

## インタビュー：認知脳科学と言語

東京大学大学院総合文化研究科認知行動科学

さかいくによし

酒井邦嘉氏に訊く

**Computer Today (以下, CT) :** 本日は、認知脳科学とはどのようなものかということと、今先生が取り組んでいらっしゃる言語のご研究についてお話を伺います。

### ■ 言語はサイエンスの対象

**酒井邦嘉先生 (以下, 酒井) :** まず大きな枠組みからお話ししますと、言語はサイエンスの対象だという立場です。これは自明なことではありません。言語を扱う言語学は、大学の教育でも文系に属していて、理学部言語学科は存在しないわけです。それから、言語は人間が作り出したものだから文学と同じであって、サイエンスの対象ではないのではないか、という印象を持つ人も多いようですが、それは間違いだと思います。

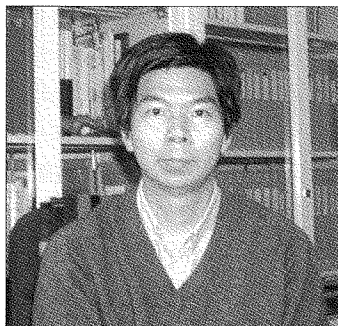
では、どうして言語がサイエンスの対象だといえるかという理由をお話しします。まず、物質の世界はサイエンスの対象になっていますね。そもそも物質というのは自然界の構成要素として存在しています。そこで、まず、いちばん広い世界として物質の世界からスタートします。その次は生命の世界です。生命をどう定義するかというのはなかなか難しい問題ですが、ここでは自分を複製して、遺伝情報を後世に伝えるような物質のシステムとしておきます。生命にもいろいろありますが、その中には脳を持った動物があるわけです。その脳の働きの一部分が心だと考えることができます。こうのように考えますと、最初は物理学の対象だったものが、生物学・生理学、そして心理学というように、対象とする学問が変わってきているわけです。ここで脳から心までを対象にする学問が必要になるわけですが、それが認知脳科学です。認知というのは「認め」「知る」と書くように、心の働きの中でも高次の機能を指すことが多いのですが、物を見るときか、音を聞くとかいったことを含めて認知と言っています。それを脳科学から調べたいわけです。

では、言語はどうなっているかということ、心の一部分で

あると考えます。ですから、言語は生命現象の一部であるということになります。言語は脳が創り出した非常にユニークな機能で、そういう意味でサイエンスの対象と言っていると思います。

**CT :** 物質はサイエンスの対象であると最初から思われていて、生命もサイエンスの対象と思われていた。しかし、そこから先は、文系的と思われていたということですね。

**酒井 :** そうです。それで、心理学は文学部に属していたりするわけですが、研究の場ではもうすでに大きく変わりつつあります。たとえば、後でお話する脳機能をイメージングで調べるようなアプローチでは、心理学と脳科学がすでに融合しています。ここ数十年、サイエンスの手法を使って心のいろいろな問題を解き明かそうという動きがすでに始まっています。心理学の中には、従来からサイエンスの手法を使う部分がありましたが、心理学の範囲は広くて、まだサイエンスに入っていない部分もあるでしょうし、わからないことはたくさんあるでしょう。それでも心理学はもうすでにサイエンスにほとんど入ってきているわけです。



酒井邦嘉氏

東京大学大学院総合文化研究科助教授

# 人間の 情報処理システム

## — 言語と脳科学

しかし、そこまでできてもなお、言語は人間が作った、アーティフィシャルなものだという立場が根強い。人間が生み出したC言語やFortranなどのプログラミング言語と、われわれが使っている日本語といった何が違うのか。どちらも規則はあるわけだし、同じじゃないかという立場があるわけです。工学系の方は、「自然言語」という言い方をどこかで聞いたことがあると思いますが、それは言葉を人間が作ったプログラミング言語とは一応区別しましょうということですね。しかし、それがどうしてなのか、というのが問題なのです。自然言語とは言っても、それはやはり人間が作ったんじゃないかということになるわけです。たとえば、アルファベットだって人間が発明したものです。だから人工的であって、恣意性があると考えます。人間が作るものの形を考えてみると、たとえば自動車の車輪の数は、自然法則で4つだと決まっているわけではありませんね。それには、デザインや機能の点で恣意性がある。そして、言語にも同様に恣意性があると多くの人が考えているわけです。確かに犬のことを「イヌ」というか「dog」と呼ぶかは任意ですが、言葉は単なる意味とシンボルの対応だけではありません。言葉には自然法則があるのです。なぜなら、心が言葉を生み出すとすれば、それは脳で決まるからです。つまり、脳によって決まった言葉しか我々は話せない。自然言語というのは脳によって決まっています、我々、地球のヒトがしゃべっている言葉の構造は、勝手気ままに変えられるわけではないということです。

