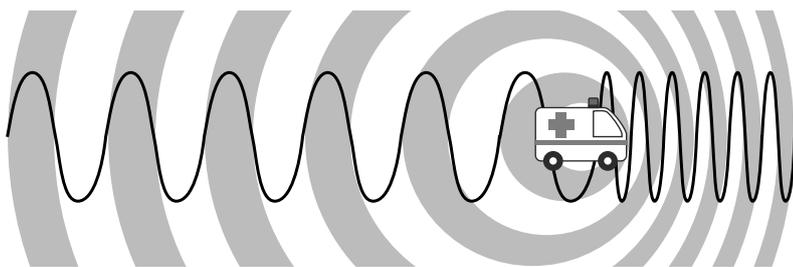
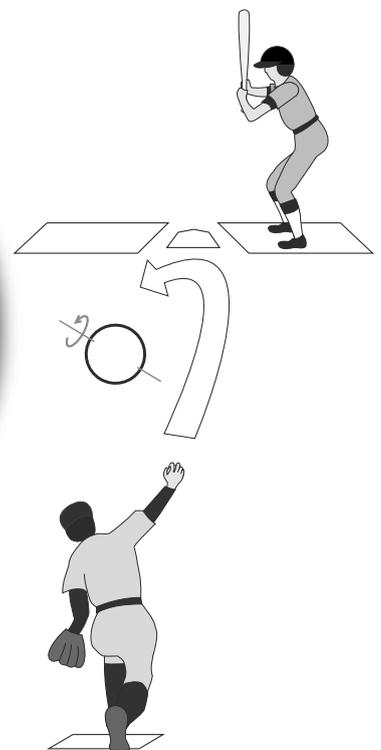


スポーツを科学する

— 体験いっぱい! 世界記録に挑戦しよう —

展示解説

平成26年7月19日(土)～9月7日(日)



てん じ かい せつ
展示解説

特別展「スポーツを科学する 体験いっぱい！世界記録に挑戦しよう」

坂井 奈緒子 (富山市科学博物館 植物担当)

市川 真史 (富山市科学博物館 物理担当)

朴木 英治 (富山市科学博物館 化学担当)

富山市科学博物館では、平成26年7月19日(土)～9月7日(日)に特別展「スポーツを科学する ー体験いっぱい！世界記録に挑戦しようー」を開催します。

人間が動物と一線を画し、採集や狩猟に道具を使い、余暇が生まれた頃から、人は身体をつかっての余暇活動になるスポーツを始めたことでしょう。スポーツに必要な身体能力には、それを司る体の働きが不可欠です。スポーツの技には物理現象や運動法則を基にしたものが多くあります。そして現代では、競技を支える計測機器、用品、衣類に最新科学が使われています。特別展では、体験や実験装置をとおして、スポーツにかくれている科学を紹介します。

■ バランス感覚を司るのは耳

スポーツ選手の多くが、優れたバランス感覚を持っています。バランス感覚は、耳の鼓膜の奥、内耳にある三半規管と前庭が重要な働きをしています。三半規管は体の回転を、前庭は加速度や重力を感知し、これらの情報が前庭神経から脳に伝えられます。

三半規管のしくみは、その形や並び方、中のリンパ液の動きによります。3つの半規管は半円を描き、互いに90度程に傾いてX軸、Y軸、Z軸のように並び、立体的な動きを感知できるようになっています。半規管の中はリンパ液で満たされ、半規管の片方の付け根は膨大部という広い空間につながり、膨大部の内側には有毛細胞があります。頭が回転すると三半規管も回転しますが、中のリンパ液は慣性(元の状態を保とうとする現象)によって、回転していない状態を保とうとし、動くまで時間差がで

ます。三半規管が回転するのに対し動かないリンパ液によって、相対的にリンパ液が三半規管内を流れることとなります。そのリンパ液の流れを有毛細胞が毛で感じとり、前庭神経が脳に刺激を送ります。体をコマのようにぐるぐる回して止まった後、しばらく目が回るのは、リンパ液の流れが慣性によって、すぐに止まらないためです。

