慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	身体とテクノロジーの未来
Sub Title	
Author	遠藤, 謙(Endo, Ken)
Publisher	慶應義塾大学理工学部
Publication year	2016
Jtitle	人間教育講座 : 社会を知る自分を知る自分を育てる (2016.) ,p.95- 122
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Book
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001001-20160000-0095

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

身体とテクノロジーの未来

ソニーコンピュータサイエンス研究所アソシエイトリサーチャー

遠藤　謙

えんどう・けん　二〇〇一年慶應義塾大学理工学部機械工学科卒業。二〇〇三年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。二〇〇五年よりマサチューセッツ工科大学メディアラボバイオメカニクスグループにて、人間の身体能力の解析や下腿義足の開発に従事。二〇一二年博士号取得。一方、マサチューセッツ工科大学 D-Lab にて講師を務め、途上国向けの義肢装具に関する講義を担当。現在、ソニーコンピュータサイエンス研究所アソシエイトリサーチャー。ロボット技術を用いた身体能力の拡張に関する研究に携わる。発展途上国向けの義肢装具の開発・普及を目的とした D-Leg の代表、発展途上国向けものづくりビジネスのワークショップやコンテストを主催する See-D の代表も務める。二〇一二年、マサチューセッツ工科大学が出版する科学雑誌『MIT Technology Review』が選ぶ35歳以下のイノベータ35人（TR35）に選出。二〇一四年、競技用義足開発などを行う株式会社 Xiborg 起業。同年、ダボス会議ヤング・グローバル・リーダーズ（ＹＧＬ）に選出される。

義足研究に取り組んだきっかけ

みなさん、こんばんは。

僕は慶應義塾大学の理工学部機械工学科を二〇〇一年に卒業し、二〇〇三年に修士を出ました。現在、ＳＤＭ（慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科）の前野隆司先生が当時は機械工学科で教えていらして、僕はそこでロボットの研究をしておりました。特に、ロボットがサッカーを行う競技「ロボカップ」のヒューマノイドロボットを作っていました。僕はこのチームの一番下っ端の学生として勉強をさせてもらいながら、チームに携わり、また車の未来を示すためのロボットや、ロボットを動かすためのコンピュータ制御をするためのインターフェイスといったものを中心に研究していました。

二二、二三歳ぐらいだった僕に、ひとつの大きな事件が起こりました。高校のバスケ部の後輩が骨肉腫になり、足を切らざるをえなくなったのです。当時、ＡＳＩＭＯというロボットが発表され、開発したＨＯＮＤＡの示した未来にすごく僕はインスパイアされて、ロボットがこれから活躍すると思いながら研究していた矢先、この事件が起きました。僕はその頃、自分が作っているロボットを彼に見せたのですが、残念ながら彼は「ロボットが欲しい」という発想にはならなくて、「自分の足で歩きたい」と言ったんですね。ロボットは世の中に役立つと思って研究していたのに、後輩にこう言われて、本当にショックを受けたことを今でもよく覚えています。そしてロボットよりも、もう少し短いスパンで役立つものは何だろうと考えるようになった。それが義足でした。

そして出会ったのが、ヒュー・ハー（Hugh Herr）というマサチューセッツ工科大学（ＭＩＴ）メディアラボの教授です。彼は有名なロッククライマーだったのですが、一七歳のときに凍傷で両足を失いました。彼は自分で足を作って、今もロッククライミングを続けています。実は足があった頃よりもいい記録を出したことは、彼のストーリーになっています。

足を切るという行為はネガティブな考え方なのですが、ロッククライマーにとっては足がないことが有利に働くこともあったそうです。足がない分だけ体が軽くなる。岩に合わせて、足を作り変えることができる。あるいは心肺機能はそのままなのですが、血液を足に送る必要がないので、心肺機能が上がったりもする。そういったメリットもあり、彼にとっては、ネガティブな発想に陥りがちな「足を切る」という行為をポジティブに持っていくことができたそうです。彼が両足を切ったのはもう二〇年以上前になります。そのときから当事者として障害者に対して強いメッセージを送っていると感じて、ぜひ彼のもとで研究したいと思い、留学を決意しました。それが二〇〇五年のことです。

彼が言った言葉の中で、僕が一番好きな言葉は "There is no such a thing as a disabled person. There is only physically disabled technology.（世の中には身体障害というものはない。ただテクノロジーのほうに障害がある）" というものです。言い方を換えれば、「障害者というものは代替するテクノロジーがないからなのだ。もしもテクノロジーがちゃんと人間の機能を補完していれば、その人は障害者と呼ばれることはないのではないか」。こういった言葉はずっと言われていたことですが、彼は当事者として本当に実践しているなと共感して、師事しました。

人間の歩行システムを考える

ＭＩＴでも僕はずっとロボットの設計をしていました。人間の身体の中には五〇〇以上の筋肉があります。それをロボットにたとえて言うと、五〇〇個以上のモーターがあるものをコンピュータで制御して動かすということになります。それが実際にできるかというと、ものすごく難しいです。例えば手を勝手に動かすというだけでも、われわれは手先の軌道を考えるだけです。でも実は腕だけでも一〇〇以上の筋肉がある。その一〇〇以上の筋肉は、手先の位置ではなく、筋肉の長さで定義されるので、手先を動かしているように見えて、実は頭では変換されて、各筋肉がどういうふうに動くかを即時に計算しているわけです。これが人間のすごさであり、目で情報をとって、耳で聞いたり、触ったり、そういったセンサリング情報を一気に引き受けて、なおかつ自分の動きを計算して、最適な動きを出すという行為が人間はできている。一方で、ロボットにはまだまだできていない。ですから、義足を作るということはそういったことをできる体の一部を作ることにほかならないと、僕は考えています。

