



Title	大学における教養教育を通じた脳神経科学リテラシーの向上 : ポスト・ノーマル・サイエンスとしての脳神経科学とその科学リテラシー教育
Author(s)	原, 壱; Hara, Saku; 鈴木, 貴之 他
Citation	科学技術コミュニケーション, 7, 105-118
Issue Date	2010-02
DOI	https://doi.org/10.14943/43274
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42668
Type	departmental bulletin paper
File Information	JJSC7_013.pdf



論文

大学における教養教育を通じた脳神経科学リテラシーの向上

～ポスト・ノーマル・サイエンスとしての脳神経科学とその科学リテラシー教育～

原塑¹, 鈴木貴之², 坂上雅道³, 横山輝雄², 信原幸弘⁴

The Advancement of Neuroscience Literacy through Liberal Arts Education:
Neuroscience as a Post-Normal Science and Its Education

HARA Saku¹, SUZUKI Takayuki², SAKAGAMI Masamichi³,
YOKOYAMA Teruo², NOBUHARA Yukihiro⁴

Abstract

Recently, some scientific disciplines have been politically promoted in many countries, because governments believe that they can produce economically profitable knowledge, and that neuroscience belongs to these disciplines. They are aptly characterized by Jerome Ravetz's notion of "post-normal science." It is expected that some knowledge produced by neuroscience may, when applied to the real world, influence social systems and, ultimately, our views on what it is to be human beings, even though it is difficult for us to foresee its concrete impacts. To minimize its unexpected negative effects, even non-specialists need to have neuroscience literacy, which includes not only a basic theoretical knowledge of neuroscience, but also knowledge on its social significance and possible impacts on our self-understanding as human beings. We compiled a textbook of neuroscience literacy, and used it in liberal arts education. In this article, we document our project of education on neuroscience literacy in liberal arts, and discuss its social and epistemological meaning.

Keywords: scientific literacy, liberal arts education, neuroscience, post-normal science, governance of science

1. はじめに

文部科学大臣から文部科学省の科学技術・学術審議会に対して、長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方策について検討するようとの諮問が出されたのは2007年10月18日のことだったが、その後、2008年6月23日に、第一次答申「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想および推進方策について～総合的人間科学の構築と社会への貢献を目指して～」が公表された（科学技術・学術審議会 2009）。この答申では、日本の脳神経科学研究は、人文社会科学、理工学・医学

2010年1月12日受付 2010年1月31日受理

所 属：1. 東北大学大学院 文学研究科

2. 南山大学 人類文化学科

3. 玉川大学 脳科学研究所

4. 東京大学大学院 総合文化研究科

連絡先：sakuvara@sal.tohoku.ac.jp

分野との融合研究を進めることで、総合的人間科学として発展していくことが重要であること、また日本の少子高齢化の進行から予想される様々な社会問題の解決を視野に入れた研究が推進される必要性があることが指摘されている。政府は、これらの目的を実現するのに適した研究体制が形成されるように政策的な働きかけを行っていく方針を示している。このように、脳神経科学は、将来的に、人文社会科学や理工学・医学に対して大きな影響力を発揮してだけでなく、社会問題の技術的解決を目指した科学として発展していくことが予想される。したがって、脳神経科学の専門的研究者のみならず、脳神経科学の影響を受ける隣接諸分野の研究者や一般市民も、脳神経科学リテラシー、具体的には、脳神経科学の基礎的知識、その知識の社会的文脈での使用方法、脳神経科学の他分野や人間観への影響などについての知見を保持しておくことが重要である。

われわれは、他分野との融合を進め、社会問題の解決を目指す社会技術として脳神経科学を発展させようとする動きが脳神経科学研究者コミュニティの活動の中に見え始めた2006年に、脳神経科学と社会との接点で生じる倫理的問題を検討する脳神経倫理学の研究を開始した¹⁾。その際に、社会に影響力を及ぼし始めた場合に、一般市民が脳神経科学に対して何らかの意思決定を行うための基礎的な知見を提供する脳神経科学リテラシー教育が必要であることも認識していた。そこで、独立行政法人日本科学技術振興機構、社会技術研究開発センター、「科学技術と人間」研究領域（領域統括：村上陽一郎）の研究プロジェクトとして脳神経科学リテラシー教育プロジェクト（研究題目「文理横断的教科書を活用した神経科学リテラシーの向上」、研究代表者：信原幸弘）が採択されたことを直接のきっかけとして、2006年12月以降、一般教育科目の一つとして、大学生向けの脳神経科学リテラシー教育を行っている²⁾。本稿では、これまでわれわれが行ってきた教育の概要を報告するとともに、脳神経科学リテラシー教育の科学的背景や、その社会的意義、実際に教育活動を行うことで認識された問題点を議論していく。

2. ポスト・ノーマル・サイエンスとしての脳神経科学の科学リテラシー

脳神経科学リテラシー教育の構想を立てるにあたって明確化しておく必要があるのは、脳神経科学リテラシーとはどのような知識であって、また脳神経科学リテラシーを学習することにより、学習者がどのような能力を身につけることができると期待できるのかということである。

2.1 科学リテラシー

リテラシーとは、情報化が進み、複雑になった社会の中で自律的に生活を送る際に必要となる様々な実践的知識のことであるが、特に科学に関連する知識を科学リテラシーと呼ぶ。OECD生徒の学習到達度調査のPISA (Programme for International Student Assessment) 2003年調査は、科学リテラシーを、「自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力」と定義しており、またミラーによる標準的な定義では、科学リテラシーは、1.基本的な科学用語、概念の理解、2.科学的研究・探究の性質の理解（例えば、実験や確率の理解）、3.科学政策に関する問題の理解という三つの要素から成り立つとされる (Miller 1998)。これらの科学リテラシーの理解に基づけば、脳神経科学リテラシーは、脳神経科学上の知見の理解に必要な、基礎的用語、概念の理解、脳神経科学の研究手法（脳画像法やモデル動物を使った研究など）の理解、脳神経科学政策に関する理解ということになるだろう。

しかし、基本的な科学用語や概念、科学理論や研究方法の理解の向上は、標準的な科学教育が目的としてきたものであり、また科学がどのような実践的、政策的意義をもつかについても、十分では