加速度や重力を感知する前庭の中は、三半規管と同じくリンパ液で満たされ、内壁には2つの耳石器があります。耳石器の中には炭酸カルシウムでできた耳石(平衡砂)があり、感覚細胞につながっています。耳石が加速や重力で傾くと、感覚細胞に伝わり、前庭神経から脳に刺激が送られます。

簡単な原理で、複雑な動きを感知する人間の能力には驚かされます。特別展では、バランス装置に乗り、ピンポン球をゴールに転がして、バランス感覚を調べます。

(坂井 奈緒子)



図1 耳の中、鼓膜の奥に三半規管や前庭があります。

(平衡聴覚器、三倍大モデルの模型を一部改変)

■ 野球の変化球

物体を空中に投げると、初速度に基づく慣性と、地球による重力のために放物線を描きます。しかし、野球のピッチャーが投げる変化球は、打者の手元でボールの軌道がさまざまに変化します。しかもこの変化は、ピッチャーの投げ方でコントロールすることができます。慣性と重力に加えて、ボールに与える回転と空気の摩擦や流れを考慮することで、この変化の仕組みを理解することができます。

・ボールにかかる力

回転しながら空気中を進むボールには、さまざまな力がかかっています。ボールに働く力の向きが決まると、ボールの進行方向はその力によって曲がっていきます。

ボールには、重力により常に下向きの力が加わっています。また、ボールが空気中を進むとき、ボールの回転があろうとなかろうと、ボールの進行を妨げるような空気抵抗、つまり進行方向と逆向きの力が常に働きます。

さらに、ボールが回転（自転）しながら進む場合は、進行方向に対して横向きの力を空気から受けます。流体力学によるとその向きは、ボールの進行方向前面について考えたとき、その前面が回転する方向と同じ向きとなります。(図2)

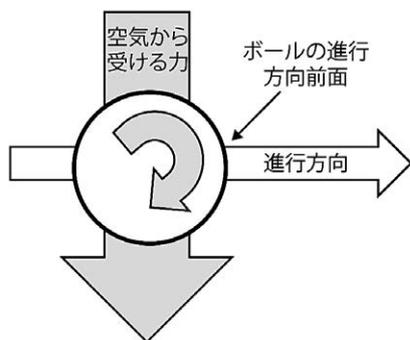


図2：ボールの進行方向と回転により受ける力の向き

重力・空気抵抗による力・回転により受ける力を総合した結果として、ボールの進む軌道が決まります。

・変化球

ここでは、右投げのピッチャーが投じた変化球を、ピッチャー側から見た変化の向きで説明します。左投げのピッチャーが同じように投げた場合は、変化の左右の向きが逆になります。

カーブは、右から左へ斜めに大きく曲がる

ボールです。スライダーは、ストレートに近い軌道から、打者の手元で左にスライドするボールです。シュートは、ストレートに近い軌道ですが、打者の手元で右に食い込むように変化するボールです。

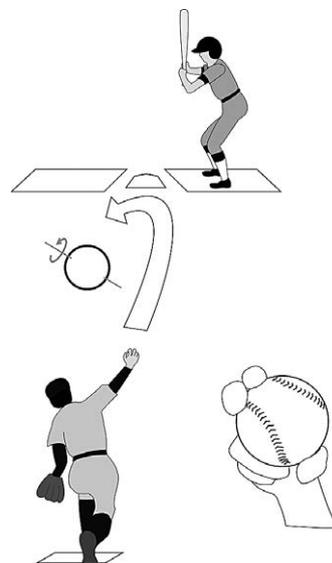


図3：カーブ

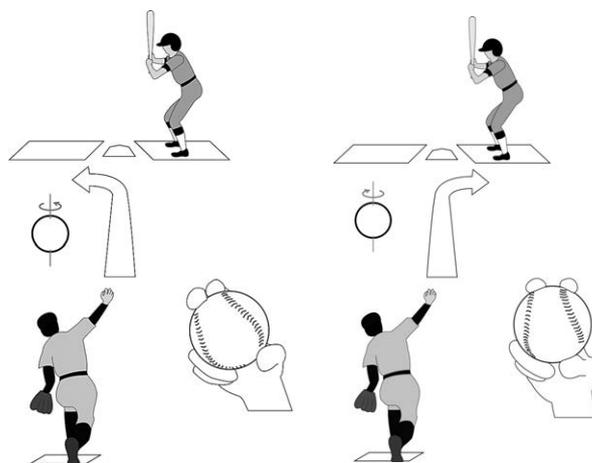


図4：スライダー

図5：シュート

これら3種のボールの軌道が変化する仕組みはすべて同じで、軌道が変化する力は、ボールの回転により発生します。カーブの場合はボールの進行方向前面が左斜め下向きに回転するように、スライダーの場合は進行方向前面が左向きに回転するように、シュートの場合は右向きに回転するように、ピッチャーが投げる瞬間にボールに回転を与えています。図345にボールの回転と変化の方向をまとめました。

