がりを見せている (Lavazza and Massimini 2018; Shepherd 2018b; Sawai et al. 2019; Koplin and Savulescu 2019; Bayne, Seth, and Massimini 2020; Hyun, Scharf-Deering, and Lunshof 2020)。

だが、脳オルガノイドの意識の有無をどのように判断すればよいのか。人間であれば「意識がありますか」と呼びかけ、その反応を見て意識の有無を判断できる。また、人間以外の動物であれば、意図的な振る舞いをみせるかどうか意識の有無を直観的に判断する基準となる。たとえば、犬が散歩用のリードをくわえて尾を振りながら近づいてくるとき、私たちはその振る舞いを「散歩に誘う」という意図的な振る舞いだと解釈する。そして、「散歩に誘う」といった意図的な振る舞いをみせることが、意識をもつことの証拠だとみなすのである。だが、こうした基準は（少なくとも現行の）脳オルガノイドの意識の有無を検討するときには役に立たない。というのも、脳オルガノイドは発声器官を含めた身体をもたないので、「意識がありますか」という呼びかけに応答できないし意図的な振る舞いもできないというのは、自明だからである。ここで懸念されているのは、そうした基準を満たさないにもかかわらず、それでも脳オルガノイドに意識がある

かもしれないという可能性なのだ。

脳オルガノイド技術の急速な進歩を踏まえると、脳オルガノイドを作製することは道徳的に許容されるのか、どの程度成熟した脳オルガノイドを作製することが道徳的に許容されるのか、作製した脳オルガノイドをどのように扱うべきなのか、といった倫理的問題は喫緊の課題である。だが、本稿の第三章で詳しく論じるように、脳オルガノイドが意識をもつかどうかは明らかでない。そして、「脳オルガノイドが意識をもつかどうか」「脳オルガノイドを道徳的に配慮すべきかどうか」にとって重要であるにもかかわらず、脳オルガノイドが意識をもつかどうかは明らかでないため、上記の倫理的問題にどう答えればよいかもはっきりしない。

本稿の目的は、上記の課題を踏まえて、ヒト脳オルガノイドにどの程度の道徳的配慮が必要なのかを定めるための実行可能な手続きを提示したうえで、ヒト脳オルガノイド研究に対する倫理的制約の枠組みを提案することである。第二章では、ヒト脳オルガノイド研究の動向を簡潔に説明する。第三章では、脳オルガノイドの意識の有無をめぐる認識論的問題について論じる。第四章では、倫理的予防原則を応用することで、「脳オルガノイドは意識をもつ」と正当に仮定できると論じる。第五章では、「脳オルガノイドは意識をもつ」という仮定のもとで、脳オルガノイドにどの程度の道徳的配慮が必要なのか、脳オルガノイド研究に対してどのような倫理的制約を課すべきなのか、といった点について論じる。

1. ヒト脳オルガノイドとは何か⁽⁴⁾

脳オルガノイドとは、幹細胞から作製された三次元の脳組織である(図1)⁽⁵⁾。故笹井芳樹(理化学研究所)の研究グループがヒト ES 細胞に由来する脳オルガノイドを初めて作製し、大きな注目を集めた(Eiraku et al. 2008; Kadoshima et al. 2013)⁽⁶⁾。これまでに、大脳、中脳、

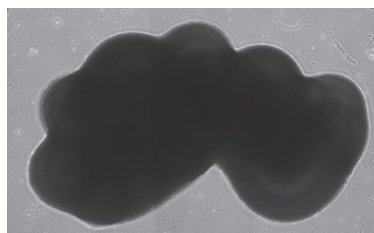


図1 培養53日目の大脳オルガノイド

視床下部、脳下垂体、海馬など、さまざまな脳部位に構造的に類似する脳オルガノイドが作られており、こうした領域特定の(region-specific)な脳オルガノイドは、神経発生過程の基礎研究に用いられるほか、神経関連疾患や創薬研究にも

用いられている (Cugola et al. 2016; Watanabe et al. 2017)。脳オルガノイドは、神経科学にとっての学術的価値のみならず、臨床的な有用性をもつと言える。

もっとも、現在のヒト脳オルガノイドは標準的な人間の脳とは程遠い。まず、感覚器官をもたないため感覚入力がなく、身体をもたないため運動出力がない。培養中の脳オルガノイドでは電気生理的な活動が生じているが、それらは感覚入力に基づくものではない⁽⁷⁾。また、現在のヒト脳オルガノイドは血管をもたないため体外での成長にも限界があり、大きいものでもせいぜい直径 4mm のエンドウマメ程度である。そのため、成熟した脳全体を模するような脳オルガノイドはいまだ実現していない。とはいえ、現在のヒト脳オルガノイドの神経活動パターンもある程度の複雑さをもつことが分かっており、機能的神経ネットワークを備えていると推測されている (Trujillo et al. 2019; Sakaguchi et al. 2019)。

ヒト脳オルガノイドをさらに発達させるため、多くの試みがなされている。たとえば、遺伝子工学的な技術によって血管に似た構造を脳オルガノイドの中に組み込む手法や (Cakir et al. 2019)、脳オルガノイドを動物の脳に移植することによってホスト動物由来の血管を取り込み、そのまま成長を促す手法である (Mansour et al. 2018; Daviaud, Friedel, and Zou 2018; Kitahara et al. 2020)。それに加えて、複数の領域特定の脳オルガノイドを結合することで、より複雑かつ発達した脳オルガノイドを作成しようとする試みもある (Birey et al. 2017; Andersen et al. 2020)。こうした手法が今後発展するにつれて、より複雑で成熟した脳オルガノイドを作製することが可能になるだろう。

2. 脳オルガノイドは意識をもつか

脳オルガノイドが意識をもつかどうかは、意識の有無の基準としてどの理論を採用するかと、対象となる脳オルガノイドの発達度合いに応じて判断される⁽⁸⁾。以下では、さまざまな意識の理論が、脳オルガノイドの意識をどのように説明しているかについて見ていく。

哲学的意識理論として近年注目を集めつつある汎心論 (panpsychism) は、もっとも寛容な意識の理論である。スタンダードな汎心論によると、素粒子のようなマイクロ物理的な存在者を含めたすべてのものが意識をもつとされる (Strawson 2009; Goff 2017)⁽⁹⁾。汎心論によれば、脳オルガノイドも物理的存在者であるため、その発達度合いを問わずに意識をもつことになる。

