

1. はじめに

私は2003年4月1日に開学したスポーツ系の大学に赴任しました。それまでスポーツを冠する大学はありませんでした。私は、この大学で環境に関する科目を教えることになっていましたが、大学なので独自の研究をする必要もありました。前任の大学は工学系でしたので、この大学では何を研究しようかと考えていました。そのような折、初代学長の森昭三先生からスポーツと環境が関連した研究はおもしろいよ、と言われました。この大学がスポーツを専門とし、私の専門は環境科学であるので、森先生の言われたことは当然だと。

私は若い時からジョギングを趣味としていました。前任校には無かった人工芝サッカー場(写真1)の上を走ると、4月でも晴れた日などは周りよりかなり暖かいと感じました。人工芝の温度に関する国内外の研究を文献調査しても、短期のものはあっても、長期のものは得られませんでした。そこで、まずは温度に関して調べることにしました。日本は四季があり、そのような環境ではどのような温度変化があるのかを調べようと思いました。

このことが人工芝に関する調査の始まりで、その後、硬さや安全性などを調べていくことになりました。その際、人がスポーツをする環境場は人の身体にやさしい場なのかと、常に思っており組みました。以下に、その一端を紹介できればと思います。記載するにあたっては、数式などは取り扱わないよう努めました。

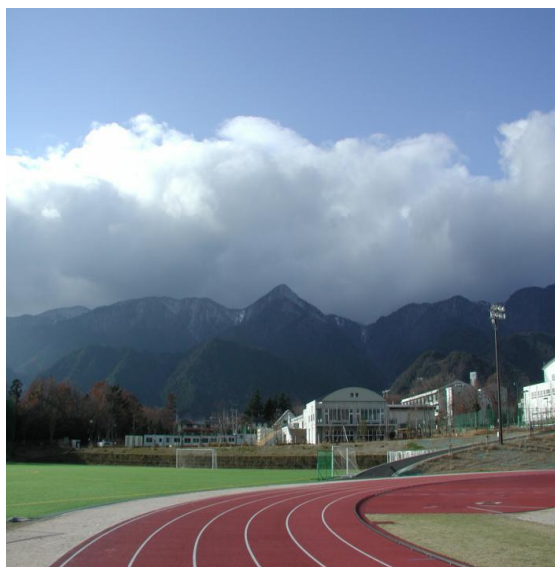


写真1. 赴任した大学の人工芝(左下) (2003年5月 当時)

2. 人工芝サッカー場とは

現在、人工芝はさまざまなスポーツの場として適用されています。また、多様な人工芝が開発されています。ここでは、サッカー場で一般的に適用されている人工芝について説明します。

従来、使用されてきた天然芝は施肥や水やり、補修など毎日の維持管理の仕事が多く、それに比べて人工芝は維持管理が容易でかつ、有機高分子化合物でできているので耐久性にも優れ、雨天の後でも競技が可能という事などから、近年、施工する所が多くなってきました。しかし、初期の人工芝は硬く衝撃吸収性に劣っていたため、膝への負担が大きいということ、また、スライディングの際、火傷や擦り傷が生じやすいという問題がありました。

人工芝の開発の経緯¹⁾を図1の断面構造を見ながら説明します。

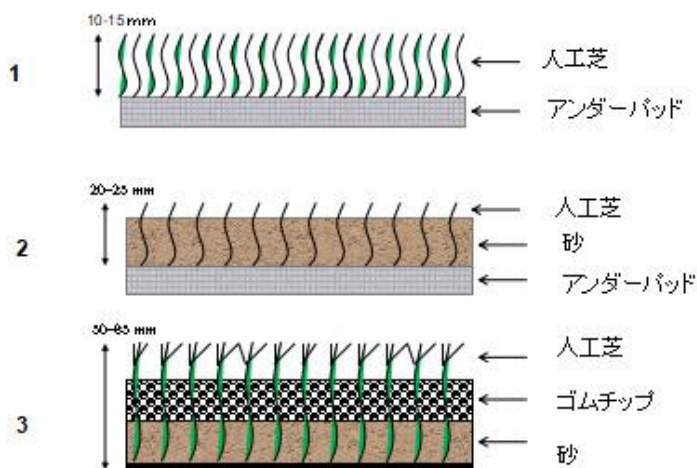


図1 人工芝の断面構造
1: 第1世代、 2: 第2世代、 3: 第3世代

人工芝の導入(第1世代)は、1966年のアメリカヒューストンのアストロドーム(野球場)が世界で最初で、日本では1976年に後樂園球場に導入されました。図1に示したように人工芝パイルを編みこんだカーペット状の人工芝と、スポーツに必要なクッション性を確保するためのアンダーパッドと呼ばれるクッション材(合成高分子の発泡体)からなる二層構造です。この人工芝はスライディングの際、火傷や擦り傷が生じやすいという安全性の問題が指摘されました。さらにアンダーパッドは、その柔軟性のため局部的にへこむため、ダッシュやジャンプの際に足の踏ん張りがききにくく、プレーヤーの

足腰に疲れが生じやすい問題がありました。

第1世代人工芝の安全性の問題点と、設置の費用が高いなどの理由から、1980年代に入ると砂入り人工芝が第2世代の人工芝として登場してきました。編みこむパイルの数を少なくし、人工芝の間に砂を入れたため、第1世代の人工芝のコストに比べて約50%安いとされています。そのため市民レベルの野球場やテニスコートに広く普及してきました。この第2世代の人工芝は、砂を入れたことによりプレーヤーの足で受けた衝撃が面的に広く下に伝わり緩和されるため、アンダーパッドの局部的なへこみがおさえられました。そのため、プレーヤーの足腰に疲れが生じやすい問題は改善されましたが、長年使用して砂層が固くしまった砂入り人工芝は、運動時に足や膝に直接衝撃が伝わりやすいという別の問題点も生じました。

1990年代後半に、通称ハイテク人工芝と言われている第3世代のロングパイル人工芝が登場してきました。アンダーパッドを取り除き、基盤層と従来のパイルより長いロングパイルとの間に砂とゴムチップを充填した人工芝で、ゴムチップにクッション性を持たせ、かつ砂を入れることで柔らか過ぎないように調節しています。このように複数の充填材を入れることにより、運動時の変形性を天然芝に近づけて、怪我を抑える工夫をしています。

以上が現在までのサッカー場等で一般的に適用されている人工芝の変遷の概略です。

3. 熱さ

3.1 人工芝の表面温度

天気の良い日には人工芝の表面温度が高くなることは既にも書きました。図2に、滋賀県の湖西地域にある幼稚園に敷設していたロングパイル人工芝と、その横の天然芝グラウンドの、9月の晴れた日の正午近くの表面温度の分布を示しました²⁾。この日は安定して晴れた日の特徴として日中、東(図の右側)からの風(湖陸風)が入っていました。そのため、図の右側の表面温度は風の侵入で下がっています。全体として人工芝の表面温度は天然芝よりも約20℃程度高く、60℃を超えてきます。太陽が上がるにつれ表面温度は高くなり、午後1時前後にピークになり、太陽が沈むにつれ低くなります。

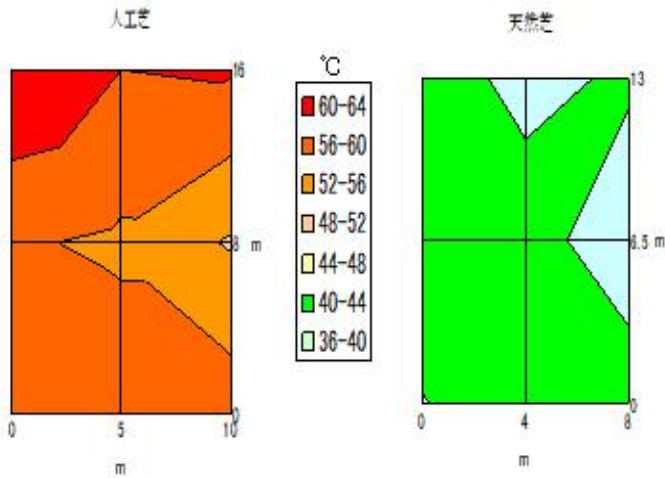


図 2. ロングパイル人工芝と天然芝グラウンドの表層温度の等温度分布
(2003年9月18日 11:30-12:00)

次に、太陽の照度と人工芝(びわこ成蹊スポーツ大学のサッカー場のロングパイル人工芝)の表面温度の関係を調べました。図 3 に示したように太陽光の照度と表面温度との間には比例関係がありました。