・ストレートも“変化球”

ボールをまっすぐ投げたとしても、重力により放物線を描き、下向きに曲がっていきます。

ピッチャーの投げるストレートは、ボールの進行方向前面が上向きに動くような回転をしています。そのため、カーブなどと同じ仕組みで、空気からは上向きの力を受けます。つまり、放物線よりも沈みにくく、より「まっすぐ」に進みます。投げ方によってはボールが浮き上がってくるように見え、打者の手元で「のびる」ように見えます。

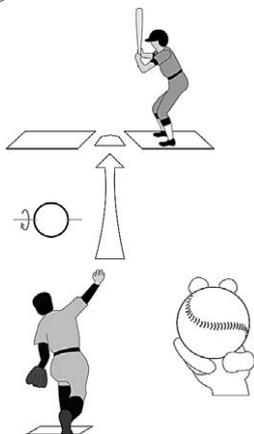


図6：ストレート

・フォークボール

フォークボールは、打者の手元で下に沈むボールです。これまで説明した変化球と異なり、ボールの回転を抑えて投げます。それにより、空気の抵抗が大きくなり、球速の減速が早く、重力によって下に落ちやすくなります。他の球種でもボールは打者に近づくにつれて徐々に落ちており、フォークボールだけが落ちるわけではないのですが、フォークの場合はより落ち方が大きいので、「落ちる球」と感じられます。

ここでは、ボールの回転と変化球の曲がる仕組みについて説明しましたが、野球のボールには縫い目があり、縫い目では空気から受ける力の受け方が変わるので、縫い目がどのように回転するかでも、空気から受ける力の大きさが変わります。

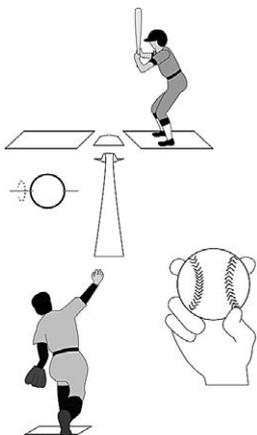


図7フォークボール

実際にこのような変化球を投げるためには、ボールの握り方だけでなく、手首や腕の動かし方、さらに体全体の使い方など、さまざまな体の動きが関わっています。

今回の展示では、3Dメガネをかけてスクリーンを見ることで、立体的に投手や投げられたボールの動きを見ることができます。さらに、バーチャル上でバッティングを体験できます。

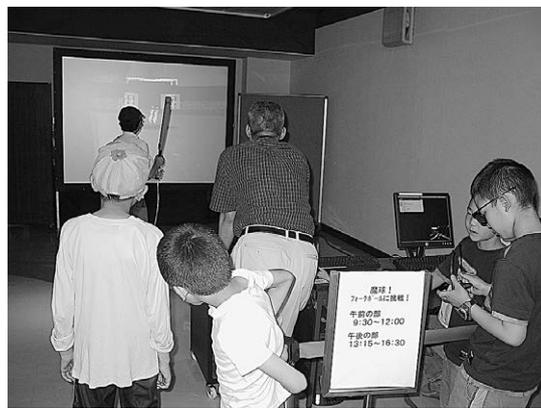


図8展示の様子

■ ボールのスピードを測る

ボールのスピードは、スピードガンと呼ばれる機器で測定できます。”ガン”の名のとおり対象物に対して発射していますが、発射するのは弾丸ではなく、「電波」です。飛んでくるボールに電波をあてると、あつた電波は反射して戻って来ます。このとき、反射した電波にドップラー効果が現れ、この効果の大きさを測定することで、スピードがわかります。