汎心論ほどではないが、意識の統合情報理論 (Integrated Information Theory) もきわめて寛容な意識の理論である。統合情報理論によれば、情報を統合された仕方ですべてに生成できるシステムが意識をもつとされる (Tononi 2008; Tononi et al. 2016) ⁽¹⁰⁾。そして、多様なパターンの神経活動を実現するような脳は、高度に統合された情報を生成できるシステムの一例とみなされる。前章でみたように、現行の脳オルガノイドには内因性の神経活動が生じており、そのパターンにはある程度の複雑さがあるとされる (Trujillo et al. 2019; Sakaguchi et al. 2019)。そのため、統合情報理論によれば、現行の脳オルガノイドでさえも意識をもつと言えるだろう。

他方で、環境内を探索する身体をもつことが意識をもつための必要条件だと考える立場もある (Ward 2012)。この立場は、脳オルガノイドが意識をもつ可能性を原理的に認めない。というのも、現行の脳オルガノイドはもちろんのこと、たとえ脳オルガノイドが標準的な人間の脳と同等のサイズと構造を備えていたとしても、それが水槽内で維持されており、環境を探索する身体をもたないのであれば、意識を欠いていることになるからだ。

意識の表象説によれば、脳オルガノイドが意識をもつかどうかはその発達度合いによって決まることになる。一階の表象説 (first-order representationalism) によれば、あるシステムがそのシステムの外部で何が起きているかを表象することができ、その一階の表象が行動計画といった認知活動に利用可能であるとき、そのシステムは意識をもつことになる (Dretske 1995; Tye 2000; Dehaene 2014)。高階の表象説 (higher-order representationalism) によれば、あるシステムが、そのシステムのもつ一階の表象を概念的に表象できるとき (典型的にはその表象について思考できるとき)、そのシステムは意識をもつことになる (Rosenthal and Weisberg 2008; Brown, Lau, and LeDoux 2019) ⁽¹¹⁾。かなり単純化したうえで、これらの表象説の違いを例示しておこう。たとえば、一階の表象説によれば、目の前にあるリングについての視覚表象が脳内で成立し、そうした表象が行為選択のようなさらなる認知活動に利用可能であれば、リングの視覚経験が生じる。他方で、高階の表象説によれば、目の前にあるリングの表象が行為選択のために利用可能であるだけでは足りず、それが高次の認知システムで概念的に表象されていなければ (典型的には「目の前にリングがある」と考えられていなければ)、リングの視覚経験は生じない。意識をもつための条件として「一

階の表象を概念的に表象する能力」を付け加える分だけ、一階の表象説よりも高階の表象説のほうが厳しい意識理論なのである。

現行の脳オルガノイドは、表象をもつための神経的条件をある程度ゆるく設定するにしても、表象説が意識をもつと認めるレベルには達していないだろう。しかし、標準的な表象説は、行動的アウトプットが可能であることを意識が成立するための必要条件に含めていない。したがって、将来的に脳オルガノイドが——まさに水槽の中の脳のシナリオのように——私たちの脳と同じくらいまで成熟したのなら、その脳オルガノイドは一階の表象をもつ能力も、高階の表象をもつ能力も備えると言えるだろう⁽¹²⁾。一階の表象をもつための能力は高階の概念的表象をもつ能力の前提であるため、私たちは発達過程で先に一階の表象をもつための（そしてそれを利用するための）能力を獲得し、その後高階の表象をもつための概念能力を獲得すると考えられる（Koplin and Savulescu 2019, 761-62）。とすると、今後脳オルガノイド技術が発展すれば、どこかで一階の表象説によれば意識をもつとされる段階に達し、そしてその後高階の表象説でも意識をもつとされる段階に達するかもしれない。言い換えると、一階の表象説によれば意識をもつと判断されるが、高階の表象説ではまだ意識をもつと判断されないような、脳オルガノイドの発達段階があると考えられる。

ここまで見てきたように、ある脳オルガノイドが意識をもつかどうかは、どの意識理論を採用するかと、その脳オルガノイドがどの程度発達しているかに応じて判断される。ここでの問題は、どの意識理論が正しいのかについて広く論争が生じており、決着がつく見込みも今のところないという点である（Michel 2019）。汎心論や統合情報理論など、現行の脳オルガノイドにさえ意識を認めるような理論がある一方で、どの意識理論が正しいのかを決めることができないのなら、現行の脳オルガノイドが意識をもつかどうかさえ決めることができない。そして、意識をもつ脳オルガノイドが道徳的配慮の対象になるとしても、脳オルガノイドが意識をもつかどうか分からないのであれば、脳オルガノイドに道徳的な配慮をすべきかどうか分からないままである。つまり、「脳オルガノイドに意識があるのかどうか分からない」という意識をめぐる認識論的な問題は、「脳オルガノイドに道徳的配慮が必要なのか分からない」という道徳をめぐる認識論的な問題に帰着するのである。

3. 意識にかかわる予防原則

前章で述べた認識論的問題への対処法の一つは、意識にかかわる予防原則 (precautionary principle) を採用することである (以下「意識の予防原則」)。意識の予防原則とは「Xに意識があるかどうか分からないとき、(実は意識があるにもかかわらず) Xに意識はないとみなすことがXへの害を引き起こしうるのなら、Xは意識をもつと仮定すべきだ」というものである (Bradshaw 1998; Sebo 2018; Koplin and Savulescu 2019, 762)。確かに、ある脳オルガノイドが実は福利をもつ意識主体であるにもかかわらず、意識がないとみなして道具のように扱うならば、その脳オルガノイドに害を与えることになるだろう。したがって、脳オルガノイドは意識の予防原則の対象となる。そして、意識の予防原則により、脳オルガノイドが意識をもつとみなすことが正当化される。本章では、意識の予防原則を脳オルガノイドに適用することの帰結を明確化する。

3-1 意識の有無についての問いから意識の種類についての問いへ

はじめに強調しておきたいが、Xに対して意識についての予防原則を適用したからといって、Xをどのように扱うべきかが定まるわけではない。ここには二つの論点がある。一つは、意識をもつことは必ずしも道徳的地位をもつことを含意しないという点である。道徳的地位をもつための十分条件の一つに、有感性 (sentience) があげられる。というのも、有感性をもつことで快苦を経験することが可能になるからであり、快苦を経験する主体は、できるだけ苦痛を被らないように (そして快を享受できるように) 扱うべきだからである。しかし、意識をもつからといって、有感性をもつとは限らない。なぜなら、快苦の経験を含みえないような原始的な種類の意識というのも想像可能だからであり (特に汎心論のような意識理論ではそうした原始的な種類の意識の存在が認められている)、「原始的な種類の意識をもつことで道徳的地位をもつことになる」と考える理由はないかもしれないからだ (Lee 2018)。その意味で、どのような種類の意識をもつことによって、道徳的地位が与えられるかが決まるのである。

