

素材からみた スポーツの歩み スポーツ用品と材料の変遷

スポーツが盛んになるにつれ、パワーやテクニックを伸ばすための科学的な研究やトレーニングが進んできたが、これと並んで用具・施設やウエアの進化も見逃せなくなってきた。特に近年の新素材と総称される多種多彩な材料の発達が大変革をもたらした。折りしも20世紀最後のオリンピック、シドニー大会目前の今号では、近代スポーツの発展を用具・施設・ウエアの素材という角度から探してみる。

魔法の杖

近代スポーツ各種競技の原型が整ってきたのは19世紀から20世紀初めにかけてで、1896年に始まったオリンピックがスポーツ興隆に大きな役割を果たした。ルールや競技方法の整備が進むとともに1924年には冬季大会も開かれるようになり、陸に水に氷雪に競技種類も目覚しく増えつづけた。今日オリンピックをはじめ、国際大会が開催されるレベルのスポーツはおそらく100種目近くに達するだろう。その中でウェアやシューズなども含めれば何らかの用具を使用しないスポーツはない。しかし、スポーツ用具に記録や成績に関わる重要な要素として格別の関心が寄せられるようになったのは20世紀も半ばを過ぎてからである。1960年代頃からは用具の材質や構造に関する科学的な研究が進み、用具の革新があらゆるスポーツに浸透してきた。こうした多岐にわたる用具の中から、その進化が顕著な結果に繋がっているもの、スポーツの大衆化と用具の進化が重なり合ったケース、スポーツの基本部分、あるいは最近話題になっているものを選んで考察する。

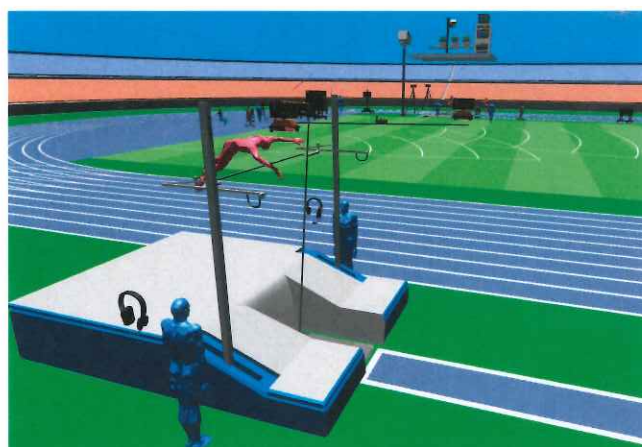
あらゆるスポーツの中で、用具の変革が最もドラマチックに効果を現したのはおそらく棒高跳びであろう。スポーツ用具の歴史は素材の面からは、自然材料時代、金属材料時代、合成材料時代、複合材料時代に大別できるが、19世紀中頃から英国で始まった初期の棒高跳びでは、ヒッコリー製のポールの先端に金属のスパイクをつけたものを使っていた。このヒッコリーというのは自然材料時代のスポーツ用具の代表的素材であった。北米原産のクルミ科の木で、強度が極めて高く、硬度が高い割に可撓性に優れ、樫など他の硬い木材に比べれば軽いため、スキーの板、ゴルフ・クラブのシャフト、テニスラケットのフレーム、野球のバットなど棒状、杖状のスポーツ用具のほとんどすべてに使われた。しかし木製としてはきわめて丈夫なこのヒッコリー・ポールも棒高跳びの際の過大な荷重には耐えられず、しばしば折れて負傷者を出したという。

1900年から1950年頃までは竹が使われていた。竹は日本の特産品であり、日本から西田、大江といった棒高跳びの世界的名選手が輩出したのはそのことと無関係ではなかったかもしれない。1935年頃からは竹製と並んでアルミ合金製のポールも使用された。これがさらに高強度で柔軟なスチール・ポールに替わったのは1946年。用具の変革とともに記録は少しずつ伸びたのだが、1960年頃にグラスファイバー・ポールが登場するや記録は一気に飛躍し、グラスファイバー・ポールは「魔法の杖」と呼ばれ、驚異の目で見られたのである。時代と材料と記録の関係をまとめると表1のようになる。