なかったかもしれないが、扱われてこなかったわけではない。したがって、上記のミラーによる科学リテラシーの定義によれば、脳神経科学リテラシー教育に必要なのは、従来の入門的な脳神経科学教育の教材を基にして、脳神経科学の政策的含意を多少なりともより強調するような仕方で講義内容を準備することであるという結論になるかもしれない。物理学や化学、生物学など、理論の体系化が進み、使用される概念の意味がかなりの程度確定しており、研究手法も安定している古典的科学であれば、従来の手法による入門的な科学教育だけで十分であるかもしれないが、脳神経科学など、基礎的理論体系や使用される概念が確立してはいないにもかかわらず、政策的に振興されている幾つかの新しい自然科学分野に関しては、別な仕方で科学リテラシー教育を行う必要性がある。

2.2 ポスト・ノーマル・サイエンス

ジェローム・ラヴェッツ (Jerome Ravetz) は、社会技術としての応用可能性が見込まれ、それに向けて研究体制が方向づけられている科学分野を、ポスト・ノーマル・サイエンス (post-normal science) と呼ぶ (Ravetz 2006, Ravetz and Funtowicz 1999)。ポスト・ノーマル・サイエンスの特徴は、問題解決志向的であり、その問題の要因が不確かであること、価値付加的で、その価値が論争の対象となっていること、解決すべき問題が重大であり、意思決定までの時間的余裕があまりないことである。ポスト・ノーマル・サイエンスの具体例として、ラヴェッツは、ゲノム科学 (genomics)、ロボット工学 (robotics)、人工知能 (artificial intelligence)、ナノ科学 (nanoscience)、脳神経科学 (neuroscience) を挙げており、それらを、英語名称の頭文字をとって、GRAINNと名付ける。GRAINNは、客観性、価値中立性、確実性によって特徴づけられる古典的科学とは区別され、産業化を目的とした知識の創出を行っている。GRAINNにより生み出される知識は、経済的利益を生みだすが、場合によっては広範な社会構成員に害をもたらす可能ももつ。そのため、安全や健康や環境を対象とする科学や倫理学 (ラヴェッツは、これらをSHEE科学と総称する) が、社会の防衛のために必要とされる。このように、現代の社会生活は、GRAINNとSHEE科学という二つのタイプのポスト・ノーマル・サイエンスの相互影響下で営まれることになる (Ravetz 2006)。

2.3 ポスト・ノーマル・サイエンスの科学リテラシー教育

一般市民は、GRAINNのようなポスト・ノーマル・サイエンスが社会にもたらす利益や害を、SHEE科学の成果に立脚しながら評価し、政府が実施する科学政策に対して意思表示を行うことで、間接的に制御することができる。このためには、一般市民は、ポスト・ノーマル・サイエンスに関する科学リテラシーを持つ必要がある。われわれのプロジェクトが目指したのは、一般市民によるポスト・ノーマル・サイエンスのガバナンスのために必要となる知識を、脳神経科学に限定して収集して、それを教材としてまとめ、一般市民の代表としての大学学部学生に対する教育を行うことだった。

ここで、ポスト・ノーマル・サイエンスの科学リテラシーは、従来の学校教育で教えられてきた古典的科学に関する科学リテラシーとは、異なった内容をもつことが予想される。古典的科学上の知識は—事実そうであるのかについては、議論の余地があるが、少なくとも一般的には—客観性、価値中立性、確実性といった性質をもつと想定されてきたが、ポスト・ノーマル・サイエンスが生産する科学的知識の多くが、それらの性質をもたないことは明らかだからである。古典的科学を理解するためには、確立された科学理論体系を学習した後で、それがどのような応用可能性を持つかを学べばよい。また、その教育法は、学校教育における長年の経験を通じて、確立されている。それとは対照的に、ポスト・ノーマル・サイエンスの基礎理論は形成途上であって、必ずしも確立されていず、それにもかかわらず社会に広範な影響を与える仕方で応用される。

このような特徴をもつ科学的知識に関する科学リテラシーとはどのようなものか、またどのような教育を行っていけばよいのだろうか。このことを考察する際に参照できる先行研究は見当たらない。そこで、われわれは、試行的な仕方では脳神経科学リテラシー教育プロジェクトを実施せざるを得なかった。

2.4 科学コミュニケーションとしての脳神経科学リテラシー教育の意義

ここで、現在様々な仕方で行われている科学コミュニケーション活動において、脳神経科学リテラシー教育が担うことが期待される役割を見ておこう。科学コミュニケーションとは、広義には、科学情報の受け取り手が、科学に対する認識や理解を深め、科学の面白さを楽しみ、科学に関連する活動に関わったり、科学に対して何らかの態度決定を行ったりするといった反応を示すように、科学情報を伝えることであるとされる(Burns et al. 2003)。このことを眼目とする科学コミュニケーションには、科学ジャーナリストによる報道や科学者自身によるアウトリーチ活動、サイエンス・カフェなど様々あるが、こういった活動の中で、特にポスト・ノーマル・サイエンスと密接な関わりがあるのが、コンセンサス会議を代表例とする市民参加型のテクノロジー・アセスメントである(小林 2007)。

ポスト・ノーマル・サイエンスによって生み出される知識は、科学者や行政府など専門家にも予測が困難な仕方では社会生活に影響を及ぼし、またその影響は、社会的価値に関連する場合が少なくない³⁾。そこで、ポスト・ノーマル・サイエンスの影響を評価し、社会的合意に基づきつつ、その影響を制御するためには、評価や意思決定のプロセスに、専門家だけではなく、影響をこうむる一般市民も参加することが必要となる。このように専門家に一般市民を加えた評価者集団のことを、ラヴェッツは、「拡大されたピア共同体」(extended peer communities)と呼ぶ(Ravetz and Funtowicz 1999)。拡大されたピア共同体に参加するためには、一般市民は、たとえ科学に関する高い専門的知識をもってはいないにしても、問題となっている科学の性質や特徴、そこで生み出される知識が応用された場合に生じる社会的影響に関して、一定の理解をもっておく必要があるだろう。脳神経科学リテラシー教育がめざすのは、脳神経科学分野に関する市民参加型テクノロジー・アセスメントを実施する際に必要となる一般市民向けの知識をまとめて、提供することである。