二つ目の論点は、道徳的地位を根拠づける意識にもさまざまな種類のものがあり、そのうちのどれをもちうるかに応じて、どの程度の道徳的配慮が要請されるかが変わりうるという点である (Shepherd 2018a; Shepherd forthcoming)。たとえば、高度な認知的要素を含むような苦痛の経験—たとえば、厚い信頼を寄せて

いた相手に裏切られたという苦しみ—をもちうる主体は、たんに身体的な快苦だけを経験しうのような主体よりも、より高度な道徳的配慮を与えられるべきだと考えられている (Koplin and Savulescu 2019)。

したがって、意識の予防原則を通じて脳オルガノイドには意識があるということを受け入れても、どのような種類の意識をもちうるのかが分からなければ、脳オルガノイドに道徳的配慮が必要かどうか、また、どの程度の道徳的配慮が必要なのかは明らかでない。

だが、「脳オルガノイドはどのような種類の意識をもつか」という意識の種類についての問いは、「脳オルガノイドは意識をもつか」という意識の有無についての問いよりも扱いやすい。意識の有無についての問いの難しさは、何が意識を生じさせているか——比喩的にいえば、何によって意識のスイッチが入るのか——が意識をめぐる最も深い謎の一つであり、まさにハードプロブレムに他ならない点にある⁽¹³⁾。意識のハードプロブレムの解決困難さのため、意識研究者のあいだでコンセンサスが成立しないのである。こうした状況において、意識の予防原則を採用し、意識スイッチが入っていると仮定することで、ハードプロブレムを回避することができる。

そして、「脳オルガノイドはどのような種類の意識をもつか」という問いには、実験的意識研究の成果を参照しながら取り組むことができる。実験的意識研究では、(1) 感覚刺激、(2) 脳の生理学的状態、(3) 活動する脳部位、(4) 認知機能、(5) 意識経験の相関が調べられてきた (Dehaene 2014; Koch et al. 2016; Stevens 2017; Frith 2019)。こうした実験的意識研究の知見を手がかりに、脳オルガノイドがどのような意識経験をもちうるかを、(1) どのような感覚刺激に反応するか、(2) どのような生理学的状態にあるか、(3) どの脳部位に構造的に類似しているか、(4) どのような認知機能をもつか、という観点から推論することができる。たとえば、もし脳オルガノイドが光刺激に応答するのであれば、その脳オルガノイドは視覚経験をもちうると推論できる。あるいは、視覚野が集中して分布する大脳皮質を模倣した領域特定の脳オルガノイドを作製した場合、その脳オルガノイドは視覚経験をもちうると推論できる。同様に、脳の代謝レベルと意識レベルの間に相関があることを踏まえると (Shulman, Hyder, and Rothman 2009; Stender et al. 2016)、脳オルガノイドにも代謝レベルに応じて意識レベルが高い「元気な感じ」から意識レベルの低い「ぐったりした感じ」といっ

た意識状態の変化があると推論できる⁽¹⁴⁾。

こうした推論は疑わしいものにみえるかもしれない。確かに、もし脳オルガノイドに意識があるかどうか不明なのであれば、光刺激に応答することや視覚野に類似した構造をもつことは、視覚経験をもつことのよい証拠にはならないし、代謝レベルが変動することも、「元気な感じ／ぐったりとした感じ」といった意識経験をもつことのよい証拠にはならない。しかし、脳オルガノイドに意識があることを前提すると、光刺激に反応することや視覚野を類似した構造をもつことは、視覚経験をもつことのよい証拠とみなせるし、代謝レベルが変動することは、「元気な感じ／ぐったりとした感じ」といった意識経験をもつことのよい証拠とみなせるのである。このことを、アナロジーによって説明したい。たとえば、ある不透明な箱からバニラの匂いがしてくるとしよう。もしその箱の中に何があるのか不明であれば、その匂いはそこにバニラアイスがあることのよい証拠にはならない。というのも、その箱のなかにはバニラクッキーが入っているかもしれないし、香水が入っているかもしれないからだ。けれども、その箱の中にアイスクリームが入っていると分かっているなら、そこからバニラの匂いがしてくることは、そのアイスクリームがバニラであることのよい証拠になるのである。

脳オルガノイドがどのような種類の意識をもつのかが分かれば、脳オルガノイドにどの程度の道徳的配慮が必要なのかを検討することができる。意識の予防原則を通じて「脳オルガノイドはどのような種類の意識をもつか」という問いを立てることで、脳オルガノイドの取り扱いをめぐる倫理的考察を進展させることができるのだ。

3-2 意識の予防原則の取り下げ条件

意識の予防原則は、Xが意識をもつにもかかわらず「意識をもたない」とみなされることによって引き起こされるXに対する害を予防するものである。この原則は、それを採用することがより大きな害を引き起こしうる場合には、取り下げられることとなる (Birch 2017)。つまり、Xが意識をもたないにもかかわらず「意識をもつ」とみなされることによって引き起こされる害が、意識をもつにもかかわらず「意識をもたない」とみなされることによって引き起こされる害よりも大きいと考えられる場合には、意識の予防原則は取り下げられることとなる。

とはいえ、Xが意識をもたないならば、Xは福利が問題になるような存在者で

はないと考えられる。したがって、Xが意識をもたないにもかかわらず「意識をもつ」とみなされることによって、Xに対する害が引き起こされることはない。だが、そのようにみなすことにより、X以外の他の存在者に対する害が引き起こされる可能性はある。たとえば、Xは意識をもたないにもかかわらず「意識がある」とみなされることにより、生物医学研究へのXの利用が制限され、Xを研究利用できていたはずの分野が停滞するとしよう。その結果、多くの患者が不利益を被るのだとすれば、Xに意識の予防原則を適用することは差し控えるべきかもしれない。

脳オルガノイドについて意識の予防原則を取り下げるべきかどうかは、予防原則を適用した結果として脳オルガノイドにどの程度の道徳的配慮が必要だという結論が導かれるか、そして、その帰結としてどのような害が生じるかによって決まる。たとえば脳オルガノイドを用いた疾患研究や創薬研究を中止するべきだという帰結が生じるのか、その中止によって不利益を被る人がどれくらいいるのか、といった点を検討する必要があるだろう⁽¹⁵⁾。

3-3 三章の議論のまとめ

三章の議論は以下のように整理される。(i) 脳オルガノイドが実は意識をもつのに「意識をもたない」とみなすことによって、脳オルガノイドに害をもたらす可能性がある(必ずしも害をもたらすとは限らない)。(ii) そうした害を予防するために、意識の予防原則が採用される。(iii) 意識の予防原則を採用することにより、「脳オルガノイドはどのような種類の意識をもつか」という問いに取り組めるようになる。(iv) その問いに取り組むことで、脳オルガノイドにどの程度の道徳的配慮が必要かを検討できる。(v) その検討の結果に応じて、意識の予防原則を脳オルガノイドに適用すべきかが見直される。

