

脳神経倫理学的議論は、いつ行うべきか

技術の開発段階を考慮に入れた技術アプローチによる検討

水島 希

1 序

脳神経科学をめぐる倫理課題をいつ議論すべきかについて考えたい。現在、欧米をはじめ日本においても、脳神経倫理学（ニューロ・エシックス）という領域において活発な議論が進められている（Miss 2006; 佐倉・福士二〇〇七、信原・原二〇〇八）。また社会においても脳神経科学に対する期待とともに、倫理的、社会的懸念が広がっている（河野二〇〇八）。こうした倫理的議論や懸念に対してよく持ち出される批判に「現段階においては技術的に不可能なのだから懸念は杞憂である」「技術はまだそこまで発達していないため倫理的議論を行うのは時期尚早である」といったものがある（たとえば後述の Foster 2006）。確かに脳神経科学は現在、急激に発展しているところであり、技術的にも不確定な要素は多い。また、疑似科学的な言説の蔓延しやすい領域でもあり、倫理的議論を行う際には慎重に行う必要がある（信原二〇〇八、九）。

一方で、近年では技術開発に対する「上流工程での（市民の）参加」（upstream public engagement、あるいは upstream engagement とも）の重要性が、政策的にも、また社会の側からも認知されてきている（江間

二〇〇七、藤垣二〇〇八、二四一〜四二)。「上流での関与」は主に欧米で生じた遺伝子組換え作物論争からの教訓として提起されてきたもので、期待と懸念が同時にかけられるような新たな科学技術において「研究開発の早期の段階から、多様な利害関係者や市民が、この技術の評価に参画する」ことを指す(三上ほか二〇〇九、三四〜三五)。現在、欧米を中心に実験的な取り組みが進められており、日本でも試行的取り組みがはじめられている(山口・日比野二〇〇九)。この傾向は特に、ナノテクノロジーなど萌芽的段階にある科学技術に顕著であるが、脳神経科学においても同様に「上流からの関与」を重視する傾向がみられる。たとえば脳神経科学のうち、萌芽的技術に位置づけられるブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)に關し、二〇〇六年、独立行政法人科学技術振興機構(JST)の一部門である研究開発戦略センター(CRD S)が実施した専門家ワークショップでは、「将来BMIが使える技術として社会に提供される場合はもちろん、研究開発の推進段階においても、倫理問題も含めたBMI技術を社会が受け入れるためのコンセンサスの形成はきわめて重要」である、と結論づけられている(独立行政法人科学技術振興機構・研究開発戦略センター二〇〇七、一一)。

それでは、「いつ」、脳神経倫理的な検討をすべきなのだろうか。技術開発の初期段階(上流)において倫理問題を議論することは有効なのだろうか、それとも多くの議論が後に無駄だったと判明するような類いのものなのだろうか。もちろん技術が実用化する前に、将来起こりうる問題を事前に予測し、予防的な議論をしておくことは重要であり(信原二〇〇八、七〜九)、また、社会にすでに懸念が広がっている場合には、懸念を放置するのではなく、そうした声に応える努力をすることは重要であろう。しかし「脳神経科学の害悪が現実化してしまっただけでは、手遅れになる恐れがある」(同、一〇)とすると、その予防的議論をどのように実際の脳神経科学技術に反映していくかということは、別途考えなければならない問題として残る。つまり、「いつ」を問題にすることは、「どのように」を同時に考えることに他ならない。

本稿では、科学技術の発達段階という考え方を脳神経倫理学的議論に導入することにより、脳神経科学と社会との関係をより具体的に考える手だてとしたい。科学技術には、「萌芽期」「発展期」「製品開発・応用期」「市場への流通期」といった段階がある（藤垣二〇〇八、二四一）。本稿では特に技術が開発されている最中、つまり上流と呼ばれる部分（「萌芽期」や「発展期」）を対象に検討を行い、技術に寄り添った分析や議論を行うことにより、脳神経倫理学的な議論を実際の脳神経科学や脳神経科学の社会への利用に反映してゆく道筋のひとつを提示することを最終的な目的とする。