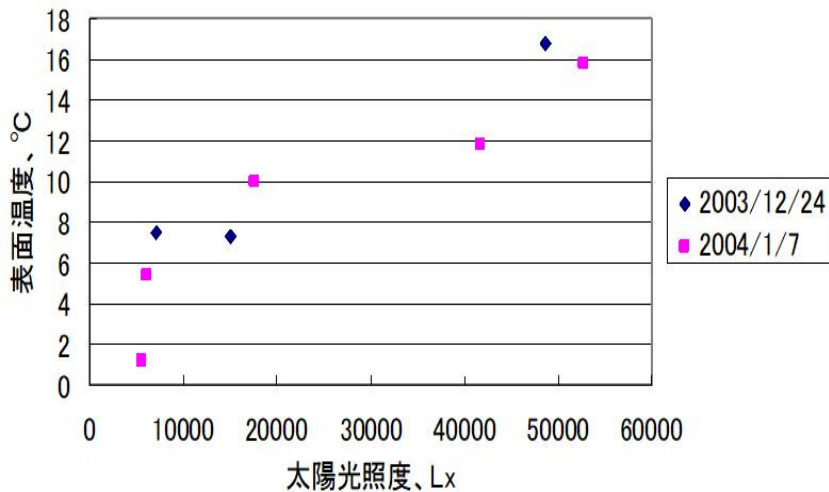


図 3. 人工芝の表面温度と太陽光照度の関係

ところで、太陽光は種々の光が混ざったものです。虹(写真2)は、雨滴に依って赤から紫まで太陽光が分光され、あのように多くの色に分かれ、きれいに見えます。全部の色が混じると白くなり、逆に全部が吸収されると黒くなります。このことから夏場は昼間、白い服や帽子を被った方が体温を下げるのに有効となります。



写真2. 虹が出るのは、見ている人の後ろに太陽があり、前に雨滴がある時

人工芝が緑に見えるのは、太陽光の緑の色が吸収されずに反射されて目に入るからです。そこで人工芝に白い塗料、黒い塗料を塗り、表面温度を測定しました(写真3)。



写真3. 人工芝に黒、白の塗料を塗り表面温度測定

測定した結果を下の表に示しました。測定したのは冬の12月24日ですが、黒く塗った場所では13時頃には25.2℃まで上がっています。しかし、白く塗った場所では17.6℃とかなり温度が低くなっています。緑色の人工芝は、その間の温度になっていました。

2003.12.24	表面 温度℃		
	白	人工芝 緑	黒
8:35	7.4	8.3	8.7
13:05	17.6	19.6	25.2
15:29	7.3	7.5	8.5

図2に示したように人工芝の表面温度が60℃を超える高温になるのは、6—9月の晴天時の昼間です。近年、温暖化などで熱中症が問題になっていますが、人工芝での夏の昼間を中心としたスポーツの遂行には注意を喚起する必要があります。特に子ども達のスポーツ場として、学校のグラウンドにも施工されてきており、抵抗力の相対的に低い彼らへの温度対策の適切な指導が必要と考えられます。

熱中症は、暑熱下でスポーツをした時に生じる障害で熱失神、熱疲労(脱水症)、熱けいれん、熱射病があります³⁾。これらの症状としては、熱失神の場合、脈が速く、かつ弱くなり顔色が悪く、血圧が下がり、一時的に意識を失う場合もあります。熱疲労は、脱力感、倦怠感、めまい、頭痛や吐き気が起こったりします。体温の上昇は顕著ではありません。熱けいれんは、四肢や腹筋のけいれんと筋肉痛が起こります。熱射病では、体温が上がり、意識がなくなったりします。これは死亡率が高く、危険な状態です。

熱中症の予防対策として親や指導者は、以下に列記したことに注意してください。

- ・子どもが体調不良の際には無理な運動をさせないようにしてください。
- ・気温が急に高くなった際に熱中症が多発する傾向にあります。暑さに慣れるまで軽い運動を短時間おこない、身体を暑さに慣らすようにしてください。

- ・暑熱下においては、特に体温(通常 36℃)近くまで気温が上がった時、汗をかくことによってのみ体温の上昇を防ぐことができません。当然、水分を補給しないと熱中症になります。水分は、運動前から小刻みにとるようにしてください。また、汗として体外に塩分も出ていきますので0.2%程度の塩分を含んだ水を飲むようにしてください。さらに3-6%の糖分を含んだ水は、運動のエネルギー源としても役立ちます。
- ・服装は軽装にし、通気性や吸湿性のよい素材を選ぶようにしてください。色は、日光の反射量の多い、白色をベースにしたものが良いです。直射日光を防ぐため帽子の着用も大切です。

子どもは、体表面積比が相対的に大人より大きいいため、気温、湿度などの気象要因が体温に与える影響を強く受けます。予防が最も大切ですから、親や指導者はスポーツ時の熱中症に注意し、早めに休息をとるように子どもに指導してください。

3.2 人工芝の温度対策(1)

日本では夏の暑い時に打ち水(写真4)をして気温を下げるのが、よく行われていました。打ち水が蒸発する際に、まわりから気化熱を奪って気温が下がることを利用したわけです。



写真 4. 打ち水をしている

人工芝の温度を下げる対策としては、人工芝に散水して、その効果の持続性を調べてみました⁴⁾。比較として天然芝についても調べました。測定対象の人工芝と天然芝フィールドは、写真1左下に示したびわこ成蹊スポーツ大学に敷設されたロングパイル人工芝と、写真の右側のオレンジ色の全天候型トラックの内側の天然芝です。ロングパイル人工芝はポリエチレン製でパイル長65mm、底面から20mm厚さで砂、さらにその上に20mm厚さで黒色ゴムチップが充填されています。天然芝は、バミューダグラス種の夏芝で、地面は150mmの深さまでまき土が入っています。両芝フィールドの中央に3カ所の試験区(各40cm四方)を調製して、8月～12月に散水実験をおこないました。

まず、散水しない時の概要を下記に示します。人工芝の表面温度の最高値は、夏期の8月25日において71.2℃でした。しかし、天然芝では40.6℃であり、人工芝より30.6℃低くなっていました。しかし、冬季においては両芝とも表面温度は減少し、また、両者の温度差も縮まりました。両芝の水分含量は、冬季に高く、夏季になるにつれて低くなり、夏期においては両芝とも水分含量20%以下の乾燥状態でした。しかし、天然芝(8月12%)の方が、人工芝(8月6.2%)より水分含量は二倍近い状態でした。この差は、天然芝には土の多孔性による水分の保持能力と、芝の含水能力があります。他方、人工芝の充填物であるゴムチップは撥水性で、一部、底部から入り込んだ砂に水分の保持能力があるのみと考えられます。この水分含量の差によって、天然芝の蒸散作用が夏期においても有効に作用し、表面温度を人工芝より低く抑えていたと思われれます。

人工芝と天然芝の試験区に、夏期の表面温度が最も高くなった8月25日(2006年)に4.8, 6.4, 8Lの水道水を9:00に散水して、10:00, 13:00, 16:00に表面温度と水分含量を調べました。人工芝の表面温度は、散水量に応じて減少しました。最も温度が減少したのは、散水量8Lで10:00(含水量23.3%)の測定で16℃の減少でした。また、水分含量は散水量に応じて増加しました。その理由として考えられるのが、人工芝ではゴムチップの間隙に水がほとんど無い状態で、散水量によって間隙水として留まる量が決まり、表面の太陽エネルギーの吸収による温度上昇に伴い蒸発して気化熱⁵⁾を奪い、温度が低下したと推定されます。他方、天然芝の場合は、土の間隙に絶えずある程度の間隙水があり、この水が蒸散して温度上昇を抑制していた⁶⁾、と推定されます。

一例として8月25日13:00の人工芝の表面温度の減少量と水分含量との関係を図3に示しました。かなりの比例関係があることがわかります。

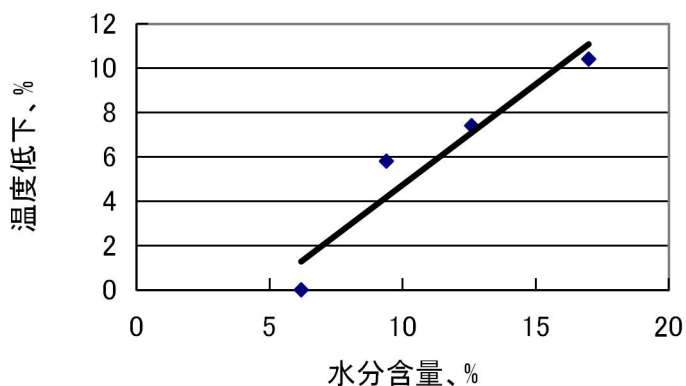


図3 人工芝の表面温度の減少量と水分含量との関係
2006年8月25日 13:00 (文献4より掲載)