筋肉のモデルは、バネと動く部分に分けられます。例えばアキレス腱は自分では動かせなくて、その上についている筋肉を動かすんです。要は筋肉をあまり動かさずに、腱だけを収縮させているのではないか。皆さんが歩いているときも、人間は筋肉を動かしているように見えて、実は筋肉を固めて、代わりにバネがビョンビョン伸びているような体の動かし方をしているんじゃないかと感じたのです。例えばトランポリンに乗っているときは、自分で思い切りピョーンと飛ぶのではなく、バネの力に耐えて、最後にピョーンと飛ぶことを繰り返していくと、タイミングよく高く飛べます。人間はそういった動き

を体全体でやっていて、それで歩行が成り立っているのだと思います。

直感的に言うと、歩くときにわれわれは手足の動きのことをまったく考えていません。例えば歩いているときに、その日の授業のことを考えたり、予定を考えていたりするなど、体のことはまったく考えずにいるのに、体は動いています。そういうすごく不思議な現象が僕たちの体の中では起こっているわけです。脳が随意運動の指令を下しているではなく、地面に着いた瞬間に他の筋肉が動作するような反射的な動きが少なくとも支配的になっていると僕は考えています。僕は博士課程でこういった研究をずっとやっていました。

そして、人間の歩行を最もシンプルなモデルで再現するものを考えて、各筋肉がどういうふうに動いているか、ひたすら計算しました。歩行シミュレーションは世の中にたくさんあるのですが、人間のように効率よい歩き方を再現できるシミュレーションはなかなか難しい。そしてシミュレーションするだけでなく、では人間の歩行を実際にアシストするためにはどういう物が必要かということも考えて研究してきました。ヒュー・ハー教授にわれわれが作った義足を実際に装着して、何回も試してもらって、「これがいい」「これが悪い」と感想やアドバイスをもらい、シミュレーションの結果を照らし合わせながら作ったのが、二〇一二年の博士課程の研究成果です。その結果を見ると、彼が当時普段から使っていたパッシブ（受動的）な義足に比べると、自然に歩けています。

そもそも義足にはモーターはあまり使われていません。ほとんどの義足は棒切れに板がついているような物だけで動いているので、体の他の筋肉で無理やり体を動かして歩いています。これだと体にとても負担がかかります。なるべく健常者と同じように足首を動くようにしないと、体に負担がかかるわけ

です。膝があって足首がない「下腿義足」の人は、若いうちは普通の義足を使っていても結構動けてしまうので、日常生活であまり不自由を感じることはないと言う人が多いです。それでも体のいろいろなところに負担がかかるので、高齢者になってくると、背中や腰に痛みを抱えてくると言われています。それを解決できるようなものがアシスト機器なのではないかと考えています。

MITのD-Labと適正技術

MITのD-Lab（ディー・ラボ）というコミュニティに属するようになったことも、僕にとってはひとつの大きな転機になりました。

僕はそもそもテクノロジーというものが大好きで、一〇〜二〇年よりもう少し短いスパンで使えるようなものを自分で作りたいと思っていました。ロボット義足は確かに健常者の足首を真似ることはできますが、価格が高くなってしまいます。さらに世界の障害者の半分以上は途上国に住んでいます。そこで「適正技術（Appropriate Technology）」という考え方を学びました。

途上国で物を作るときに、どういったものが求められているか、MITのD-Labのコミュニティの中では、"Technologies designed to suit the needs of the community it is intended for, being culturally sensitive, environmentally responsible and spreading productive employment opportunities."と定義されています。簡単に言うと、「文化的に馴染んで、環境的にも優しくて、雇用を生むもの」が求められているということです。例えば最先端の物を持ってきたとしても、現地の人が扱えないので、それを勉強するために高い

コストがかかってしまったり、あるいは、たとえ安い物を使ったとしても、すぐに壊れてしまったりしたら、意味がありません。

ではどういうものがいいかというと、「Adspecs」というメガネが、われわれの業界の中で適正技術と呼ばれるものです。「Adspecs」は少し前のテクノロジーになりますが、中の液体（シリコンオイル）の圧力を変えることによってレンズの度が変わるようになっています。メガネを作るときには、メガネ屋さんにわざわざ行くのではなくて、自分でメガネの度を変えて見えるようにする。そういうメガネがあれば、みんながメガネ屋に行く必要はなくなります。そういった発想から、適正なテクノロジーや物を届けるという考え方が、「適正技術」です。

ＭＩＴのD-Labはどういったクラスかというと、まず座学の授業があって、夏休みや冬休みには、大学が支援して、学生が途上国に行って実際に物を作る経験をします。とはいっても学生なので、ほとんどが役立たない物を作るのですが、それでもエンジニアとして、問題を自分の目で見て、物を作って、テストをするという経験ができる。こういった工程を一通り回せるエンジニアは企業の中にもなかなかいませんが、そういった経験ができるエンジニア向けの授業です。そういうふうに授業の中で学生と一緒に物を作ってきたのがD-Labのコミュニティです。