しかしながら、ポスト・ノーマル・サイエンスの市民参加型テクノロジー・アセスメントに参加するために市民が習得すべき知識とはどのようなものかは、実際には、まだよくわかっていない。このことを特定するために必要になるのは、どのような科学的知識が市民の意思決定を助けるのかについての知見である。これは、科学コミュニケーション理論においては、科学情報を「受け取ることのモデル」として議論されてきたことである(藤垣 2008)。脳神経科学リテラシー教育がめざしているもう一つの目標は、質問紙を使った授業効果の測定を行うことで、授業を通じて脳神経科学情報を受け取る人々の認知過程のモデルを作ることである。大学における教養教育において、このような研究を行うことには大きな利点がある。大学教育では、100人~200人程度の人々に対して、一学期間という長期間にわたり知識供与を行うことが可能である。そこで、授業時に供与される知識と、それにより受け取り手が受ける影響との関係を、かなり詳細に調査できる可能性がある。たとえば、大学生の批判的思考力の程度と脳神経科学上の知識の多寡との関係や、あるいは脳神経科学上の知識を習得することにより、脳神経科学の実践的使用に対する評価の態度がどのように変化するかなど、認知能力としての脳神経科学リテラシーの構造を明らかにすることができるかもしれない⁴⁾。こういった脳神経科学情報の受け取り手の認知過程を明らかにすることができれば、脳神経科学に関する市民参加型テクノロジー・アセスメントに参加するために市民がどのような脳神経科学上の知識をもてばよいのかに関して、重要な示唆がえられることになる。

3. 脳神経科学リテラシー教育プロジェクトの概要

プロジェクト全体の作業内容は、大別して以下の五つに分かれる。

- ①調査：脳神経科学研究の中から、社会生活や人間観に大きな影響を及ぼす可能性のある科学的知見を調査し、それらの知見の意義を考察する。
- ②教材の作成：調査結果をまとめ、授業用プレゼンテーションと教科書を作成する。
- ③授業の実施：作成した授業用プレゼンテーションを使用した脳神経科学リテラシー教育を、一般教育科目として実施する。
- ④教育効果測定：授業を行った学期の前後に質問紙を使用したアンケート調査を実施し、それにより教育効果の測定を行う。
- ⑤教科書の出版：学生と一般市民に向けて、作成した教科書を出版する。

われわれが実施したプロジェクトは、東京大学大学院総合文化研究科科学史・科学哲学教室、玉川大学脳神経科学研究所、南山大学人文学部人類文化学科を三つの拠点としており、調査の段階では、拠点間で分業を行い、東大拠点は、社会的に重大性をもつ脳神経科学上の知識の調査、玉川拠点は、脳の高次機能に関する知識の調査、南山大学は脳神経科学上の知識の科学論的分析をそれぞれ担当した。授業と授業効果測定は三つの拠点全てで実施した。教育効果測定については、永岑、楠見（2010）を参照されたい。最後に残された作業は、作成した脳神経科学リテラシーの教科書を出版することである⁵⁾。全体の作業行程を図1に示す。

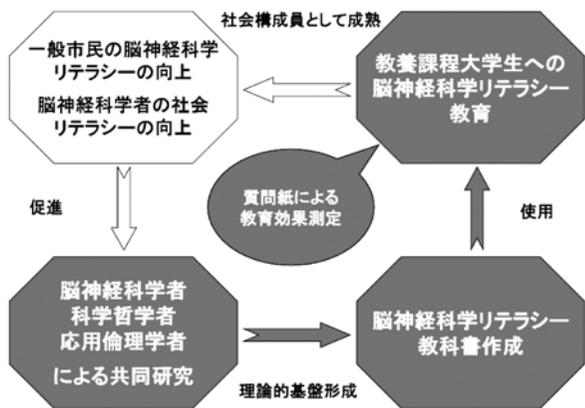


図1. 本研究の作業行程

3.1 調査内容と章立ての決定

プロジェクトを開始した直後に、調査、検討したのは、以下の項目である。

脳神経科学の理論的基礎に関わる事項

- ①脳神経科学の歴史的形成過程 2 研究対象 3 技術的な手段 4 代表的な実験デザインと解釈パラダイム 5 実験結果から穏当に導き出される結論と過剰な解釈の区別法
- ②社会的影響が大きい脳神経科学の理論や技術
 - 6 さまざまな脳イメージング技術 7 BMI技術 8 遺伝神経科学 9 中枢神経形成過程と退化過程についての理論 10 社会的認知についての理論 11 精神病理についての理論
- ③脳の高次認知機能にかんする脳神経科学理論と心理現象
 - 12 意思決定に関わる神経システムと依存症 13 潜在的学習の理論 14 洗脳についての脳神経科学
- ④社会における脳神経科学
 - 15 アメリカにおける脳神経科学と製薬業界 16 日本における通俗脳科学言説の広がり 17 市民による脳神経科学研究動向への働きかけの可能性

当初は、これらの調査項目に対応する仕方、教科書の章立てを組み立てる構想だった。この構

想の特徴は、①や②に見られるように、脳神経科学に関する基礎的知識や脳神経科学研究の現状に関する情報提供に重点を置いていたことであり、その分、③や④に含まれる脳神経科学がもつ社会的意義や人間観への影響に関する検討項目の数が少ないことである。

3.1.1 教科書章立てに関する二つの構想

章立ての構成に関しては、二つの考え方があった。第一案は、上述したミラーによる科学リテラシーの構成要素の内の最初の二つの項目-1.基本的な科学用語、概念の理解、2.科学的研究・探究の性質の理解(例えば、実験や確率の理解)-に対応するような脳神経科学上の知見をまとめた幾つかの章を教科書の冒頭に置き、それに続けて、脳神経科学がもつ社会的意義や人間観への影響について論じる諸章を置くという構想である。この案では、学習者は、脳神経科学の基礎知識を習得した後で、その知識に基づき、筋道だった仕方で、脳神経科学の社会的意義や人間観への影響を理解することができるだろうと期待されている。第二案は、脳神経科学の基礎知識を網羅的に述べる章は設けず、全ての章で、社会生活や人間観に影響を与える脳神経科学上の知見を取り上げ、議論するという構想である。この案では、脳神経科学の基礎知識に関しては、脳神経科学がもつ社会的問題や人間観への影響を議論している文脈において、その議論を理解するために必要な程度だけ紹介する。したがって学習者が、脳神経科学の基礎知識に関して網羅的、体系的な理解を得ることは期待できない。われわれは、これらの二つの案の内、以下の小節で述べる理由により、第二案を採用して、調査と教材作成を行った。それに基づいて作成した教科書の章立てと概要を表1に示す。