ドップラー効果は日常よく体験します。近付いてくる救急車のサイレンの音は高く、通過して遠ざかっていく時には低くなる現象があります。これがドップラー効果です。この場合、近づく時は音の波長が短く（＝周波数が高く）遠ざかる時は長く（＝周波数が低く）なっています。このように波の発生源が移動することで波長（および周波数）が変化するので、波としての性質を持つ音や電波に共通して見られる現象です。

ボールの進行方向正面付近から電波をあてれば、電波の反射面が近づいてくるので、戻って来た電波の波長は発射した時よりも短くなります。その短くなる割合は、ボールのスピードが速いほど大きく、遅ければ変化は小さくなるので、その変化の大きさからボールのスピードを計算することができます。

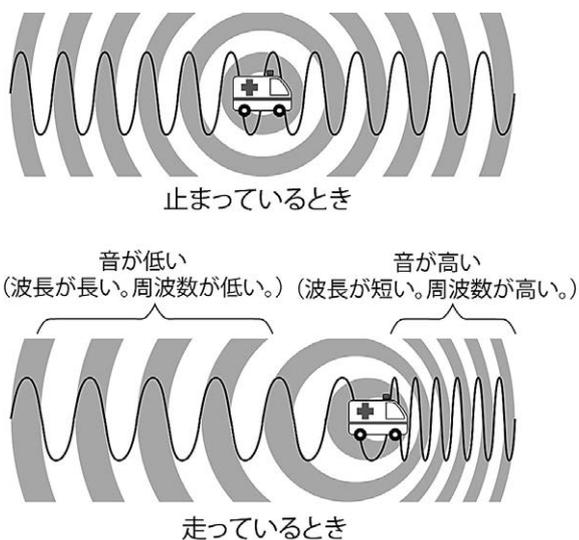


図9：ドップラー効果

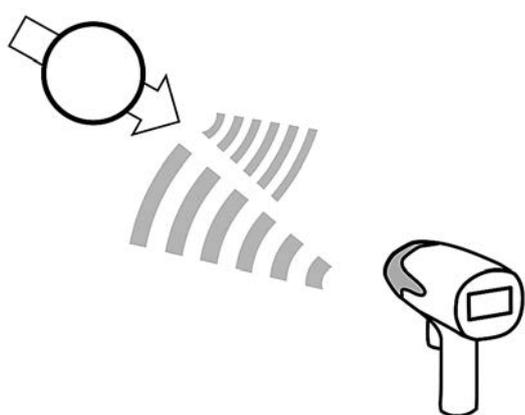


図10 電波が動くボールに反射する様子

実際の機器では、マイクロ波と呼ばれる携帯電話や無線LANなどで使われている程度の周波数の電波を照射し、波長の違いを周波数の変化として受信して、ボールの速度を測定しています。



図11 展示の様子

今回の展示では、自分の投げたボールのスピードをスピードガンで測ってみることが出来ます。

■ スキージャンプ 浮力を増やす

20世紀後半まで、滑空のスタイルは、気をつけの姿勢でスキー板を揃えるものが主流でした。しかし、1985年スウェーデンのボークレブがスキー板をVの字に開くフォームで登場。飛距離を飛躍的に伸ばし周囲を驚かせました。スキー板を平行に揃える飛び方にくらべ、V字形は飛行機の翼のように風を受ける面積が広いいため、浮力と揚力が増し、飛距離がアップすることから現在の主流になりました。

K点はジャンプ台の下の方に引かれている赤い線で、かつては、これ以上飛ぶと危険であるというジャンプ台の「極限点（ドイツ語でkritischer Punkt）」を意味していました。ところが飛行スタイルやスーツなど用具の改良で、遠くへ飛ぶための技術が向上したため、このK点を超えてジャンプする選手が増えてきました。そこで、安全に着地するために斜面の延長工事などが各地で行われました。これを境に現在ではK点は、その位置を境にして着地滑走路の傾斜曲率が変わる着地斜面の基準点（Konstruktionspunkt）とされています。競技上でもK点は飛距離採点の基準点とされていて、そこまで飛ぶと飛距離点として60点が与えられ、超えたか超えなかったかでプラスマイナスされて飛距離点が計算されます。