2 脳神経倫理学の二つのアプローチ

脳神経倫理学は、脳神経科学による知見や脳神経科学技術そのものを題材に、その倫理的・哲学的含意を検討する領域である。たとえば、脳神経科学による発見が「自由意志の本性についてのわれわれの見方と、個人の責任と罪についての問題に大きな影響を与える」（Libet 2004, 201; 邦訳、二三八）といった議論を行う場合には、頭皮脳波図（EEG）や脳磁波（MEG）、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を使用した心理実験や経頭蓋磁気刺激（TMS）を用いた脳部位刺激実験など、さまざまな技術、手法を用いた実験結果が検討される（近藤二〇〇八）。こうした場合は複合的、学際的な科学技術および実験結果を基盤に構築される脳神経科学的知見を対象として倫理的問題が議論される。本稿ではこれを「知見アプローチ」と呼ぶことにする。たとえば別の例として脳の性差をめぐる脳神経科学的知見をめぐる脳神経倫理学的問題といった枠組みは、この知見アプローチにあたる。このアプローチは、特に脳の高次機能のメカニズム解明といった脳神経科学的知見に関する議論が豊富であり、広義の脳神経倫理学に含まれる「倫理の脳神経科学」（the neuroscience of ethics）は知見アプローチによる議論が中心であるといえる。

| アプローチの分類 | | 具体例 | | |
|-----------------|-------------|-----------------------------------|--|--|
| 技術アプローチ | 個々の技術 | fMRI、NIRS、EEG | リタリン | ECoGを用いたBMI、非侵襲型BMI |
| | 総称としての技術(名) | 脳画像技術 | スマートドラッグ、認知機能向上が期待される向精神薬 | ブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)、脳内インプラントデバイス |
| 知見アプローチによる関連テーマ | | マインドリーディング、医療技術の裁判・教育領域への応用(二次使用) | 知的増強、教育への脳神経科学の活用、幸福概念の再検討、貧富の差の拡大の可能性 | 他者による行動/情動の操作、マインドコントロール、能力増強、人間性の改変、自己の境界のゆらぎ、プライバシーの侵害 |

表1 アプローチ別にみた議論対象の具体例

一方で、技術そのものに焦点を当てたアプローチも試みられている(以下、「技術アプローチ」と呼ぶ)。たとえば、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)がその一例として挙げられる。技術アプローチによる議論では、fMRIという技術がはらむデータ解析上の諸問題から、裁判所や教育分野への応用といった社会的利用をめぐる倫理問題まで、技術に密着した議論が展開される(たとえば小口・筒井二〇〇九)。「技術アプローチ」は個別の技術を扱うため議論対象となる範囲は狭くなるが、学際的かつ複合的にならざるを得ない「知見アプローチ」に比べ、より現実的な問題を具体的に議論できるといふ利点がある。中枢神経刺激薬メチルフェニデート(リタリンなど)も、薬効から社会的利用までを検討し、この薬品がもたらす倫理的問題が議論される(たとえば石原二〇〇八)という点で同様のアプローチがよく取られている脳神経科学技術のひとつといえよう。技術を中心に据えたアプローチでは、似たような機能を果たす複数の技術をまとめて議論する場合もある。たとえば「fMRI」を含む「脳画像技術」といったように、具体的な技術名をいくつか含んだ包括的な技術として議論の俎上に上る場合には、一連の技術に共通の課題が議論され抽象度も増す(表1)。

