

21世紀に相応しい人間優先の道具とは —障害者スポーツ用具の材料技術の革新—

○平野 重雄¹⁾, 関口 相三¹⁾, 奥坂 一也¹⁾, 喜瀬 晋¹⁾

1. プロローグ

最近、障害者スポーツの注目度が高まっているが、車椅子をはじめとした障害者スポーツ用具の進化にも著しいものがみられる。素材の多様性や加工技術の進歩によって高機能の用具が開発されているが、その用具には安全性の上に耐久性や操作のしやすさなど多くの要素が求められる。

障害者スポーツを取り巻く環境は大規模な国際大会を契機として進歩してきた。そして、スポーツで使用する用具も2016年のリオデジャネイロ、2020年東京のパラリンピックに向けて大きく進歩することが期待されている。

様々な技術的要件を克服しなければならない障害者スポーツ用具の世界で磨き上げられた技術は、今後の超高齢化社会でも有効に活用されることが期待される。

本報では、障害者スポーツ用車椅子と走行用義足に使われる材料を中心にスポーツ用具の革新について論じる。

2. スポーツ用車椅子

車椅子でのスポーツの歴史は、パラリンピックの起源とされ、1948年のロンドンオリンピックで開催されたストック・マンデビル競技会で行われた車椅子患者によるアーチェリーであった。

その後、車椅子スポーツの普及とともにレベルが向上し、リハビリテーションや治療よりもその競技性が注目されるにつれ、種目の競技特性に応じた機能を持つ車椅子が開発されるようになった。

2. 1 レース用車椅子

より速く走行できることを追求し、競技規定に対応しつつ、様々な改善が行われた結果、直進走行時の安定性に優れた前輪が大きく前方に出た3輪が主流となった。後輪は安定性と漕ぎやすさのために、地面に近い部分のキャンバ角が広がるよう取り付けられている。フレームには軽く剛性を兼ね備えた素材としてアルミニウム合金やチタン合金のほか、振動の吸収率が高いとされるカーボンファイバーも使用される。後輪には自転車からの転用でエネルギーロスの少ないディスクホイールが使われ、横風による空気抵抗が大

きいものの、軽く剛性が高い。製作に当たっては、ユーザーの障害の状況、体格、筋力などに応じた調整が不可欠である(図1)。



図1. レース用車椅子

2. 2 バasketボール用車椅子

一般用車椅子とBasketボール用車椅子の大きな違いは、衝突時に足を保護するために前部に取り付けられたバンパー部品と、転倒防止のための後部キャスター、そして地面に対して垂直ではなく下部を左右に広げて取り付けられた車輪により速やかな回転が可能になる。

フレームの素材は鉄、ステンレス、アルミニウムと時代とともに軽量化が進み、強度と粘りのあるアルミニウム合金に加えて、クロムモリブデン鋼、チタン、カーボンファイバー、マグネシウムなどが部分的に使用されている。

車輪のスポークも、衝突での破損が金属製より少なく、破損しても容易に張り直せる弾性のあるナイロン製のワイヤが用いられている。操作性の向上と転倒防止装置の設置などの改善に加え、軽量化と旋回性や機動性の向上に伴い、よりスピード感のあるプレーが可能になった(図2)。



図2. Basketボール用車椅子

¹⁾ 株式会社アルトナー

2. 3 テニス用車椅子

テニスでは細い隙間を通り抜ける必要がないため、より小回りの利く回転を可能にするために車輪の傾斜角はバスケットボール用より大きくなっており、膝を深く曲げる姿勢をとることによって旋回時のモーメントを低下させたほか、低いボールを打つ際に、ラケットが車椅子にぶつからないための工夫がしてある。また、転倒を防ぐために前後にキャスターを加え、現在は5輪車が主流である（図3）。



図3 テニス用車椅子

3. 走行用義足の開発

風を切って走ってみる。汗が流れる。息が苦しい。脚が上がらない。だが体は喜んでいるのがわかる。細胞の一つ一つが生き生きと動き始めるのが伝わってくる。走るのはただの運動ではない。そこには他では得られないものがあるようだ。走るということは喜びそのものであるような気がする。ただし、その喜びを味わえない。あるいは味わいにくい人たちも少なくない。例えば、義足の人々がそうである。