**CT:** すると、言葉の構造を調べると、脳の働きの一部が見えてくるとも言えるわけでしょうか。

**酒井:** そうですね。人間が使っている言葉をよく調べれば調べると、人間の心の構造がよくわかるだろうと思います。

### ■ 認知脳科学の構造

**酒井:** 認知脳科学が含まれている分野を順番に挙げると、まず物理学ですね。次に情報科学の主に人工知能やニューラルネットの部分。それから生理学。人工知能というのは生理機能の一部分である、物を見るときか身体を動かすとか考えとかいったことをモデルによって物質世界に実現しようというものです。また、ニューラルネットは神経回路のモデルなので、生理学で扱う実際の脳の素子、ニューロンの人工的なものを考

え、それを組み上げてどのように動作するかを探求するわけです。そういう意味で、情報科学は物理学と生理学のインタフェースということになります。生理学というのはニューロンだけを相手にしているわけではなく、もっと裾野の広い学問で、たとえば、筋肉の働きも含めた身体の働きをすべて扱いますから、神経を対象を絞った神経科学が心理学とのインタフェースになります。哲学や言語学がその先になります。

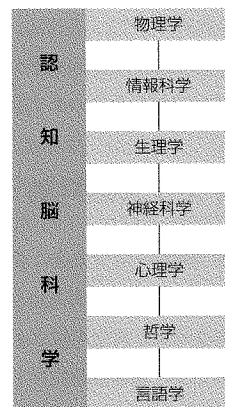


図1: 認知脳科学の構造

**CT:** ここで哲学が出てくるんですか？

**酒井:** 哲学というのは多くの人が心理学と同様に文系だと思いかもしれませんが、心理学でよく分かっていたいなかった、たとえば意識の部分に初めて取り組み始めたのは哲学なんですね。デネット(D. C. Dennett)を始めとする哲学者たちが非常に関心をもって意識の問題を議論し始めたわけです。そこで、心理学の範疇と哲学との境界みたいな分野が生まれてきたようです。また、それが刺激になって、最近は脳科学でも意識の問題がどこまでサイエンスになるかと考え始めています。そういう哲学では、論理的問題だけではなく、それが実体としてどのように脳にあるかということも議論されてきたことが、認知脳科学との接点になっています。言語学は、意識や他のいろいろな心の問題の中でももっとも核心にある言語を対象としてきたわけです。認知脳科学とひとくちにいても、物理学から言語学までの広い分野をカバーする、もしくはなくてはならない領域です。これまでのサイエンスは、そのうちのどれか1つにスポットを当てればよかったわけですが、言語に関しては、言語だけ見ていればいいのかというように

うわけにはいかない。情報処理はどうなっている、ニューロンではどうなっている、脳ではどうか、ということに遡って、積み上げて考えていかななくてはならないわけです。

**CT:** コンピュータのように、ハードがあって、その上にソフトウェアの階層がいくつかあって、それが使う側に見えているというような感じですね。

**酒井:** そのたとえば、当たっているところもあれば、外れているところもあります。当たっているところは、物質的な構造、ハードに依存しているということです。ソフトウェアがハードに依存して決まるという意味では積み上げのにできているわけです。そういう階層性を考えると、ハードの上にソフトウェアのアーキテクチャが乗っているというたとえばはわかりやすいですね。ただ、それをやり過ぎると、工学の世界では、ハードウェアとソフトウェアを分けることは可能だから、人間でも脳と心は分けられて、全然別物だと思ってもいいんじゃないかという二元論の立場になってくるわけです。そうなるとうハードへの依存性が希薄になってきて、ソフトウェアが一人歩きすることになりますよね。じゃあ、人間の使っている言語はそういうものかという、そこまでは分離できないと考えています。つまり、言語というものはもっと脳に密着していて、脳がこうなってるから言語はこうなっているんだというように、脳の機能として決まっている可能性があります。