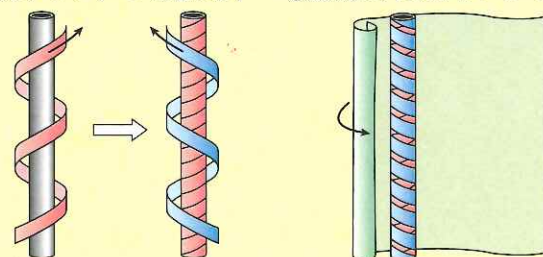
現在使われているポールは3層構造で、①一番下が2重スパイラル状に巻かれたファイバー・テープでねじれを防ぐ働きをし、②その上に巻かれた長方形のグラスファイバー・シートが

表1 棒高跳びのポール材質と記録の変遷

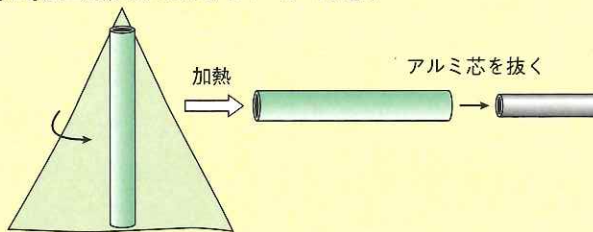
時代	ポール材質	記録
19世紀中頃	ヒッコリー	3m40
1912年	竹	4m02 (最初の公認記録)
1930年頃	竹	4m40台
1940年頃	アルミ合金	4m70台
1957年	スチール	4m78
1964年	グラスファイバー	5m10
1994年	グラスファイバー	6m14 (現世界記録)



①ファイバーテープを2重に巻く ②長方形のグラスファイバー・シートを巻く



③2等辺三角形のグラスファイバー・シートを巻く



ポール
ガラス繊維をらせん状に巻いて成形するスパイラルラッピングという特殊な技法で作られたポール。日々、進化するスポーツ用具には新しい技術が、随所に使われている。

弾性と硬度を生む。③最上層には2等辺三角形のグラスファイバー・シートが先端に向かってテーパ状に巻かれ、その量で硬度が決まる（上図参照）。ポールの最適硬度やグリップの位置は競技者の助走スピード、体重、筋力によって異なる。跳

表2 ゴルフクラブ・シャフトに用いられてきた素材

素材(平均的なもの)	比重	引張り強度 Mpa	引張り弾性率 Mpa	比強度 Mpa	比弾性率 $\times 10^3$ Mpa
鋼	7.78	1,373～1,569	206	177～206	26.5
アルミニウム合金	2.8	588	72	216	25.5
チタン合金	4.5	883～1,471	103	196～324	22.6
ガラス繊維	2.54	2451	76	961	29.4
炭素繊維	1.81	2746	392	1520	216.7
アラミド繊維	1.44	3628	130	2520	90.2
ボロン繊維	2.55	3432	392	1343	153.9

躍の際の最大屈曲が90度を超えない程度がその競技者にとっての最適硬度とされ、ジャンパーは90度近くに撓んだボールの弾力にはじき出されて6mもの高さを飛び越えることができるようになったのである。

用具の変革が競技のレベルを飛躍させた今一つの顕著な例は体操競技の鉄棒や吊り輪である。ウルトラCと呼ばれるアクロバチックな大技が登場して話題を呼ぶようになったのは、1960年のローマ・オリンピックのあたりからだ、こうした離れ業が可能になった蔭に競技器具材料の変革があったことは案外語られていない。鉄棒は最初は木製だった。英語ではhorizontal bar(水平棒)と呼ばれるこの競技が日本に入ってきたのは20世紀初め頃で、最初から鉄棒と呼ばれたぐらいだからこの頃はすでに鉄パイプに変わっていた。1960年頃からより弾性の高いワイヤーロープを使い、ターンバックルで張られるようになって鉄棒は「月面宙返り」などといった派手な荒業の舞台となったのである。吊り輪もまた縄からワイヤーロープへと変って、より高度の技が可能になった。