D-Labのフレームワーク（枠組み）があります。デザイン・シンキングやシステム・シンキングといったいろいろな物作りの考え方があると思うのですが、D-Labのフレームワークを簡単に言うと、物事というのは、われわれが知っているように見えて、あまり知られていないことが多いので、エンジニアなど物を作る人間ならば、実際にプロトタイプを作って、試すことによって新たな情報を得る――そう

いうサイクルをグルグルと早く回すということです。途上国で実際の物を通してコミュニケーションするというサイクルを回さなくてはいけません。僕自身も、日本を生活圏として過ごしてきたので、例えばインドで暮らしている人たちのことなんて、わかったように見えてもやっぱりわからないんですよね。現地で使ってみて、コミュニケーションすることはとても重要です。

ジャイプール・フット

その中のひとつとして、東京工業大学と一緒にやっている義足プロジェクトがあります。これは僕たちがメインではなくて、カウンターパートとしておつきあいをしているインドのＮＧＯであるジャイプール・フット（Jaipur Foot）のサンジブ・クマール（Sanjeev Kumar）さんという、ニューデリーにあるクリニックのマネージャーと一緒に物を作り始めたのが経緯です。

ジャイプール・フットは一九六八年ぐらいからずっと同じような義足を作っているＮＧＯです。彼らが作っているのは足首から先だけの義足なのですが、これが二ドルでできると彼らは言っています。さらに、この義足を無料でずっと配り続けています。ジャイプール・フットは、この義足には自信を持って作っているため、そこに対してはあまり外部からの技術を求めている感じではありませんでした。でも膝からの義足に関してはやってほしいと言われ、僕たちだけではなく、いろいろな大学と一緒に開発を進めていきました。

要は彼らが求めているものは、普通のエンドスケルトンよりもうちょっと軽くて、足に似ているもの

がほしいということ。エンドスケルトンとは、スタンフォードや赤十字の人たちが作っているような、棒切れの先に足を付けたような義足です。人間というのはエンドスケルトン（内骨格）で、骨があって、その周りに構造が付いている。ですから、パイプの先に足が付いているような構造が、やっぱり構成しやすいんですね。これらを使っても普通に歩けるのですが、これはこれでいいとして、もう少し軽くて、足に似ているものがほしいと。さらに、彼らがふだんから使っている材料や加工技術などをそのまま使って、二〇～三〇ドルぐらいのレベルで作りたいという、難易度の高い要望がありました。それを僕たちがメインではなく、原地のマネージャーがメインとなるようにプロジェクトを回してほしいというのが、僕らに与えられた議題でした。

そこで3Dプリンターを使ってプロトタイプにして、二〇〇八年にアメリカで最初のトライアルテストをして、インドに持って行き、安定性を確認しました。さらに、二〇一二年には数人、義足を使っている日本人もインドに連れて行き、日本の義足とインドの義足を履き比べてもらうなど、いろいろと試してもらったプロジェクトで、これまでで最も大規模なものでした。

あるとき、テストをしていたインドのクリニックにアンジェリーという一〇歳の女の子が来ていました。彼女は四歳のときに足を切断して、このときまで自分の足で歩いたことがなかったそうです。じゃあ義足をつけて歩いてみようということで、彼女に義足をつけてもらった。義足をつけて歩いた娘を見て、彼女の父親がすごく喜んでいました。こういったストーリーはいくらでもあります。足を作って歩くということが人生においてすごく重要な要素であり、モビリティの最低限ラインはここだと思います。それがないということはどれだけ生活の質を下げているかということをすごく感じました。彼女のよう

にクリニックに来ることができる人はまだまだ少ないですし、義足を履いてない人もまだまだたくさんいるわけです。

これが二〇一二年の話です。実は、東京工業大学の学生と一緒にいまだにクリニカル・スタディを繰り返しながら、いい物を作って、量産体制を原地でできないかと画策しているところです。ただ、最近では僕が現地にいないときにも、原地で試すようになりました。技術というのはやはり根付いてこそ初めて意味があると思うのですが、僕たちが最初に目指したのは、原地の人が作れるもの、難易度が低いものを作ることでした。原地のローカルなイノベーションを起こすために、原地の人が何か新しいことをするための下地を作ったところが需要なのだと位置付けています。物ではなく、そういった下地を作ったというところが、ＭＩＴの D-Lab のアプローチのひとつのいいところだった。今では原地からは「試してみたら、ここがこうだったよ」というようなメールもたくさん来るようになりました。

Xiborg とサイバスロン

そして二〇一二年、アメリカから日本に帰ってきて、僕は Xiborg（サイボーグ）という法人を立ち上げました。この Xiborg で何をやっているのかというと、実はいまだに義足を作っています。ＭＩＴの留学時代、ヒュー・ハーに僕が提案し続けた機構は、実は却下されたんですね。そのときに彼が言ったのは「君が提案している機構はおもしろいけれど、ＭＩＴの義足はこちらをやります。もし君が自分でディレクションを決められるようなポジションになったら、この機構で義足を作って持ってきてくれ」