3 技術の開発段階を考慮に入れた技術アプローチ

脳神経倫理学のアプローチの仕方をひとまずこのように分類した上で、技術アプローチにより議論されている技術の特徴を、技術の開発段階という視点から見てみよう。現在、技術アプローチでよくとりあげられている技術、たとえば前節で示したfMRIやリタリンは、すでに臨床応用されており、日本においても実際の治療や診断に用いられている。脳神経倫理学において特に議論となるのは、こうした既存の技術が、医療目的以外（たとえば能力増強や教育、裁判といった領域）に用いられる場合である。「脳科学技術が医学・医療とは別の目的で利用されること」を桑原・山本（二〇〇七）は（技術の）「二重使用」と呼んでいるが、この場合、こうした技術はすでに医療目的では実用化されており、冒頭で述べた「技術はそこまで発達していない」という批判はなりたないことになる。一方で、こうした段階においては、当該技術はすでに多くの技術的スペックが決定された後であり、すでに研究開発や商業的生産工程に多大な投資を受けていることから、技術そのものの改変は非常に困難であると考えられる。つまり、技術が確立した後の倫理的議論においては、技術そのものの改変は想定されにくく、当該技術利用の是非、あるいは規制の是非といった方向に論点が集中することとなる。

それでは二重使用以前の段階、つまり医療目的という一次使用をめざして開発されつつある脳神経科学技術に関してはどうか。ここで、技術アプローチの定式にのっとり、具体事例を取り上げて考える。以下では、ブレイン・マシン・インターフェイスの開発段階を基に議論を進める。

3.1 ブレイン・マシン・インターフェイスの歴史と現状

ブレイン・マシン・インターフェイス (Brain-Machine Interface, Brain-computer interfaces: BCI) と呼ばれること

もある。以下、B M Iと略す）は、現在もっとも急発展している脳神経科学技術の一つで、「脳と外界との情報の直接入出力を可能とする技術」と定義される（独立行政法人科学技術振興機構・研究開発戦略センター二〇〇七、i）。一九五〇年代には、ヒトや動物の脳に電極を入れ、ニューロンの活動を記録したり刺激を行ったりといった研究が行われていたが、B M Iの背景となる脳と外部機器とのコミュニケーション経路を確立するための研究は、一九七〇年代に行われた大脳皮質運動野のニューロン発火パターンと特定の筋肉反応のアルゴリズム推定研究に遡ることができる（Donoghue 2002; Berger et al. 2008）。その後、学際領域で取り組まれてきたB M I研究は、一九九〇年にはじめて皮質ニューロンの信号によるロボットアームの制御が実験により示されるとともに急速に展開してきた（Chapin et al. 1999）。現在では、欧米各国で脳に直接電極を差し込む侵襲型と、手術の必要な非侵襲型のデバイス両方の開発が進められ、治療や補綴医学領域への応用が研究されており、いずれも臨床試験が開始されつつある（Lbedev and Nicolais 2006）。たとえば二〇〇六年七月には、サイバーキネティクス社製のB M I装置「ブレインゲート」の世界初の臨床実験がネイチャー誌で報告され、話題を呼んだ（Hochberg et al. 2006）。この実験は、脊椎損傷による四肢麻痺患者の被験者の脳とコンピュータを直接接続し、身体を動かさずにカーソルを操作し、ゲームや会話を行うことができることを実証したものである。つい最近では日本でも、非侵襲型のB M Iによるロボット制御や、非侵襲型B M Iをパソコンにつないで車椅子の操作を行うといった技術開発の報告がなされている。このように、B M Iは世界的にみても日進月歩の展開をみせており、人々の生活、特に補綴医療の領域において大きな変化をもたらすことが想定されている技術だといえる。

このB M Iに関しては一九六〇年代後半という開発の比較的早い段階から倫理的な議論が発生している。議論となったのは、イェール大生理学教授であるホセ・M・デルガドが行った脳内インプラントデバイスによる実験である（Delgado 1964; Horgan 2005）。デルガドはネコやサル、ウシ、そしてヒトの脳に電極を埋

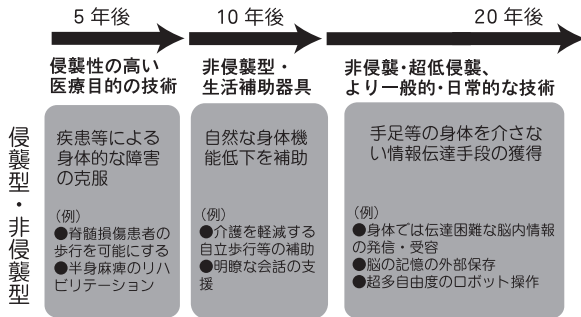


図1 BMI研究のロードマップ(2006.11段階)

