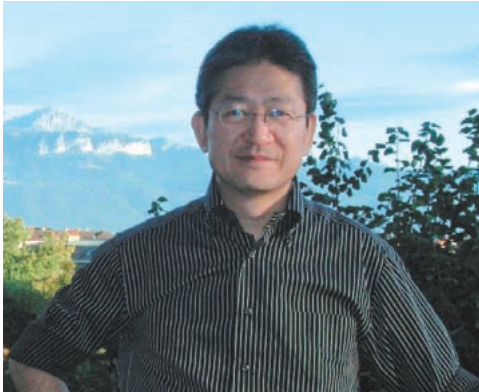


五味裕章

上席特別研究員 NTTコミュニケーション科学基礎研究所



外界からの刺激を自らの糧に、興味を追求しよう

医学、心理学の分野である脳の情報処理のメカニズムを探る、希有な技術系研究者、五味裕章上席特別研究員。その業績は、米国科学誌サイエンスにも掲載されるほど世界から注目を集めています。五味氏の原動力、発想の助けは何であるのか、研究の現在の進捗状況とともに、お話を伺いました。



日常の不思議をひも解く、 脳の情報処理のメカニズムを探る

●五味さんが手掛けていらっしゃる研究について、ご説明いただけますか。

一言で申し上げれば、脳の情報処理のメカニズムを探っているということになります。感覚から運動までの情報処理のうち、意識に上るものはごく一部なのです。その多くは意識しないままに行われています。この機能は、子どものときから成長する発達過程で獲得され、日常生活の中で、目的に応じて感覚から運動までの情報処理を学習していくことで多様化していきます。私たちは、人間の運動における潜在的で高速・自動的な感覚運動プログラミングと制御過程、および感覚運動制御と知覚とのインタラクションを新たな視点で整理し、そのメカニズムを明らかにするための研究を手掛けています。特に視覚・体性感覚から運動指令生成に至る情報処理過程に作用するトップダウン修飾およびプレディクション（前向き予測）とポストディクション（回顧推定）に焦点を当て、心理物理学、電気生理学、脳機能イメージング、計算論的モデリングなどの複合的アプローチを用いてそのメカニズムを解き明かそうとしています。

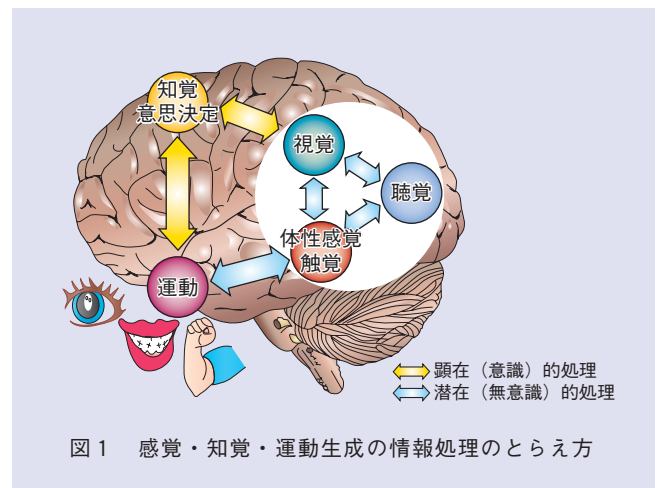
●イメージはつかめましたが、もう少し簡単に教えてください。

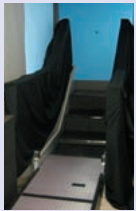
脳が視覚や触覚、筋に埋め込まれたセンサなどからの情報をどのように使って外界を表現し、また手や足、口、目

を動かしているのかを解き明かしていると想像してください（図1）。

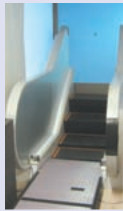
お話するよりも体験していただいたほうが早いかもしれませんが（笑）。では、実験室へどうぞ（図2）。

—実験室では、エスカレータの模型に、黒い覆いがしてあった。黒い階段を上るのに違和感がなかったのに対し、黒い覆いを外し、エスカレータに仕立ててあると視覚的に認められる階段を上った瞬間に、体が前に倒れるような不思議な感覚を感じた。階段の高低差など、「黒」と「エスカレータ」に相違はなく、見え方だけが変った状況での出来事だった。—





