

現代神経科学の源流ダイジェスト

ジョン・C・エックルス

伊藤正男 × 酒井邦嘉

連載「現代神経科学の源流」は、現代神経科学それぞれの領域を切り拓いた「源流」と呼べる人物のさまざまなエピソードをとおして神経科学の魅力を再発見することを目的として2013年にスタートしました。その記念すべき第1回は伊藤正男先生にご登場いただき、師・エックルス (John Carew Eccles; 1903-1997) について語っていただきました (本誌2013年5~7月号に前・中・後編に分けて掲載)。伊藤先生の研究の原点が凝縮されている対談の模様を、本特集を機にダイジェストでお届けいたします。

世界一の研究室

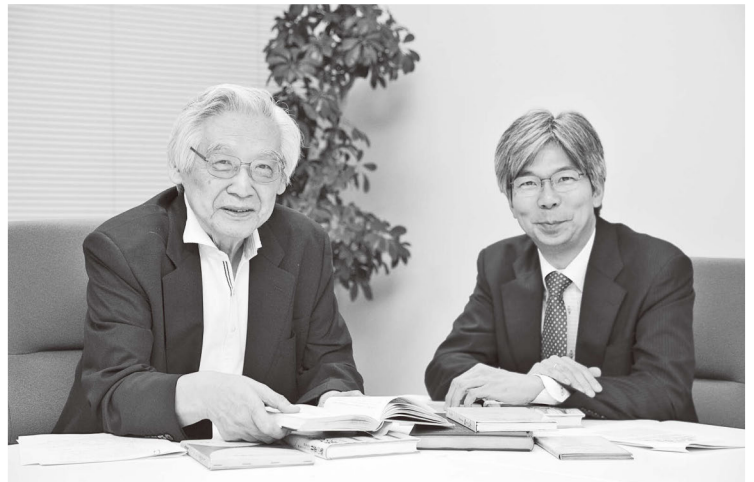
酒井 最初にエックルス先生とお会いになったのは、いつごろでしょうか。

伊藤 留学するまで会ったことはないんです。手紙のやりとりだけでした。ある日、エックルスに「よかったら来ないか」という手紙をもらって、それでノコノコ行って、1959年から3年間いたわけ。僕が帰国してから、エックルスは何度か来日しています。

初めは日本麻酔学会に呼ばれて、次は1965年の国際生理学会 (IUPS) にやって来たんです。この学会には、**ホジキン** (Alan Lloyd Hodgkin; 1914-1998)、**ハックスレー** (Andrew Fielding Huxley; 1917-2012)、**カツツ** (Bernhard Katz; 1911-2003)、エックルスと皆揃って日本に来た。すごい会ですよ。

酒井 それは、ノーベル賞受賞 (1963年) のすぐ後ですね。

伊藤 エックルスの研究室では、その頃まで興奮性シナプス後電位 (excitatory postsynaptic potential: EPSP) や抑制性シナプス後電位 (inhibitory postsynaptic potential: IPSP) で食ってたようなもんですよね。弟子も大勢いて、



研究費をたくさんもらっていて、いまから考えたら世界一の研究室ですね。電気生理用に重装備した実験室が3つあって、ローテーションで使っていくわけです。ネコのケージが300くらいあったかな。技師がいつも5~6人いて実験器械を調整しているし、すごい研究室でしたよ。僕は日本から行って、感激した。本当の実験室って、こういうものかと思った。

朝になると、ちゃんと麻酔されたネコが配られてくるしね (笑)。日本へ帰ってきたら、ネコは、たも網を持って追いかけて自分で捕まえないといけない (笑)。

ホジキン³⁾

1914年にイングランド中部バンベリーで生まれる。祖父と叔父は歴史家で、ホジキン本人も自然史に強い興味を抱くが、生物科学を専攻する。ケンブリッジ学生時代からカエルの神経の実験を始めている。当時ケンブリッジにいたトムソン、ラザフォード、エジントン、ホプキンス、ハーディ、エイドリアンら錚々たる顔ぶれに面会し、アドバイスを求めた。生理学教室でティモシー・ラシュトンからケーブル理論について学び、ブライアン・マシュー

からはアンブについて学んだ。
1938年からハックスレーと共同研究を行うが、第二次世界大戦中は別れてイングランド国内のさまざまな場所で航空医学を研究する。戦後、ハックスレーと共同研究を再開する。ホジキン病に名を残すトーマス・ホジキンとは別人である。