**CT:** もう一度コンピュータにたとえると、OSによってハードの構造を隠蔽してしまうのではなく、もっとハードに密着しているという形ですね。

**酒井:** そうですね。ただ、たとえとしては分かりやすいですけども、そういうOSのようなものが脳にはないのか、という話はサイエンスになっていないと思います。今の段階では検証しようがありませんから。ちょっと話がそれましたが、言語は非常に脳に密着していると考えているわけで、脳を考えると言語学は非常に大事です。もちろん言語学だけでなく物理学も神経科学も心理学も、みんな大事なわけです。これが認知脳科学における言語の位置付けです。これをひとことだとまとめると、「言語はサイエンスの対象である」ということになるわけです。

## ■人間の言葉の本質は

**酒井:** 特に言語学で鍵となるのは、人間の言葉の何が本質的かということです。大きく分けると、言葉の要素としては、まず形式、つまり文法があります。例えば、語順の規則性がそうですね。それからその中身、つまり意味があります。文法と意味、別の言い方をすれば「形式と内容」ということになります。言語学には統語論と意味論の他に、音韻論という分野があります。音がどのような法則で人間の言葉となり得るかという問題です。たとえば、日本語には五段活用という規則がありますね。後に何が続くかによって音が規則的に変わります。つまり、音列自身が一つの体系を作っているわけです。そういう法則というのは後で人間が解析すると五段活用とか下一段活用といった活用形になるのですが、それは誰かがこうしようと決めたから、それに従っているのではなくて、親がそういうふうにしやべっていたから、それを聞いた子が同じように話すようになるわけです。このように、文法と意味と音韻というのが、脳の中の言語の要素だと考えられます。一応このように分けられて、独立して仕事はできるけれども、互いに相補的に働くものを、言語学ではモジュールと呼んでいます。そのいちばん鍵となるアイデアを出したのがチョムスキー (Noam Chomsky) で、文法はそういうモジュール性を持っているということを1980年代に主張しています。チョムスキーの1つの仕事は、普遍文法もしくは生成文法と呼ばれる、人間の言葉に共通した文法の構造があるという説を出したことです。もう1つ、情報科学でよく使われるのに、チョムスキー階層という考えがあります。形式文法にも階層があり、人間が使っている言葉も、C言語やFortranも、ある文法の規則にしたがっているというものです。もっとも広い階層がチューリングマシンと呼ばれているもので、その中に自然言語、さらにその中に正規文法というものがあります。自然言語はチューリングマシンほど広い必要はない。しかし正規文法では狭過ぎて人間の使う言語を説明できない。両者の中間に文脈依存、文脈自由という文法の規則を見出して、その定義を与えたわけです。実際に自然言語がどちらかというのはまた議論のあるところですが、チューリングマシンと正規文法の間にあることは間違いのないでしょう。

チョムスキーが非常に影響力があるのは、こういう形式的な文法というアイデアと、一方では普遍的な文法というアイデアの2つを出したためだと思います。つまり、工学系

# 人間の 情報処理システム

## — 言語と脳科学

の情報科学としての言語の捉え方と、それからもっと歴史的な、ギリシャ時代からあるような言語学の流れの両方が融合する言語のサイエンスというものを作ったわけです。それが、認知革命とかチョムスキー革命と言われるものの本質です。このアイデアの実体を明らかにするのがサイエンスの次の仕事だと思います。チョムスキーは形式、もしくは言語の現象を整理する法則を見出したわけで、次は、その法則がいったい何によって支えられているのかを調べる必要があります。それが脳科学の大問題です。

### ■言語は脳のどこにあるか

**酒井**：私が今いちばん関心を持っているのは、文法が脳の中でどのように計算され、表現されているか、そのwhereとwhatとhow、つまり、どこで、何が、いかに行われているかということです。それを明らかにすることが研究のテーマです。

**CT**：where, what, howをどのような方法で捉えようとしているのでしょうか。

**酒井**：脳機能イメージングという手法を使って、たとえば実際に文法のある特定の処理をしているときに、脳のどの部分が活動しているかという対応関係を調べています。これがwhereですね。こうした脳と言語の関係では、19世紀に話が廻ります。19世紀後半にブローカという人が人間の脳の中の機能局在を初めて見つけて、ブローカ野と呼ばれる左脳の前頭葉が人間の言語の中核だと述べています。

**CT**：失語症が手がかりになった……

**酒井**：そうです。失語症の研究は100年以上の歴史があって、そこから人間の言葉は脳のある一部に局在しているだろうというアイデアが出てきたわけです。次に問題になるのは、文法はどこにあるのかということです。これに関しては、失語症の研究で、失文法という障害が知られています。失文法の人、個々の単語は話せても、それをちゃんと並べて意味のある形にできない。もしくは、受身形に変えとか、使役にするとかいう文法的な操作がうまくできない。非常に単純な文章を話したり理解したりするには問題がなくても、ちょっと変