3.1.2 脳神経科学リテラシーのための脳科学上の基礎知識

脳神経科学理論を科学として理解することは重要であり、もしも脳神経科学に関する体系的知識をもっていれば、脳神経科学上の知識がもつ社会的意義や人間観への影響を理解する上で、大いに助けになることは十分想像できる。したがって、可能であれば、脳神経科学理論に関するまとまった知識提供を行うことは望ましい。しかし、教材の第一の目的は、脳神経科学上の知識がもつ社会的意義や人間観への影響を学習者が理解できるようにすることである。ここで、われわれは、科学としての脳神経科学の理解にとって必要な知識と、脳神経科学の社会的意義や人間観への影響を理解するために必要な知識とが完全に合致するわけではないと考えている⁶⁾。科学としての脳神経科学に関する情報と脳神経科学上の知識がもつ社会的意義や人間観への影響に関する情報はさほど一致せず、容量に限度がある教科書の中に情報を盛り込む際に、どちらか一方の情報提供量を増やせば、他方に関する情報提供量を減らさざるをえない関係にあるというのがわれわれの判断であった。

では、脳神経科学の社会的意義や人間観への影響を理解するために必要な脳神経科学の体系的知識を少量だけ選び出すことはできるだろうか。このことが可能ならば、第一案のような仕方で教科書を構成すればよい。というのも、科学としての脳神経科学の概要を教科書の冒頭部分で説明しておけば、学習者は、その知識に基づいて、脳神経科学の個別的な社会的意義や人間観への影響を順次理解していくことができると考えられるからである。

しかし、そのような少量の脳神経科学上の体系的知識を、選び出すことができるとは考えられなかった。その理由の一つは、脳神経科学が現在発展途上の科学であり、神経細胞や神経システム、脳機能に関する莫大な記述的知識は蓄積されているものの、それらの知識の相互関係を体系的に説明する少数の原理が見つかっていないわけではないということである。それだけではない。現状として、大きな社会的意義や文化的意義をもつ可能性を示している脳神経科学上の知見が断片的であることがある。例えば、前頭前野腹内側部は、複雑な要因が関与する社会的文脈での意思決定に関与することが以前から知られていたが(Damasio 1994)、最近の研究では、この部位が人間の道

	第1章 はじめに: 脳神経科学リテラシーに向けて	脳神経科学がポスト・ノーマル・サイエンスの一種であることを示し,そのリテラシーを持つ意義を論じる.
第一部 認知機能の脳神経科学	第2章 知覚: 環境変化の見落としについて	知覚の脳メカニズムから,知覚がどんな環境変化を見落としやすいかを示す.
	第3章 記憶: 偽記憶研究の現状と展望	偽記憶が生じる脳内メカニズムを示して,記憶の信頼性に注意を促す.
	第4章 自由意志	自由意志の存在に疑問を投げかける脳神経科学の研究とその人間観への影響を示す.
	第5章 意思決定:薬物依存と意思決定の歪み	薬物による健全な意思決定の歪みにより薬物依存からの脱却の困難さを示す.
	第6章 道徳	道徳に感情が不可欠であることを示す脳神経科学の成果とその人間観への影響を示す.
	第7章 社会の基盤としての信頼:社会性の神経経済学	社会構成員間の信頼が社会の成立や経済成長にとってもつ意義を明らかにし,その脳内基盤を示す.
第二部 脳神経科学と社会	第8章 マインド・リーディング	fMRIによる虚偽検出など脳から心を読み取る技術とその社会的影響を示す.
	第9章 脳と機械を結びつける:BMI	考えるだけで機械を操ることを可能にするBMIの技術とその人間観への大きな影響を示す.
	第10章 精神疾患	精神疾患が脳機能の障害であることを,うつ病の脳内メカニズムの説明を通じて示す.
	第11章 スマート・ドラッグ	薬物による認知能力の増強の可能性とそれがもたらす社会的な問題を示す.
	第12章 教育	脳神経科学の成果の教育への利用可能性と安易な利用の危険性を示す.
	第13章 加齢: 認知機能の変容	振り込め詐欺などへの高齢者の脆弱性は加齢による脳機能の低下に起因することを示す.
	第14章 広告利用される脳神経科学:脳トレ広告を例として	広告に脳科学情報を付加することにより説得力が向上することを示し,虚偽の広告への対策を示す.
	第15章 脳神経科学によるイノベーションの創出	まとめとともに,脳神経科学によるイノベーションの必要性和その可能性を示す.

表 1. 脳神経科学リテラシー教科書の章立てと各章の概要

德的判断を、義務論的な仕方で行うように方向づける機能を持つことや (Koenigs et al. 2007)、この部位の機能低下が疑われる高齢者が虚偽広告に騙されやすい傾向を示すことが分かっている (Denburg et al. 2007)。ただし、なぜこのような現象が生じるのかについては、まだ研究途上であり、脳神経科学理論体系内でのこれらの知見の位置付けは定まっていない。しかも、脳神経科学のどの知識が、将来的に社会的意義や人間観への影響を示すのかも予測しにくい。例えば、神経伝達物質オキシトシンは、ラットなどを使った動物実験により、母性行動や性行動へ関与している可能性が示されていたが、最近の人間を使った研究では、驚いたことに、人間の投資行動を促進することが示唆されている (Kosfeld et al. 2005)。このように、脳神経科学リテラシーを身につけるために学習すべき脳神経科学上の知識は断片的である可能性が高い。

以上の理由から、われわれは、第二案のように、脳神経科学上の知見に関しては、その知見の社会的意義や人間観への影響を扱う文脈において、それらを理解するのに必要な程度だけ、紹介することにした⁷⁾。結果的に、脳神経科学リテラシーの教科書では、科学としての脳神経科学に関しては断片的知識しか提供することはできなかった。