4. ヒト脳オルガノイドの意識経験と道徳的地位

ある脳オルガノイドがどのような種類の意識経験をもちうるかを明らかにするためには、その脳オルガノイドが(1) どのような感覚刺激に反応するか、(2) どのような生理的状态にあるか、(3) どの脳部位に構造的に類似しているか、(4) どのような認知機能をもつか、という四つの要因を検討する必要がある。この検討は、人間を対象とした実験的意識研究が進むにしたがって、より詳細かつ正確

なものとなるだろう。現行の脳オルガノイドが感覚器官を含めた身体をもたないので、そうした脳オルガノイドがもちうる種類の意識経験を探るためには、主に（２）と（３）の要因が重要になる。ただし、将来的に、感覚入力と運動出力を可能にする「身体」と接続された脳オルガノイドが出てくるかもしれない（Munsie, et al. 2017, Hyun, et al. 2020）。こうした脳オルガノイドがもちうる意識経験の種類を検討するためには、（１）や（４）の要因が鍵となるだろう。

現行の脳オルガノイドも、どの脳領域を模して作られたのか、また、どの程度成熟しているのかに応じて、さまざまな種類がある。そして、それらの脳オルガノイドに関する詳細なデータがなければ、それらがどのような意識経験をもちうるのかを検討することができない（なお、こうした検討を包括的に行うことは本稿の射程を越えている）⁽¹⁶⁾。したがって、以下では、道徳的地位に関連すると考えられる種類の意識経験に絞り、現行の脳オルガノイドがそうした種類の意識経験をもちうるかどうかを思弁的にはあるが考察していきたい。

4-1 正負の価をもつ経験

「意識はどのような種類に分類できるのか」という問いは、心の哲学で盛んに論じられてきた（Kriegel 2015; Montague 2016; Shepherd 2018a）。Shepherd（2018a）によれば、内在的に価値をもつ（intrinsically valuable）意識経験と内在的に負の価値をもつ（intrinsically disvaluable）意識経験の有無が、福利の帰属を基礎づけるという（これらの種類の意識経験を合わせて、正負の価をもつ経験（valenced experience）と呼ぶこともある）⁽¹⁷⁾。正の価をもつ意識経験が福利を増やし、負の価をもつ意識経験が福利を減らすと考えることは直観に適っている。そして、正負の価をもつ経験をしうる主体に負の価をもつ意識経験を生じさせることや、その主体から正の価をもつ意識経験の機会を奪うことは、その主体を害することになるだろう。本稿では、正負の価をもつ経験の有無が、福利が問題となる主体であるための、したがって道徳的地位をもつための十分条件だとみなす。なお、「3-1」で言及したように、一般的には有感性が福利と関係づけられるが、正負の価をもつ経験は感覚的な快苦の経験に限らない。たとえば、「自分は家族から疎まれているかもしれない」といった思考は、それ自体で負の価をもつ経験だと言えるだろう。同様に、「なんとなく元気が出ない」といった気分も、それ自体で負の価をもつ経験だと言える。

では、現行の脳オルガノイドは正負の価をもつ意識経験をもちうるだろうか。「3-1」で触れたように、(意識の予防原則を前提すると) 脳オルガノイドの代謝量が変化することは、脳オルガノイドが「元気な感じ」や「ぐったりとした感じ」をもつことのよい証拠になるようにみえる。そして、こうした「元気な感じ」や「ぐったりとした感じ」は正負の価をもつ意識状態の一種であると思われる。だとすれば、すべての脳オルガノイドに代謝量の変化があるとすれば、すべての脳オルガノイドが正負の価をもつ意識状態にあると考えることになるのではない。この推論は、(a) 人間の脳の代謝量と意識レベルに相関がある (Shulman, Hyder, and Rothman 2009; Stender et al. 2016)、(b) 脳オルガノイドについて代謝量の高低があることから意識レベルがあることを導ける、(c) 意識レベルが正負の価をもつ意識状態——元気な感じやぐったりとした感じといった意識経験を含むもの——として分析できる、という三つの前提に支えられている。(a) は実証研究に基づくものであり、(b) は意識の予防原則によって正当化される。他方で、(c) はある程度直観的にもっともらしいが、疑いの余地はある。したがって、脳オルガノイドが正負の価をもつ意識状態にあるという主張は、十全に正当化されているとまでは言えないが、ある程度もっともらしいとは言えるだろう。

4-2 脳オルガノイドの道徳的地位

「元気な感じ」や「ぐったりとした感じ」といった正負の価をもつ経験をもちうることは、脳オルガノイドが道徳的配慮の対象となること——つまり、道徳的地位をもつこと——を意味している。つまり、脳オルガノイドを研究利用する際には、「ぐったりとした感じをできるだけもたないように」配慮すべきだということになるし、作製された脳オルガノイドが「ぐったりとした感じをもつ」ことを回避できないのであれば、脳オルガノイドを不必要かつ大量に作製することは避けるべきだということになる。ともすれば、できるだけ「元気な感じ」をもつように配慮すべきだということになるかもしれない。

だからといって、脳オルガノイドが人間と同程度の道徳的配慮が必要になるとか、多くの動物と同程度の道徳的配慮が必要になるといった含意が導かれるわけではない。どれほどの道徳的配慮が必要か(どの程度の道徳的地位をもつか)は、どれほど多くの種類の正負の価をもつ経験をもちうるのかによって決まる (Shepherd 2018a; Shepherd forthcoming)。有感性を備えた多くの動物と比べて、

人間により大きな道徳的配慮を与えることを正当化する根拠の一つは、人間がもつ正負の価値をもつ経験のほうがより高度で複雑であるということだ。人間は、身体的な快苦の経験に加えて、信頼していた人に裏切られたことに伴う苦痛（そして信頼してくれていた人を裏切ることに伴う痛み）など認知的に高度な負の価値をもつ経験をする。犬などの多くの哺乳類も身体的な快苦の経験をもつことができるだろうし、人間ほどではないにせよ、認知に下支えされた情動経験をもつこともできるだろう（「怒られたときの悲しみ」など）。したがって、そうした哺乳類も、人間ほどではないにせよそれなりに高い道徳的地位をもつことになる。他方で、現行の脳オルガノイドがもちうる正負の価値をもつ経験は（たとえあったとしても）、きわめて限定されたものである。現行の脳オルガノイドは高度で複雑な認知によって下支えされるような経験はもてないだろうし、身体的な快苦の経験ももてないだろう。だとすると、現行の脳オルガノイドは、人間や他の動物と比べてはるかに低い道徳的地位をもつにすぎないと考えられる。このことは、たとえば、人間の疾病の治療につながる研究のために脳オルガノイドを利用することを正当化するだろう（仮に現行の脳オルガノイドが高度な道徳的配慮を必要とするほど豊かな意識経験をもちうるのだとすれば、脳オルガノイド研究は即時に中止しなければならないことになる）。