形しなければならなくなると、文法知識が出てこない。ここでいう文法は、一般の人がイメージするような、三人称単数現在だからsが付く、というような知識とは違っていています。我々はいちいち文法を考えて言葉を使っているわけじゃありませんよね。しゃべっているときに、これは未然形だから次に何が来るだろうとかは考えないわけです。そういうことは一切考えないで、無意識的に文法を使っているわけです。失文法ではそれができなくなる。自分があることを話したいのに、文法が使えないがために話せない、というのはわかりますか？

**CT**：不慣れな外国語を話そうとするときのような感じですね。

**酒井**：その通りです。単語は知っていても、それをうまく組み合わせないと意味の通る文になりませんね。ブローカ失語は、文法の計算ができないために話ができないという可能性もあるわけです。ただし、文法じゃなくて唇や舌がうまく動かせないからだという人もいて、これはかなり議論になりました。そもそも発話のメカニズムは非常に不思議で難しい。だから、まだ決着はついていません。もう一つブローカ失語の原因としては、言葉自身を取り出せない可能性もあります。自分で何か言いたいと思っても、ちょうどいい単語が出てこないときがあるわけですが、そういうときは文法や運動の障害ではない。言葉を引き出してくるためのメカニズム、ちょうど記憶のとり出しのようなメカニズムがうまく働いていないのかもしれない。そういういろいろな可能性の議論が100年以上続いてきています。それになんとか決着を付けたいわけです。そのための一つの方法として最近注目されているのが、脳機能イメージングです。文法を処理しているときに、それが脳で局在しているのかどうかを調べてみました。

### ■実験の方法

**酒井**：そのためには、被験者に特定の文法処理をしてもらう必要があるわけです。たとえば、去年、論文\*で発表した実験では、次のような方法を使いました。

まず、1つの文を見てスペルミスがいくつあるかという課題を解いてもらいます。必ず誤りはあるんですが、1つか2つかというのを非常に短い時間で判定しなくてはなりません。

\*Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97, 6150-6154

たとえば、

The manager asked about Will's use of the funads.

という文では、askedのeが1つ多く、funadsに余分なaが入ってfunadsになっているという、2つの誤りがあります。これは綴りの誤りを見つける言語課題になっています。もう1つは文法課題で、語順の誤りを見つける課題です。

The manager asked about use Will's of funds the.

これは隣合う単語が逆になるようにしてあって（useとWill'sが逆、fundsとtheが逆）、それを判定するというものです。これには、文法知識が要求されます。この2つの課題を解いているときに、脳の活動に違いがあるかどうかを調べたわけです。実際にやってみますと、脳のいわゆる言語野といわれる場所がすべて活動します。たとえば、ブローカ野、ウェルニッケ野、あとは頭頂葉にもそういった活動をする領域があります。つまり前頭葉、側頭葉、頭頂葉の一部が活動するんです。このとき、綴りの課題と文法の課題でいちばん差が出るのがブローカ野です。しかも、左側のブローカ野の差が際立っています。人間の言語は右利きの人であれば左脳に偏っているということがよく知られていますが、それと一致しているわけです。それで、左側の前頭葉の下前頭回のあたりが文法を計算しているセンターであろうと考えています。本当にこの部分だけかという点については、さらに詳細な解析をしているところです。やはり人間の文法処理は、ブローカ野の周辺に局在しているだろうと考えています。これでwhereは分かりましたから、今度はwhatとhowですね。どのような文法の計算をいかにしてやっているかというのが次のテーマです。

CT：whatというのは、たとえばどのようなことでしょうか。

酒井：自然言語の文法でもいろいろな文法がありますね。たとえば主語と述語の対応や、代名詞が来たときにそれが誰を指しているかとか。そういう文法的な判断にも、いろいろな種類があるので、それを全部この場所で扱っているのか、それとも一部だけを他の場所で分担しているのか、そういう問題がwhatです。そこがわかってきて、これはこういう理由で分担しているんだなというのがわかってくるとhowがわかってくるんですね。非常に複雑な人間の文法の処理なんですけれども、それを解明する方法として現在の研究をお話ししました。