3.2 調査の概要

教科書の章立てを決めるのと同時並行的に、各章に盛り込むべき知識内容を絞り込む作業を行った。ここでは、一例として、主に第13章加齢を取り上げ、章の作成手順を紹介する。

3.2.1 第13章加齢の作成過程

この章は、われわれグループから複数のメンバーが参加して行われた内閣府請負研究「消費者の意思決定行動に係わる経済実験の実施及び分析調査」に基づいて執筆されている (株式会社日本総合研究所 2008年)⁸⁾。この研究の課題は、振り込め詐欺から消費者を保護し、また消費者の環境配慮行動を促進するために、脳神経科学がどのような貢献をなすうのかを、実験と調査を通じて明らかにすることだった⁹⁾。

脳神経科学上の知見が重要なのは、それが振り込め詐欺に関与する加害者や被害者の認知特性の理解を可能にしてくれる可能性をもつからである。そのような脳神経科学的理解に基づけば、実効性のある振り込め詐欺対策を構想することができるかもしれない。われわれは、当時は情報が少なかった加害者は調査対象とせず、被害者 (具体的には、主に高齢者) の認知特性に絞って、それを明らかにする脳神経科学上の知見を収集した。ただし、脳神経科学において蓄積されている知識は、実験室という単純化された人工的環境において収集されており、また振り込め詐欺を直接的な対象として行われた脳神経科学研究が存在しないことから、知識収集は容易ではなかった。われわれが直面した課題は、振り込め詐欺とは直接的な関連性を持たないながらも、間接的に関連性を認めることができそうな脳神経科学上の知見をできるだけ多数集めて、それを基にして、振り込め詐欺による被害を説明する被害者の認知特性上の原因を推定することである。そのためには、脳神経科学上の知見だけではなく、脳神経科学上の知見と振り込め詐欺状況との橋渡しをする以下のような情報を収集する必要がある。1.振り込め詐欺被害者に特有の属性 (年齢層, 性別, 社会的地位等), 2.振り込め詐欺が生じる状況の特定, 3.振り込め詐欺犯の犯罪手法, 4.振り込め詐欺被害者が詐欺により騙された際の心理状態の特定, 5.被害者の心理状態や認知特性を説明する可能性をもつ様々な心理学理論, 6.それらの心理学理論との関連性が認められている脳神経科学上の知見, 7.商業的詐欺に関連する認知科学, 心理学, 脳科学上の知見。さらに、振り込め詐欺被害者の制度的保護可能性を考察するには、これらに加えて、8.消費者保護に関連する法規や応用倫理学上の理論についても調査する必要があった。永岑 (2008) は、これら収集された情報に基づいて、振り込め詐欺被害者

の騙されやすさを説明する脳機能上のメカニズムを推定し、さらに永岑, 原, 信原 (2009) は、振り込み詐欺の被害者保護のための制度的枠組みを提案している。

ただし、収集された情報すべてを、大学生向けの教材の中に盛り込むことには、無理がある。というのは、まず、それらの情報の量が極めて多いこと、また、収集された情報には、最先端の脳神経科学研究、心理学研究の成果や、消費者保護政策についての情報が含まれており、それらを理解するには、脳神経科学や心理学に対する高い理解力や、法や倫理学についての理解が必要とされるからである。したがって、教科書や授業用教材では、調査した極めて多くの脳神経科学情報を取り上げることはできず、調査項目7にある商業的詐欺に関連する認知科学、心理学、脳科学上の実験を複数、紹介するのに留めた。

第13章に限らず、脳神経科学上の知見がもつ社会的意義や人間観への影響を検討する際には、多くの場合、これまで述べてきたのと類似した調査手続きを踏んでいる。まず、それぞれの章のテーマ（裁判制度、教育現場、経済政策、道徳性、社会性など）を扱っている人文社会学的文献を調べると同時に、テーマとの関連が推定される脳神経科学上の知見を調査する。ただし、脳神経科学で行われている人間を被験者とする実験の多くは、単純な刺激を被験者に提示しておいて、その際に活動する脳部位を計測するものであり、これにより明らかになるのは、実験室環境という特別な条件下で、ある脳部位が示す特性である。多様な要因の関与が想定される生活環境下で脳がどのような性質を示すのかを実験的に検証することは、困難である。したがって、脳神経科学上の知見だけから、社会現象を解釈、あるいは説明することには、多くの場合、無理がある。そこで、社会現象と脳神経科学上の知見との間の橋渡しをする行動科学理論を見つけ出し、その行動科学理論に関連づけながら、脳神経科学上の知見の社会的意義や人間観への影響を明らかにするのである。

3.2.2 情報検索能力、解釈能力としての脳神経科学リテラシー

先に述べたように、ラヴェッツは、ポスト・ノーマル・サイエンスで生み出される知識を、問題解決志向的であり、価値付加的、かつ文脈依存的で、不確実であると特徴づけたが、その示唆に依拠して、われわれは、脳神経科学リテラシーを、社会的意義や人間観に影響をもつ脳神経科学上の知見を理解し、その知識に基づいて意思決定を行う能力であると大まかに規定する。このように脳神経科学リテラシーをとらえたとすると、調査テーマに関連する脳神経科学や隣接学問領域での情報検索能力や、調査結果を整合的に取りまとめる解釈能力、その解釈に基づく判断能力（例えば、振り込み詐欺被害者保護のための制度的枠組みを考案することなど）こそが、脳神経科学リテラシーの核心をなす能力ではないかと考えられる。われわれは、大学における講義を通じて、学生がそのような能力を身につけることを期待しているのだが、それにはやや無理がある可能性がある。というのも、われわれが何らかの脳神経科学リテラシーを身につけることができたとすれば、それは、脳神経科学リテラシーの教材作成を行うために、文献調査とそのとりまとめ作業を実際に試行錯誤的に実施したからに他ならないからである。もしもそうであるとする、教科書や教材として学生に提示しているのは、グループメンバーが、脳神経科学リテラシーを習得しつつ作成した成果物に過ぎない。成果物だけを提示し、そこに至るまでの作成過程－テーマ設定や情報検索、収集した情報の解釈－を示さないのであれば、学生が授業を通じて教科書や講義内容を理解できたとしても、それにより学生の実践的能力としての脳神経科学リテラシーが向上することは期待できない。

そこで、今後は、以下四つのタイプの教育を目的とする教科書や教材の作成を進めて行く必要があるだろう。1.テーマに関連する科学的知識を自ら検索し、発見する技術の獲得を目指す教育、2.教科書や教材で取り上げられている脳神経科学実験の意義を実感として理解できるための体験型教育、3.テーマとなっている日常的問題に対する、脳神経科学的アプローチ以外の科学的方法の理解

を目指す教育, 4.そのような脳神経科学的アプローチ以外の科学的手法を比較対照として, 脳神経科学的アプローチの特徴や長所や短所の理解をもたらす教育. このような教育内容をとり入れることができれば, 実践的能力としての脳神経科学リテラシーをより効果的に養成できるだろう.