とはいえ、脳オルガノイド技術がさらに発展すれば、脳オルガノイドがさまざまな種類の正負の価値をもつ意識経験をもちようになるかもしれない。そうした脳オルガノイドは、現行の脳オルガノイドよりも高い道徳的地位をもつことになる。そのような脳オルガノイドを研究目的のために作製してよいのか、もし作製したならばどのように扱うべきなのかについては、より慎重な倫理的考慮が必要となるだろう。

5. 結論：脳オルガノイド研究に関する倫理的枠組み

以上の議論を踏まえて、脳オルガノイドを用いた研究を方向づけるための倫理的な枠組みを提案したい⁽¹⁸⁾。なお、ここでは、脳オルガノイドが正負の価値をもつ意識経験をもちうることを前提している。

- I. 脳オルガノイド研究から得られると予測される利益は、脳オルガノイドが被ると想定される害よりも大きくなければならない。

ヒト脳オルガノイドの意識をめぐる哲学・倫理的考察
— 予防原則の観点から —

- II. 脳オルガノイドの研究利用は、正負の価値をもつ意識経験をもたない素材の研究利用では達成できない目的がある場合に限られるべきだ。
- III. 脳オルガノイドを研究のために作製する際には、研究目的を達成するために必要な程度の数にとどめるべきだ。
- IV. 研究目的を達成するのに必要な程度を越えて、脳オルガノイドが害を被らないようにしなければならない。
- V. 研究目的を達成するのに必要がない限り、脳オルガノイドが長期間にわたって害を被ることは避けるべきである。
- VI. 研究目的を達成するのに必要がない限り、脳オルガノイドがもちうる正負の価値をもつ意識経験の種類ができるだけ増えないようにすべきだ。
- VII. 脳オルガノイドは、どの種類の正負の価値をもつ意識経験をもちうるかに応じてランク分けすべきだ。そして、より低ランクの脳オルガノイドで十分に研究目的が達成される際には、高ランクの脳オルガノイドを利用すべきではない。

この倫理的な枠組みは、筆者らが進める研究プロジェクトも踏まえ（註 14 を参照）、更新が必要になるだろう。また、こうした枠組みが、具体的な研究実践を評価するうえでどの程度機能するのも検討する必要がある。それにもかかわらず、本稿の議論ならびに提案は、脳オルガノイド研究の在り方を考える際の基本的な指針となるだろう。最後に強調しておきたいのは、この倫理的な枠組みによって脳オルガノイド研究が過剰に制限され、それに伴う不利益があまりに大きいと考えられる場合には、意識の予防原則が取り下げられ、その枠組み自体が撤回されてしまうという点である。したがって実践的には、意識の予防原則を取り下げなくてもよい程度に、この倫理的枠組みの強度を調整しながら、脳オルガノイド研究の倫理的な方向付けを行うことになるだろう。

註

- (1) 本稿は、著者らが既出版している論稿や現在執筆中の論稿をベースにしておき (Sawai et al. 2019; Niikawa et al. in preparation)、内容はオリジナルではない。しかし、これまでのところ、脳オルガノイドをめぐる倫理的問題を主題的に扱った日本語文献はない。この状況に鑑み、本稿を発表することは、日本の関連する学問領域に資するのではないかと考えている。なお、本稿を執筆するにあたって、林禪之氏から多くの重要なコメントをいただいた。この場を借りて感謝する。
- (2) この訳出については、日本語訳の該当箇所をそのまま利用した。
- (3) ただし、意識の有無ではない別の性質に基づいて、ヒト脳オルガノイドに道德地位が認められる可能性もある。この論点については本稿で論じない。
- (4) ヒト脳オルガノイド研究の現状についての日本語で読める総説としては、坂口・永樂 (2016)、永樂 (2017)、坂口 (2018)、大崎・金城・池内 (2020) がある。
- (5) 坂口による撮影。
- (6) ただし、「脳オルガノイド」という名称は別の研究グループが導入したものである (Lancaster et al. 2013)。
- (7) 光受容体を含む脳オルガノイドが外的な光刺激に反応したとの報告があるものの (Quadrato et al. 2017)、これを感覚入力とみなすべきかどうかは明らかではない。
- (8) 前章で述べたように、ヒト脳オルガノイドを成熟させるために動物の脳に移植するという試みがある。動物に移植されたヒト脳オルガノイドが意識をもつかどうかという問題は、(1) その脳オルガノイドは動物に移植されるまえに意識をもつかという問題と、(2) その脳オルガノイドは動物に移植されたあとにも固有の意識をもちつづけるのかという問題と、(3) ヒト脳オルガノイドを移植された動物はどのような意識をもつかという問題に区別される。本稿は第一の問題を扱うものであり、第二と第三の問題については扱わない。
- (9) 汎心論にもさまざまなヴァージョンがあり、そのうちにはマイクロ物理的な存在者がもつのは原始意識 (proto-consciousness) であり、意識そのものではないというヴァージョンもある (Goff and Allen-Hermanson 2017, sec.