全国におよそ6万人の義足使用者がいるとされる。怪我や病気で脚を失い、義足の生活に入った人たちである。彼ら彼女らは義足を使いこなさず、ほとんど不自由のない日々を送っている。義足そのものも年々進化を続けている。とはいえ、それはやはり血の通わないモノであり、道具なのである。切断した脚に道具を装着して動くということには、健常者には決して分からない苦労があり、難しさがある。となれば、簡単に走り出すわけにはいかない。

そこで、義足で走ろうなどということは考えない時代が長く続いた。優れた運動能力の持ち主は走ってみたかも知れない。が、大半はこう思っていたはずである。「走るなんて、とんでもない。走るなんて、できるわけない。走らなくたって生活はできるのだし」無理をすれば少しは走れるかもしれない。しかし、転んで怪我をしたらどうするのか。激しい動きで義足が壊れたらどうなるか。次の日から通学も通勤もできなくなる。高価な必需品を危険にさらすわけにはいかない。こうして義足を使う人はまず走ろうとしなかった。治療やリハビリを施す側も勧めなかった。「走」と「義足」。

二つの言葉は離ればなれだった。

2012年のロンドンオリンピック・パラリンピックで義足ランナーの走行が話題となったが、2014年には片下腿義足男子走り幅跳びの世界記録がロンドンオリンピックの銀メダルの記録を上回り、義足の有利性についての議論は続いている。日常用の義足と走行用義足の形状は、ソケット以外の部分で大きく異なり、走行用義足は、基本的には断端を入れるソケットと板バネ、それらをつなぐ膝継手とよばれる関節のように曲がる部品が使われる（図4）。

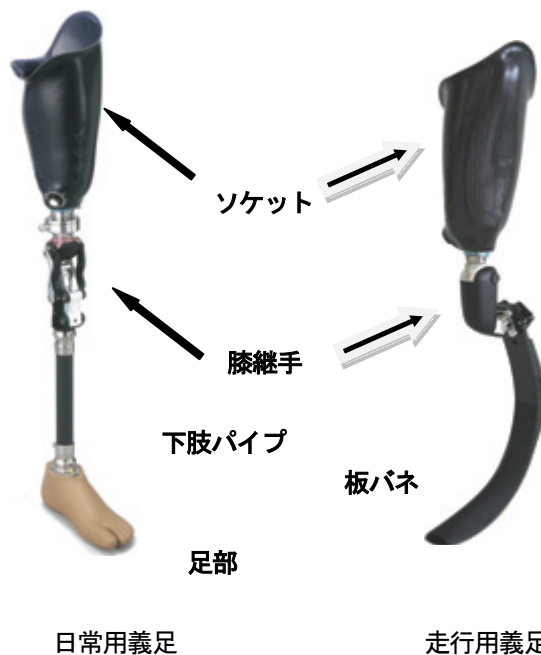


図4 日常用義足と走行用義足

走行時、瞬間的に体重の8倍以上の負荷が加わる義足形状の設計。各部品に必要な物理的特性に応じてカーボンやケブラー、ガラス繊維などの強化繊維プラスチック、アルミ合金やチタン合金などの素材が使用される。

走行用義足で特徴的な板バネは、カーボン繊維強化樹脂製で、この反発力によって推進力がもたらされる。滑り止めとして、板バネ用スパイクがある。

断端を入れるソケットは、人工物と人が直接接触する重要なインターフェースで、特にスポーツ用の場合、軽量かつ高強度で耐久性があり、立脚時の大きな衝撃を分散させ、可動域を制限せず、走行動作によってソケット内で足の形状が変化し、発汗しても滑らないなど多くの要求に応えなければならない。ソケットはユーザーの全体重を支える重要な部品であり、その素材には、アクリル樹脂のほか、強度を上げるためにカーボン繊維が用いられる。ユーザーの断端の形状にあわせて石膏で型どりし、筒状に編組されたカーボン

クロスや布やテープ状の繊維をセットして減圧されたバッグ内にマトリクス樹脂を流し込み成型する。

このように素材の強度が大きな課題とされているほか、形状についても立位だけではなく疾走時のユーザーの使用感にあわせた微調整が必要である。ユーザーとの信頼に基づいた義肢装具士の技が求められる。