ハックスレー^{b)}

1917年にエイドリアンと同じロンドン北部ハムステッドで生まれる。祖父は19世紀イングランドを代表する科学者兼作家トーマス・ハックスレーで、兄弟は生物学者、作家とまさに華麗なる一族である。

ウエストミンスタースクール、ケンブリッジ大学とエイドリアンと同じ学び舎をたどるが、興味があったのは古典学であった。ケンブリッジ在籍中に旧友バーンズの勧めもあり、科学研究に転向する。ホジキンと合流後、イカの神経から電気記録を採ることに成功する。終戦後ホジキンと再合流した。

カツツ

1911年にドイツ・ライプチヒで生まれる。ライプチヒ大学で医学を学ぶ。1934年に医師免許を取得後、ユニバーシティカレッジオブロンドンに留学する。そこでヒル教授により学位を授与される。その後1939年からシドニー病院でエックルスと共同研究を行う。1941年にオーストラリアに帰化し、戦時中の主な任務はレーダー操作だった。終戦後はロンドンのヒル研究所に戻り、1952年教授となる。

クフラー

1913年にハンガリー・タップ村で大地主の息子として生まれる。5歳で母を亡くし、その後は家庭教師に育てられるが、実家の大農園を走り回ったり、馬に乗るのが楽しみで経済的には裕福に育つ。1932年の学生時代に父親を亡くす。生活は途端に貧しくなり、オーストラリアに移住する。オーストラリアのテニス

それから、当時はフィルムで写真をジャンジャン撮った。映画のフィルムみたいので何巻も撮るの。それも、翌朝にはちゃんと現像されて机の上に置いてあるんです。「すぐ解析にかかれっ」という感じです。そのへんの組織立ては、やっぱりすごいなあと思いましたね。

酒井 エックルス先生ご自身が、そういうことが大事だと思っていたことの反映ですか。

伊藤 そうでしょうね。それと、オーストラリアは戦勝国だったから、すごく景気がよかったですよね。そのお金で新しい大学を気張ってつくった。オーストラリア国立大学はいわゆる大学院大学なんです。学部学生がいなくて、大学院生しかいない。贅沢な大学で、宿舍もホテル並みだというので、新聞で叩かれるぐらいだった(笑)。

エックルスから聞いた「伝説」

酒井 エックルス先生の研究室には、カツツやクフラー (Stephen William Kuffler; 1913-1980) がいましたよね。

伊藤 そうそう。カツツは奨学金を得て、エックルスのいるシドニーにやってきた。

それから、クフラーはハンガリー出身ですよ。彼はナチスの手を逃れて、親戚を頼ってオーストラリアへ渡ってきた。ある日、エックルスがテニスをしていると、道端でしょんぼりと柵にもたれている若者がいたそう。それで、「おまえは何をしているんだ?」と聞いたら、ハンガリーから来て、やることがないと言うので、「それなら俺のところへ来い」と言って、実験を手伝わせた、ものすごく手先が器用だった。エックルスが神経を切り出してくれと頼むと、見事に切り出してくれる。神経を間違っただ半分にちょん切っちゃったのを、またくっつけたという伝説があるんだって(笑)。

酒井 本当に伝説みたいな話ですね。

伊藤 オタゴ大学時代は、マッキンタイア (Archie McIntyre; 1913-2002) が主任教授で、エックルスはあまり優遇されていなかった

んです。装置もあまり持っていないので、よくマッキンタイアのところにへ行って服の下に隠して持ち出してきたって(笑)。だから、何か神代の話みたいで面白いんだ。

酒井 エックルス先生はよくシェリントンの話をした、と伊藤先生の『ニューロンの生理学』¹⁾の中にも書かれていたんですが、例えばどういうお話をされたんでしょうか。

伊藤 シェリントンは、オックスフォードの自宅へよく学生を招いていた……というか、午後のお茶の時間に自分の家を開放していて、学生たちは、押しかけてはお茶を飲んでいたそうです。そういう昔式のうらやましいようなコミュニケーションのやり方をとっていたらしい。エックルスもその感じを引き継いでいますね。

エックルスから聞いた話にはいろいろ伝説的なものもあってね。シェリントンは、周りから「脊髄なんかやって、脳のことがわかるか」って悪口を言われていたらしい。それに対してシェリントンは、「末梢からだんだん統合して脳まで上がるんだ」と答えていたわけだ。エックルスが晩年のシェリントンをお見舞いに行ったら、シェリントンがそのことを言いだして、「やっぱり心の問題には到達できない……」と言ったとか(笑)。「脊髄のことを研究しているのは、これを積み上げていって脳までいって、最後は心に達するためだ、とそう言って自分を鼓舞してきたんだけど、どうもそれは難しいぞ」と死ぬ前に言っていたそうです。