2006年段階で、BMI研究者を中心とする専門家ワークショップにてまとめられた将来予想としてのBMI研究のロードマップ。2006年11月開催「科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ『ブレイン・マシーン・インターフェース(BMI)』分野」、独立行政法人「科学技術振興機構 研究開発戦略センター」(JST/CRDS)より作図。

め込み、無線を用いた電気刺激により動物や人間の行動制御を行うことができることを示した。この成果が広く知られるようになると、デルガドの実験に対する賛否両論が巻き起こったのである。結果的には、社会的にも、また同時代の脳神経科学者からも脳神経科学を利用した「行動の操作」や「マインドコントロール」に対する強い懸念や批判が生じ、結局デルガドは米国を去ることとなった(Horgan 2005)。近年の脳神経倫理的議論においても、BMIは「操作」「マインドコントロール」について議論されるが、他にもB

MIを用いた「能力増強(エンハンスメント)」「人間性の改変」「プライバシーの侵害」「企業や政府による市民の監視、コントロール」(McCee and McGuire 2001)などが議論されている。一方で、BMIを含めた脳インプラント技術の事実的基盤は曖昧であり、「現在のところ単にSFにすぎないシナリオに対して、鋭い倫理的分析をおこなうことは難しい」(Foster 2006; 邦訳、三三四)という批判もある。

総体としてみれば、BMIという技術は実用化までにはまだ時間はあるものの、日本においても海外でも侵襲型/非侵襲型ともに多くの研究室で実験が進められており、臨床実験の成功例は着々と数を増している。本稿の冒頭にあげた「科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ」では、BMIの将来予測が行われている(開発ロードマップ)が、それによると短期的には医療に限定されたアウトカムが、長期的には、より社会的・経済的波及効果の大きなイノベーションが創出されると予測されている(図1)。

3・2 個別研究を基盤にしたB M I技術の開発段階

総体としての技術を論じる際には、複数の技術開発段階が含まれるため議論の抽象度はあがり、不確定な部分も大きくなる。そこで、個々の技術に密着した技術段階の分析を行いたい。本稿では試みに、日本においてB M I研究を実際に行っている現場を取り上げ、技術の開発段階に応じて区分する。ここでの対象は、二〇〇八年度より文部科学省が採択し実施している脳科学研究戦略推進プログラム(S R P B S)「ブレイン・マシン・インターフェースの開発」である。このプロジェクトのあるグループには、三つの大学に所属する五つの研究室と一つの民間研究所が連携し、侵襲型皮質脳波(E C o G)によるB M Iの開発と臨床実験や非侵襲型B M Iを活用したりハビリテーション^③手技・機器の開発と臨床実験などの課題に取り組んでいる。この研究グループには、工学系、情報学(理工学)系、医学系(神経外科)といった幅広い領域の研究者が含まれており、素材開発から情報処理手法の開発、臨床実験までを相互に連携しつつ共同研究として実施している(図2)。

B M I技術開発の諸段階をそれぞれみていこう。工学系の研究室、実験室において素材開発が行われ(図中A)、また別の工学系研究室では電極、義手、義足といった要素技術の開発が進められている(図中B)。脳内から取り出した情報のデコード技術や計算処理手法といった情報処理の領域は、主に理学部や情報工学などの研究室で行われている(図中C)。これらはこの研究グループで完成させようとしているB M I技術の上流に近い部分にあたる。一方で、こうした電極や義手等の試作品ができあがると、臨床実験を行うのは医学部や病院付属の研究センターであり、医学系研究室を中心にした連携研究として実施されることになる(図中DおよびE)。