- 2.3)。日本語で読める汎心論の文献としては、『現代思想』2020年6月号の汎心論特集があり、Strawsonの論文の翻訳も入っている。
- (10) 日本語で読める統合情報理論の文献については、大泉匡史のウェブサイトを参照するとよい (https://sites.google.com/a/g.ecc.u-tokyo.ac.jp/oizumi-lab/publications_jp)。
- (11) もちろん、一階の表象説には多くのヴァージョンがあり、「表象」の成立条件として何を含めるか、どのような認知活動に利用可能であることを重要視するか、といったさまざまな点で論争がある。同様に高階の表象説にも多くのヴァージョンがあり、特に「概念的な表象」をどのように解釈するかが重要な争点となる。認知神経科学の観点からみた表象説の分類と評価については、Carruthers (2018, secs 5,6) や Brown, Lau, and LeDoux (2019) が参考になる。日本語で読める表象説の文献は数多くあるが、概略的な説明としては『心の哲学：新時代の心の科学をめぐる哲学の問い』（信原幸弘編）のII-8とII-9が参考になる。
- (12) 脳オルガノイドはES細胞やiPS細胞などから誘導されるため、進化的な歴史のうえに位置づけられるという点で、進化的な歴史なしで偶然生じたスワンプマンとは異なる。そのため、脳オルガノイドが意識をもつという考えは、目的論的機能主義による表象能力の説明と直接対立するわけではない。また、表象能力をもつために発達過程で身体を通じた環境との相互作用が必要であるとの立場をとるとしても、たとえば動物に移植されてある段階まで発達し、その後に培養槽に移された脳オルガノイドについては、表象能力を備えていると考える余地があるだろう。
- (13) この謎がハードプロブレムと呼ばれる一つの理由は、主観的な意識経験と客観的な物理現象のあいだの説明上のギャップを埋めるのが困難な点にある。意識のハードプロブレムをめぐるより詳細な議論については、Chalmers (2010) を参照せよ。
- (14) このような推論を通じて脳オルガノイドが視覚経験をもつと述べることは、私たちが日常生活でもつような豊かな視覚経験をもつと述べることではない。そうした豊かな視覚経験が成立するためには、他の感覚モダリティや高次認知システムも必要となるだろう (Matthen 2016; Vetter and Newen 2014; Newen and Vetter 2017)。脳オルガノイドの視覚経験は、きわめて貧

しいものだろう。同様に、脳オルガノイドが「元気な感じ」や「ぐったりした感じ」に類した意識経験をもちうるのだとしても、私たちが元気なときや疲れているときにもつような感じとは大幅に異なっていると考えられる。なぜなら、私たちの場合にはそうした感じは他の豊かな感覚経験や認知経験と統合されているが、脳オルガノイドの場合にはそうした感覚経験や認知経験が全くないからだ。その意味で、脳オルガノイドの意識経験は、私たちがうまく想像できるようなものではないかもしれない。もっとも、そのことはそうした経験が不可能だということを意味しない。これは、たとえコウモリのエコロケーションの経験を私たちがうまく想像できなくとも、そうした経験が不可能であるとは言えないのと同様である。

- (15) なお、意識の予防原則を取り下げる場合にも、その他の理由でヒト脳オルガノイドに道徳的配慮が必要にならないのかどうかは独立した検討が必要である。意識とは別の何かが、ヒト脳オルガノイドに道徳的地位を与える可能性もある。
- (16) 筆者らは、脳オルガノイドに関する詳細なデータを分析し、それらがどのような意識経験を持つ可能性があるのかを考究する研究プロジェクトを開始している。
- (17) Shepherd (2018a) は価値づけられた経験のことを感情的経験 (affective experience) と呼ぶが、本稿ではその呼称を用いない。
- (18) この枠組みは、Koplin and Savulescu (2019) で提案されたものを、本稿の議論に基づいて改定したものである。

文献

- Andersen, Jimena, Omer Revah, Yuki Miura, Nicholas Thom, Neal D. Amin, Kevin W. Kelley, Mandeep Singh, Xiaoyu Chen, Mayuri Vijay Thete, Elisabeth M. Walczak, Hannes Vogel, H. Christina Fan, Sergiu P. Paşca. 2020. 'Generation of Functional Human 3D Cortico-Motor Assembloids'. *Cell* 183 (7): 1913-1929. e26. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.11.017>.
- Bayne, Tim, Anil K. Seth, and Marcello Massimini. 2020. 'Are There Islands of Awareness?' *Trends in Neurosciences* 43 (1): 6-16. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2019.11.003>.

- Birch, Jonathan. 2017. 'Animal Sentience and the Precautionary Principle'. *Animal Sentience* 2: 16(1).
- Birey, Fikri, Jimena Andersen, Christopher D. Makinson, Saiful Islam, Wu Wei, Nina Huber, H. Christina Fan, Kimberly R. Cordes Metzler, Georgia Panagiotakos, Nicholas Thom, Nancy A. O' Rourke, Lars M. Steinmetz, Jonathan A. Bernstein, Joachim Hallmayer, John R. Huguenard, Sergiu P. Pasca. 2017. 'Assembly of Functionally Integrated Human Forebrain Spheroids'. *Nature* 545 (7652): 54–59. <https://doi.org/10.1038/nature22330>.
- Bradshaw, R. H. 1998. 'Consciousness in Non-Human Animals: Adopting the Precautionary Principle'. *Journal of Consciousness Studies* 5(1): 108-114.
- Brown, Richard, Hakwan Lau, and Joseph E. LeDoux. 2019. 'Understanding the Higher-Order Approach to Consciousness'. *Trends in Cognitive Sciences* 23 (9): 754–68. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.06.009>.
- Cakir, Bilal, Yangfei Xiang, Yoshiaki Tanaka, Mehmet H. Kural, Maxime Parent, Young-Jin Kang, Kayley Chapeton, Benjamin Patterson, Yifan Yuan, Chang-Shun He, Micha Sam B. Raredon, Jake Dengelegi, Kun-Yong Kim, Pingnan Sun, Mei Zhong, Sangho Lee, Prabir Patra, Fahmeed Hyder, Laura E. Niklason, Sang-Hun Lee, Young-Sup Yoon, In-Hyun Park. 2019. 'Engineering of Human Brain Organoids with a Functional Vascular-like System'. *Nature Methods* 16 (11): 1169–75. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0586-5>.
- Carruthers, Peter. 2018. 'The Problems of Animal Consciousness'. *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association* 92: 179–205.
- Chalmers, David. 2010. *The Character of Consciousness*. Oxford University Press.
(デイヴィッド・チャーマーズ 2016.『意識の諸相（上下）』（太田紘史、源河亨、佐金武、佐藤亮司、前田高弘、山口 尚訳）春秋社）
- Cheshire, William P. 2014. 'Miniature Human Brains: An Ethical Analysis'. *Ethics and Medicine* 30 (1): 7–12.
- Cugola, Fernanda R., Isabella R. Fernandes, Fabiele B. Russo, Beatriz C. Freitas, João L. M. Dias, Katia P. Guimarães, Cecília Benazzato, Nathalia Almeida, Graciela C. Pignatari, Sarah Romero, Carolina M. Polonio, Isabela Cunha, Carla L. Freitas, Wesley N. Brandão, Cristiano Rossato, David G. Andrade, Daniele