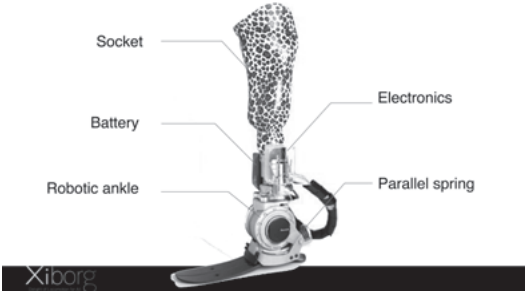

図 1

図 2

ということでした。それをずっと僕は覚えていて、日本に帰ってきて、そういうポジションになったので試してみようと思い、初めて自分一人で作ったのがロボット義足 Ostrich（オストリッチ）です（図1、図2）。

足首が地面を蹴るという簡単な動作、一瞬でエネルギーを出力する筋肉って、やはりすごい特性を持っているんですね。みなさんは無意識のうちにこれができています。タイミングよく地面を蹴るという動作がないだけで、体にこれだけ負担がかかるのかということが実感できるのですが、たぶん足がある人にはなかなかわからないと思います。義足の人はスキーブーツを履いて歩いている感じに近いと言うことがあります。足首に関してはまだまだ実験段階です。

義足で歩行するときには、トルクセンサ（変換器）を使ってトルク制御をします。人間のすごいところは、大事なときには力を入れて、必要なときにはブランブランになれるコントロールができるところ

なんですね。機械はそれが苦手です。それを無理やり機械にさせるためには、トルクセンサなどを使った技術が必要になります。すごく硬い状態の義足に比べて、ブランブランになれる状態で、人間の歩行に近いロボット義足のプロトタイプ Shoebill ができ、これでサイバスロン（cybathlon）に行くことにしました。

サイバスロンというのはロボット技術の競技会で、二〇一六年にスイスで初開催されました。Xiborg は、六部門に分かれているうちのひとつ「パワード義足」の部門に参加しました。パワード義足競技のコースには、ソファ、ハードル、ランプ&ドア、ステッピングストーン、タイルド・パス、階段という、われわれの生活の中でありそうな六つのタスクが設けられています。

例えばソファなら、立ったり座ったりを繰り返します。この大会では足首の部分ではなく、膝の部分を作ることが求められています。もし、筋肉がなかったら、ソファから立ち上がるときにはどうしますか。片足だけで頑張って立ち上がろうとしますよね。そうするとやはり体に負担がかかります。例えば階段を登るときにはどうしますか。おそらく左右交互に足を運んで階段を登ると思うのですが、それができなくなります。片足義足の人は、片足（健足）で一段上がり、義足のほうをその段に運んでくるという、一段ずつの登り方になります。これが障害者と健常者のちょっとした違いなのです。街中でこういった義足の動きをしていると、やはり目立ってしまうんですね。街中で人と違う行為をしてしまうと、みんなの目が集まります。これが障害者と健常者のちょっとした差で、社会的な違いを生んでしまうひとつの原因です。そういう意味で、この競技は、ちょっとしたできないことをできるようにする技術の大会なのだと思います。

僕たちはデザインについて考えることもよくあります。デザインに関していうと、僕は義足というものが目立たなくなることが理想なのではないかと思っています。街中を歩いていても、まったく気付かれない義足。先ほど言った、階段を上ったり、歩いたり、ソファから立ち上がったりするときに、義足であるからこそ変な動きをしてしまうのであって、もしもそれを普通にできるようになれば、絶対に気付かれないのではないかと思うんですね。今でこそ義足を見せて、認知度を上げるためにイベントなどもやっていると思うのですが、将来的には義足というものはそんなに目立たなくなるのではないかと思っています。

そのいい例として、僕たちの業界ではメガネをあげます。メガネの技術的な目的とは視力が弱くなった人の視力を上げるということなのですが、もっとすごいことがあります。今、この教室の中にもメガネをかけている人がたくさんいるのですが、われわれはそういう人を見ても、あまりもう「目が悪い人だな」と思わなくなっている。矯正視力という言葉がありますが、われわれはもう裸眼視力をまったく意識していません。生活圏内の中で、例えば車を運転するときに求められているのは矯正視力なんですね。裸眼視力がどうであれ、矯正されていれば問題ないという世の中ができています。

昔はメガネをかけていることでコンプレックスを感じている人は結構いたと思います。それが今は変わってきている。今の若い人にとってはメガネをかけていることがオシャレだったり、生活の一部になっていたりしていて、われわれもメガネをかけている人を見ていても、目が悪い人、あるいは障害者と思いません。そういうところがメガネのすごいところです。要は目立っていないんですよね。

義足ももしかしたら目立たないものが主流になるのではないかなということで、派手なものではなく、

体のシルエットに合わせて馴染むようなデザインとは何なのか。人間の身体に似せるのではなく、加工物・人工物でありながら、体に馴染むものは何なのか。そういうことをいつも考えながら、義足を作っています。

さて、Shoebillをつけてサイバスロンで競技に臨んでもらったのは真野雄輝さんです。彼は大腿義足クラスのやり投げの日本記録保持者で、運動神経はいいのですが、ケガをしたときにリハビリテーションまでの時間がすごくかかってしまったために、股関節の可動域がせまいという身体を持っています。ソファから立ち上がるときに、義足のモーターが彼の体重を支えてくれていて、他の足や体の動きにかかる負担を軽減してくれます。ハードルをまたいで越えるときも、義足が健足についてきてハードルにぶつからないように、自動的に制御されています。パワード義足競技のコースにあるステッピングストーンでは、かまぼこ状になった飛び石を渡っていくのですが、股関節の領域がせまいと、歩幅が稼げません。彼が言うには、この競技が一番難しかったそうです。