エックルスはシェリントンのそういう考え方をとても意識していて、だから、「(シェリントンが実現できなかったことを)自分はどうしてもやるんだ」、「俺の80年は、そのためのものだ」とか、ものすごいことを言っていました。

でもエックルスが到達した最後は……。あとで話しますけど、今の神経科学ではとても受け入れられるものではなかった。

エックルスの実験スタイル

伊藤 僕はロザモンド (Rosamond Eccles) とい

うエックルスの娘さん（愛称ローズ）とエックルスの3人で1年間実験チームを組んでいたんですよ。だから、週に2回、暗室の中に籠もって実験をするわけね。赤い電球の灯った暗室の中に、3人で閉じこもってやってるわけですよ。ローズは電極を刺すのがうまい。マイクロマニピュレーター（電極微動装置）のダイヤルを回して、針を脊髄へ入れていって、運動ニューロンに当てるのがすごくうまいんです。潜水艦の艦長みたいなもので、脊髄の中をこういけばそこに何があるかということ、本当によく知っているんです。エックルスがときどきリードしてね。「そっちへ行っちゃイカン、こっちだ」とか言って。あれは面白かった。

僕は、エックルスの言うとおりに、ひたすらスイッチをつけたり、切ったり、大変なんです。ヒーヒー言ってやって、ひと晩実験が済むと、もう「フーツ」と疲れちゃう（笑）。でも、その間、エックルスは喋りっぱなしなんです。何でもかんでも喋るんだ。おかげで、いろんなことを聞いた。あれを、録音しておけばよかったね。

酒井 実験に関する話ですか。それとも雑談を？

伊藤 時事問題とかいろんな話だね。

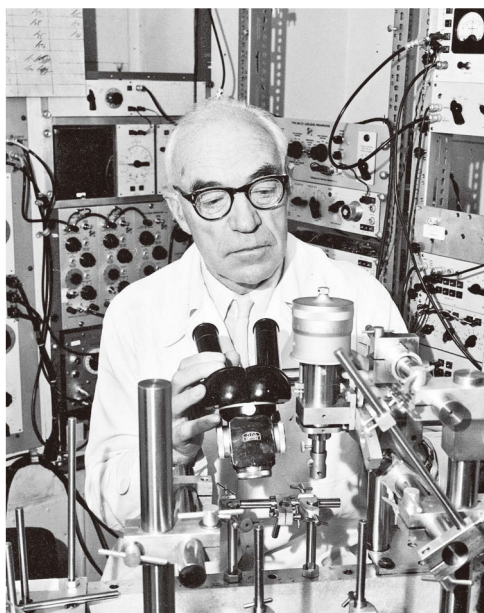
酒井 関心のあることをどンドン話して、それで実験をやっているんですか。

伊藤 そうそう。何でもいいんですね。

酒井 エックルス先生は話をすることで非常にアクティブになるようなタイプなんですかね。電気生理の実験は集中力が必要だから、寡黙になるかと思いきや。

伊藤 実験は娘のローズに集中させておいて（笑）、自分では喋りっぱなし。それが、細胞にぶつかった途端にガラッと変わりますよ。「細胞に針が入った！」という、「それっ！」というわけで、ダダダダーッと写真を撮り出すんですよ。それで、「次にこっちへ行け、あっちへ行け」と。僕には、「次の刺激を出せ」とか、ワァワァワァと大変な騒ぎで。

僕は行ったばかりで英語がなかなかわからなくて、まどついてばかりいたんですけど、いまから考えると一番懐かしい思い出



ジョン・C・エックルス

1925年、メルボルン大学医学部卒業後に渡英し、オックスフォード大学において、脊髄反射学の創始者で「シナプス」の命名でも有名なチャールズ・シェリントンのもとで学ぶ。1937年にシドニー病院の兼松記念病理学研究所長（1937-1943）、ニュージーランドのオタゴ医科大学教授（1944-1951）、オーストラリア国立大学教授（1952-1966）を歴任する。脳・脊髄の神経機序を研究テーマとし、神経細胞間のシナプス接続に抑制性のものがあることを発見した功績により、1963年ノーベル医学生理学賞を受賞した（同賞はエックルスの師シェリントンも1932年に受賞している）。1986年11月、多くの日本人研究者を育成した功績により、勲二等旭日重光賞を受賞している。