以上の結果から、散水による人工芝の表面温度の減少量は、含水量によって見積もられる可能性が考えられます。このように人工芝においても、打ち水の効果はあり、高温の緊急時の対応として有効と思われれます。

3.3 人工芝の温度対策(2)

人工芝の表面温度の抑制効果として、含水量が影響することがわかりました。人工芝の充填材として一般的に用いられている黒ゴムチップは、水をはじいてほとんど水分を含みません。そこで、含水しやすい物を使用することにしました。用いたのは檜、杉の樹皮です。

日本では古来から神社やお寺に檜皮葺(ひわだぶき)屋根が使用されてきました。写真5は京都御所の檜皮葺屋根で、日本伝統の美しい曲線の屋根です。屋根の材料として檜、杉の樹皮が用いられてきたのは、それらが腐りにくいという性質があるためです。それは檜、杉の樹皮にはポリフェノールを含むリグニンが抗菌作用を有していることが一つの要因です。



写真5. 京都御所の檜皮葺屋根

そこで、図1に示した第3世代の人工芝であるロングパイル人工芝(上層:黒ゴムチップ20mm, 下層:砂20mm)の黒ゴムチップの代わりに檜、杉の樹皮のチップ(4-5mm幅の厚さ2-3mm)を入れて調べました⁷⁾。その人工芝を写真1の左下の人工芝サッカー場と、右の一周400mの全天候型トラック(この内側には天然芝グラウンドがある)に挟まれた200m²の三角形の場所に敷きました。

太陽光の影響が最も直接的に反映される11:00に測定しました。季節変化も調べるため、測定は2007年9月から2008年2月までおこないました。表面温度の測定は人工芝サッカー場の中央(AT)、樹皮チップ人工芝の中央(C1)、そして天然芝グラウンドの中央(NT)で晴れた日におこないました。

結果の一例を図4に示します。ロングパイル人工芝(AT)の表面温度が最も高く、樹皮チップ人工芝(C1)の結果は天然芝グラウンド(NT)の温度に近くなりました。ロングパイル人工芝と樹皮チップ人工芝の表面温度の差は、夏季から冬季になるにつれ、芝に入射する太陽エネルギーの減少と共に縮小しました。

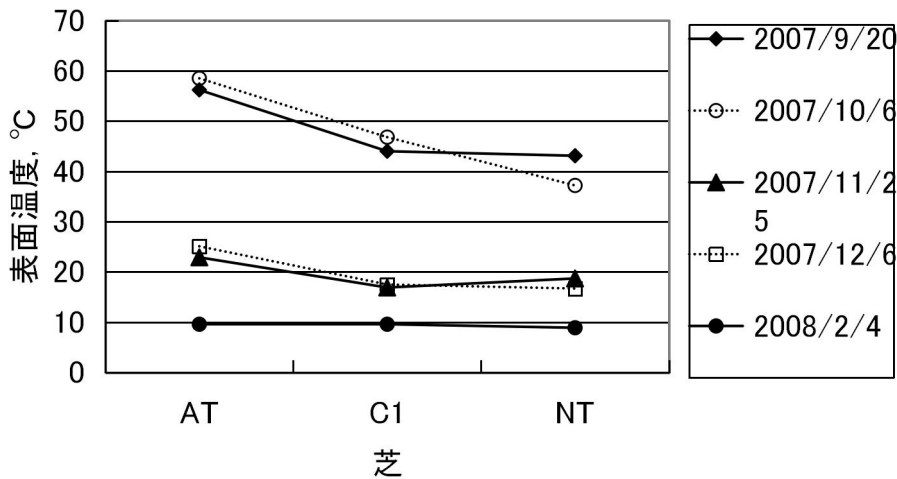


図4 ロングパイル人工芝(AT), 樹皮入り人工芝(C1), 天然芝(NT)の11:00における表面温度の季節変化. (文献7より掲載)

このようにロングパイル人工芝の充填材をゴムチップから檜、杉の樹皮チップに替えることにより、表面温度の高温化をかなり抑制することができました。また、タイヤの再生利用物である黒ゴムチップは、黒い炭素微粒子も出やすく、温度が上がると不快な臭いを発生します。逆に檜、杉の樹皮チップからは、我々が慣れ親しんだ木の香りが発生し、快い気分になります。この香りは、森林浴の成分であるフィトンチッドの一種と考えられます。

今後、ロングパイル人工芝の充填材であるゴムチップの代わりに木材チップなどの自然素材のものが代替品として考えられます。自然素材のものは、概して人体に優しい材質でもあります。また、今回もちいた檜、杉の樹皮は、資源の循環利用の観点からも有効なものと思われま。

4. 硬さ

私達は、子どもの頃に泥遊びをしたことがあると思います。写真6は、その様子を示したものです。泥の中では足が踏ん張れず、なかなか動きが思うように取れなかったものです。また、逆にコンクリートの路面は硬すぎて、足腰への負担が大きいものです。ボールを泥に投げてもほとんど跳ね返りません。他方、コンクリート壁に投げると、投げた勢いと近い状態で跳ね返ってきます。このようにスポーツをする地面は軟らか過ぎても、力が吸収され

動きが思うようにできません。また、硬すぎても身体への力の反作用で負担が大きく、継続した運動には向きません。



写真6. 子ども達の泥遊び

小野は、屋内ですが、中学校の体育館の床の硬さと生徒等の障害発生との関係を調べています⁸⁾。障害としては関節痛、腰痛、ヘルニア、アキレス腱切断、肉離れ、筋肉のけいれん、筋違い、などを調べています。障害発生は、硬さと深い関係があり、硬すぎても発生率は高く、また、軟らかすぎても高い結果になり、その間に最適値があることを報告しています。さらに小野はスポーツをする場の滑りやすさも、運動動作のしやすさや転倒の原因となり、これも考慮することが重要であると記しています。

宇治橋は、スポーツ場での運動の向上だけでなく、身体へのやさしさも重要との観点から、衝撃試験機などによるスポーツ場の物理特性の評価も必要であると述べています⁹⁾。そこで私は写真7に示した衝撃試験機を用いて、びわこ成蹊スポーツ大学内の屋外の人工芝サッカー場など種々のスポーツ場への適用をおこないました。この測定機は、4.5kgの重りを45cm高さから人工芝などに落下させ、その跳ね返りの衝撃を測るものです。硬い場ほど跳ね返りの衝撃は大きくなります。



写真 7. 使用した衝撃試験機 (文献 10 より掲載)

測定は、2003年9月から2004年2月にかけておこないました¹⁰⁾。測定対象とした屋外スポーツ場については、地面下の基盤が硬さに影響するので少し詳しく箇条書きで記載します。

- ・びわこ成蹊スポーツ大学の屋外のサッカー場の人工芝(ロングパイル型ハイブリッドターフ：ポリエチレン製で芝丈は65mm、底面から20mm厚さで特殊珪砂、さらにその上に20mmの厚さで黒色ゴムチップが、それぞれ充填されている)。
- ・天然芝(バミューダグラス種が植栽されている)。
- ・全天候型トラック(表層の4mmがポリウレタン製で、その下に空隙式のゴムチップ層が9mmとつづき、さらにその下は開粒度のアスファルトとなっている)。
- ・全天候型トラックの外周にクレイトラック(最上層にわずかの砂を置いた土層が100mmと、その下に100mm厚さの碎石層からなっている)。
- ・テニスコート(砂入り人工芝：50mmのアスファルト層の上に19mm丈のポリプロピレン製の人工芝が敷かれ、その芝の間に砂が入れられている)。

以上のスポーツ場だけでなく、大学外のコンクリートおよびアスファルト道路についても、一部を測定対象としました。その理由としては、衝撃度の比較対象基準にするためと、現実に陸上競技のロードレースとしても使用されているためです。ただしアスファルト道路に関しては、細かな材質と粗い材質のものが散見されるので、両者について測定をおこないました。測定は各測定場所で5回おこない、平均値と測定のバラツキを示す相対標準偏差(%)

を同時に示しました。図 5 には、得られた結果を示します。

コンクリート道路の測定値が最も大きく、続いてアスファルト道路であり、砂入り人工芝、全天候型トラックが中程度で測定値が低く、最も低いスポーツ場としてクレイトラック、天然芝、ロングパイル人工芝となりました。