3.3 脳神経科学リテラシー講義の実施

脳神経科学リテラシー教育は, 東京大学教養学部, 玉川大学, 南山大学において一般教養科目として実施した. 実施時期は, 東京大学と玉川大学では2008年冬学期と2009年夏学期, 南山大学では半年先行して, 2008年春学期から2009年夏学期までであった. 教科書が未完成であったため, 授業では, 教科書原稿の配布は行わなかった. その代りとして教科書の各章に対応するスライドをグループで作成し, そのスライドを使用した講義形式の授業を実施した¹⁰⁾. 各大学での授業回数にはばらつきがあり, 玉川大学以外では, 準備した15回分全ての教材を使用することはできなかった. 講義出席者は, 約100名から300名程度だった. 各学期の前後で質問紙を用いた授業アンケートにより, 受講者の脳神経科学リテラシーの変化を測定した. 授業時間は, それぞれ一回が90分間であって, 拠点によっては, 毎回の授業終了時に学生に講義内容に対するコメントを書いて, 提出してもらうこともあったが, 大部分の講義時間は, スライドの内容を紹介することだけに費やされた.

3.3.1 講義を通じて明らかになった問題点

講義の第一の目的は, 学生に講義内容を伝え, 学生の脳神経科学リテラシーの向上をはかることである. しかし, 教材を使用して実際に講義を実施し, 講義受講者の理解を確認することで, 授業担当者は, 教材や講義の特徴や問題点をよく理解できる. われわれは, 授業効果に関する定量的な効果測定を実施したが, それについては永岑, 楠見 (2010) を参照されたい. ここでは, 授業を通じて授業担当者が認識した教材や講義内容の問題点を述べる.

①知識の体系的性

脳神経科学リテラシーは, 脳神経科学の専門家ではない一般市民にとって重要な脳神経科学の知識を提供することを目的としており, 脳神経科学の専門家やそれを目指す「脳神経科学者の卵」にとって必要な脳神経科学の知識を提供することを目的とはしていない. したがって, それは脳神経科学の学問的体系的性を重視するよりもむしろ, 脳神経科学のなかから一般市民にとって重要な側面を切り取って提示するという体裁をとっている.

たとえば, 記憶を扱った第3章では, 目撃証言の誤りなど実社会において重要な意味をもつ問題と関連づけるために, 偽記憶の問題に焦点を合わせて内容を組み立てている. そのため, 記憶には, 記銘, 保持, 想起の3つの局面があるとか, 短期記憶, 長期記憶, 意味記憶, 手続き記憶, エピソード記憶, ワーキング・メモリといった記憶の基本分類を行うなど, 記憶をめぐる基礎事項を体系的に展開するという体裁をとっていない.

脳神経科学の一側面を切り出して提示しても, 十分その内容を伝えることができるのであれば, 脳神経科学リテラシーにとってとくに問題はない. しかし, そのような知識の体系的性を無視した切り取りは, やはり脳神経科学リテラシーにとっても満足のいかない知識の提示となってしまうことがある. たとえば, たんに偽記憶だけを問題にすると, 記憶の虚偽性が記銘, 保持, 想起のどの局面で生じたのか, そのことが記憶の虚偽性に重要な相違をもたらすかといった脳神経科学リテラシー的にも重要な問題が表に出て来なくなる.

したがって, 脳神経科学の一側面を切り取って提示するさい, たとえ切り取っても, 脳神経科学リテラシーにとって十分な程度にその内容を伝えることができているかどうかをしっかりと見極める

必要がある。もしできていなければ、ある程度、知識の体系的にも配慮して、内容が十分伝えられるように工夫する必要がある。

②脳神経科学の基礎への関心の喚起

虚偽検出, BMI, スマート・ドラッグ, うつ病治療など, 脳神経科学の技術的応用にかんしては, 授業中に自然に受講者の関心が高まったが, 視覚の二重経路, 偽記憶の脳神経科学実験, 自由意志に関するリベットの実験など, 脳神経科学の理論的基礎にかんしては, なかなか受講者の関心は高まらなかった。これは, 技術的応用が実生活の諸問題に近く, 理論的基礎が遠いことを考えれば, 当然の結果といえようが, 理論的基礎にも脳神経科学リテラシーにとって重要な部分が無論あるので, 理論的基礎に対する関心を喚起する工夫が必要である。

脳神経科学の理論的基礎が一般の人々にとって重要な意味をもつのは, 主として, それが既存の人間観を覆す内容を孕んでいるからである。たとえば, 視覚の二重経路は, 色や形や対象の種類などを示す私たちにとってなじみ深い意識的な視覚とは別に, 対象に運動的に働きかけるのに必要な情報(対象の位置や傾きなど)を示すもう一つの無意識的な視覚があることを告げる。また, リベットの実験は, 私たちの人間関係や社会制度の根幹にある自由意志の想定に疑問を投げかける。

このような脳神経科学の基礎的知識が必ずしも受講者の関心を引かないのは, 受講者が既存の人間観を十分, 自覚的に捉えていないからだと思われる。受講者自身, おそらく, 既存の人間観—人間は, 統一的な意識を持っており, 自身の自由意思により自身の行動を制御しているといった見方—のもとで生きているはずだが, それが十分, 自覚されていないために, 自分が生きている人間観に脅威を与えるような脳神経科学的な知識を提示されても, その脅威を深く実感することができないのではなからうか。そうだとすれば, 脳神経科学の基礎に対する関心を喚起するためには, 既存の人間観を明示して, それを自覚的に捉えてもらうようにすることが必要となる。