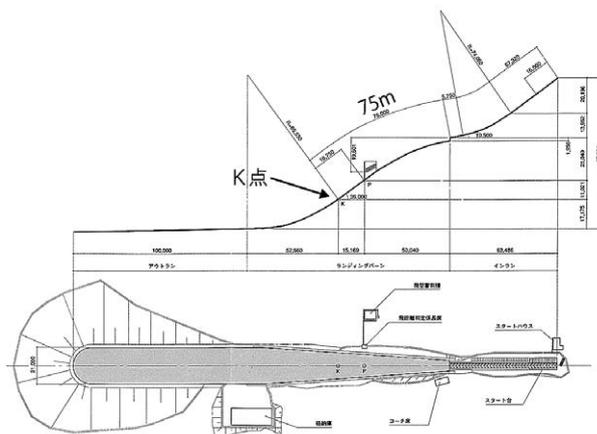


図12 極楽坂にある富山県スキージャンプ場（ノーマルヒル）の傾斜とK点の位置
(資料提供：富山県教育委員会)

ジャンプ台の大きさを表す新たな基準として HS (ヒルサイズ) が導入されました。その地点までであれば構造上危なくなく着地することができますとされています。ちなみに、極楽坂にある富山県スキージャンプ場では、K は 75m、HS は 85m です。

展示では、スキー板を平行にした時と V の字にした時の浮力の違いを確かめることができます。

(市川 真史)

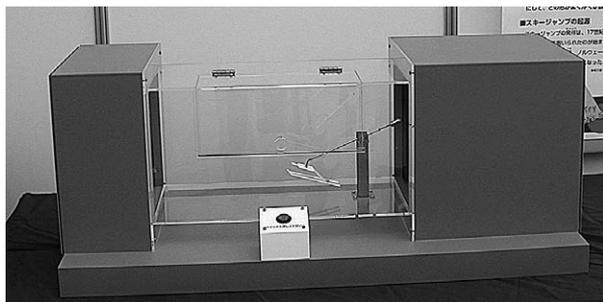


図 13 展示の様子

計時

陸上競技や水泳競技など、時間が記録として残されるスポーツ競技では正確な時間を確実に計ることが重要です。本当は世界記録が出たのに、時計の調子が悪かったために、もう一度競技をやり直すということは絶対に出来なからです。

競技で時間を計ることを計時といいます。計時の方法は各競技団体の競技規則に細かく決められており、計測開始(スタート)から終了(ゴール)まで人の操作が全く入らず、コンピュータを使用して全自動で計時を行う方法や係員がストップウォッチを使って手動で計時する方法などが定められています。



図 14 ゴールを見下ろす写真判定装置のスリットカメラ
(富山県陸上競技場)

陸上競技の場合、写真判定装置が全自動装置として使用されています。写真判定装置は 1964 年の東京オリンピックで初めて使用され、400 m までの競技の公式計時として使用されたとのことです。当時は、白黒のフィルムで撮影し、現像処理をしてから計測したようで、記録が出るまでかなりの時間がかかったようです。

現在の写真判定装置は、縦に細長い隙間をとおしてゴールライン上だけを高速で撮影するスリットカメラ(デジタルカメラ)を使用し、システムの時計と連動して 1 秒間に 1000 枚の細長い画像を撮影します。画像はコンピュータによって時間の順につなぎ合わされ、各競技者のゴールの時間が自動的に表示されるそうです。このシステムではスターティングブロックに着けられたフライング検出装置により、スターターの合図から 0.1 秒以内に競技者がスタートするとフライングと判定されます。人は音を聞いて(脳で処理して)動き始めるまでに最低 0.1 秒かかるという理由からだそうです。記録は、10,000 m (を含む)以下の競技の時間は 0.01 秒単位で(0.001 秒の単位の時間は切上げ)、それ以上の競技では 0.1 秒単位で記録されます(0.01 秒の単位の時間は切上げ)。

水泳競技の全自動判定装置は、スタート音発生装置で選手にスタートの合図を送り、これと同時に計時が始まり、各選手が自分のコースのタッチ板を自分で押すことでゴールとなります。時間の記録と順位は自動的に行われます。全自動装置による時間と着順の判定は 0.01 秒の単位で行われ、0.001 秒の単位まで計測できる場合、0.001 秒の時間は切り捨てられます。スタート台にはセンサーが付けられて