ですね。

酒井 実験は、何時頃から始めるんですか。

伊藤 手術は、朝7時に始めて午前中に終わっちゃうんです。午後から脊髄に針を入れ始めるわけ。それで、日のあるうちに1ラウンドして、それから食事をして……。それはたいてい皆で集まって、弁当みたいなものを食べてる人が多かったですね。家へ帰る人もいるけど。

飯を食ってから夜の部が始まって、夜中の12時頃にティータイムで、また2時から3時頃まで実験です。終わると後片づけをして、一緒にやっていた連中が車で送ってくれるんですよ。僕も、自分の家までエックルスに車で送ってもらってました。

酒井 それが毎日ですか。

伊藤 週に2回です。あんな実験、それ以上やったら死んじゃう（笑）。

キャンベラで、エックルスと一緒にやっててよかったなって思うのは、そういう徹夜実験のときにティータイムをとってくれたこと。実験室に残っている連中に、「皆、集まれ」って、紅茶を飲むんだ。そのときに、シェリントンなんかの昔話をいっぱい聞かせてくれたんです。あれは楽しい時間でした。僕には、語るほどの歴史はないけど、若い人にもう少しそういう話をしたほうがいいのか（笑）。

コートでエックルスと運命的な出会いをし、そこから実験科学者としての輝かしい人生が始まる。

ロザモンド

1929年生まれ。ニュージーランド南部ダニエディンのオタゴ大学を卒業後、ケンブリッジ大学に留学する。哺乳類の交感神経節の伝達の研究を続け、レンショウ細胞を含む介在ニューロンや脊髄反射を含む運動ニューロンの特性を研究し、後の脊髄神経のプレシナプス研究に貢献する。父親と一緒に研究していたことは有名である。

心脳問題

心は脳から生じたものか、あるいは脳を超えたものなのかという問題。大きく4つの見解に分けられる。①一元論：心と脳は1つになっていて分離することができない。②二元論：心と脳は別のものであり、両者は分離することができる。③唯心論：真に存在するのは全知全能の神であり、人間の心はその一部分で、物質的な事象は二次的な存在に過ぎない。④唯物論：物質的な脳だけが実在であって、心は脳の産物である。

二元論

世界や事象の根本的な原理として、相反する2つの原理や基本的要素から構成される概念。例えば、善と悪、光と闇、天と地、精神と身体などである。一元論に対立する考えとして英国の東洋学者ハイド(Thomas Hyde; 1636-1703)が呼んだことに始まる。

デカルト

1596年にフランスで生まれる。幼少期からイエズス会の修道院で学び、ポアティエ大学で法律学と医学を学んだ。大学卒業後、オランダ軍に入隊する。オランダ軍は当初から数学や物理学を取り入れていた。そこで、ガリレオ・ガリレイの落体の法則の実験などを行い、自然現象が数学で計算できる素晴らしさを痛感する。除隊後もこの理論を追究し、1637年に方法序説を書き上げる。その中の有名な言葉“我思う、故に我あり”(Je pense, donc je suis)で自分の存在価値を表わそうとした。パリ第5大学はルネ・デカルト大学とも呼ばれており、現在のパリ市内地図にも名を残す。またスウェーデンで亡くなるが、頭蓋骨は現在でも保存されており、日本でも1999年の「大顔展」の際に展示された。

注文献

- Biography of Alan Lloyd Hodgkin at the Nobel Foundation site
- Biography of Andrew Fielding Huxley at the Nobel Foundation site

話を戻すと、それでボンボン写真を撮って、3カ月に1編ぐらい論文を書いているんですね。金曜日に「データの整理はできてるか?」とか言って、そのデータを家へ持って帰って月曜日に論文の原稿を持ってくるんですよ。「これでいいか?」とか言って(笑)。

酒井 週末に書き上げてしまうんですか!