Shoebillという義足自体はものすごくいいものができました。これは二〇一五年一〇月にできあがって、デモンストレーションをしたり、生活の中で使ってもらったりしていますが、まだ一回も壊れていません。結構いいものができたと思います。ただ、真野さんはサイバスロン用のShoebillを付けての練習が二日間ぐらいしかできませんでした。そのため動きはまだまだぎこちないのですが、階段の上り下りも一応片足ずつ交互に登れるようになりました。彼は日常生活の中でこうした動きができていなかったので、練習して初めてできるようになりました。サイバスロンの競技の中では、リンゴを載せたお皿とティーカップをそれぞれ片手に持って、上り下りをしなくてはなりません。これは結構難易度の高い

動きになります。こういったことを自然にできる健常者はすごいとわかると同時に、義足の技術はまだまだそこまで達していないこともご理解いただけると思います。

そして二〇一六年一〇月、スイスで行われたサイバスロンの本番ではどうだったか。真野さんはものすごく緊張していて、しかも練習不足でしたから、まったくうまくいかず、われわれは惨敗してしまいました。ハードルを落としてしまいましたし、飛び石のところも練習のようにはうまくできず失敗してしまいました。階段のところでも、お皿に載せたリンゴが落ちてしまって、そこでも減点されてしまいました。

その一方で、他のチームはというと、このサイバスロンはロボット技術の競技会ですが、ロボット義足を使っていなくても参加できるため、普段から使っている、モーターを使わない、バネとダンパーだけの義足を使って、それを競技者の身体能力で無理やり動かして、競技をどんどんすばやくクリアしていっていました。見ていると、ハードルをまたぐときにも片手で義足をつかんでいました。まあ、これは、ロボット技術じゃなくてもできるといえばできるんですね。

僕たち以外で唯一ロボット義足を使っていたチームがありました。そのチームの競技者の動きはとてもきれいなものでした。実はすでに市販化されているロボット義足が一種類あるのですが、あまり普及していません。それはどうしてかというと、値段が高く、しかも大きすぎて人間の足に入らないからです。このチームの競技者は大きな人だったため、この市販のロボット義足を使うことができたのです。僕も、この義足を使っている人に初めて会いました。この義足はすごくよくできていて、しかも彼はすでに四年間も使っているので、体にも馴染んでいるわけです。

われわれの敗因は、ロボット義足自体はいいものができたものの、真野さんの体の一部になっていなかったことです。練習が足りなかったのか、それとも技術が足りなかったのか。両方だと思うのですが、やはり身体の一部になるためには、慣れが必要なのだということを感じました。そしてロボット義足を使って身体に近いものを作るということが大事だなと、このサイバスロンを通して考えたわけです。

競技用義足

パラリンピックの競技を、みなさん見たことがありますか？　二〇〇八年、北京オリンピックの四〇〇メートル競技に出ようとした一人の義足のアスリートがいました。オスカー・ピストリウスという選手です。スポーツ仲裁裁判所が「義足を使ってオリンピックに出ていいですよ」と言った初めての選手だったのですが、結果的にはオリンピック参加標準記録を上回ることができず、北京オリンピックには出場できませんでした。ロンドンオリンピックには出場し、オリンピックに出場した史上初めての義足アスリートになりました。

歴史上初めてオリンピックに出た義足の選手なので、パラリンピックでは負けるはずがないだろうと思われていたのですが、ロンドンパラリンピックの二〇〇メートルの決勝で彼は両足義足の選手に負けてしまい、二位に終わります。それはどうしてか。この四年の間に競技のレベルが格段に上がったからです。ピストリウス選手がオリンピックに出ようとして裁判になったときに、世界中に彼の名前が広まって、障害者がこんなに速く走れるのだということも広まったんですね。それを知って走り始めた切断患

者さんたちが一気に増えました。ピストリウスの功績は、彼の記録は世界記録としてまだ残っているものもあるのですが、世界中に走る人を増やして、障害者の競技人口を増やし、レベルを上げたところにもあるわけです。

最近では、走り幅跳びの記録がすごいと言われています。この記録を出しているのはマルクス・レーム選手です。彼はリオのオリンピックに出ようとしていたのですが、さすがにこの義足の記録はすごいということで、ダメになりました。彼の記録でリオに出ていたら、実際に金メダルを取っていたかもしれません。

ここで二つを比較してみましょう。オスカー・ピストリウス選手がオリンピックに出ました。マルクス・レーム選手はオリンピックに出られませんでした。この違いというのは何でしょうか。二人とも義足を使っていて、パラリンピック競技では結構強い。唯一違うところは、オスカー・ピストリウス選手はオリンピックに出たとしても準決勝出場ぐらいかな。マルクス・レーム選手は出たら、金メダルを取ってしまうのではないか。そうなった瞬間に、人々の間で義足はずるいのではないかという議論が生まれたのですね。おそらくここに障害者に対するわれわれの考え方の根幹があるなと感じます。というのも、健常者は常に障害者の上のレベルにいるものであり、これが逆転することはあってはならない。だからマルクス・レーム選手の記録に対して、義足がずるいという発想が生まれている。そういうわれわれの先入観があると思うんですよ。

でもそうではなくて、テクノロジー次第で入れ替わるということは実はあるわけです。われわれの身近なところでいうと、メガネもそうですし、あるいは自転車も車も同じようなモビリティを高めるため