- de P. Faria, Alexandre T. Garcez, Carlos A. Buchpigel, Carla T. Braconi, Erica Mendes, Amadou A. Sall, Paolo M. de A. Zanotto, Jean Pierre S. Peron, Alysson R. Muotri, Patricia C. B. Beltrão-Braga. 2016. 'The Brazilian Zika Virus Strain Causes Birth Defects in Experimental Models'. *Nature* 534 (7606): 267–71. <https://doi.org/10.1038/nature18296>.
- Daviaud, Nicolas, Roland H. Friedel, and Hongyan Zou. 2018. 'Vascularization and Engraftment of Transplanted Human Cerebral Organoids in Mouse Cortex'. *ENeuro* 5 (6). <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0219-18.2018>.
- Dehaene, Stanislas. 2014. *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*. Viking. (スタニスラス・ドゥアンヌ 2015.『意識と脳』(高橋洋訳) 紀伊国屋書店)
- Dretske, Fred. 1995. *Naturalizing the Mind*. MIT Press. (フレッド・ドレッツキ 2007.『心を自然化する』(鈴木貴之訳) 勁草書房)
- Eiraku, Mototsugu, Kiichi Watanabe, Mami Matsuo-Takasaki, Masako Kawada, Shigenobu Yonemura, Michiru Matsumura, Takafumi Wataya, Ayaka Nishiyama, Keiko Muguruma, and Yoshiki Sasai. 2008. 'Self-Organized Formation of Polarized Cortical Tissues from ESCs and Its Active Manipulation by Extrinsic Signals'. *Cell Stem Cell* 3 (5): 519–32. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2008.09.002>.
- Farahany, Nita A., Henry T. Greely, Steven Hyman, Christof Koch, Christine Grady, Sergiu P. Paşca, Nenad Sestan, Paola Arlotta, James L. Bernat, Jonathan Ting, Jeantine E. Lunshof, Eswar P. R. Iyer, Insoo Hyun, Beatrice H. Capestany, George M. Church, Hao Huang, Hongjun Song. 2018. 'The Ethics of Experimenting with Human Brain Tissue'. *Nature* 556 (7702): 429–32. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-04813-x>.
- Frith, Chris D. 2019. 'The Neural Basis of Consciousness'. *Psychological Medicine*, 1–13. <https://doi.org/10.1017/S0033291719002204>.
- Goff, Philip. 2017. 'The Case for Panpsychism'. *Philosophy Now* 121: 6–8.
- Goff, Philip, and Sean Allen-Hermanson. 2017. 'Panpsychism'. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Winter 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/>

- win2017/entries/panpsychism/.
- Hostiuc, Sorin, Mugurel Constantin Rusu, Ionuț Negoï, Paula Perlea, Bogdan Dorobanțu, and Eduard Drima. 2019. 'The Moral Status of Cerebral Organoids'. *Regenerative Therapy* 10 (June): 118–22. <https://doi.org/10.1016/j.reth.2019.02.003>.
- Hyun, Insoo, J. C. Scharf-Deering, and Jeantine E. Lunshof. 2020. 'Ethical Issues Related to Brain Organoid Research'. *Brain Research* 1732 (April): 146653. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2020.146653>.
- Kadoshima, Taisuke, Hideya Sakaguchi, Tokushige Nakano, Mika Soen, Satoshi Ando, Mototsugu Eiraku, and Yoshiki Sasai. 2013. 'Self-Organization of Axial Polarity, inside-out Layer Pattern, and Species-Specific Progenitor Dynamics in Human ES Cell-Derived Neocortex'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (50): 20284–89. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315710110>.
- Kahane, Guy, and Julian Savulescu. 2009. 'Brain Damage and the Moral Significance of Consciousness'. *The Journal of Medicine and Philosophy* 34 (1): 6–26. <https://doi.org/10.1093/jmp/jhn038>.
- Kitahara, Takahiro, Hideya Sakaguchi, Asuka Morizane, Tetsuhiro Kikuchi, Susumu Miyamoto, and Jun Takahashi. 2020. 'Axonal Extensions along Corticospinal Tracts from Transplanted Human Cerebral Organoids'. *Stem Cell Reports* 15 (2): 467–81. <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2020.06.016>.
- Koch, Christof, Marcello Massimini, Melanie Boly, and Giulio Tononi. 2016. 'Neural Correlates of Consciousness: Progress and Problems'. *Nature Reviews Neuroscience* 17 (5): 307–21. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.22>.
- Koplin, Julian J., and Julian Savulescu. 2019. 'Moral Limits of Brain Organoid Research'. *The Journal of Law, Medicine & Ethics* 47 (4): 760–67. <https://doi.org/10.1177/1073110519897789>.
- Kriegel, Uriah. 2015. *The Varieties of Consciousness*. Oxford University Press.
- Lancaster, Madeline A., Magdalena Renner, Carol-Anne Martin, Daniel Wenzel, Louise S. Bicknell, Matthew E. Hurles, Tessa Homfray, Josef M. Penninger, Andrew P. Jackson, and Juergen A. Knoblich. 2013. 'Cerebral Organoids Model Human Brain Development and Microcephaly'. *Nature* 501 (7467): 373–

79. <https://doi.org/10.1038/nature12517>.
- Lavazza, Andrea, and Marcello Massimini. 2018. 'Cerebral Organoids: Ethical Issues and Consciousness Assessment'. *Journal of Medical Ethics* 44 (9): 606–10. <https://doi.org/10.1136/medethics-2017-104555>.
- Lee, Andrew Y. 2018. 'Is Consciousness Intrinsically Valuable?' *Philosophical Studies* 175 (1): 1–17.
- Mansour, Abed AlFatah, J. Tiago Gonçalves, Cooper W. Bloyd, Hao Li, Sarah Fernandes, Daphne Quang, Stephen Johnston, Sarah L. Parylak, Xin Jin, and Fred H. Gage. 2018. 'An in Vivo Model of Functional and Vascularized Human Brain Organoids'. *Nature Biotechnology* 36 (5): 432–41. <https://doi.org/10.1038/nbt.4127>.
- Matthen, Mohan. 2016. 'Is Perceptual Experience Normally Multimodal?' In *Current Controversies in Philosophy of Perception*, edited by Bence Nanay, 121–36. Routledge.
- Michel, Matthias. 2019. 'Consciousness Science Underdetermined'. *Ergo, an Open Access Journal of Philosophy* 6. <http://dx.doi.org/10.3988/ergo.12405314.0006.028>.
- Montague, Michelle. 2016. *The Given: Experience and Its Content*. Oxford University Press.
- Munsie, Megan, Insoo Hyun, and Jeremy Sugarman. 2017. 'Ethical Issues in Human Organoid and Gastruloid Research'. *Development (Cambridge, England)* 144 (6): 942–45. <https://doi.org/10.1242/dev.140111>.
- Newen, Albert, and Petra Vetter. 2017. 'Why Cognitive Penetration of Our Perceptual Experience Is Still the Most Plausible Account'. *Consciousness and Cognition*, 47 (January): 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.09.005>.
- Niikawa, Takuya. 2018. 'Moral Status and Consciousness'. *Analele Universității Din București – Seria Filosofie* 67 (1): 235–57.
- Niikawa, Takuya, Joshua Shepherd, Yoshiyuki Hayashi, Tsutomu Sawai. (In preparation). 'Human Brain Organoids and Consciousness'.
- Putnam, Hilary. 1981. *Reason, Truth and History*. Cambridge University Press. (ヒラリー・パトナム 1994.『理性・真理・歴史』(野本和幸、中川大、三上勝生、金子洋之訳) 法政大学出版会)