(a) 黒い覆いをしたエスカレーター



(b) 覆いを外したエスカレーター



止まったエスカレーターに乗り込むと姿勢が崩れ、違和感を感じるが、手すりと移動床面をカバーで隠すとそれらがなくなる。

(c) 止まったエスカレーターに乗り込む様子

図2 脳の情報処理の不思議

●この感覚は、街で停止しているエスカレータを上るときに覚える違和感ですね。

そうです、おそらく多くの方が体験したことがあるのではないのでしょうか？ こういった違和感がなぜ起きるのかを研究しているのです。

潜在的な脳の処理というのは、知られているようで、すべてが解明されているわけではありません。こうした状況下で、私たちが示したいいわゆる停止エスカレータの不思議についての見解は、非常に多くの方に関心を寄せていただいています。それは、これまで語られていた見解とは違う見解を私たちが示したからです。

これまでは、「エスカレータの入り口にあるスロープのせいで、体の重心が前に移動するので重心が不安定になる」というメカニズムが主に語られていました。

また、「エスカレータのステップの部分のストライプが視覚的な錯覚を引き起こす、段差が一般的な階段と違うからだ」という説明もありました。

しかし、そのような理由ではなく、無意識のうちに脳が情報処理をして体を動かしているという事実を私たちは立証し⁽¹⁾、そしてさらに研究を進めている最中です。



ひらめきはバルセロナのエスカレータ

●この研究を始めたきっかけは、

実はずいぶん前のある学会に出席するために、スペインのバルセロナを訪れていました。気候が良いせいか屋外にエスカレータがあって、ただし動いていないのは明らかでした。そして停止したエスカレータに足をかけた瞬間になんともいえない違和感を覚え、そのとき「この感覚のメカニズムを解明したい」と強く感じたのです。同行していた仲間たちにこの感覚についての研究をしたいと訴えましたが、あまり真剣に取り合ってくれなかったことを覚えてい

ます。

こうしたひらめきは、大学時代のロボットを専攻していたころに抱いた疑問にもつながっています。「人間がいと簡単にできる作業を、なぜロボットはできないのだろうか」という思いです。

NTTに入社して配属されるとき、実はロボット分野以外の配属を希望していたのですが、ロボットに関する部署に決まり、その道を深めていくことになりました。そして、脳の情報処理に興味を持ち、京都にあるATR（国際電気通信基礎技術研究所）で、人間の学習や運動のメカニズムを解明する研究に携わり、人間の運動学習の情報処理について研究を進めることができました。

また、産業技術総合研究所（当時は電子技術総合研究所）の研究者とともに視覚の動きによって生ずる眼球運動やその生理学的なメカニズムを解明する研究に携わったことがあります。研究を進めていくうちに、外界の動きのどのような情報を使って目が動くかを理解することができました。また外界が動くとき体が動く現象も専門家には古くから知られていて、このような無意識に体の動きが生ずる現象やそのメカニズムの知見を踏まえれば、エスカレータで体が傾いてしまうメカニズムも解明できるのではないかと思います。

研究を始めた当初は運動の学習や制御の情報処理について探求していましたが、それをさらに発展させて、2000年ごろから運動と視覚情報処理さらには知覚との関係について追求しています。



希有ではあるが、必須であると自負

●しかし、なぜNTTの研究所で感覚運動のメカニズムが必要なのでしょう。

多くの方々からよく問われる質問です。確かに、こうした研究をしているのは医学系、心理学系の研究者が大半です。私たちのようにもともと技術系の研究者が感覚運動の機能とメカニズムについて深く研究しているのは昔はとても珍しいことでした。今でも研究所の中では異端な存在ではあります。NTTに戻って研究を始めてずいぶん年月が過ぎていますが、いまだに「なぜ？」と聞かれることが多いですね。

しかし、なぜこの研究が必要なのかとロジックをしっかりと伝えられれば研究をさせてもらえるのがNTTの研究所の良いところです。

例えば、考え方の1つとして、技術者の多くは、通信技術を向上させようと思ったら、まずその機器、システムの機能の向上や利便性などを追求するでしょう。これも当然の



挑戦する研究者たち

ごとく大切なことなのですが、それを利用するのは「人間」であることも然り。だったら、人間の感覚・知覚について解き明かしていけば、さらに通信技術を生かすこともできるでしょうし、人間自身の知覚をある意味で無意識に誤魔化したり変えたりすることによって、人間にとってより使いやすく、便利な技術にもなるのではないかと思いますか？ 私たちはその部分を追求したいのです。希有ではありますが、必要だと思っています。基礎から応用まで非常に幅広い分野の研究を取り扱っている研究所の中で、一番基礎となる部分を担わせてもらっているという自負はあります。