のテクノロジーなんですよね。そういったものが日常的にわれわれの世界に入ってきているこの社会では、モビリティが高い・低いはあまり価値観として持っていません。ですから、今はまだ健常者が上だと思い込んでいるかもしれませんが、義足がわれわれの世界に当たり前のものとして入り込んだときに、果たしてわれわれは義足を使っている人が障害者だと思うのだろうか——ここが、このパラリンピックで僕がすごくおもしろいと思っているところです。

パラリンピックのクラスはいくつかあります。障害者がもつ障害の重度によって、陸上競技では番号がつけられています。僕たちがターゲットにしているのは、膝があるけれども、足首がない下腿義足のクラス（43と44）です。

オリンピックとパラリンピックそれぞれの一〇〇メートルの予選通過タイムと決勝優勝タイムの推移を表したグラフを見ると、おもしろいことがわかります。オリンピックの記録を見ると、ウサイン・ボルトが二〇〇九年にベルリンで世界記録を出して以来、あまり伸びていません。こういったふうに陸上競技というのは、ひとりの天才がポンポンと世界記録を塗り替えていく期間がしばらく続く。そしてその間に平均レベルが上がって、またひとり、次の天才が生まれるというような流れがあります。実はオリンピックの記録というのは、ウサイン・ボルト選手が生まれてから、それを上回るような記録はまだ生まれる気配がありません。一方、パラリンピックでは一九九〇年代前半に急激にタイムが速くなってきて、一年前のタイムから一秒以上も速くなるというようなことが起こっているんですね。つまり、テクノロジーと身体の掛け合わせによってどんどん速くなっているというのが、今のパラリンピックの現状です。

僕は、いずれ義足のほうが速くなるだろうと感じています。それがいつ起こるかというのが問題なのですが、せっかく二〇二〇年に東京でオリンピック・パラリンピックがあるなら、それを演出したいと思って、プロジェクトとして本気で取り組んでいます。

そしてもうひとつ、義足のテクノロジーに関してなのですが、二〇〇八年、二〇一二年、二〇一六年のそれぞれのパラリンピックの一〇〇メートルの決勝で使われた義足は、オズール（össur）というメーカーのものがほとんどです。ラインアップも一つか二つだけで、ここが現在、支配的に強いです。義足が一本あるいは二本しかない市場の中で、どうしてオズールだけが強いのかというと、「トップ選手が使っているから自分も使おう」と思って使う人がいるという以外にはあまり理由がないのではないかなと思うんですね。走り方というのは個人個人違っていてもいいし、もしかしたらこの義足よりももっとマッチして、もっと速く走れる義足があるかもしれない。そういう可能性があると思っています。ですから、走り方に合わせた義足の作り方ができないかなとずっと思っていました。

Xiborgプロジェクト

それをやるためのXiborgというチームなのですが、途上国での現地の人を巻き込んだ作り方と同じように、ここでも選手を巻き込んで物を作っています。僕は陸上経験者ではないので、たまたま一緒にプロジェクトを始めようということになった為末大さんというオリンピアンにコーチとして参加してもらっています。彼は義足の走り方に興味があるけれど、義足の走り方については初心者です。でも、オ

リンピックで健常者が走ることについては詳しいので、一緒に勉強しながらやろうという流れになっています。僕はエンジニアで、ロボット義足や身体の解剖学、生理学などの勉強はしてきたものの、競技用義足に関しては素人です。アスリートは春田純、佐藤圭太、池田樹生の三人がいて、彼らは競技用義足を使って走ってきたけれども、理論についてはまったく考えていない。こういうチームが、どういうふうな走り方をしたらいいかということから考え始める。義足を作ることが目的ではなく、いかに速く走るかというところが目的です。

トレーニングとして、まずわれわれは選手の練習を見ます。同時に、モーションキャプチャーやMRIで彼らの身体をデータ化して、シミュレーションして、どういう義足でどういう走り方をしたら、速く走れるかということを理論上計算し、義足を設計・成形して、試走する。このサイクルをどんどん回します。こういうことを二年前からずっとやっています。僕はエンジニアなのですが、実際に競技場に行って、練習やトレーニングにもちょっと参加しています。例えば足首がない人はどこで走っているのか。もちろん足首がないだけで、あまり変わらないとはいいつつも、例えば大臀筋の活動が異常に高いわけで、それをトレーニングするために彼らがやっているメニューはどんなものか。どの筋肉を鍛えているのか。そういったことを勉強しています。また、義足に関してどこの筋肉が効いてくるのかについても実践レベルで話を聞きます。

そうして二〇一四年、僕たちは初めて競技用義足を作りました。競技用義足はカーボンの複合体を使った板バネを使っているのですが、カーボン複合体と一言で言ってもいろいろあり、繊維の種類や方向、あるいは樹脂の種類、組み合わせなどを変えて設計しなければいけないのですが、僕はまったくわ

からなかったので、適当にと言ったら変ですが、市販化されている義足、それこそオズールの義足を参考にして、似たようなものを作りました。しかし、ひとつは柔らかすぎてすぐに壊れてしまい、もうひとつはさらに柔らかくて、まったく全速力ができず、ジョギングぐらいしかできませんでした。