少しでも遠くを目指して

1970年代からスポーツの大衆化が始まった。それまで一般大衆は専門家の高度な技を見て楽しむだけで、自分でプレーして楽しむのは一部の人の贅沢だったが、老いも若きも男も女もスポーツに親しむ時代がやって来た。その典型はゴルフである。ゴルフというスポーツは特に用具の変革の目覚しさと、それに対する大衆の関心の深さでも際立っている。

先に触れた通り、棒状、杖状のスポーツ用具の素材の変遷は相共通しているが、ゴルフクラブのシャフトも初期にはヒッコリーが使われていた。1920年代にスチールシャフトが開発され、飛距離が飛躍的に伸びて従来のゴルフスイングをも変えてしまうパワーゴルフの時代が到来した。以来、ゴルフクラブ・シャフトはより遠くへ飛ばすために軽量化を求めて開発が繰り返されている。1960年代後半になって、軽くてよく飛ぶとの謳い文句でアルミ合金シャフトが登場したが、アルミ合金は確かに比重は小さいものの、強度、弾性率が低いのでシャフトが太めになり、打球感も今一つということで、短期間の流行に終わった。一方、スチールシャフトも軽量化へのためめめ開発が進められた。シャフトに要求されるのは、高い引張り強度

(1,569～1,765 Mpa)と靱性であるが、熱処理、合金技術の進歩などにより、1980年代頃からは理想に近い性能のものが現れている。材質としては次のようなものである。

- ①機械構造用炭素鋼(炭素含有量0.4～0.9%)
- ②マンガン鋼
- ③クロムモリブデン鋼
- ④クロムバナジウム鋼

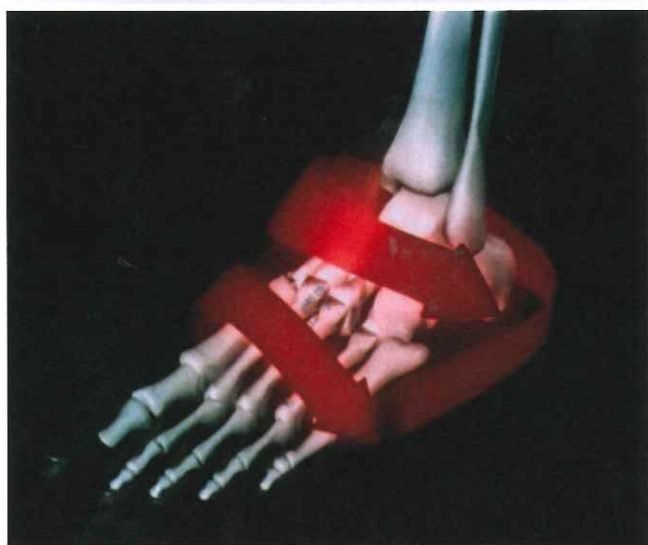
次に述べるカーボン・グラファイト等のハイブリット材の登場でゴルフクラブ・シャフトは第2の革命期を迎えるのだが、スチールシャフトは今もプロの強打者に好まれ、特にアイアンについては男子プロのほとんどがスチールシャフトを使用している。

新素材シャフトの先駆けは、1970年代に入って登場した炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber-glass Reinforced Plastics: CFRP)である。当初はトルクなどの性能に多少の難があったが、炭素繊維を基盤に、ボロン繊維、アラミド繊維、炭化ケイ素ウィスカー、アモルファス金属繊維などをハイブリット、複合化することで比強度、比弾性、形態などの面を補完したきわめて優れた性能のシャフトが次々に開発され、今ではアマチュア・ゴルファーや女子プロのほとんどすべてに定着している。

以上のようなゴルフクラブ・シャフト素材の変遷とその物性をまとめると表2のようになる。

スポーツの原点

すべてのスポーツの原点はランニングであるとされる。ランニングに関わる主用具はシューズであるが、ランナーがシューズに注意を払うようになったのは比較的最近のことである。むしろかつては足への衝撃という点でシューズは有害という説すらあった。ロビンスという人の研究で、裸足の走行が足の衝撃吸収能力に及ぼす影響を考察し、ランニングシューズをはくと足の底からの感覚のフィードバックを妨げ、これが下肢への障害の原因となるとの見解を発表している。これに対し、カパーナという人は傷害の原因は靴ではなく、アラインメント(走行方向と足の踏み出しが一直線になること)に起因すると反論している。現在では皆無だが裸足で走るアスリートもあり、1960年、ローマ・オリンピックのマラソンで金メダルに輝いたエチオピア