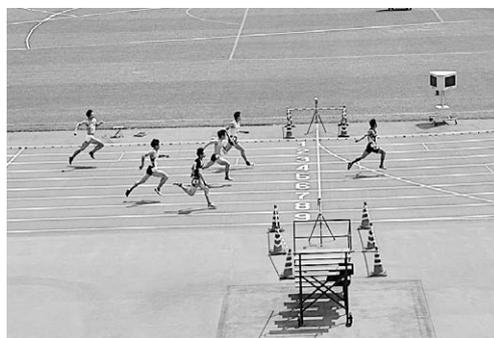


図 15 100m 競技のゴール

写真判定装置で各選手の時間が計測されている(北信越学生陸上競技選手権の 100m 競技)。
(写真下に見えるのは手動計測用の計測員席)



図 16 水泳競技のスタート(富山市民プール)

スターターの合図と共に時計がスタートし、後ろの計測員もストップウォッチをスタートさせる(ジュニアスイムフェスティバルのひとつま)。

おり、フライングの確認やリレーが正しく行われたかどうか(泳いできた選手がタッチ板にタッチした後に次の選手がスタートしたかどうか)の確認が行われます。ただし、陸上競技とは異なり、フライングの判定はスタートの合図の前にスタートした場合をフライングとするそうです。全自動装置を使用する場合でも、万一に備えて、ストップウォッチなどによる計時も行われます。

全自動計時に対して、ストップウォッチによる手動計時は古くから行われている方法です。1964年の東京オリンピックでは、中長距離レース(400 m以上)の公式計時に1/10秒まで計測できる機械式のストップウォッチが使われました。また、マラソンや競歩では、当時としては最新式の電子式のデジタルストップクロックが使われました(計測は1秒単位)。

陸上や水泳競技の手動計時では、一人の競技者に対して計測員が3名配置されるそうです。計時はデジタルストップウォッチを使い、スターターの合図で開始します。陸上競技の場合、競技者の胴体がフィニッシュラインのスタートに近い側の端の垂直面を通過したときに計測を終了します。水泳競技の場合は、選手がゴールにタッチしたら計測を止めます。手動計時による時間は、陸上競技の場合、0.1秒単位で記録され、0.01秒の時間は切り上げられます。例えば10秒11の記録は10秒2と記録されます。水泳競技の場合は0.01秒の単位まで計測します。

手動計時では3台の時計のうち2台の時計の時間が一致したときはその時間が公式時間となり、3台とも異なる時間を示した場合は、中間の時間を示した時計の時間が公式時間となりま



図 17 水泳競技のゴール

ゴール板にタッチすると自動計時の時計が止まる。計測員もタッチを確認してストップウォッチを止める。

す。3台のうち2台だけが時間を計測できた場合、陸上競技では遅い方の時間が、水泳競技の場合は2台の平均時間が公式の時間となります。

展示室で体験できる装置は、皆さんが100 mを全速力で走ったときの時間を表示します。時間を計測するのはコースの中程の2 mの区間で、はじめの位置と終わりの位置に光センサーがあり、はじめの位置のセンサーを通過すると時計がスタートし、終わりの位置の光センサーを通過すると時計が止まります。測定した時間を50倍して100 m走ったときの時間を表示します。光センサーのシステムは一着の選手の時間表示やラップタイムの表示などに使われているそうです(情報提供:セイコーミュージアム)。

■ スポーツを支える衣料

スポーツ用の衣料に使われる素材には、激しい運動に耐える強さと軽さ、体の動きにフィットする適度な伸縮性などの他、汗をよく吸い取って早く乾く機能(吸湿速乾性)やウインタースポーツではウェアの中の汗を外に蒸発させるけれど、外の水滴ははじいて、ウェアの中に水をとおさない透湿防水性など、様々な機能が求められます。これらの機能のどれを重視するかは競技によって異なってきます。これらの機能を作り出すため、新たな機能を作りやすいナイロン、ポリエステル、ポリウレタンなどの化学繊維を使用したり、これらに特殊な加工を施したり、綿やウール(羊毛)などの天然素材と化学繊維を組み合わせたたりなど、様々な工夫が行われています。