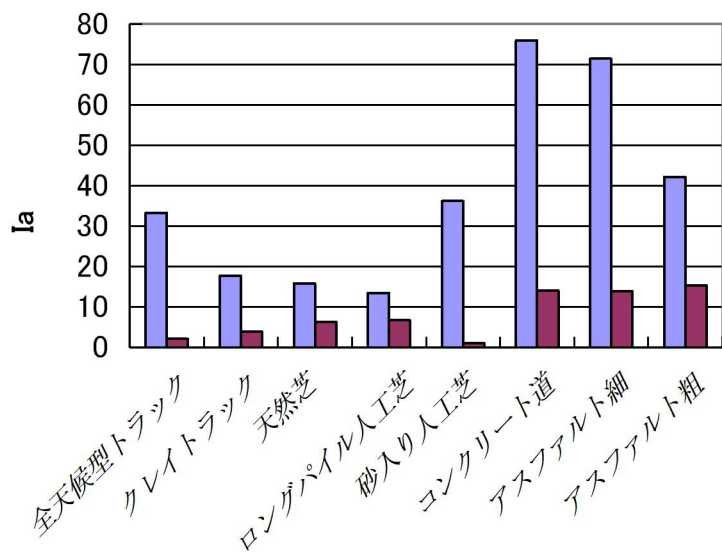


図 5 屋外スポーツ場の衝撃度(Ia)の比較

青: 5回測定値の平均、紫:相対標準偏差(%) (文献 10 より掲載)

スポーツ場がコンクリートと同じ衝撃度であれば減衰率(Fr)はゼロになり、また逆に泥のように完全に力が吸収されれば $Fr=1$ となります。これらの極値に近い場合、運動時の足への負担は大きくなり安全性に問題が生じます。表 1 に示すように、現行のロングパイル人工芝の衝撃吸収性は、天然芝にかなり近い状態であると考えられます。また、砂入り人工芝は、クレイトラックや全天候型トラックよりも衝撃吸収性の低い結果となりました。その理由として、砂の柔軟な動きを人工芝が支持体として抑えているためと思われる。また、アスファルト舗装道路の値の変動幅が大きいのは、大学外の道路で長年の使用による舗装面の不均一性が大きいことによると考えられます。

表 1 スポーツサーフェスの衝撃度の減衰率(Fr)

サーフェス	Fr	
	平均	レンジ
全天候型トラック	0.561	0.033
クレイトラック	0.767	0.017
天然芝	0.792	0.025
ロングパイル人工芝	0.822	0.028
砂入り人工芝	0.523	0.021
アスファルト(細粒)	0.059	0.368
アスファルト(粗粒)	0.444	0.225
コンクリート	0	

レンジ=Fr(最大値) – Fr(最小値)

(文献 10 より掲載)

5.安全性

5.1 スポーツ傷害

子ども達が自然の中でスポーツする様子は人々を和ませます。



写真 8. 天然芝サッカー場

近年、サッカー場や野球場、ラグビー場などの屋外のスポーツ場として人工芝の導入が増えてきています。写真 8 に示したような天然芝に替わって

導入される主な理由としては、先にも触れたように維持管理の容易さがあります。さらに、人工芝がプラスチックでできているため耐久性に優れ、天然芝よりスポーツ競技の使用率を高めることができます。しかし、このような長所だけではなく、スライディングの際、火傷や擦り傷が生じやすい等の安全性の問題も指摘されています。人工芝が導入され始めて、およそ 50 年が経過しようとしています。ここでは、普及が著しいロングパイル人工芝について、サッカーにおけるスポーツ傷害の割合、および身体の傷害部位を天然芝と比較したものについてを紹介します¹¹⁾。

このロングパイル人工芝を FIFA (国際サッカー連盟) が推奨ピッチとして 2001 年に認定して以来、ロングパイル人工芝は全国に急速に普及しています。最近では、毎年およそ 180-190 施設で施工されており、引き続き増加傾向にあります。

ロングパイル人工芝と天然芝におけるスポーツ傷害については、国内の報告が少ないので、国外の報告を中心に紹介します。選んだ報告は、大学のサッカーチームの試合中の傷害および練習中の傷害、そしてエリートチームの傷害に関するものです。

米国の大学のサッカーチーム(男子 106 チーム、女子 136 チーム)の 2005, 2006 年の二年間にわたる試合中における傷害について、人工芝と天然芝ピッチで比較しています。傷害発生数は男性の場合、人工芝で 25.43 件/1000(1000 名・1 時間あたり)、天然芝で 23.92/1000 であり、女性に関しては、おのおの 19.15/1000, 21.79/1000 でした。傷害の部位としては下肢の関節、靭帯、および軟骨が主でした。傷害の発生数と障害の種類に関して、男女とも人工芝と天然芝の間で明白な差はありませんでしたが、男子は皮膚挫創が人工芝で高くなっていました。

上記の試合中の傷害の報告と同じ米国の大学のサッカーチームを対象に練習中の傷害の調査もおこなっています。傷害発生数は男性の場合、人工芝で 3.34/1000(1000 名・1 時間)、天然芝で 3.01/1000 でした。女性に関しては、おのおの 2.06/1000, 2.79/1000 でした。これらの傷害発生数は試合中に比べて格段に低くなっています。傷害の部位としては、下肢の関節、靭帯、および軟骨であり、傷害の発生数と障害の種類に関して、男女とも人工芝と天然芝の間で明白な差はありませんでした。ただし女子は脳震盪が人工芝で高くなっていました。

ヨーロッパの男性エリートリーグに所属する 290 名を対象に 2003, 2004 年の二年間の調査をおこなっています。傷害発生数は試合中の場合、人工芝で 19.60/1000(1000 名・1 時間)、天然芝で 21.48/1000 であり、また、練習中の傷害発生数は、人工芝で 2.42/1000、天然芝で 2.94/1000 でした。この場合も傷害発生数は、人工芝と天然芝の間で有意な差はありませんでしたが、

傷害の部位に関して、足首の捻挫の発生数が人工芝の方が天然芝より高くなっていました。

大学のサッカーチーム、およびエリートチームの試合中の傷害件数はいずれも 20 件台/1000(1000 名・1 時間)で、練習中の傷害は、それより一桁低い結果となっていました。大学のサッカーチームの男女とも傷害件数および傷害部位に明白な違いはありませんが、傷害の部位は下肢の関節、靭帯、および軟骨が主であった、と報告しています。

5.2 ゴムチップ(1)



写真 9. 酸性雨によるブロンズ像の腐食

ロングパイル人工芝では充填物として、弾力性を持たせるため黒ゴムチップが使用されています。黒ゴムチップは、車のタイヤの細かな破砕物のリサイクル使用で、世界的に広く充填物として使用されています。しかし、タイヤには酸化亜鉛、イオウ、および補強剤カーボンブラック(炭素微粒子)など種々の化学物質が製造時に混入されています¹²⁾。

黒ゴムチップに入っている化学物質のうち、金属物質は酸性水溶液に溶解しやすく、写真 9 に示したのは、ブロンズ像が酸性雨で腐食している様子です。近年、地球環境問題になっている酸性雨が世界中で降っています(pH7 以下の水を酸性、pH7 以上をアルカリ性と定義されている。空気中の二酸化炭素が雨水に溶けて pH5.6 付近になるので、pH5.6 以下の雨を酸性雨という。)。世界のあちこちの森林が枯れたり、北欧の湖が酸性化しています。また、環境省の報告¹³⁾によると、昭和 58 年度から平成 14 年度までの 20 年間の日本における調査結果では、全平均値で pH4.77 の酸性雨が降っていま

す。これらの酸性雨によって、人工芝グラウンドの充填物である黒ゴムチップから有害な重金属が溶け出さないかという懸念があります。黒ゴムチップ等の充填物からの亜鉛などの重金属の酸性水溶液による溶出を調べた結果¹⁴⁾を紹介します。

まず、どの程度の酸性雨が降っているのかを初めに示します。2007年1月22日から10月26日までの間にびわこ成蹊スポーツ大学内で降った雨水を総数12回採取して、pHと電気伝導度を測定しました。測定されたpHの範囲は3.7—5.9であり、平均値は4.5でした。また、電気伝導度の範囲は9—97 μ S/cm、平均値は42 μ S/cmでした。pH4以下の酸性度の強い雨も3回観測されました。ちなみに本学の所在する大津市での平成18年度酸性雨の調査結果¹⁵⁾によると、pHの範囲は3.76—6.29であり、平均値は4.68と報告されており、本学の測定結果と同程度であると思われます。

溶出試験に使用する酸性水溶液のpHは、以上の結果と初期雨水の酸性度が高いことを予想して希硫酸を用いてpH3.0、3.5、4.0、4.5に調節したものを使用しました。新規の黒ゴムチップを用いて溶出試験をおこなった結果、鉄(Fe)、亜鉛(Zn)、バリウム(Ba)、およびマンガン(Mn)の溶出が確認されました。それらの結果を図6に示します。横軸に溶出水溶液のpH、縦軸に重金属濃度をとりました。但し、Mnの濃度単位は μ g/Lで、その他の重金属の濃度単位は μ g/Lより千倍大きいmg/Lです。