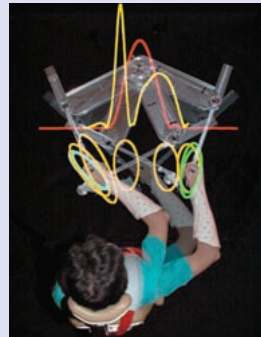
そのうえ、NTTの基礎研究所には、世界に通用する視覚・聴覚の専門家も多く存在します。彼らと議論し、成果を共有することによって、さまざまな疑問や構想が浮かんでいきます。こうした環境に身を置くことで、常に刺激を受け、研究はより充実してきていますね。

●手ごたえを感じた瞬間はおありですか。

解明を目指す研究は、すぐに役立てて喜んでもらうことが難しい場合も多いです。そこで心の支えになるのは、研究成果がどれだけ新しい知見を示し、注目されるかということになります。米国科学誌サイエンスに、腕を動かす脳の計算に関する研究⁽²⁾ (図3) が掲載されたり、潜在的な視覚運動生成の情報処理の特性^{(3), (4)} (図4) を新たに発見して有力な論文誌の表紙を飾ったときは、嬉しく手ごた

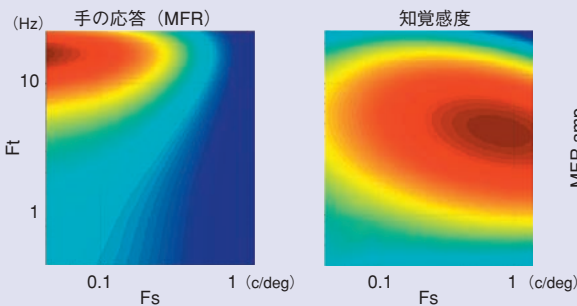
えも感じました。

一方で、全容解明は難しいのも事実です。分かったつもりになっていても、前提条件によっては成り立たないこともあったりするので、着実に一歩ずつ進めています。先ほど説明した停止エスカレータで体がなぜ傾いてしまうかについてはうまく説明ができ、しかも我々の習熟した動きのさまざまな局面に存在し得る現象であるという理解ができました。ただ、なぜそれが体の動かし方を「間違えた」ではなく「違和感」として伝わってくるかという部分については、まだ研究を進めている段階です。脳のどこをどのような情報処理に使っているのかまで理解したいと考えています。



腕運動中の多時点での振動を与えて計測した手先スティフネス楕円 (青: 運動開始前, 橙: 運動中, 緑: 運動終了後), 運動方向速度 (赤線), 推定平衡点速度 (黄線)。計測された腕のスティフネスは、それまで予測されていたスティフネスより低い値であった。これにより、スムーズな手先運動を実現するために、脳は腕のダイナミクスにしたがって複雑な平衡点運動をコードする必要があることが明らかになった。この事実はそれまで主流であった「脳の平衡点運動制御仮説」の反証となった。

図3 運動中の腕スティフネスと平衡点速度パターン

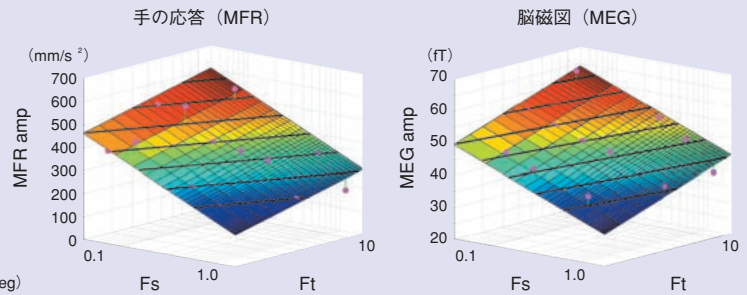


2つの特性の違いは、両者にかかわる視覚情報処理が異なることを意味する。

(a) 視覚の動きに反応する手の応答と同じ動きを見たときの知覚感度の時空間周波数特性比較 (Fs: 空間周波数, Ft: 時間周波数)

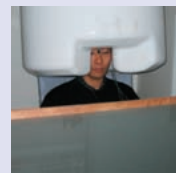


(b) 実験の様子

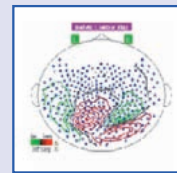


両者の類似した特性からMFRを生起するための脳活動が後頭葉でつくり出されていることが明らかになった。

(c) 手の応答 (MFR) と磁場計測した脳活動 (MEG) の時空間周波数特性比較



(d) MEG 計測の様子



(e) 脳磁図

図4 手の応答と知覚に関与する視覚運動解析の乖離



興味をしつこく追求するも、立ち止まる瞬間を恐れない

●研究を進めていくうえで、五味さんのドライビングフォースは、社会貢献などに対する使命感ですか。それとも謎を解き明かしていくという興味でしょうか。

興味のほうがずっと大きいです。なぜどうしてというのが根底にあって、使命感というよりは、知りたいという気持ちの研究への情熱になることが多いです。

自分が興味を持っていないことはやっても仕方がないうまくいかないと思うと、若い研究者たちにもよく言っています。分からないこと、どうしてこうなっているのだろうという疑問が深ければ深いほど、知的好奇心をくすぐられます。それが社会に役立つと、さらに達成感があるのだと思います。