例えば吸湿・速乾素材では、綿などの天然繊維の布と化学繊維の布を貼り合わせたり、糸の表面に別の素材をコーティングしたりした

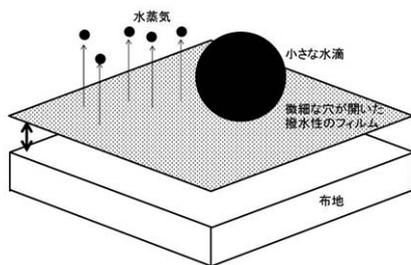


図 透湿防水素材の例
水蒸気は通れるが水滴はとどらない微小な穴を開けた撥水性のフィルムを布に貼り合わせる。

図 18 透湿防水素材の例

複合素材が使用されているそうです。透湿防水素材では、水滴が入り込めない程度のごく小さな穴（0.1～3 ミクロン程度）を無数に開けたフィルム（撥水性が高い）を布に貼り合わせたものが最初に考案されましたが、最近ではこのような穴がなくても透湿性と防水性を持たせた素材もあります。ウィンタースポーツでは保温性も重要で、断熱効果の高い空気層を作ることで保温性を保ちますが、太陽の光を熱に変える材料や赤外線を吸収する材料を化学繊維の製造過程で繊維に練り込んで保温性をより高めた素材も作られています。また、蒸発し

た汗の水分と結合して発熱（水和熱）する化学繊維も開発されています。ただし、この素材は、水分が十分に結合してしまうと発熱量は少なくなります。このような化学繊維では糸を作る際に、中心部に連続した穴の開いた中空繊維にしたり、中空の微小なカプセルを練り込んだりして糸自身の保温性を高めることもできます。

競泳用の水着では、表面のでこぼこをなるべく小さくして水の抵抗を少なくする加工や、流れに沿って縦縞状に撥水加工をすることで、撥水加工されていない部分との間で流れの速度を変え、小さい渦を作ることで後方の流れの乱れを少なくして水の抵抗を下げる方法もあるそうです。

このように、スポーツ用の衣料も記録の伸ばすために貢献しています。展示では、衣料用素材などのメーカーである小松精練株式会社の協力を得て透湿防水素材、蓄熱保温素材、水着用の撥水速乾素材などの特徴を体験できるように展示を行います。

（朴木英治）

表 1 スポーツウェアに使われる素材と必要な機能

種目	服の種類	使用される素材	特に必要な機能
スキー	ジャケット、パンツ	ナイロン、ポリエステル	透湿防水、撥水、保温
	競技用スーツ	ポリエステル/ポリウレタン、ナイロン/ポリウレタン	低抵抗、ストレッチ、通気
スケート	スケートスーツ	ポリエステル/ポリウレタン	低抵抗、ストレッチ
陸上	シャツ、パンツ	ポリエステル、ポリエステル/綿	吸汗速乾、低抵抗、軽量
水泳	競技水着	ナイロン/ポリウレタン、ポリエステル/ポリウレタン	低抵抗、ストレッチ、耐塩素
野球	ユニフォーム	ポリエステル、ポリエステル/綿	ストレッチ、耐摩耗
球技	バレーボールシャツ	ポリエステル/綿	吸汗速乾、耐融
	バスケットボールシャツ	ポリエステル、ポリエステル/綿	吸汗速乾、軽量
	サッカーシャツ	ポリエステル、ポリエステル/綿	吸汗速乾、軽量
テニス	テニスシャツ、パンツ	綿、ポリエステル/綿、ポリエステル	吸汗速乾、防汚
ゴルフ	シャツ、パンツ	綿、ポリエステル/綿、 ポリエステル/ポリノジック、毛	吸汗速乾、形態安定
共通	トレーニングウェア	ポリエステル、ポリエステル/綿	吸汗速乾
	ウインドブレーカー	ポリエステル、ナイロン	通気
	レインウェア	ポリエステル	透湿防水
	スウェット	綿、ポリエステル/綿、アクリル/綿	吸汗速乾、形態安定

出典 藤田正樹 スポーツウェア用繊維素材について、繊維と工業、第52巻、4号、171-176、1996