3. 1 義足のランナー健常者を超えるか

義足は人間の足より軽いため、100m走などのタイムは、いずれパラリンピック選手がオリンピック選手を超えると見られている。

義足に詳しい産業技術総合研究所の保原浩明研究員の試算では、義足ランナーの記録が健常者を超える時期は、男子100mでは2068年、距離が長い400mはもっと早く2020年ごろの可能性があるという。

義足の選手が登場し始めた1980年前後は、100m走のタイムは13~14秒台だったので、義足の素材や形状の改良などで年々タイムが向上し、2013年にはブラジルの選手が10秒57を記録し、ジャマイカのウサイン・ボルト選手が持つ健常者の世界記録9秒58まであと0秒99となっている。

3. 2 カーボンファイバー（炭素繊維）技術

カーボンファイバーの特徴は、軽さと強さにある。鉄の4分の1程度の軽さで、強度は10倍もある。新エネルギー・産業技術総合開発機構によると、東レなど国内大手3社で世界シェア（市場占有率）の約65%を占めている。

パラリンピック競技では、わが国のものづくりの低力を示そうと、競技用義足の開発も熱を帯びているようである。

（株）ミズノと福祉機器メーカーの今仙技術研究所は国際義足の開発に共同で取り組んでいる。開発費は両社の総額約4000万円、2008年北京パラリンピック男子走り幅跳び銀メダルの山本篤選手の協力を得て実験や改良を重ね、販売開始時には、本体の板バネで25万円程度の価格を想定している。

義足の方（約6万人）に、自分もできるという想いを持ってもらい、かつその夢の実現が望まれる（図5）。



図5 人間の筋肉とバネが体系的に協調して相互的に動いている

3. 3 カーボン・アスリート 山中俊治著より

山中俊治著、発行元：白水社より。JRのICカード改札機のデザインを手がけるなど、プロダクトデザイナーとしても著名な山中先生が、3年にわたる「美しい義足」制作プロジェクトの全貌をまとめた。デザイナーならではの視点と観察力で描いた、新しい義足に託す思いと、関わった人々の内面に迫るドキュメント。

スイカをかざすとピピッと光るアンテナ面。あの面の角度は13.5度で傾いている。誰もが当たり前に使ってこなし1秒で改札を抜けられる便利なスイカ。でも実は、開発段階では100人中半数近くがまともに使いこなせなかったそうです。そんな中、ひとりのプロダクトデザイナーが開発チームに参画し、様々な検証から13.5度という神秘の角度を導き出すことで読み取りエラーは100人中一人にまで激減し、実用化に至った。

そのプロダクトデザイナーが山中俊治氏。一流のプロダクトデザイナーが「義足」をデザインするとどうなるのか。『カーボン・アスリート～美しい義足に描く夢～』は、山中俊治氏が「スポーツ用義足」のデザインに取り組んだこの3年間の奮闘記です。

ハンディキャップを背負いながらもコート狭しと奮闘する姿、車椅子同士のぶつかり合いや義足選手の不思議な躍動感など、見る者を釘付けにする力を持っている。山中氏もまた、そんな義足の美しさに見せられた一人なのであろう。北京パラリンピックで3個の金メダルを獲得し、ロンドンではついにオリンピックの陸上競技に出場を果たしたオスカー・ピストリウス選手（南アフリカ）の走る姿を映像で見たとき、山中氏は「究極の機能美を見た」として次のように語る。

“プロダクトデザイナーとして様々な生活用品をデザインしてきた私は、つねに人と製品の関わりについて考えてきた。ゴール直前の劇的なスピードを得たオスカーの肉体と義足の関係に、私は、人と人工物の関わり理想を見たように感じた（中略）。これこそ、人がつくりしものの究極の機能美なのではないか。私はそう感じてその映像に見入ってしまった”

商業デザインだけでなく、慶応義塾大学で教授も務める山中氏は、この時の感動から「スポーツ用義足」の研究に取り組み始める。

走行用義足は、足の切断面を覆うソケット、地面を蹴る役割を果たすカーボン製の板バネ、膝上切断者が使用する場合は膝の役割の代わりとなる膝継手の3つの部品で構成されている（図4参照）。研究対象としてアスリートのそばに立って実際の義足を眼下におくと、全体としてのフォルムには映像で見たのと同じ躍動感を感じるものの、その細部はむしろねじや接続面がむき出しになり、美しいと思える要素がとても少ないことに山中氏は気づく。「神は細部に宿る」とは有名な格