シューズ
近年のシューズは、ランニングのメカニズムを科学的に解析し、選手的能力を最大限に引き出せるような設計が行われている。写真は本文中に登場するスケルトンシューズ。

のアベベ、1984年ロサンゼルス・オリンピックで女子3,000 mに出場した南アのゾーラ・バットなどが裸足の名ランナーとして今も語り草になっている。

最近では足への健康、履き心地のよさに加え、スピードへの効果といった面を重視したランニングシューズに関する研究が急速に進歩した。1990年代の初めから、軽量化を最大の目標に、さまざまな開発が進められてきたのだが、前回オリンピックのあとあたりからは、データシャワー理論に基づく動的な設計思想が台頭し、シドニー・オリンピックを皮切りに、今後の国際大会に目標を定めての開発が進められている。データシャワー理論というのは、運動中の身体各部の動きを分析し、シューズを構成するパーツを最適位置に配置する技法である。開発の中心は1秒の100分の1を争う短距離走用のシューズである。このハイテクシューズのポイントの第1は足とシューズの一体感を高めるため足の骨格構造を考慮し、足の必要な部分

のみをしっかり抑えるアッパーデザインである。着地や体重移動時に足が内側に倒れ込むのを防ぎ、シューズの中で足がずれないように設計である。足がずれると走行時に路面に伝えられるべき力が分散するので、これを防ぐことで前進するためのエネルギーのロスを軽減するのである。一方足の指の部分を必要以上に抑えつげると、地面をパワフルに蹴り出すべき足指の効果的な動きが阻害されるのでこの部分では抑えすぎないように配慮されている。

第2は、データシャワー理論に基づいたソール・デザインで、これにより加速や接地の際のグリップに必要な個所にピンを配置し、エネルギー・ロス少なくピンに力を伝えられる。さらに、レース後半における重心の落ち込みを防ぐために、踵は接地しない形にしている。

素材としては、アッパー部分の主流は3軸織物というきわめて軽量で強靱な新素材である。これは、繊維の織り込み方向をX、Y、Zの3方向に配向したテキスタイルで、①面内における疑似等方性、形状保持性に優れる、②せん断力が高い、③圧縮強度の低下が低い、④比強度が高い、といった多くの面で優れた特長を併せ持っている。ソールには樹脂製スパイクを採用しており、全体として大幅な軽量化を実現している。

スプリント用シューズに見られるこのフィット性・サポート性を向上させるアッパー構造は、基本設計として他の競技用にも採用され、種目によって異なるニーズに合わせたバリエーションを加えての開発が進められている。

ランニングについてはシューズに次いで走路の問題がある。20世紀の初め頃まで、トラックや跳躍の助走路はクレー、つまり自然の土だった。次に登場したのは、シンダー・トラックと呼ばれた細かい石炭殻を敷き詰めた走路である。1960年代に入るとアンツーカー、全天候型トラックといった革新的な走路が次々に開発され、陸上競技は新しい次元へと突入する。アンツーカーは土を焼結した赤褐色の材料であり、タータントラックは素材に合成ゴムを使用した全天候型の走路である。

特に全天候型トラックの出現は衝撃的だった。オリンピックに全天候型トラックが導入されたのは1968年のメキシコ大会であるが、この大会で陸上競技に新時代の到来を告げる2つの偉大な記録が誕生している。ビーモンが記録した走り幅跳びの8 m 90というとてつもない記録で、1990年代に入るまで破られることはなかった。もう一つはハインズによる100 m走の9秒9である。これは公式記録としては人類初の9秒台であった。全天候型トラックの採用ともう一つは高地で空気抵抗が少ないという立地条件が相俟って、メキシコ・オリンピックは記録的にひとつのエポックを画する大会となったのである。