CT：今はwhatで、howはこれからということでしょうか。

酒井：そうですね。whatと並行してwhereもやっています。最後の問題としてhowが来るんですが、人間の脳だけですべてhowがわかるかというのと難しい問題です。たとえばhowといった場合に、ニューロンでどう計算するのかというのが問題になります。人間の脳をニューロンレベルで調べられるかという今我々はそういう技術を持っていません。健康者の脳に針を刺すような侵襲的な方法は使えませんし、脳機能イメージングの方法を使っても、ニューロン単位の活動を調べることはできないわけです。あと10年か20年たつたらできるようになるかもしれませんが、今はできない。顕微鏡で見るような方法がないわけです。そうした制約がある中でどこまでわかるか。もし、30年たつても40年たつても無侵襲的にニューロン単位の活動を調べる方法が出てこないとしたらわからないままなのかというと、そんなことはないと思います。そこで大事になるのがさっき少しお話したニューラルネットを使って神経回路のモデルを作ってみるということです。こういう組み方をするとこういう計算ができるといったモデルを作る実験は可能なわけですから。その両方からうまく進めればわかると思います。

CT：「脳を知る・守る・創る」というプロジェクトがありますが、その中の知る部分と創る部分にあたるわけですね。

酒井：そうです。私はそのプロジェクトの脳を創る部分をやっていて、やはり脳を創ることを目指しています。脳を知れば原理がわかって、それでhowが分かれば脳が創れるわけですが、どちらかだけというわけにはいかないですね。工学的なモデルの発想に加えて生理学の立場から脳の働きを調べていく必要があります。言語というのは非常に難しい問題なので、一筋縄ではいきません。

## ■母国語は特別

CT：今、対象とされている言語は日本語ですか？

# 人間の 情報処理システム

## — 言語と脳科学

**酒井**：さきほど紹介した実験では英語圏の留学生に対して英語を使いましたが、日本人に対しては日本語を使っています。大事なのは被験者にとっての母国語であるということです。

**CT**：母国語じゃないと脳の違う部分が働くことになってしまうからでしょうか。

**酒井**：そうです。それについては最近いくつか研究がはじまっています。両親が違う言葉話す環境に生まれた赤ん坊がバイリンガルとして育った場合と、あとから外国語として、たとえば中学生から英語を覚えた場合とでは、脳の活動が違うということが報告されています。そういう個人差も、脳機能イメージングを使って、だんだんわかるようになってきます。母国語には脳の中で特別な意義があるとすればそれはなぜか、というのが、今関心を持っているもう1つのことです。

つまり、訓練して、連想によって覚える記憶は、もともと小さいとき、ちょうど言語の感受性期に覚えた言葉とは明らかに区別されるということです。訓練して頑張って覚える外国語とか、文法の三単現のsのような知識ではなくて、もっと自然に、五段活用を知らずに、五段活用が自然に出来てしまうところに、たぶん本質があると思うんです。

**CT**：たとえば、そういうふうな言い方をしたらおかしい、というのが説明はできないけれどもわかっている、というようなことですね。

**酒井**：まさにそうです。ではなぜ説明はできないのにそうしなくてはいけないとわかるのか。それは誰かがしゃべっているのを聞いて覚えていただけたら、という考えは正しいでしょうか。ところがそうやって説明しようとする、3歳でまともに話をするなんてことは絶対にできないことになってしまう。親がすべての言葉を網羅して言っているわけではないし、文法的な規則にしても全部統計を取ってみると使っていない規則があるかもしれない。明示的に文法の規則を与えていないのに、なぜ赤ん坊は、文法的な規則を自分で発見して、1歳や2歳でも話を始められるのか。それは脳に秘密があるからだと思います。

**CT**：小さい子供は何か言葉を発明するような感じがありますね。

**酒井**：いちばん外界にフィットするモデルを脳で計算しているのかもしれませんが。親はいちいち今のは言い間違いだからだめとは言わないし、これからお母さんが間違った文型をしゃべるから指摘してごらんなどとは言いませんよね。ところが、計算機に教えるときにはそれをやる必要がある。正しい例と間違った例を両方与えなければならぬんです。それでチョムスキーはどう考えたか。コロンブスの卵みたいな発想ですけども、もともと文法が脳にあると考えたんです。その実体はどこにあるのかというのが次のステップなんです、それはまだわからない。これはチョムスキーの宿題みたいなものです。

## ■ 脳機能イメージング

**CT**：脳機能イメージングという方法で研究されているというお話でしたが、どのような装置を使うのでしょうか。

**酒井**：まず、MRIを使う技術があります。1992年に、脳の活動とMRIの信号値が相関するということを見つけた人がいて、それがfunctional MRIの始めです。脳が局所的に活動すると、その信号値が増えます。ですから、ある課題をやっているときの信号値の変動を手がかりにして、特定の課題をやっているときに変動する場所を統計的に見つけることができるわけです。空間的にはかなり細かいところまでわかります。同じ人でやれば、常に同じパターンを示し、他の人も比べることができます。