そこから勉強が始まったのです。まず走るときにマーカーを付けて、モーションキャプチャーでどういった走り方をしているかを調べます。それをデータ化して、床反力がどういうふうに返ってきているのか、義足と健足の違いを調べます。簡単に説明すると、健足は床反力が地面から離れる瞬間に、その矢印が前に倒れながら消えていくんです（図3）。一方で、義足には足首がないので、常に重心位置・骨盤位置に反力が返ってくるんです。この違いは何かというと、健足で地面を蹴る瞬間、足首がちょっと蹴るんですね。この動きが足を前にリカバリーしてくるという動作につながるので、足を簡単に前に持ってくることができる。義足の人はそれができないので、足を後ろに流しすぎると、義足では走りづらい。これはアスリートの中では常識的な考え方だったのですが、数値的に落とし込むと、ああこういうことだよねとわかったというケースです。

スポーツでは特にそうなのですが、研究が現象の後追いになっているケースが結構多いなと感じます。

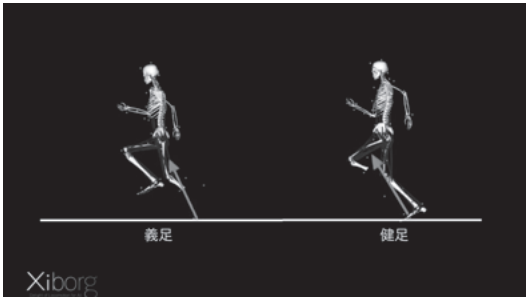

図3

ウサイン・ボルトが速い。どうして速いのか解析しよう。じゃあ、こういうふうにやったらやっぱり速いですねという条件決めというのは簡単にできるのですが、例えばウサイン・ボルト選手がもっと速く走るためにはどうすればいいかということに対して、科学というのはまだまだ無力だなと感じます。われわれはそれをなんとか先回りしたいと考え、実践の場でも勉強しながら、科学でも解析をして、さらにそれを合わせたところに新しい領域があると感じながら、勉強しています。

二〇一四年の終わり頃には、ある程度走れるような義足ができました。ただ押す方向にはよかったのですが、ねじれる方向にとても弱い義足だったので、結果的に十分に走れるものはできませんでした。そういった試行錯誤を繰り返しながら、できあがったのが、ジェネシス（Genesis）という義足です。ジェネシスには金色と銀色の2バージョンがあります。最初は金色バージョンだけを作ったのですが、チームアスリートの佐藤圭太選手に「銀色がいいです」と言われ、「え？　金メダルを目指すんじゃないのか」と思いながら、銀色バージョンも作りました。この義足は、日本では佐藤、池田、春田の三選手が使ってくれています。

彼らは日本のトップ選手なのですが、その中でひとり、リオのパラリンピックに出た選手がいます。佐藤選手です。それがXiborgの義足のデビュー戦になりました。まだまだ日本の競技人口は少なくて、義手の選手と義足の選手が一緒に走るなど、いろいろな障害をもつ人が一緒に競技をしているのですが、そこで最初に使われました。その後、佐藤選手はリオのパラリンピックの一〇〇メートル予選に出て、国産では唯一われわれの義足をリオに持って行ってくれました。でも、予選を通じて、世界との差がちょっと離れてしまったなというのがわかったのが今回の大会でした。隣のレーンの選手と一秒ぐら

い離れてしまっているんですね。まだまだ日本の選手のレベルが追いついていないのと、選手層の厚さが違うなということを痛感しました。それでも、実は佐藤選手はリオのパラリンピックの四×一〇〇メートルリレーで、繰り上げもあり、銅メダルを獲得しました。

そこでご縁ができたのがジャリッド・ウォレス（Jarryd Wallace）選手です。彼は、日本で行われたゴールデングランプリという大会で一着になった選手で、リオのパラリンピックで佐藤選手と一緒に走っていた選手でした。予選は二位で通過して、決勝では五位だった選手です。五位でもいいじゃない？と思うかもしれませんが、歴代二位のタイムを出していながら、リオでは大失敗をしてしまったんですね。彼は東京では見返してやりたい、そのためにも何か一発逆転のものを狙っていて、佐藤選手の義足を見て、その経緯を聞いてきてくれて、「俺の義足を作ってくれ」と連絡をくれました。

実は数日前まで彼は日本に来ていて、同じ練習をして、彼のデータをもらいました。それを見て、結構驚愕しました。佐藤圭太とはまったく違う走り方をするんです。佐藤選手は、健足と義足だと、走っているときに義足側のほうがやや弱いんですね。健足で走っているといえます。対して、ジャリッドは逆で、義足側のほうが圧倒的に強いんです。義足側でストライドを伸ばして、健足側はサポートにまわっている。なので、義足をうまく使いこなすことによって、こんな走り方ができるんだということも勉強させてもらいました。たぶん来年は彼の義足をわれわれが作って、彼がその義足で走るということも予定されています。

競技を通しての技術開発

こういった競技ばかりやっていて、研究をあまりしていないように思われがちなのですが、実はパラリンピックのような最先端のものを作ることによって、転用できることは多いなと感じています。例えば車の最先端技術をF1で作って、それが汎用品として流れていくという技術の流れがある。今まで義足というものは、戦争などを契機に技術が進んでいくことが多かったのですが、パラリンピックなどで新しい技術が開発され、それがリハビリへという流れにできないかと提案したいと思っています。また、最新の義足によって障害者に対するかっこいいイメージが広まっていけばいいなと感じています。