言で、この部分にこそデザインの必要性をみいだすのである。

しかし、義足にデザインを取り入れようという山中氏の構想に対し、実際に義足の製作に携わるメーカーや義肢装具士の多くからは否定的な反応を示される。日本で約6万人存在するという下肢切断者の中で、義足を使って日常生活を営む人は数千人、実際に走ることを楽しむ人は100人にも満たない現状である。大量生産ができない義足において、デザインは贅沢な無用の長物であり、これらの反応もある意味当然のことであるかもしれない。

それでもなお、純粋にデザインの力を信じる山中氏は、デザインされた義足が導く先進的な未来を想像できない周囲を納得させるため、まずつくってしまおうと、周囲の冷ややかな反応に怯むどころか、切断者が走れるようになるためには筋力だけでなく、モチベーション、スキル、道具など様々な要素が必要とされる。

“義足はまさに人工の骨格である。その外側に筋肉が存在しないからこそ、完璧な骨格にならなくてはならない”と力説する山中氏の言葉通り、そのスケッチには骨格を意識できるからこそその躍動感があり、それらを眺めながら実際の義足が完成して行く過程を知ることができる。

最後に、山中氏の前向きな言葉を引用する。

“すぐれたデザインは、どんな場面でも、人の気持ちを少し明るくするものだ。それは大きな力ではないかもしれないが、決して無力ではない。素敵なデザインの義足は、きっと切断者たちを少し前向きにすることができる。それは、小さなきっかけかもしれないが、大きな成果となりうる。周囲の人が気持ちよく眺められる義足をつくること、それにはきっと意味があるに違いない”

4. 人と機械の共生

どれほど技術が進んでも、介護をするのは人であってほしい。機械は、あくまで介護される人とする人の気持ちをサポートする道具であってほしい。人をもののように扱うような機械化を考えているのではない。

また、人を技術に合わせるのではなく、技術が人に歩み寄り、人に合わせなければならない。人には得手不得手がある。不得意なものを機械の力でサポートすることが福祉の重要な課題のひとつかと思う。そして、福祉はもっと自然なものであってほしい。誰しもが不自由な部分がある。年をとれば必ずなんらかの不自由がある。それを補うことは特殊なことでない。

福祉が自然に、文化や普通のライフスタイルの中にとけ込むことが望ましい。そのような世界をつくるためには、技術者が技術だけを語っていたのでは限界が

ある。

技術は人を幸せにするためにあるものであって、最終的にどういう使われ方をするのか、背景にある経済的なもの、宗教あるいは文化的なこと、すべてを網羅してつくらなければいけない。結局は技術も人。つくるのも人、使うのも人。それらが全部集まって社会を形成し、その中で技術者の使命は、技術を使って今の文化、文明をより進化したものにして、次の世代に引き継ぐことであろう。

5. エピローグ

どのようなスポーツ種目にも共通することではあるが、スポーツ用具には、安全性のほか、風雨や砂などのかかる環境下での強度や耐久性など、様々な技術的要件が求められる。ロンドンパラリンピックの際、英国の車椅子バスケットボールチームのために開発された軽量で機動性に富んだ車椅子の技術は、一般用の車椅子産業でも活用され、スポーツを行わない車椅子ユーザーもその恩恵にあずかれるという。バスケットボール用車椅子の軽量化を図るために使用されているアルミ系の素材は、一般の車椅子にも使用されるようになってきている。

このように、数多くの技術的課題を解決したスポーツ用具の技術が、アスリートの競争力向上に貢献するだけではなく、障害者のスポーツへの参加の裾野を拡大し、数多くの高齢者の意識改革や感覚補助などのためにも有効に活用されることを期待したい。

思えば、支援機器を使う人は障害者に限らず、誰でも使えるものがよい。また、環境を技術に合わせるのではなく、技術が環境に合わせることを考えたい。



開発された美しき義足（山中俊治氏作）