3・3 BMI技術開発過程における脳神経倫理的課題

このように、BMI研究においては「医工（理）連携が進められている。主に技術の上流部分は工学、理学系、下流部分は医学系が担っているが、それでは倫理的課題はいつどこで生じているだろうか。この研究グループにおいて、BMI技術が社会に流通する形が具体化してきた段階（つまり上流部）で倫理的議論をするとすると、医学系の研究領域で行われている研究（図中DおよびE）をターゲットにすればよい、ということになる。しかし、私たちが試行的に行った研究者に対する聞き取り調査によると、工学系、理学系、医学系それぞれの研究を担っている研究者が倫理的懸念を抱いていることがわかった (Isobe et al. 2008)。つまり臨床実験といった下流に近い研究だけでなく研究開発の上流部分においても倫理的課題は発生しており、なかには社会的な影響の大きさが懸念される問題も含まれていたのである (Mizushima et al. 2009)。

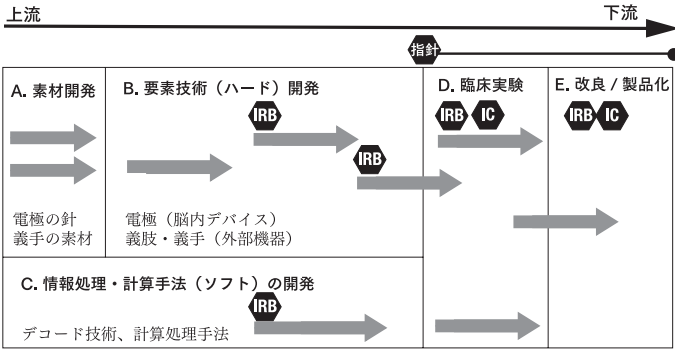


図2 BMI技術開発の諸段階

BMIの構成要素を踏まえたBMI技術開発の諸段階の模式図。図中、矢印は個々の研究室や実験所で進められている個別研究を模式的に示している。矢印の起点は研究を個別でみたときの初期段階（上流）、矢印の矢先の部分は研究終了段階（下流）を表す。黒塗り六角形は、その時期に設けられている既存の倫理機構である。「IRB」は施設内倫理委員会（の審査）を、「IC」はインフォームドコンセント（という形式）、「指針」は政府や学会等による倫理指針（ガイドライン）をそれぞれ示している。AおよびBは工学系研究室で、Cは理学、情報工学系研究室で、DおよびEは医学系研究室を中心に行われている。図は水島・磯部（2009）で用いたものを改訂した。

たとえば電極および義手、義足という工学系研究（図中のB）において、「BMIが無線化されることにより、混線等の問題が生じないだろうか」という課題が抽出された (Ibid.)。携帯電話

や無線ヘッドフォン、モバイルパソコンなど無線化されている機器は身の回りに多く存在している。もしも無線化されたB M Iが、他の無線機器と混線を起こしたならば、義手や義足使用者にとつての安全性に深刻な問題が生じる。それだけでなく、プライバシーの侵害や、情報の操作、監視といった脳神経倫理学的問題が一気に現実味を帯びてくるのである。工学系研究室の段階では、無線化はこうした問題をはらんでいると認識されているが、一方で、医学系研究室においては無線化は必須であると認識されている。B M Iの無線化、つまり埋め込み型B M Iの開発は、被験者の感染（有線の場合は頭部に開口部を設置する必要があるが、その部分からの細菌感染等は致命的な事態を引き起こしうる）や事故を防ぎ、日常的使用に耐えうる取り扱いの容易さを提供するためには不可欠な要素なのである。

それでは無線化されたB M Iの混線を防ぐためには、技術をどのように変える必要があるだろうか。まずは無線情報の暗号化が必要である。他の機器との混線を防ぐ非常に嚴重な暗号化の技術開発が必要となる。また、暗号化された情報の処理に十分対処できるようにデコード機器の処理能力をあげる必要がある。日常的な使用に向けて周辺機器の小型化が進められているが、さらに大きなデータ処理を可能とする小型機器の開発といったことが必須となってくるのである。もしこうした方向で技術開発が進められたならば、技術開発の上流部での倫理的懸念が、その後の技術開発の方向性を変えるということになる。こうした視点からの取り組みは、まだ具体事例が少ないのが現状だが、少なくとも個々の具体的技術開発の現場を分析することにより、技術開発の上流部分ですでに懸念されている脳神経倫理学的課題を、その段階で技術へと反映させる可能性が示されているのである。