手を切断した走り高跳びの選手の記録が圧倒的に落ちたというケースがあります。手の振り上げという貢献がものすごく大きかったということがわかって、手の振り上げの練習を始めた走り高跳びの選手が増えました。障害者と健常者を比較することに、身体においてそれぞれのパーツにはそれぞれの役割があり、どのぐらいの役割をこなしているかということがわかると同時に、それを生かす行為は、障害者に対してだけでなく、例えば高齢になって手足の機能が失われてきた人に対して使えるわけです。

他にもパラリンピックを盛り上げるためにやっていることがいろいろとあります。例えば、クラス分けが簡単にわかるピクトグラム。一目でどのぐらいの障害があるかが番号と関連付けられているので、スマホを片手に競技を見ることによって、障害がわかります。これも僕の経験なのですが、競技場に行って走っている人を見ても、「あの人、何の障害なんだろう」と思うと、競技を純粋に楽しめないんですね。そういったこともあって、ピクトグラムを作りました。

義足の感覚を体験できるぴょんぴょんシューズのようなものも作りました。最初は研究目的で作ったのですが、これを履いて義足の経験をしてみたいという企業や学校が多かったんですね。そこでこういったものを何足も作って、「義足で走る」ということがどういうことかを経験してもらう体験会を実施しています。義足さえよければ、誰でも速く走れるというわけではありません。それを使いこなして初めてパフォーマンスが上がることを示してくれているのがパラリンピックのアスリートなので、この義足で歩くこと自体、結構難しいです。走るなんて、もう、とんでもないということ、でも慣れてくると、ある程度走れるようになるということを体験できます。

高齢化社会に向けてのデバイスにも兼用できるものも作っています。リハビリテーション・デバイスは、一般的には大きくて高くて、扱いが難しいのです。病院の先生と話していたら、もっと手軽にできるものがないかと言われ、考えて作ったのが片手に乗るようなサイズのモーターのモジュール、電動リハビリアシスト装置・ラプラス（Raplus）です。義足のモーターの部分を抽出して、彼らが普段から使っている長かに簡単につけられるものを作ったものなのですが、安価で、しかも普段から使っているものがリハビリ機器になりますと提案して、多くの先生に高い評価をいただき、一カ所で研究レベルとして今実際に使ってもらっています。

二〇一六年一二月、新豊洲にBrillia ランニングスタジアムという建物ができました。このスタジアムには、研究室と六〇メートルトラックが六レーンあり、テクノロジーとスポーツが混ざり合う場所になったらいいなと考えています。研究にしてもスポーツにしても、興味のある人がここに来る。そして、障害者であろうが、健常者であろうが、高齢者であろうが、ここに来れば、走ったり、楽しんだりできる

場所になればと思います。僕の領域でいうと、障害者の方が義足で走るというのは結構敷居が高いことなのですが、彼らもここに来れば走れるというような場所になればいいなと思っています。そして、パラリンピックに対して発信する場であってほしいと思いながら活動を続けております。

場所は有明と晴海の間にあり、ゆりかもめに乗ると見えてきます。見学も大歓迎なので、テクノロジースポーツ領域に興味がある方は遊びに来ていただきたいなと思います。

障害に対する考え方

障害者と健常者というのは、現状では白黒はっきり分かれています。簡単にいうと、日本でなら障害者手帳を持っている人が障害者です。でも、われわれはみんな年を取っていきますし、体はどんどん衰えていって、みなさん、たぶん自分は健常者だと思っているかもしれませんが、どんどん障害者の方向に向かっているといえます。そして高齢者というのは、足が動かなくなってしまったり、目が見えづらくなってしまったりする。言い方を変えれば、障害者とあまり変わらない状況に陥ることがありえます。

もちろんその予防という観点もとても大事ですが、障害者に対する不幸な色合いをもうちょっと薄くして、さらにパラリンピックなどで見られるような、健常者ではできない動きができる領域を作り出すことが、テクノロジーで可能ではないかと考えています。メガネをかけることで目が見えない人が見えるようになるということは、つまり障害者の色合いが濃いところから薄いところに移動できるということです。そのように、身体能力の領域やリハビリテーションの領域でも、例えば色が濃いところから薄

いところに行ったり、あるいは義足をつけることによって、色合いのいろいろな場所を行ったり来たりすることができるようになったとしたら、もしかしたら障害という言葉がなくなっていく世の中になるのではないか。それが僕らが目指している社会です。

最初に紹介した骨肉腫で足を切断した僕の後輩は、二回転移しながらも、ラッキーなことにまだまだ生きています。彼の五年生存確率が五〇パーセントと言われてショックを受けたので、留学するときに、「じゃあ、五年以内にロボット義足を作って、彼につける」と言ったのですが、いまだに彼が日常的に使える義足は作れていません。

僕の今の一番の目標は、彼の足をロボットにすることです。これを第一の目標としてやりながら、それに関連する技術を開発していきたい。もともとは彼から始まったプロジェクトであり、その中で出会った人たちが「速く走りたい」「もっと歩きたい」といった顔が見えるところでものを作っていくことに対して、僕は満足を得られる人間なのです。ですから、そういった活動を続けていくことが今の僕の生き方で、その中でソニーであったり、Xiborg の起業であったりという選択をしながら、おそらくこれからも人体に関わる研究をしていくのではないかと思います。