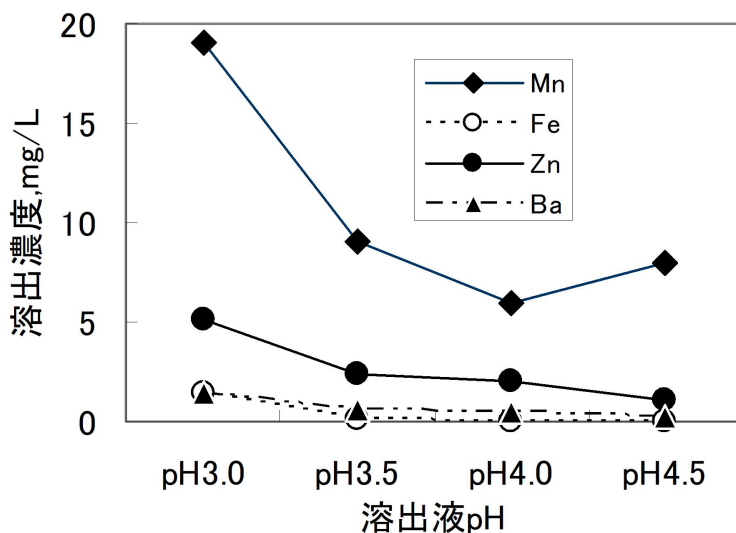


図6 黒ゴムチップからの重金属の溶出
(文献14より掲載)

いずれの重金属も pH の減少とともに溶出濃度が増大しました。亜鉛は、水生生物への有害性から工場または事業所から公共水域に排水する排出基準値が 2mg/L と規制されています¹⁶⁾。pH4.0 以下の溶出液では、この基準値をいずれも上回る結果となりました。

最近、黒ゴムチップに替わる代替品としての充填物が販売され始めました。そこで、それらについても溶出試験をおこないました。また、杉、檜の樹皮を細かく破碎した天然素材のバークについても検討しました。このバークはリグニンを含有するため、抗酸化性があり、腐食しにくいとされています。得られた結果を表 2 に示しました。

黒ゴムチップにポリウレタンを被覆した PU-黒ゴムからの亜鉛の溶出が多くなりました。その理由として考えられるのは、ポリマーで被覆した場合でも、ミクロな視点で見れば黒ゴムを完全に覆うことはできず、酸分子と接触し亜鉛が溶出したと推定されます。しかし、それ以外の充填物からの溶出は、あまりありませんでした。但し、バークに関して亜鉛の溶出が低濃度で、酸性水溶液の pH に依存せず、ほぼ一定の溶出濃度でした。その理由として考えられる一つとして、バークの溶出成分によって pH 緩衝効果が生じたためと推定されます。

これらの充填物の亜鉛の含有率は黒ゴムチップ、PU-黒ゴム、EPDM(エチレン・プロピレンゴム)、エコフィル、およびバークで 1.2, 1.0, 0.55, 0.28, 0.001%でした。バークの結果を除いて、充填物からの亜鉛の溶出濃度は、ほぼ亜鉛の含有率に比例していると考えられます。

表 2 種々の代替充填物からの亜鉛の溶出

充填物	pH4.5	pH4.0	pH3.5	pH3.0
PU-黒ゴム	0.13	0.23	0.56	1.1
EPDM	0.061	0.016	0.063	0.030
エコフィル	0.028	0.021	0.013	0.049
バーク	0.25	0.26	0.33	0.27

濃度単位 : mg/L

(文献 14 より掲載)

今回、私は黒ゴムチップからの亜鉛の溶出が環境汚染としての問題があることを紹介しましたが、それ以外にも黒ゴムチップには不快臭の発生やカーボンブラック(炭素微粒子)の飛散などの問題点があります。これらの問題点の改善についても今後、人が健康的にスポーツをおこなう場を保障する観点から、検討する必要があると考えています。

5.3 ゴムチップ(2)

最近、この第三世代のロングパイル人工芝の競技者への健康影響が危惧されています。人工芝とガンの関連性について米政府が調査を開始すること、また米国環境保護庁、米国消費者製品安全委員会、および米国疾病予防管理センターは共同で、2016年2月12日に人工芝の充填剤の原料として使用されている古タイヤに含有される化学物質の危険性について、調査を開始しました。日本においては、2016年3月9日、3月17日の参議院予算委員会で川田龍平氏が、この問題を取り上げました。川田龍平氏からの日本での被害状況の質問に、当時の塩崎厚生労働大臣は、「日本ではそのような調査はまだしていない」と返答しています¹⁷⁾。



写真 10. ドイツの SC フライブルク・ホームスタジアム(天然芝)

この節では、諸外国において調査された人工芝充填剤であるゴムチップの有害性に関して2010-2016年の間に報告されたものを紹介します¹⁸⁾。日本においては、ほとんど、この種の研究論文が見当たりませんでした。

まず、ゴムチップに含まれる重金属などの無機物についての報告を紹介します。イタリアのMenichiniらは、国内10都市の13箇所の競技場からゴムチップを採取して、25種の金属と有機物の含有量等を調べています¹⁹⁾。競技場の汚染物の基準値が無いため”green area”における土壌汚染に関する基準値等と比べています。調べた25種の金属の内、亜鉛はどの試料も基準値を超えており、多くが2桁以上の含有量で超えていました。この原因として、タイヤに酸化亜鉛が添加物として入れられているためと考えています。

さらにコバルト(Co)とスズ(Sn)も、ほぼ半分の試料で基準値を超えていました。また、カドミウム(Cd)、クロム(Cr)、鉛(Pb)に関しても、かなりの濃度で含有していました。

イタリアの Marsili らは、Tuscany と Lazio にある 9 箇所のサッカー場のゴムチップを採取して、敷設してからの重金属の含有量の経年変化を調べています²⁰⁾。鉛(Pb)、クロム(Cr)、ニッケル(Ni)、銅(Cu)は全ての試料で最大許容濃度以下でした。しかし、カドミウム(Cd)は新しく導入されるサッカー場のゴムチップと、既に導入されていたサッカー場のゴムチップで Italian National Amateur League の最大許容濃度を超えるものもありました。亜鉛(Zn)に関しては、すべての試料で最大許容濃度を超過しており、試料によっては、ほぼ 90 倍も越えるものもありました。

次に、ゴムチップに含まれる有機物について紹介します。

米国の Li らは、種々の供給源のゴムチップからの揮発性と半揮発性有機物の放出量を主に調べました²¹⁾。方法としては、研究室で容器内にゴムチップを入れ、一定条件で放置して、気相中に出てきた有機物量を測定しています。10 種の有機物を検出しましたが、それらは

benzothiazole (BT), 1-methylnaphthalene (1-MeNA), 2-methylnaphthalene (2-MeNA), fluoranthene (Flu), naphthalene (NA), butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), 4-tert-octylphenol (4-t-OP), phenanthrene (Phe), pyrene (Pyr) です。

これらの内で、揮発性の benzothiazole (BT) が、調べた全てのゴムチップで最も高い量で気相中に揮発しました。使用していないゴムチップから 15-69ng/g、そして代替ゴムチップからは 8.2-10ng/g (CRM) の範囲内でした。また、二年前に屋外に導入済みのゴムチップからは BT は 0.76, 0.86ng/g と少なく、また 1-MeNA, 2-MeNA, NA は検出されませんでした。しかし 4-t-OP と BHA は、使用していないゴムチップからの揮発量の 40%を超える程度で検出されました。全ての使用していないゴムチップからの量は、BHA, NA, 4-t-OP で 2.6-6.0, 0.41-3.4, 0.46-4.1 ng/g の範囲でした。全てのゴムチップで 1-MeNA, 2-MeNA は 0.23-1.1, 0.48-1.6ng/g の範囲でしたが、代替ゴムチップからは検出されませんでした。しかし、BHT に関しては、13 種のゴムチップの内の 7 種で検出されず、5 種で 0.9-1.2 ng/g で検出され、全ての 3 種の代替ゴムチップから 3.2, 3.9, 5.4ng/g の量で検出されました。

まだ使用されていないゴムチップ (Te) を屋外の自然環境に類似した条件で 2009 年 8 月 3 日から 10 月 12 日まで曝し、6 種の有機物 (BT, 1-MeNA, 2-MeNA, NA, BHA, 4-t-OP) の気相濃度を一週間毎に測定しています。二週間で 4 種の有機物 (BT, 1-MeNA, 2-MeNA, NA) は、初期の約 20-30%まで減少し、ほぼ一定になりました。BHA は二週間で 50%以上残存し、4-t-OP は 60%以上