五輪デビューするハイテクウエア

シドニー・オリンピックを目前に控え、その選手選考会を兼

ねて、去る4月に行われた競泳日本選手権大会では競泳用水着の常識を破るデザインの水着が登場して話題になった。19世紀にタイム・スリップしたかと思われるような全身を覆うタイプの「スピード・ファーストスキン」と呼ばれる全く新しい発想による競技用水着である。従来、競泳用の水着は面積を小さくしてなるべく裸身に近づけることでスピードを上げようという方向であった。スピード・ファーストスキンは、逆に水の抵抗を大幅に低減する材料で素肌を覆うことで、スピードの向上を助けようというもの。鯨が流体力学的には必ずしも優れた体形ではないのに、遊泳速度がきわめて早いのは鯨の肌の特殊な構造によるものであることに着目した。鯨肌は小さなV字型の溝が泳ぐ方向に平行に並んでいる。この溝の内側に渦が発生し、水の乱流を抑制して抵抗を低減する仕組みになっている。

「スピード・ファーストスキン」は、まず幅の狭い溝を備えた、鯨肌を模して高密度に編み込んだ新低抵抗素材を採用した。これによって表面摩擦抵抗を従来の水着素材より3%低減することに成功している。また、3D ボディー・スキャナを活用してきわめて優れたフィット性を持つカッティングを実現した。さらに、素材を最大限まで引き伸ばして身体のあらゆる動きに対応して泳ぎやすくするように縫製にも工夫を凝らしている。これらの結果、流体実験（流速2 m/秒）ではフルスーツ（手首、足首まで覆うタイプ）で、従来の水着に比べ全抵抗の7.5%の低減効果が見られたという。

シドニー・オリンピックにはまた陸上のウェアにも新兵器が登場する。マラソン用のシャツである。表は網目で通気がよく、裏は全体に細かいいぼいぼがあって布地の大部分を皮膚と汗腺から遠ざける工夫が施してある。デザインもランナーの動きに合わせ、空気が循環して汗の蒸発を促進するようになっている。素材はペットボトルのリサイクル品のポリエステル繊維である点も時代のニーズにあった製品である。こうした水着やランニング・ウェアがシドニー・オリンピックで実際に使われて成績を上げることにになれば用具、ウェア類の開発はさらに過熱することになるう。

21世紀のスポーツと用具

用具を使うスポーツにおいては用具の開発はまだ序の口といってよい。改革が本格化してから近々10年だから21世紀にはおそらく現今では想像のつかない飛躍を遂げていくことになるう。

用具を使わないトラックのようなプリミティブな競技はどうか。BC9世紀に始まった古代オリンピックでは、選手は全裸で競技した。歴史とともに人はより多くの面積を衣服で覆うようになり、近代スポーツも初期には重装備だった。これが開放的な裸身に近付いたスタイルに変ってきたのは近年の



水着

サメの皮膚をヒントに開発された新低抵抗素材水着。あわせてカッティングの工夫により身体との密着度を高めたこともあって、全抵抗の7.5%の抵抗を削減することに成功した。

ことではあるが、いったんそうなると、とにかく体の動きを抑制し外気や水の抵抗を増す要素は少ないほどよいという傾向になった。ところが1990年代頃から逆に身につけるものを競技の目的に適った材質、形状、設計に変えることによって、運動効率をアップしようという新しい思想が芽生え、見る見る広がっているのが現状である。

しばらくはこのような方向での開発競争が続いていくであろう。しかし純粋に運動能力を競い合う種類のスポーツにおいては、用具の助けを借りるのは邪道という考え方も一方で根強い。20世紀に大きく興隆したスポーツ。さて21世紀のスポーツは生身の力を競う古代オリンピック精神と最先端の新兵器の助けにより多く依存する20世紀末スタイルとの間にどのような調和点を見つけていくことになるのであろうか。

参考文献

- 「ビジュアル博物館スポーツ」 同朋舎出版
- 「スポーツと化学」 日本化学会
- 「新素材の応用によるスポーツ用品」 冬樹社
- 「スポーツシューズの本」 ミズノスポーツシューズ研究会

[取材協力：株式会社ミズノ、株式会社ニシ・スポーツ]