伊藤 そうそう。だから、週末に働くのね。教会へ行くときだけです、休んでるのは。ああいう凄まじい人も、あまり見たことないなあ。

エックルスの二元論

伊藤 この『Evolution of the Brain: Creation of the Self』(邦題:『脳の進化』)²⁾は、エックルス先生がすごい勉強をして書いた本なんですけど、ちょっと行き過ぎた話も載っています。酒井 心に関する憶測的な説が、後半に出てきますね。エックルス先生の「心脳問題」に関しては、やはり理解が難しいところですね。

伊藤 うーん。やっぱりカトリックの信仰にすごく影響されてるんですね。カトリックでは、人間の心と、肉体である脳を別々に考えるんですね。いささか乱暴に言うと、人間の心というのは、胎児が妊娠して胎内で育っているどこかの時点で、神様が脳に挿入するという考えが、カトリックの教義の背景にある。そういう考え方がベースにあるので、脳というのが心とは別のものだという考え方から離れることができないわけ。

酒井 極めて明快に、むしろ「二元論」と主張されたわけですね。

伊藤 そう。戦闘的の二元論だ(笑)。

酒井 もしそのときに、伊藤先生が「正しいのは一元論なんだ」と言っていたら大変なことになってましたね(笑)。

伊藤 そう(笑)。それは非常にしんどい議論になりますよね。エックルスの90歳のお祝いをドイツでやったんです。それで皆、集まったんだけど、そういう場でそういう話を本人がやり出す。だいたい、自然

科学者というのは、ほとんどみんな一元論でしょう。だから抵抗するわけですよ、エックルスが二元論の話をして。そうすると、ますます機嫌が悪くなって(笑)。あれは本当に困ったなあ。

エックルスの考えは**デカルト**(René Descartes; 1596-1650)の考えと似てるんですけどね。デカルトは、「心は脳の外にあって、脳に働きかける」と言ったのを、エックルスは、「心は脳に働きかけるけれども、脳もまた心に働きかける」、という「相互作用二元論」なんですよ。それを哲学として議論していればいいんだけど、実際の脳に当てはめて説明しようとなると大変なことになる。脳の一部、運動野の前の辺りが魂と交流する場所で——「連絡脳」と言ってましたが——、脳と心の交流する窓口だと。

脳のその辺りの前頭葉が、脳と心の問題を考えるうえで大事な部位だというのは確かだけど、信号が脳の外へ出ていくということは、ちょっと考えられない。連合野の他の部分から信号が流れてきて、相互作用が脳の中で起こっているということはたぶん言えるんでしょうけど。

反射学でシェリントンが考えていた、脊髄からだんだん上がっていくという道筋をね、エックルス先生もたどったんだね。EPSPだけでなく、IPSPも使いながら、いろいろな細胞がつながって回路網ができていくから、それを解き明かしていくことが大事だという考えはあったんですね。だから、反射経路を追跡していくという仕事にも、かなり力を入れていましたね。

酒井 『脳の進化』²⁾という本では、特に進化という問題を意識されていたと思うのですが、人類の進化の総論から始まって、言語を含めたコミュニケーションに関する議論が最初の章にあって、それから辺縁系や情動系、視覚、学習記憶に入っていく。そういう章立てになっているのがかなり新鮮でした。1990年頃は、私がまだ言語を専門にすることをまったく考えていなかった時期ですが、この本の前半にはそういう強烈なインパクトがありました。「人間の脳

が、どうしてこれほどまで特別なのか」という視点を、私はこの本から受けたんですね。その当時までに発表されていた、言語野にまつわる話が豊富に入っています。

伊藤 書いたのは、何歳ぐらいのときかなあ。

酒井 原書の出版が1989年ですから、86歳ですか。

伊藤 86歳か。すげえな(笑)。

酒井 伊藤先生も、2年後に本を書いていたかと並びますね……(笑)。

伊藤 もう1つ、『How the Self Controls Its Brain』³⁾という本が最晩年(1994年)に出ていて、その本も二元論の話。あのへんは、ついていくのが難しい。

思考における大脳と小脳の関連性

酒井 意識的な随意運動については、大脳のシミュレーション・モデルが小脳につくられるという伊藤先生のお考え⁴⁾がありますが、思考についてはいかがでしょうか。大脳にはどのように思考が生まれるのでしょうか？

伊藤 うーん、思考の内容まではなかなかねえ。脳科学では、アイデアというのは頭頂連合野に生じて、それを前頭前野が操作するのが思考だと考える。頭頂連合野にできたアイデアを前頭前野があっちに向かせたり、ひっくり返したりして操作するのが思考だというふうに喩えますよね。

酒井 ええ。

伊藤 そうすると、頭頂連合野にできているアイデアのコピーを小脳がつくる。そうすると前頭前野はそのコピーを相手に操作して、同じような思考ができる。両者の違いは、小脳の場合は無意識にプロセスが進むけれども、頭頂連合野の場合には意識に上っている。だから、意識した思考を繰り返しているうちにコピーができて、無意識の思考に切り替わるといふわけ。