残存していました。ゴムチップを自然環境に曝した場合、10種の有機物の残存比率は以下の順序になりました。

Flu/Pyr > Phe/4-t-OP > BHT > BHA > 1-MeNA > BT>2-MeNA>NA

イタリアのMenichiniらは、国内10都市の13箇所の競技場からゴムチップを採取して、9種のPAHsの含有量等を調べました¹⁹⁾。また、ローマの競技場1箇所のゴムチップに関しては、PCBsを含むダイオキシン類と13種のPAHsの含有量等を調べています。

ローマの競技場1箇所のゴムチップの有機物の含有量等で、PAHsの総量はイタリアの土壤基準値を3倍超えていました。またbenzo[a]pyreneは一桁大きく超えていました。30種のPCBsとダイオキシン類の総量は、それぞれ0.18 および 0.67×10^{-5} mg/kgで、イタリアの土壤基準値の3倍超および2/3程度でありました。

気相中のbenzo[a]pyrene濃度は競技場を使用することにより 0.4 ng/m^3 まで増大しました。最悪な条件として、この濃度を用いて競技者が30年間活動した場合、その付加的な癌発生リスクは 1×10^{-6} と見積もっています。しかし競技者が不連続に使用したり、アマチュアの使用の場合は、この数値より低くなると予想しています。

イタリアのMarsiliらは、TuscanyとLazioにある9箇所のサッカー場のゴムチップを採取して、PAHsの同定、含有量、および揮発性を調べ、リスクアセスメントをおこなっています²⁰⁾。

IARC(国際がん研究機関)が、ヒトに対する化学物質の発がん性について5段階で分類評価しています。その分類で最も評価の厳しい1(ヒトに対して発がん性が有る)に当たるbenzo[a]pyreneが同定されました。また、次に厳しい2A(ヒトに対して恐らく発がん性が有る)にはdibenz(a,h)anthracene、次いで2B(ヒトに対して発がん性が有るかもしれない)にはbenzo(a)anthracene、chrysene、benzo(b)fluoranthene、benzo(k)fluoranthene、indeno(1,2,3cd)pyreneが見いだされました。

上記に、ゴムチップの有害性に関して無機物と有機物に関して紹介しました。それらの内で特に注意したいのは、IARC(国際がん研究機関)のヒトに対する化学物質の発がん性の分類評価で最も評価の厳しい1(ヒトに対して発がん性が有る)に当たるbenzo[a]pyreneがゴムチップから検出されたことです。車のタイヤの破砕物であるゴムチップには酸化亜鉛、イオウ、および、補強剤としてカーボンブラック(炭素微粒子)などがタイヤ製造時に入られています。このカーボンブラックの生産時にベンゾピレンという化学物質が生じることを、環境省ホームページの化学物質(22. ベンゾピレン)の環境

リスク評価に記されています²⁶⁾。この22. ベンゾピレン「一般毒性及び生殖・発生毒性」の項内の「ヒトに関する発ガン性の知見」において、アメリカ、カナダの10製鉄所のコークス炉労働者の69人が肺ガンで死亡しており、ベンゾピレンの係わりが大きいと推定しています。また、国内兵庫県の人造黒鉛電極製造工場の累積332人の男性労働者の調査では、肺ガンによる死亡9人と有意に高い結果となっていました。また、「健康リスク評価」において、「ヒトに対して恐らく発ガン性があるとされている」と記されています。また、「健康リスクの初期評価結果」においては、「本物質の経口ばく露による健康リスクについては発ガン性の観点から詳細な評価を行う候補と考えられる」とも記載されています。

以上、記してきたようにゴムチップ内には種々の有害物が含まれており、そこからの排出汚染も懸念されます。紹介した論文では主に単独の有害性が懸念されていますが、それらの相乗的な複合汚染による健康影響や生態影響についての報告は無く、現状では予測が困難です。それについては、ゴムチップが充填された多くの人工芝上での競技者の健康影響と、天然芝上での競技者の健康影響を比較する疫学的調査をおこなう必要があると筆者は考えています。また、日本においては人工芝の充填剤であるゴムチップの有害性に関する詳細な調査、研究がほとんど無いのが残念です。予防原則の原理から考えても、ゴムチップの使用は問題があると思えます。子どもも含めて、誰もが安全に楽しく競技できるスポーツ環境場が必要です。

6. その他のスポーツ環境・・・大気

前節までは、人工芝を中心としたスポーツ環境場について様々な視点から現況を紹介してきました。ここでは、我々が運動する時の大気環境の現況について紹介します。



写真 11. 野外でのジョギング

言うまでもなく日本は高齢化社会に向かっていて、それとともに国民の健康志向が強くなっています。我々の周りでもジョギング(写真 11)、ウォーキングやサイクリング等をする人達を見ることが多くなってきました。厚生労働省の報告では、健康関連機器の中で歩数計を実際に使用している者は、20才以上の16.7%を占め、特に中高年では3-4名に1人になっています²³⁾。このような状況の下、2011年8月24日に施行された「スポーツ基本法」は、「スポーツは、世界共通の人類の文化である」との理念と、国民生活におけるスポーツの多様な役割の重要性から、スポーツ立国の実現をめざし、国家戦略の一環として、スポーツに関する施策を総合的かつ計画的に推進することを目的としています²⁴⁾。その目的を推進するため2015年10月にスポーツ庁が創設されました。その目標として、全ての国民のスポーツ機会の確保、健康長寿社会の実現、などが掲げられています。



写真 12. 中国の大気汚染

近年、運動する環境大気中の浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter : SPM と略記する)やオゾンの濃度の増大が、懸念されるようになってきました。特に SPM のうち粒径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の $\text{PM}_{2.5}$ が中国からの越境汚染(写真 12)などで問題になってきています。粒径が小さいほど大気中に浮遊しやすく、呼吸により体内に取り込まれると気管支や肺胞にまで入り込み、健康への影響が懸念されます。

この節では、SPM やオゾンなどの大気汚染物質が運動する人の健康に及ぼす影響についての国内外の論文を紹介します²⁵⁾。発表年としては、2000年1月から2017年4月までの研究論文を主としました。紹介した論文の多くが大気汚染物質の1つとして SPM の運動への影響を報告しているので、最初に SPM の基礎的な内容を紹介します。

SPMの粒径は健康影響を考える際、特に重要な特性です。健康影響の観点では、呼吸器系への沈着率が粒径に関係します。新田は、大気中のSPMの粒形分布など基礎的なことを報告しています²⁶⁾。SPMの粒径分布は一般的に二峰性の形を示すことが多く(図7)、小さい方の山は微小粒子、大きい方の山は粗大粒子と呼ばれており、PM_{2.5}は、この小さい方の山の指標となります。

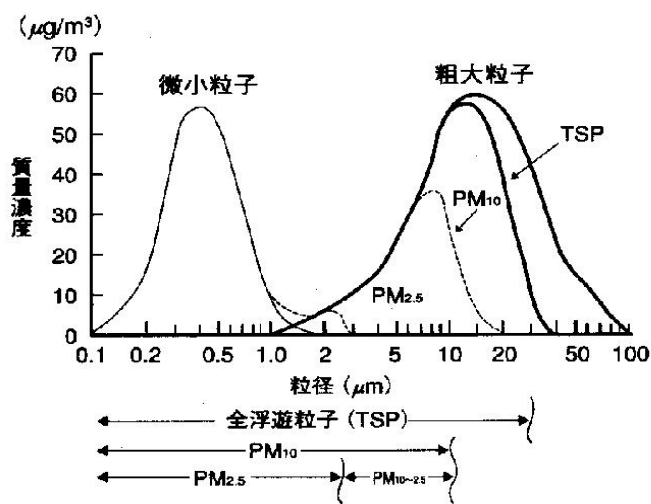


図7. 大気中粒子状物質の粒形分布(文献26より掲載)

また図8は、国内で測定されているPM_{2.5}の成分割合を示しています。OCは有機炭素であり、その生成過程については不明なところが多いのですが、ディーゼル排気やボイラー燃焼由来の粒子などの一次粒子と、揮発性有機化合物が大気中で粒子化した二次生成粒子の両者からなっていると考えられます。ECは元素状炭素であり、都市部ではディーゼル排気粒子の寄与がほとんどであり、ディーゼル粒子の指標とされています。硝酸イオンと硫酸イオンは、大気中に排出された窒素酸化物とイオウ酸化物がそれぞれ酸化され、アンモニアとの反応によって生成した二次生成粒子のイオン成分です。窒素酸化物は、自動車やボイラ等の燃焼施設から排出されます。国内でのイオウ酸化物の排出量は少なく、多くが越境大気汚染由来と考えられ、地表付近の環境大気中のPM_{2.5}の平均的な寿命は、数日から1週間程度といわれています。