4 技術の開発段階と脳神経倫理学的議論のタイミング

ここまでで、開発初期段階にあると考えられる脳神経科学技術であっても、その開発の各段階を個別にみていく技術アプローチにより、具体的な脳神経倫理学的課題を抽出できることが示された。こうした初期段階での問題の捕捉は、技術確立後の検討に比べ、技術そのものへの反映が比較的容易であることが予測される。今後、ますます発展してゆくであろう脳神経科学に、脳神経倫理学的の豊かな議論を反映させ組み込んでゆくためには、技術の開発段階、特に開発の上流に近い領域の検討が重要であると考えられる。現在は、すでに実用化段階に入っている技術に関する技術アプローチが主流であるが、今後はこうした技術アプローチによる分析をさまざまな脳神経科学技術に対して行うことが必要である。

もう一点、技術開発の諸段階を精査することにより明らかになる事象がある。医療目的で開発されている発展段階の技術が、「下流」を経由せずに社会にでる場合がある、という点である。B M I 総体としての技術を論じる際には、上流に工学的・理工学的研究が位置づけられ、下流に臨床実験をふくむ医療領域での研究が位置づけられると説明した(図2、一番上部の矢印)。一方で、個々の研究に注目すれば、それぞれの研究室で行われている研究には、それぞれに上流から下流まで、つまり研究の開始段階と終了段階があるのである(図2のうち、個別研究を示す小さな矢印)。個別研究の下流部分では、いったんその領域における研究は完成する。そのため、たとえば上流部分に含まれる情報学系研究室で実施されている「上流」の研究(たとえば非侵襲型B M I のデコード技術)であっても、いったん完成すれば臨床実験を経る前に社会に回る可能性があるのである。たとえば、ヘッドセットを頭に装着すると脳磁波(E E G)を読み取りパソコンに無線接続することによって考えるだけでゲーム等のパソコン操作ができる、という触れ込みの商品は、すでに市場に出回っている^①。もちろん、医療目的での実用にあたっては、薬事法や臨床研究の指針など国に

よる規制があるため、安全性の確認や臨床実験を経なければ実用には至らない。しかし、エンターテインメント領域やコスメティクス（美容）領域では、そうした規制がないため、安全性や社会的影響などが十分検討される前に社会に流通することがよくあるのである。医療目的で開発されている途中の技術が、医療目的としては開発の上流段階にあるにも関わらず、商品化され一般市民が日常的に触れるところに流通する。これは脳神経科学に限ったことではない。萌芽的と言われるナノテクノロジーも再生医療技術も、現在の日本ではすでにナノ化粧品、美容手術といった領域で多用されるようになってきている（水島二〇〇九）。これは広義での技術の「二重使用」と呼べる現象かもしれないが、いずれにせよ技術の発達段階を考慮に入れた技術アプローチを行う際には、医療目的での開発上流部分から派生して社会に流出する技術の予測が可能な場合もある。

冒頭で述べたように、開発上流部分への市民関与の重要性は政策においても、社会においても認知されてきている。開発段階における参加型プログラムをいかに構築してゆくかは、現在まさに議論されている最中である（たとえば松本二〇〇九、三一―一五）。開発初期段階に焦点をあてた倫理課題の吟味は、これまで完成した技術に対して行われていた議論とは異なる倫理課題を捕捉する可能性があり、こうした参加型プログラムにおいても大きな役割を果たすことが予想される。

最後に、本稿では、技術アプローチを中心に議論してきたため知見アプローチと技術アプローチの関係についてはほとんど触れなかった。しかしながら、表1で示した通り、技術アプローチによる脳神経倫理的議論には知見アプローチによるテーマ別議論が大きな関わりをもつ。個々の技術アプローチから積み上げられた個別具体的な脳神経科学的議論と、知見アプローチによる哲学的、倫理的議論とが相補的に影響し合うことにより、脳神経科学と社会をめぐる脳神経倫理的議論はさらに深まってゆくのではないだろうか。