確かに、同じことを考え続けていると、どこかで無意識になっちゃうね。それで、自分では忘れてはいるけれども、2~3日経ってからヒョッと思い出すよね。「ああ、あ



シェリントンのペンギン
エックルスがオックス
フォード大学を去るにあ
たって、シェリントンが
銭別として贈ったと伝え
られている陶器のペンギ
ン像。シェリントンがこ
のような贈り物をしたの
は珍しく、エックルスも
気に入って愛蔵していた
という。

の問題の解決はこうだ」と(笑)。

そういった説明はできるんですけどね、その肝心の「アイデア」というのがどういふものなのか、まだわからない。僕は、いまの脳科学の一番の問題は、大脳皮質のネットワークに、アイデアなどの知識的な情報をどうやって符号化しているかがわからないことだと思う。運動のコードが小脳にできるということは、そう難しいことではないですね。これは、実際にコンピュータでシミュレーションできるから。

ところが、観念とか、概念とか、アイデアのような知識的な情報は、どうやってネットワークに表現されているのかわからないですね。どんなふうに変換されているのかなあ。

最近、小脳は運動だけじゃなくて、認知機能にも関係があるといわれていて、状況証拠はだいぶ固まっているんですよ。実際に小脳の外側のほうが働かなくなると、喋り方ではなく、言語の理解がおかしくなる。運動を伴っていないような行動に、異常が実際に出る。

だけど、同じ小脳の回路で、一方は運動の情報、つまり物理的な世界の情報を扱う。他方はアイデアの情報、いわばマインドの世界であって、「心の中でどう思うか」という情報を扱うことになる。そうしたら、同じ回路でこの2つの世界に対応できるのか。それは、ものすごい疑問ですよ。

あるいは、心の世界の情報というのは大脳のほうで処理し変換して、運動の情報と同じような格好で小脳に送られるとすれば、小脳の問題は片づくわけだ。けれども、

注作成

菊池雷太(汐田総合病院神経内科)

最後は脳の回路がどうやってそういう心
の世界の情報を表現できるのか、それが一
番の問題。それが解けたら、脳の問題は全
部解けちゃうと思うんだがなあ。それこそ
ロボット化できちゃう。

酒井 うーん、これは難問ですね。

伊藤 そういうことを考えている哲学者は
いますかね (笑)。

酒井 それは、やっぱり一元論的に考えて
くれるような哲学者が必要ですね。

伊藤 うん、文系の研究者には二元論者が
ものすごく多くてね。この前亡くなった元
最高裁判事の団藤重光さんに話を聞いても
らったことがあるけれども、「あなたは一
元論だ」って叱られた (笑)。刑法なんかで
は、自由意思の問題が大きいので、一元論
だけでは律しきれないんですね。やっかい
なジレンマですねえ。

ナイス・ストーリーをつくれ

酒井 それでは最後に、印象に残るエック
ルス先生のお言葉を教えていただけま
すか。

伊藤 “Let’s make a nice story” — 「ナイス・
ストーリーをつくれ」というのは、しょっ
ちゅう言ってたね。彼は本質的には実験家
なんだけど、ただデータ主義じゃなくて、
「そこからいい仮説を導け」という意味だ
と思います。ただ、最後に本人は少々つく
り過ぎた感があるけどね…… (笑)。

シェリントンがみた夢を引き継いで、シ
ナプスなどの問題を解明し続けてきて、最
後に脳で一元論か二元論かの決着をつけ
るようなハメになって、敗北してしまった
けれど、それは、現在の神経科学の限界を
みせたという側面もあるんだよね。だか
ら、エックルス先生が越えられなかった一
元論と二元論の溝というのは、これからの
神経科学が向き合わなきゃいけない問題と
して、やっぱり残ってますよね。

本質的には一元論だけで済むような世界
なのに、それがなぜ人間で二元論化され
ちゃうのか、どこにその原因があるのか
……。それを考えないといけないね。

酒井 長時間にわたり、奥深いお話を本当
にどうもありがとうございました。

(了)

文献

- 1) 伊藤正男: ニューロンの生理学. 岩波書店, 東京, 1972
- 2) Eccles JC: Evolution of the Brain: Creation of the Self. Routledge, London, 1989/伊藤正男 (訳): 脳の進化. 東京大学出版会, 東京, 1990
- 3) Eccles JC: How the Self Controls Its Brain. Springer-Verlag, Berlin and New York, 1994
- 4) 伊藤正男: 第6章 小脳と大脳. 脳と心を考える. 紀伊國屋書店, 東京, 1993