もう一つは、光トポグラフィという、日立製作所が開発した技術です。これは頭皮にレーザーを当てて、その反射で脳の局所的な血液の集中の仕方がわかるというものです。これを使えばかなり自然な環境で言語の活動を見ることが出来ます。光源を一つではなくて、格子状に配置するのが、光トポグラフィの優れたアイデアです。

**CT**：外側からでも見えてしまうものなんですね。

**酒井**：脳波というのをお聞きになったことがあると思いますけれども、あれも外側から脳の活動を電氣的に計測しようというものです。脳波の難点は頭のいろいろなところに電流が流れてしまうことです。逆に骨のように、電流が流れにくいところもあります。今お話したMRIや光を使った手法では、空間的な分解能が非常にいいので、マッピングという形でwhere

を確定することができます。whereがわかれば、今度は、何をしているときにそこが活動するのかというのを試せるので、whatがわかってくるわけです。

**CT:** その「何をしているときに」というのを実験で調べるのは大変なではありませんか。

**酒井:** 大変です。そこでは、心理学のテクニックを使う必要があります。ある時間には特定のことを考えてくれるように実験を組まないといけないわけです。黙ってばっとしていられると、何を考えているかわからないわけですから。さっきお話しした実験のように、決まった時間内に、文法的な誤りがいくつあるかを答えなくてはいけない、といった課題を出すわけです。こういう実験は、同じ人を相手に、繰り返しできるわけですから、再現性をチェックすることができます。これはこういう条件のときの脳の活動だ、というのをきっちり調べることで、再現性が保証されることがサイエンスになるわけです。

**CT:** 頭を開いて脳を直接見るようなことではうまくないわけですね。

**酒井:** 頭を開いてしまうのは、手術の必要があるときにしかできませんし、そういった侵襲性のある技術には限界があります。MRIによって、腫瘍があるとか、出血があるとかいうことが、切らずに目で見てわかるようになったわけですが、活動の違いについても見えるようになったのは驚きですね。普通の人であればここに活動が出なければいけないのに出ないとか、普通の人よりも活動が高まっているとかいうこともわかるようになってきています。そこまで行くと、病的か正常かという境界がむずかしい。個人差があるわけです。

**CT:** 健康診断の結果で、この範囲の数値ならば一応正常というのがあるようなものですね。

**酒井:** そういうデータの蓄積がとても大事なわけです。ただ、今は病院でMRIを使って見ているのは、働きではなく形です

ね。けれども、これからは働きを見るようになっていくでしょう。たとえば、超音波で血流を見たりするのもそうです。もっとダイナミックな変化がわかるようになると、今までのように切って見ていたのとは違ったものが見えるようになると思います。昔ながらの顕微鏡で物を見るときには、切片を作って、染色して、完全に死んで固まったものをサンプルにしますね。生きていて変化する状態を見ると、また違う面白さがあるでしょう。脳は瞬時に機能が変るようなダイナミック場所ですから。

**CT:** たとえば、閃く瞬間とかですね。

**酒井:** そうです。言語が核心にあると言ってきたわけですが、そうした閃きのような思考の飛躍は、言葉なしで起こるんじゃないかといっている人もいます。言葉で考えずに、ぱっと閃くという感覚はあるわけですから。だからといって、それは言語ではないのかというと、まだわからないわけです。

**CT:** 観測する手段があったとしても、その瞬間を捕まえるのは難しそうですね。

**酒井:** 測定装置をつけばなしにするしかないでしょうね。ずっと計測を続けておいて、後で閃いた瞬間の時刻のものを調べれば何か手がかりが得られるかもしれません。

**CT:** そのためには装置を小さくする必要がありそうですが。

**酒井:** さっきの光トポグラフィが持ち運べるという利点を持っています。まだ、身体にくっつけて運べるわけではなくて、パソコンとレーザーの装置が必要ですが、MRIはそうはいきません。重さは4トン近くあります。磁場を発生するためにそれだけの設備が必要なんです。超音波センサーみたいに、ハンドヘルドで脳の活動がわかるようなものが出てくるといいんですけど、そのあたりでやはり物理や工学の技術、そしてデザインが必要ですね。未来の技術者に期待しましょう。

**CT:** 本日は、興味深いお話をありがとうございました。