③双方向性

授業は, どの回もほぼ, スライドにまとめた内容を説明するのに終始し, 受講者の意見を聞くとか, 小問を提起して答えてもらうとか, 簡単な心理学実験に参加してもらうといった双方向的なやりとりを行う時間がほとんど取れなかった。また, そのための題材の準備もあまりできていなかった。

しかし, 少数ながら, 双方向的なやりとりもいくつか行った。たとえば, 偽記憶を生じさせる DRMパラダイムを使った簡単な偽記憶の心理学実験を受講生に対して行い, 偽記憶がどのようにして生じるのかを体験してもらった。ただし, 大学の1, 2年生というもっとも記憶力のすぐれた年齢のせい, 偽記憶がじっさいに生じた人は通常よりもはるかに少なかった。とはいえ, 実験は大きな関心を引き起こした。

また, 道徳性の発達度をはかるための心理学実験にも, 受講生はたいへん興味をもって参加した。道徳性の発達段階に関しては, 有名なコールバーグの3レベル6段階説があるが, コールバーグはそれぞれの人々がどの段階にあるかを決定するために, 道徳的ジレンマを提示して, そのような状況ではどうすべきか, またなぜそうすべきかを被験者に尋ね, 得られた理由を分析することによって発達段階を決定した。授業では, そのような道徳的ジレンマの一つである「ハインツのジレンマ」を提示して, どうすべきか, その理由は何かを受講生に考えてもらった。これは, 自分がどの発達段階に位置することになるのかという関心もあって, なかなか興味深かったようである。

授業におけるこのような双方向的なやりとりが受講生の関心を高めるうえで有効であることは明らかである。したがって, 現在の授業内容を全体的にもう少し整理して, 双方向的なやりとりができるような題材を増やす工夫をすることが重要である。

④動画教材

脳の働きを理解するためには、脳の主な部位が脳のどの位置にあるのかを知ることが重要である。しかし、脳は3次元の立体であるため、2次元の平面で脳の各部位の位置を分かりやすく示すことは困難である。また、脳の立体模型もある程度、役に立つが、中心部の込み入った部位、たとえば扁桃体や海馬、線条体などは、外側からは見えないし、解体していけば、見えるようになるが、そうすると、元の全体のなかでの位置が分からなくなる。したがって、脳の立体模型も、中心部の各部位の位置を知るには、あまり適切ではない。

もっとも分かりやすいのは、コンピュータの画面上で脳の見取り図を任意の方向に自由に回転させることができ、しかも外側の任意の部位を半透明にして内側の見たい部位を自由に見られるようにしたものであろう。このような装置があれば、脳の各部位の位置や相互の関係を容易に知ることができるようになる。授業では、脳の2次元の静止画で脳の部位を示すにとどまったが、今後は、このような動的な装置を用いて脳の部位を示すことが望まれる。

また脳神経科学教育特有の問題として、脳部位の解剖学的名称の理解がある。完全な習得までには時間がかかり、名称の理解における混乱が機能の理解を妨げることは、専門教育においてもしばしばみられる。脳の見取り図を動画で示すことができれば、脳部位の解剖学的名称についても、分かりやすく説明することができるはずである。

BMIの技術や脳損傷患者の症状を示すのに、授業では、やはり静止画を用いるにとどまった。しかし、動画があれば、はるかに印象的に、興味深く示すことができただろう。たとえば、脳とコンピュータを繋いで、考えるだけでカーソルを好きな位置に移動することができる様子を撮影した動画を示したり、ADHD（注意欠陥多動性障害）の子供が授業中に教室のなかを動き回る様子を撮影した動画を（人権に配慮しつつ）示したりすれば、一枚の静止画を見せるのに比べれば、印象度が大きく違うであろう。このような動画教材をもっと取りそろえる必要がある。

⑤実践的スキル

脳神経科学リテラシーの授業は、脳神経科学の専門家ではない一般市民にとって重要な脳神経科学の知識を提供するものであるが、学期末テストの成績を見るかぎり、そのような知識はかなり習得されたといえる。しかし、テストはもっぱら筆記だけであり、実技を含んでいない。したがって、頭で習得した知識を現実の場面でじっさいに運用する能力が身についたかどうかは定かではない。

そのような実践的スキルが身につけていないのではないかと懸念されるのは、授業では、ほとんど脳神経科学とその社会的影響にかんする言語的な説明に終始し、そのような説明によって得られる知識を仮想的な現実の場面で運用させてみるという訓練がなされなかったからである。つまり、講義に終始して、演習の時間がほとんどなかったのである。知識を現実の場面で運用する実践的スキルが身につかなければ、どれほど多くの知識を蓄えても、絵に描いた餅である。脳神経科学リテラシーの授業を有効なものにするためには、もっと演習の時間を多くとる必要がある。そして演習のための教材を開発することがきわめて重要となる。

4. まとめ

日本において、科学技術におけるブレークスルーがイノベーションの創出をもたらす起爆剤であるという認識が政策決定者に広がり、科学技術振興が国家運営にとって極めて重要な政策課題であると認められるようになってから、まだ20年程度しかたっていない。しかし、現在では、日本をはじめ先進各国で、政策的に研究体制が作られ、国家や産業界の意向に対応する仕方で科学的知識が

生み出されている。こうして生み出された科学的知識は、われわれの社会生活や世界認識のあり方に大きな影響を及ぼしつつあるが、多様な科学的知識のうちで、どれがそのような社会的意義をもつのか、またそういった知識はどのような性質をもつのかについて、十分には明らかにされていないし、一般市民も、科学者や政策決定者もよく理解しているとは言えない。

われわれは、社会的実践と科学研究の接点に位置する現代の諸科学-ポスト・ノーマル・サイエンス-の中から脳神経科学を取り上げ、脳神経科学の社会的意義や人間観への影響を調査し、それを教材として学生に提供することにより、実践的意義をもつ脳神経科学に関する一般市民の理解や、その知識を用いた意思決定能力を高めることを目的とした科学リテラシー教育の研究を実施した。脳神経科学リテラシーは、脳神経科学の現状の理解だけではなく、脳神経科学の影響を今後受けていく社会のあり方に対して人々が態度決定を行うために必要不可欠である。われわれの研究には先行事例はなく、まだ研究段階は萌芽的であるため、今後は、これまでに明らかになった問題点を克服していく努力を重ねる必要がある。