本稿を執筆するにあたり横井浩史先生、佐倉統先生、磯部太一さんの議論が非常に参考になった。ここに感謝の意を表したい。また草稿内容にコメントをくださった松本三和夫先生には、科学社会学の視点から有用な指摘をいただいたことを感謝する。本研究の一部は、文部科学省脳科学研究戦略推進プログラムにより実施された「ブレイン・マシン・インターフェースの開発」の成果である。

註

- (1) たとえば文部科学省平成一八年度「重要課題解決型研究等の推進」プログラム、科学技術政策に必要な調査研究「ナノテクノロジー影響の多領域専門家パネル」(研究代表・原田幸明) など。
- (2) 技術の発達段階とそれに関与するさまざまな要素については、技術史や科学技術社会論といった領域で古くから事例検討されている(たとえば Hughes 1983 など)が、ここでは暫定的に技術発達の四段階を採用し、開発初期に近いものを「上流」、市場への流通期を「下流」と位置づけている。
- (3) 「文部科学省脳科学研究戦略推進プログラム」(SRPBS ホームページ「課題 A」の説明より抜粋 (<http://brainprogram.next.go.jp/missionA/>)) 二〇〇九年二月二十八日取得。本稿著者は、このグループの脳神経倫理に関する研究グループに属している。
- (4) たとえば Emotiv Systems という米国カリフォルニアの会社は、「Emotiv EPOC」というヘッドセット型の「BCI」をインターネット上で販売している。宣伝によれば「EPOC」には一四個のセンサーがあり、ワイヤレス接続によりコンピュータゲーム等を行うことができる。一般消費者向けには一三二九ドルという価格で販売されている。(<http://www.emotiv.com/>) 二〇〇九年二月二十八日取得)

参考文献

- Berger, T. W., J. K. Chapin, G. A. Gehring, D. J. McFarland, J. C. Principe, W. V. Soussou, D. M. Taylor, and P. A. Tesco. 2008. *Brain-computer interfaces: An international assessment of research and development trends*. N.p.: Springer Science.
- Chapin, J. K., K. A. Moxon, R. S. Markowitz, and M. A. Nicolais. 1999. Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex. *Nat Neurosci* 2 (7): 664–70.
- Delgado, J. M. 1964. Free behavior and brain stimulation. *Int Rev Neurobiol* 6: 349–449.
- Donoghue, J. P. 2002. Connecting cortex to machines: Recent advances in brain interfaces. *Nat Neurosci* 5 Suppl: 1085–88.
- 江間有沙. 二〇〇七年「Nanotechnologies and upstream public engagement」(日本語)『市民科学』一一(一二月) www.csj.org/members/200711/csji-journal-011-ema.pdf 二〇一〇年二月二十八日取得