また私は、しつこい性格なのかもしれません。そう簡単には諦めません。考えて考えて考え抜きたいですね。しかし、アイデアが湧いてこない、方向性を見失ったときに立ち止まることはあります。しかし、ここで諦めるのではなく別のことを進めておいて、改めて見直すと、見えてなかったものが見えてくることがあります。

●刺激はどこから得ていらっしゃるのですか。

少し専門と違う分野の学会への参加です。私たちの研究は情報処理の観点から、ニューロサイエンス、ブレインサイエンス関連の学会で発表することが比較的多いですが、以前は中でも運動を専門とする学会が主でした。しかし最近では、視覚・知覚を主なターゲットとする学会で発表するのが楽しいですね。

また外国の研究者と話をすると、同じ研究についての話題でも、日本人とは全く違う視点からの意見の投げかけがあります。学んだ分野や背景が異なるからでしょうね。これによって、自分が気づいていなかった部分が見えてきて、ひらめくことがあります。

そして、異分野の研究者とも交流することを心掛けています。優れた研究者は、異分野であっても素朴な疑問を投げかけてくれます。「素朴な疑問」は結構重要なことが多くて、大切に考えるようにしています。

●この研究は、将来どこへつながっていくのでしょうか。

新しく発見・解明した機能に着目し、応用の方向性を示すことです。基礎的知見から応用を見出すのは難しいことが多いのですが、脳の機能低下や病気などの診断、機能回復や強化訓練法、新しいマンマシンインタフェースの創出などへ向かう道の基盤を構築したいと思っています。

感覚情報にちょっとした細工をすると、知覚や運動に不

思議な影響が現れます。それらの現象は意識に上るときもあれば、気づかずに起こることもあります。これらの現象を深く調べて、脳が外界とインタラクションするために行っている情報処理を明らかにし、またそれを応用する方向性を見せていくことが大切だと思います。

1つ身近な例で例えると、3Dテレビの現在の技術は確かに素晴らしいのですが、長時間見ていると、疲れますよね？ さらに同じような仕組みのものを頭につけて仮想的な視覚空間の中で手や体を動かすと、運動がぎこちなくなったり、もっとすぐに疲れたり気分が悪くなったりします。これは、現段階では十分解き明かされていない脳の情報処理に、無理が生じているからなのです。脳でどんな情報処理が行われていて、どうすれば無理が生じなくなるかが分かれば、より自然で使いやすい3Dテレビのような技術の開発にも役立てることができるとも思いません。



反骨精神、大いに歓迎。がんがん議論しよう！

●若い研究者たちへのアドバイスをお願いします。

現在、私たちの部は20~40代の若い研究者たち30名ほどで構成されています。若い人たちは新しいことに柔軟に取り組みますし、その姿勢はとても喜ばしいことですが、その一方で、時々感じるのが、おとなしすぎることです。社会人としての高い評価を得るためには、もしかしたら私が求めている反骨精神は、相反するものにも見えるかもしれません。しかし、私は研究面においては「異端さ」は誇るべきだと思っています。

単に学ぶだけでなく、熱い議論を交わして新しい実験パラダイムや新しい発想へとつなげていきたいと私は常々思っています。どうぞ、議論を恐れないでください。大いに議論をして良い研究につなげていきましょう。

■参考文献

- (1) T. Fukui, T. Kimura, K. Kadota, S. Shimojo, and H. Gomi: "Odd Sensation Induced by Moving-Phantom which Triggers Subconscious Motor Program," PLoS ONE, Vol. 4, No. 6, e5782, 2009.
- (2) H. Gomi and M. Kawato: "Equilibrium-point control hypothesis examined by measured arm-stiffness during multi-joint movement," Science, Vol. 272, No. 5258, pp. 117-120, 1996.
- (3) H. Gomi, N. Abekawa, and S. Nishida: "Spatiotemporal tuning of rapid interactions between visual-motion analysis and reaching movement," The Journal of Neuroscience, Vol. 26, No. 20, pp. 5301-5308, 2006.
- (4) K. Amano, T. Kimura, S. Nishida, T. Takeda, and H. Gomi: "Close similarity between spatiotemporal frequency tunings of human cortical responses and involuntary manual following responses to visual motion," J Neurophysiol., Vol. 101, No. 2, pp. 888-897, 2009.