社会生活や世界観に大きな影響を及ぼす現代科学は、脳神経科学だけではない。ゲノム科学や、ロボット工学、人工知能、ナノ科学などに関しても、同様の科学リテラシー教育を実施していくことは極めて重要であろう。

注

- 1) この研究の成果は、信原、原 (2008) にまとめられている。
- 2) このリテラシー教育に関する研究は、この論文の著者に加えて、村田純一、廣野喜幸、服部裕幸、中山剛史、楠見孝、永岑光恵、山本愛実、植原亮、立花幸司、中澤栄輔、西堤優、山口まりによって実施された。
- 3) 例えば、脳神経科学やゲノム科学上の知見を用いれば人間の身体能力や認知能力を人為的に増強することは十分可能であるが、そのような能力増強技術の望ましさをどう評価するかは、社会構成員の価値観に依存する。
- 4) 質問紙を用いた授業効果測定についての詳細は、永岑、楠見 (2010) にまとめられている。科学情報を受け取ることについての古典的で、現在は批判されることが多い理論として欠如モデルがあるが、欠如モデルでは、一般市民は、科学に対する正確な専門的知識が欠如しているために、科学がもたらす社会的影響に関して無用な不安や恐れをいだくのであり、正確な科学的知識が与えられれば、市民は科学に対する不信や不安を持たなくなり、科学的知識の応用に対しても肯定的になると想定されている (藤垣 2008)。しかし、永岑、楠見 (2010) によれば、脳神経科学リテラシー教育を受けることで、脳神経科学の実践的応用に関しては、許容しない方向に受講者の態度が変化する。このことは、欠如モデルとは両立しない。ただし、脳神経科学リテラシー以外の科目を受講した学生においても、脳神経科学の実践的応用に関しては、許容しない方向に態度が変化する可能性がある。脳神経科学に関する知識の習得と脳神経科学の技術的応用に対する態度の変化との関係については、今後も調査を進める必要がある。
- 5) この教科書『脳神経科学リテラシー』(仮題)は、2010年9月に勁草書房から刊行される予定である。
- 6) これらが合致する場合には、脳神経科学の入門的教育を行えば、それにより学習者の脳神経科学リテラシーも向上するはずである。したがって、脳神経科学リテラシーに特化した教材は必要とはされないと考えられる。
- 7) ただし、たとえ非体系的ではあっても、脳神経科学リテラシーの習得の基礎となる脳神経科学の基礎的知識が存在する可能性はある。そのような知識を選定する作業をわれわれは行っていないが、今後このことを試みる価値はある。
- 8) この調査研究に参加したメンバーは、坂上雅道、信原幸弘、永岑光恵、山本愛実、原塑の5名である。このうち、振り込め詐欺対策に資する脳神経科学研究を調査したのは、永岑光恵、原塑、信原幸弘である。

- 9) この調査研究の成果は、永岑 (2008) ; 永岑, 原, 信原 (2009) ; 原, 廣野 (2009) において発表されている。
- 10) 教科書第15章では、脳神経科学によるイノベーションの可能性を扱っているが、講義における最終回の授業では、この内容を扱わず、第14回までの授業で講義した内容のまとめを行っている。

●文献

- Burns, T.W., O'Conner, D.J., and Stocklmayer, S.M. 2003: "Science communication: a contemporary definition," *Public Understanding of Science*, 12, 183-202.
- Damasio, A.R. 1994: *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, New York, Putnam.
- Denburg, N.L., Cole, C.A., Hernandez, M., Yamada, T.H., Tranel, D., Bechara, A., and Wallace, R.B. 2007: "The orbitofrontal cortex, real-world decision making, and normal aging," *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1121, 480-98.
- 藤垣裕子, 2008: "受け取ることのモデル," 藤垣裕子, 廣野喜幸編著『科学コミュニケーション論』東京大学出版会.
- 株式会社 日本総合研究所2008: 『消費者の意思決定行動に係わる経済実験の実施及び分析調査』内閣府旧国民生活政策<<http://www.caa.go.jp/seikatsu/index-2.html>> (2010年1月9日).
- 科学技術・学術審議会 2009: 「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想および推進方策について～総合的人間科学の構築と社会への貢献を目指して～」文部科学省, 2009年1月23日<http://www.lifescience.mext.go.jp/download/houkoku/nou_090623.pdf> (2010年1月9日).
- 小林傳司, 2006: 『トランス・サイエンスの時代－科学技術と社会をつなぐ』NTT出版.
- 原塑, 廣野喜幸 2009: "脳科学と社会－脳科学リテラシーの観点から," 石浦章一, 黒田玲子, 山科直子編『脳と心はどこまで科学でわかるか』南山堂.
- Koenigs, M., Young, L., Adolphs, R., Tranel, D., Cushman, F., Hauser, M. and Damasio, A.R. 2007: "Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgments," *Nature*, 449, 908-11.
- Kosfeld, M., Heinrich, M., Zak, P.J., Fischbacher, U., and Fehr, E. 2005: "Oxytocin increases trust in humans," *Nature*, 435, 673-6.
- Miller, J.D. 1998: "The measurement of civic scientific literacy," *Public Understanding of Science*, 7, 203-23.
- 永岑光恵, 2008: "振り込め詐欺問題への神経科学研究の応用可能性", 内閣府旧国民生活政策<<http://www.caa.go.jp/seikatsu/keizaijikken/nousan2-1.pdf>> (2010年1月9日).
- 永岑光恵, 楠見孝, 2010: "脳神経科学リテラシーをどう評価するか. ～教育評価用の質問紙作成の試み～," 『科学技術コミュニケーション』, 第7号.
- 永岑光恵, 原塑, 信原幸弘, 2009: "振り込め詐欺への神経科学からのアプローチ", 『社会技術研究論文集』, 第6号, 177-86.
- 信原幸弘, 原塑編著 2008: 『脳神経倫理学の展望』勁草書房.
- Ravetz, J. 2006: *The No-Nonsense Guide to Science*, Oxford, New Internationalist.
- Ravetz, J. and Funtowicz, S. 1999: "Post-normal science-an insight now maturing," *Futures*, 31, 641-46.