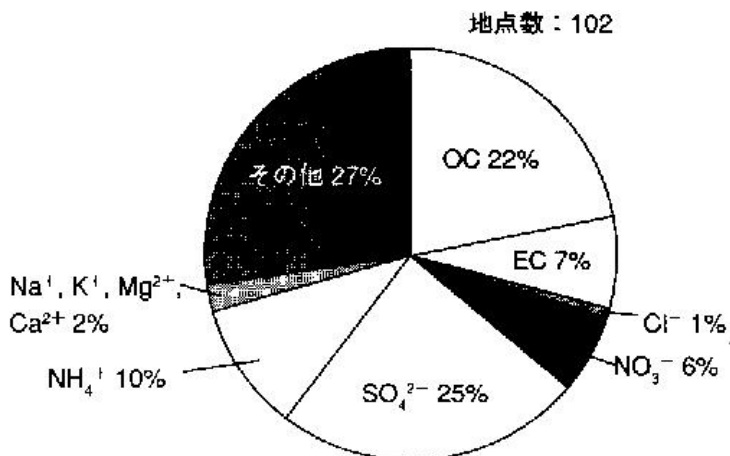


図 8 PM_{2.5}の主要な成分（一般環境）

OC：有機炭素，EC：元素状炭素，Cl⁻：塩化物イオン，NO₃⁻：硝酸イオン，SO₄²⁻：硫酸イオン，NH₄⁺：アンモニウムイオン，Na⁺：ナトリウムイオン，K⁺：カリウムイオン，Mg²⁺：マグネシウムイオン，Ca²⁺：カルシウムイオン

（文献 26 より掲載）

内山は、PM_{2.5}の環境基準などを詳細に報告しています²⁷⁾。日本では1968年に大気汚染防止法が成立し、SPMの大気環境基準が制定されました。粒径10 μm以下のSPM基準値は1時間値の1日平均値が0.10mg/m³以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m³以下であることになっています。近年では、この基準達成率は90%を超えるようになりました。また、2009年9月にはPM_{2.5}の環境基準が策定されました。以下に基準値を記載します。

- ・長期基準：年平均値 15 μg/m³以下
- ・短期基準：日平均値 35 μg/m³以下

さらに中国からの越境汚染により、特に西日本でPM_{2.5}濃度の上昇が観測され、環境省は2013年2月末に注意喚起のための暫定指針を公表しました。米国の大気質指標(Air Quality Index：AQI)では65.5 μg/m³以上を「全ての人に対してある程度の健康への影響を与える可能性があるPM_{2.5}濃度」としています。この数値等を考慮して、注意喚起のための暫定指針となる値として、日平均値70 μg/m³が提案されました。

CarlisleとSharpは、大気汚染が人の健康、特に運動する人とアスリートへのリスクがイギリスにおいてどの程度かを総説しています²⁸⁾。調べた大

気汚染物は一酸化炭素(CO)、窒素酸化物(NO_x)、オゾン(O₃)、粒子状物質(PM₁₀)、二酸化硫黄(SO₂)、そして揮発性有機化合物(VOCs)です。以下に各大気汚染物の影響を箇条書きにしました。

・ 一酸化炭素(CO)

COの血液中のヘモグロビンへの親和力は酸素(O₂)の200倍の大きさです。交通量の激しい場所での30分間の強い運動は、COとヘモグロビン(Hb)が結びついたCOHbは10倍増加して、10本のタバコを吸った場合と同程度になります。COはアスリートに悪影響を及ぼします。

・ 窒素酸化物(NO_x)

車から排出されたNOは酸化されNO₂に変化します。これらNOとNO₂を総称してNO_xと称されます。NO₂の方が、より毒性が強く、呼吸で鼻咽頭に入り、亜硝酸と硝酸に変化します。NO₂の5-10ppmの急性暴露で呼吸器系の病気の原因になります。都市におけるNO₂濃度は通常150ppb(0.15ppm)以下です。

・ オゾン(O₃)

オゾンは光化学的酸化で生成します。O₃は運動中のアスリートに潜在的に厳しいリスクをもたらし、120ppb以上のO₃暴露で健康に悪影響がもたらされます。症状としては鼻や喉の刺激や咳や胸の痛み等があり、肺機能にも影響します。

・ 粒子状物質(PM₁₀)

アムステルダムでボランティアのサイクリスト、車の運転手、そして歩行者にパーソナル・エアースAMPLINGを取り付けてPM₁₀を調べました。胸部の高さのサンプリングで、PM₁₀に鉛や6種の発がん性の多環芳香炭化水素が定量されました。PM₁₀濃度は郊外よりも都市部で7倍高く、PM₁₀と結びついた毒性物質が個人の暴露で増大する可能性があるのでは、と懸念されています。

・ 二酸化硫黄(SO₂)

正常な健康的な成人の肺機能に影響するSO₂の閾値は1-2ppmです。喘息患者は正常者に比べSO₂の感受性は一般に十倍程たかく、喘息の症状はSO₂によって悪化します。現在は浄化技術の法制化により、イギリスではSO₂の排出は閾値濃度を十分に下回っています。

・ 揮発性有機化合物(VOCs)

イギリスのVOCsの環境への排出量は200万トンを超え、NO_xとSO₂の排出量と同程度です。オランダでの測定で、サイクリストの都市部と郊外部での暴露量はベンゼンとトルエンで5:1、キシレンで10:1の計算値になりました。VOCsは健康影響にとって重要で、しばしば汚染物として見落とされており、発がん性があるものもあります。

まとめとしては、アスリートや運動する人はイギリスのように大気汚染物が規制されていても、できる限り道路近くでの運動は避けるべきです。オゾンは特に悪影響が大きいと言えます。

Giles と Koehle は、粒子状物質 (particulate matter:PM)、オゾン、一酸化炭素などの大気汚染物が運動中に肺、心血管、認識力などに影響するか、また運動が大気汚染物暴露の体への悪影響を和らげるかについて総説しています²⁹⁾。

世界の人口の 52% が都市部で生活しており、先進国では 78% にも及んでいます。都市で運動することは都市大気汚染に曝されることになります。

運動前および運動中の急性および長期の PM_{2.5} とオゾンの暴露は肺機能を損傷させ、肺炎症を促進します。運動中のオゾン暴露の肺炎症に関する研究はなされていますが、一酸化炭素や PM の共存しないデータはありません。PM とオゾンは酸化ストレスと炎症の原因となります。動物を用いた研究では、日常的な運動は大気汚染に起因する肺炎症を減少させます。抗酸化剤は大気汚染の健康への悪影響を和らげ、さらにオゾンの肺炎症と肺傷害などの急性影響を減じます。運動中のオゾンの心血管への影響を研究している論文は少なく、研究の多くは PM と一酸化炭素に集中しています。またオゾンもしくは一酸化炭素共存下での運動の認識力への影響に関するデータはありません。実験室レベルの研究から、汚染物の共存下での運動に関する理解の必要性が問われています。

運動パフォーマンスと酸素消費は都市環境に影響されることから、運動する場所は運動パフォーマンスを決定する重要な要因であります。高レベルのオゾンと一酸化炭素は運動下で症状を悪化させるので、このような状況下での運動は勧められません。しかし、大気汚染下での運動は悪影響を及ぼしますが、運動の効用は大気汚染の悪影響を相殺し、大気汚染関連の死亡率を減じると報告する多くの研究があります。

以下に筆者らの推薦する事を箇条書きにします。

- ・各人は地域の気質予報に従い、良いプランを立てる。
- ・夏季は午前中に運動し、午後のオゾンの暴露を最小限にする。
- ・可能な限り、運動は交通量の多い所から離れておこなう。
- ・運動する環境場を考え、大気汚染の暴露を少なくする。

川田は、大気汚染と運動についてトピックスしています³⁰⁾。その中で Andersen らの興味深い研究を報告しています³¹⁾。彼らは大気汚染の原因の 1 つである二酸化窒素 (NO₂) の濃度と運動による死亡の危険性との関係を調べました。1993~1997 年の間に研究は開始され、デンマークのコペンハーゲンと 2 番目に大きなオーフスに在住の 50~65 歳の 52,061 人を対象にしていま