- 藤垣裕子、二〇〇八、「市民参加と科学コミュニケーション」、『科学コミュニケーション論』、東京大学出版会、二二九〜五五
- Foster, K. R. 2006. Engineering the brain. In *Neuroethics: Defining the issues in theory, practice, and policy*, edited by J. Iltis, 245–63. Oxford: Oxford University Press. (邦訳「ケネス・R・フォスター」『脳のエンジニアリング』「脳神経倫理学——理論・実践・政策上の諸問題」、シュディ・インズ編、高橋隆雄・糸和彦監訳、篠原出版新社、二〇〇八、三〇八〜三二二)
- Hochberg, L. R., M. D. Serruya, G. M. Fritsch, J. A. Mukand, M. Saleh, A. H. Caplan, A. Branner, D. Chen, R. D. Penn, and J. P. Donoghue. 2006. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* 442 (7099): 164–71.
- Horgan, J. 2005. The forgotten era of brain chips. *Sci Am* 293 (4): 66–73.
- Hughes, T. P. 1983. *Networks of power: Electrification in western society 1880–1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press. (邦訳「T・P・ヒューズ」『電力の歴史』、市場泰男訳、平凡社、一九九六)
- Iltis, J., ed. 2006. *Neuroethics: Defining the issues in theory, practice, and policy*. Oxford: Oxford University Press. (邦訳「シュディ・イレズ編」『脳神経倫理学——理論・実践・政策上の諸問題』、高橋隆雄・糸和彦監訳、篠原出版新社、二〇〇八)
- 石原孝二、二〇〇八、「リタリン乱用の社会的背景と問題行動の『疾病化』」、『創文』、五〇六、一〜一四
- Isobe, T., N. Mizushima, S. Tanaka, M. Yamaguchi, T. Fukushi, and O. Sakura. 2008. The research and neuroethical situation of BMI (Brain-Machine Interface) in Japan: Investing the history of a research budget for BMI and ethical problems with BMI researchers. Poster presented at the annual meeting of the Neuroethics Society, Washington DC.
- 独立行政法人科学技術振興機構・研究開発戦略センター、二〇〇七、「科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ」ブレイン・マシーン・インターフェース(BMI)「分野報告書(二〇〇七年三月)」、独立行政法人科学技術振興機構
- 桑原卓志・山本圭一郎、二〇〇七、「脳科学技術の二重使用」(〈研究報告〉倫理学者のためのニューロエシックス)、『実践哲学研究』、三〇、一七〜三四
- 近藤智彦、二〇〇八、「脳神経科学からの自由意志論——リベットの実験から」、『脳神経倫理学の展望』、信原幸弘・原壱編、勁草書房、二一九〜五四
- 河野哲也、二〇〇八、『暴走する脳科学』、光文社
- Lebedev, M. A., and M. A. Nicolelis. 2006. Brain-machine interfaces: Past, present and future. *Trends Neurosci* 29 (9): 536–46.
- Libet, B. 2004. *Mind time: The temporal factor in consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press. (邦訳「シンジャー・ン・リベット」『マインド・タイム——脳と意識の時間』、下條信輔訳、岩波書店、二〇〇五)
- 松本三和夫、二〇〇九、「テクノサイエンス・リスクと社会学——社会学の新たな展開」、東京大学出版会
- 三上直之・杉山滋郎・高橋祐一郎・山口富子・立川雅司、二〇〇九、「上流での参加」にコンセンサス会議は使えるか——食品ナノテクに関する「ナノトライ」の実践事例から」、『科学技術コミュニケーション』(Japanese Journal of Science Communication)、六、三四〜四九

- McGeer, E. M., and G. Q. Maguire. 2001. Implantable brain chips: Ethical and policy issues. *Med Ethics* (Winter): 1-2, 8.
- 水島希・二〇〇九、「ザ・アンチエイジング!!——科学医療技術と女のアヤシイ関係」、『女たちの21世紀』、五九、三二〜三四
- 水島希・磯部太一、二〇〇九、「ブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)の参加型技術評価に向けて——研究者は市民参加を望んでいるか?」(口頭発表)、科学技術社会論学会第八回年次研究大会「萌芽的技術(emerging technology)の参加型技術評価デザイン」セッション、二〇〇九年十一月十四日、早稲田大学
- Mizushima, N., T. Isobe, and O. Sakura. 2009. Research ethics consultation as a method for scientific governance. Paper presented at the annual meeting of the Society for Social Studies of Science (4S), Washington DC.
- 信原幸弘、二〇〇八、「脳神経科学と倫理」、『脳神経倫理学の展望』、信原幸弘・原塑編、勁草書房、一〜二二
- 信原幸弘・原塑編、二〇〇八、『脳神経倫理学の展望』、勁草書房
- 小口峰樹・筒井晴香、二〇〇九、「fMRIに関する倫理学研究の動向」、『脳神経倫理学の議論の動向(二〇〇八年度)』、佐倉統・赤林朗編、脳科学研究戦略推進プログラム、三〇〜五〇
- 佐倉統・福士珠美、二〇〇七、「脳神経倫理——脳科学と社会の健全な関係をめざして」、『生命倫理』、一七(一)、一八〜二七
- 山口富子・日比野愛子編、二〇〇九『萌芽する科学技術——先端科学技術への社会的アプローチ』、京都大学学術出版会