- Quadrato, Giorgia, Tuan Nguyen, Evan Z. Macosko, John L. Sherwood, Sung Min Yang, Daniel Berger, Natalie Maria, Jorg Scholvin, Melissa Goldman, Justin P. Kinney, Edward S. Boyden, Jeff W. Lichtman, Ziv M. Williams, Steven A. McCarroll, Paola Arlotta. 2017. 'Cell Diversity and Network Dynamics in Photosensitive Human Brain Organoids'. *Nature* 545 (7652): 48–53. <https://doi.org/10.1038/nature22047>.
- Rosenthal, David, and Josh Weisberg. 2008. 'Higher-Order Theories of Consciousness'. *Scholarpedia* 3 (5): 4407. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.4407>.
- Sakaguchi, Hideya, Yuki Ozaki, Tomoka Ashida, Takayoshi Matsubara, Naotaka Oishi, Shunsuke Kihara, and Jun Takahashi. 2019. 'Self-Organized Synchronous Calcium Transients in a Cultured Human Neural Network Derived from Cerebral Organoids'. *Stem Cell Reports* 13 (3): 458–73. <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2019.05.029>.
- Sawai, Tsutomu, Hideya Sakaguchi, Elizabeth Thomas, Jun Takahashi, and Misao Fujita. 2019. 'The Ethics of Cerebral Organoid Research: Being Conscious of Consciousness'. *Stem Cell Reports* 13 (3): 440–47. <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2019.08.003>.
- Sebo, Jeff. 2018. 'The Moral Problem of Other Minds'. *The Harvard Review of Philosophy* 25: 51–70. <https://doi.org/10.5840/harvardreview20185913>.
- Shepherd, Joshua. forthcoming. 'The Moral Status of Conscious Subjects'. In *Rethinking Moral Status*, edited by Steve Clarke. Oxford University Press.
- . 2018a. *Consciousness and Moral Status*. Routledge. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK540410/>.
- . 2018b. 'Ethical (and Epistemological) Issues Regarding Consciousness in Cerebral Organoids'. *Journal of Medical Ethics* 44 (9): 611–12. <https://doi.org/10.1136/medethics-2018-104778>.
- Shulman, Robert G., Fahmeed Hyder, and Douglas L. Rothman. 2009. 'Baseline Brain Energy Supports the State of Consciousness'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (27): 11096–101. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903941106>.

- Stender, Johan, Kristian Nygaard Mortensen, Aurore Thibaut, Sune Darkner, Steven Laureys, Albert Gjedde, and Ron Kupers. 2016. 'The Minimal Energetic Requirement of Sustained Awareness after Brain Injury'. *Current Biology* 26 (11): 1494–99. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.04.024>.
- Stevens, S. S., ed. 2017. *Psychophysics: Introduction to Its Perceptual, Neural and Social Prospects*. Routledge.
- Strawson, Galen. 2009. 'Realistic Monism: Why Physicalism Entails Panpsychism'. *Journal of Consciousness Studies* 13 (10-11): 3-31. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199267422.003.0003>. (ガレン・ストローソン「実在論的な一元論——なぜ物理主義は汎心論を含意するのか」(大厩諒訳)『現代思想』2020年6月号所収)
- Tononi, Giulio. 2008. 'Consciousness as Integrated Information: A Provisional Manifesto'. *The Biological Bulletin* 215 (3): 216–42. <https://doi.org/10.2307/25470707>.
- Tononi, Giulio, Melanie Boly, Marcello Massimini, and Christof Koch. 2016. 'Integrated Information Theory: From Consciousness to Its Physical Substrate'. *Nature Reviews Neuroscience* 17 (7): 450–61. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.44>.
- Trujillo, Cleber A., Richard Gao, Priscilla D. Negraes, Jing Gu, Justin Buchanan, Sebastian Preissl, Allen Wang, Wei Wu, Gabriel G. Haddad, Isaac A. Chaim, Alain Domissy, Matthieu Vandenberghe, Anna Devor, Gene W. Yeo, Bradley Voytek, Alysson R. Muotri. 2019. 'Complex Oscillatory Waves Emerging from Cortical Organoids Model Early Human Brain Network Development'. *Cell Stem Cell* 25 (4): 558-569.e7. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2019.08.002>.
- Tye, Michael. 2000. *Consciousness, Color, and Content*. MIT Press.
- Vetter, Petra, and Albert Newen. 2014. 'Varieties of Cognitive Penetration in Visual Perception'. *Consciousness and Cognition* 27 (July): 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.04.007>.
- Ward, Dave. 2012. 'Enjoying the Spread: Conscious Externalism Reconsidered'. *Mind* 121 (483): 731–51. <https://doi.org/10.1093/mind/fzs095>.
- Watanabe, Momoko, Jessie E. Buth, Neda Vishlaghi, Luis de la Torre-Ubieta,

Jiannis Taxidis, Baljit S. Khakh, Giovanni Coppola, G. Pearson CA, Yamauchi K, Gong D, Dai X, Damoiseaux R, Aliyari R, Liebscher S, Schenke-Layland K, Caneda C, Huang EJ, Zhang Y, Cheng G, Geschwind DH, Golshani P, Sun R, Novitch BG. 2017. 'Self-Organized Cerebral Organoids with Human-Specific Features Predict Effective Drugs to Combat Zika Virus Infection'. *Cell Reports* 21 (2): 517–32. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2017.09.047>.

大崎達哉, 金城結海夏, 池内与志穂. 2020. 「脳オルガノイド研究の現状とこれから」. 『生産研究』 72 (3): 251–55. <https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.72.251>.

永樂元次 2017. 「試験管内での脳組織分化」『生体の科学』 68(1).

坂口秀哉 2018, 「細胞の自己組織化能によって形成される大脳皮質オルガノイド」『医学のあゆみ』 264(8).

坂口秀哉, 永樂元次 2016, 「大脳皮質オルガノイド—発生学的観点からの解説とその将来的展望」『実験医学増刊』 34 (17).

信原幸弘編 2017 『心の哲学：新時代の心の科学をめぐる哲学の問い』 新曜社