す。スポーツ活動やサイクリング、ガーデニング、ウォーキング等の身体活動レベルを調査し、その後 2010 年までの死亡の危険性と、それぞれの居住地域の NO₂ 濃度との関係を検討しています。居住地域の NO₂ 濃度の高い地域 (19 μg/m³ 以上) と中低濃度の地域 (19 μg/m³ 未満) に分けて評価しています。スポーツへの参加はガン、心血管系疾患による死亡の危険性を 20%程度下げています。また、呼吸器系疾患による死亡の危険性は 35~50%程度下げています。この効果は NO₂ 濃度の高低に影響されず、また、中低濃度の地域ではサイクリング、ガーデニング、ウォーキングは呼吸器系疾患による死亡の危険性を下げっていますが、高い地域では、その効果が無くなっています。以上の結果から、ある程度、強度の高い運動をおこなった場合は、効果が見込めると考えられます。

川田が強調しているのは、二酸化窒素 (NO₂) 濃度の高い地域であっても、運動することによって死亡の危険性が上がっていないこと。日本の大気汚染のレベルであれば、都心部で大気汚染が気になって屋外での運動を躊躇している場合、少なくとも現時点では問題ないと思われ、屋外での運動を楽しむように、と結んでいます。

この節では、種々の大気汚染物質の運動する人への健康影響を紹介しましたが、直接的には呼吸器系への影響が多く報告されていました。運動前および運動中の急性および長期の PM_{2.5} とオゾンの暴露は肺機能を損傷させ、肺炎を促進します。また、長期の PM 暴露によって、子どもから老人まで幅広い年齢層で認識力の低下がありました。しかしながら、健康影響への個別の大気汚染物質の寄与の断定は、複合汚染の影響度の見極めが困難なため、難しい場合が多くなります。

また、多くの筆者が記載しているように、運動は交通量の多い場所から離れたところでおこなうことが勧められています。さらに近年、越境大気汚染由来の PM_{2.5} の濃度の増大が報告されており、含有が報告されている種々の有害物質の影響が懸念されます。しかしながら、運動による健康増進の効果も大きくなります。川田も記しているように、日本の大気汚染のレベルであれば、都心部で大気汚染が気になって屋外での運動を躊躇している場合、少なくとも現時点では問題ないと思われ、屋外での運動を楽しむように、と進言しています。



写真 13. 皇居の周りのジョギング

7. おわりに

本小冊子において、人工芝などのスポーツ環境場についての問題点を紹介してきました。ただ断っておきたいのは、私が測定対象としたのは、勤めていた大学内のスポーツ環境場であるということです。それでも、少しの違いがあっても他の場所において同様な問題が生じていると考えられます。子どもからシニアまで、安全な環境場でスポーツを楽しんでもらいたいという思いで、様々な報告の概略を紹介しました。少しでも皆様の参考になれば幸いです。更に興味がある方は、下記の引用文献に記載された論文等を見て頂けたらと思います。

本書を書き終えるにあたって、びわこ成蹊スポーツ大学初代学長の森 昭三先生、初代副学長の藤井英嘉先生、二代目学長の飯田 稔先生、および、山口 満名誉教授には様々なことで御世話になりました、この場を借りて感謝いたします。

2019年 3月 5日

引用文献

- (1) 田口貞善 編集委員長「スポーツの百科事典」丸善、
青木豊明、「からだにやさしい人工芝」 pp. 103-104 (2007).
- (2) 青木豊明ら、「キッズのスポーツ環境」、びわこ成蹊スポーツ大学研究紀
要、2巻、pp. 93-98(2005).
- (3) 川原 貴ら 編、「子どものスポーツ活動中の熱中症予防」、
日本体育協会発行(2000).
- (4) 青木豊明、若尾昂司「フィールドの散水量と表面温度の関係」、
月刊体育施設、37巻、11号、pp. 42-45(2008).
- (5) 高田誠二、「熱をはかる」、日本規格協会、pp. 31-41(1988).
- (6) 近藤純正、「地表面に近い大気の科学」、東京大学出版会、
pp. 249-264(2000).
- (7) 青木豊明、「樹皮チップを用いて人工芝の高温化を抑制」、
月刊体育施設、37巻、13号、pp. 44-48(2008).
- (8) 小野英哲、「スポーツサーフェイスの弾力性、かたさ、すべ
り」、高分子、60巻、8月号、pp. 534-537(2001).
- (9) 宇治橋貞幸、「安全なスポーツ環境の構築に向けて」、高
分子、60巻、8月号、pp. 538-541(2001).
- (10) 青木豊明、「屋外スポーツサーフェスの衝撃度の比較」、
Training Journal、6月号、pp. 32-34(2006).
- (11) 青木豊明、「サッカー場のロングパイル人工芝のスポーツ
傷害」、臨床スポーツ医学、25巻、9号、pp. 1092-1094(2009).
- (12) 渡邊隆、平田靖、「ゴム用添加剤活用技術」、工業調査会
(2000).
- (13) 環境省編、「平成18年版環境白書」、pp. 67-68(2006).
- (14) 青木豊明、「ロングパイル人工芝の充填物からの重金属の
溶出、Sportmedicine、6月号、3月号、pp. 40-41(2009).
- (15) 滋賀県編、「平成18年版滋賀県環境白書」、
pp. 171-172(2008).
- (16) 環境省令第33号 (2006年11月10日).
- (17) 青木豊明、「人工芝充填剤である黒ゴムチップの有害性」、
環境技術、45巻、4号、pp. 49-50(2016).
- (18) 青木豊明、「人工芝充填剤であるゴムチップの有害性に関
する総説」びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要、14号、
pp. 117-129(2016/2017).
- (19) Menichini, E. ら、「Artificial-turf playing fields : Contents of

- metals, PAHs, PCBs, PCDDs and PCDFs, inhalation exposure to PAHs and related preliminary risk assessment」, Science of the Total Environment, 409, pp. 4950-4957 (2011).
- (20) Marsili, L. ら, 「Release of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals from rubber crumb in synthetic turf fields : Preliminary hazard assessment for athletes」, J. Environ. Anal. Toxicol., vol. 5, issue 2, 1000265 (2014).
- (21) Li, X. ら, 「Characterization of substances released from crumb rubber material used on artificial turf fields」, Chemosphere, vol. 80, pp. 279-285 (2010).
- (22) 環境省; 化学物質の環境リスク評価 第5巻 (22)ベンゾピレン,
<https://www.env.go.jp/chemi/report/h18-12/pdf/chpt1/1-2-2-22.pdf>
(参照 2016-3-11).
- (23) 厚生労働省;
http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/b2.html
(参照 2017-9-30).
- (24) 文部科学省; 文部科学白書, p. 4 (2015).
- (25) 青木豊明, 「大気汚染が運動する人の健康に及ぼす影響に関する総説」びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要、15号、pp. 107-114 (2017/2018).
- (26) 新田裕史, 「PM_{2.5}とは」、保健の科学、vol. 58, No. 9, pp. 580-584 (2016).
- (27) 内山巖雄, 「PM_{2.5}の環境基準と注意喚起のための暫定指針」、保健の科学、vol. 58, No. 9, pp. 585-590 (2016).
- (28) Carlisle J. A. and Sharp C. C. N., 「Exercise and outdoor ambient air pollution」, Br. J. Sports Med., vol. 35, pp. 214-222 (2001).
- (29) Giles V. L., and Koehle S. M., 「The health effects of exercising in air pollution」, Sports Med., vol. 44, pp. 223-249 (2014).
- (30) 川田茂雄, 「大気汚染と運動」、Training Journal, Feb., pp. 68-69 (2016).
- (31) Andersen J. Z. ら, 「A study of the combined effects of physical Activity and air pollution on mortality in elderly urban residents」 Environmental Health Perspectives, 123:6, pp. 557-563 (2015).

掲載写真の引用

- (1) 筆者撮影
- (2) https://frenchbulldog.life/rainbow_bridge (2019年2月8日参照)
- (3) 筆者撮影
- (4) <https://blog.goo.ne.jp/nobita93/e/715b43cc2a5af0a9f1031c05337f7d1c> (2019年2月8日参照)

- (5) <https://twitter.com/tuscanblue2015/status/659328794910572544> (2019年2月8日参照)

- (6) <http://image.blog.livedoor.jp/hirocrafft/imgs/9/5/957c438c.jpg> (2019年2月8日参照)

- (7) 筆者撮影
- (8) https://blogs.yahoo.co.jp/yamamotosc12/GALLERY/show_image.html?id=15904738&no=0 (2019年2月8日参照)
- (9) <https://www.n-kd.jp/move/feature/0702.html>
(2019年2月8日参照)

- (10) 筆者撮影
- (11) <https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/shintai-training/jogging.html> (2019年2月8日参照)
- (12) https://pm25fusegu.blog.so-net.ne.jp/upload/detail/m_E4B8ADE59BBDE5A4A7E6B097E6B19AE69F93EFBC91.jpg.html
(2019年2月8日参照)
- (13) <https://matsumiya.exblog.jp/17922337/>
(2019年2月8日参照)