

# グラウンドサーフェイスとスポーツ傷害／人工芝と天然芝

## The Injury Caused from Ground Surface and Evaluation of an Artificial Lawn and Natural Grass

飯島 健太郎

桐蔭横浜大学医工工学部

(2014年9月20日 受理)

### 1. はじめに

グラウンドサーフェイスについては、スポーツパフォーマンス、身体への負荷、資材の耐久性、施工性や維持管理など様々な観点から議論されている。スポーツ選手の機敏な動きを支持しつつ、ボールの反発や転がりも担保されなければならない。身体への負荷については主としてサーフェイスの衝撃吸収の観点から議論されるが、パフォーマンスとは相反する面もありその最適化は容易でない。グラウンド造成にあたって天然芝ではなく人工芝が選択されるケースが多いが、その主な理由は施工性や維持管理の観点からである。すなわち人工芝のメリットは、天然芝よりも維持管理費が削減でき、養生期間確保のためにグラウンドの使用が制限されないことなどである。

近年、学校施設、スポーツ施設においてロングパイル人工芝の導入が急速に進んでいるが<sup>41, 42)</sup>、パフォーマンスや身体への負荷軽減の観点からの改良の成果といっても過言ではない。併せてサッカー界においては2001年FIFA（国際サッカー連盟）、2003年よりJFA（日本サッカー協会）がロングパイル人

工芝ピッチの公認制度の導入をはじめ、ラグビー界でも2004年よりJRB（日本ラグビーフットボール協会）が公認導入していることなどもロングパイル人工芝普及の後押しとなっている。

従前よりグラウンドサーフェイスに起因した下肢の傷害については多くの報告があり、土のグラウンドや人工芝の硬さに起因しているとする報告は多い。また人工芝のもたらす夏季の厳しい暑熱環境については常に課題となっている。

本報では、スポーツパフォーマンスやスポーツ傷害について概観し、人工芝の改良の成果と課題に着目しつつ天然芝の評価を加えたい。なお人工芝にも様々なスペックのものがああり、詳細な仕様との関係から言及するものではなく、概観的に議論するものである。

### 2. グラウンドサーフェイスによるスポーツパフォーマンスと衝撃吸収性

- 1) グラウンドサーフェイスに求められる競技性能と人工芝  
スポーツパフォーマンスが維持されるため

にグラウンドが満たすべき条件は、①平坦で異常なバウンドが発生しないことやボールの転がり方向が安定していること、②ボールに対する適度な反発があり、全域にわたって安定していること、③ダッシュする時の選手の足に確実な支持力を与えられると同時に、急激な停止や方向変更をする時に適度な衝撃吸収を行うこと、④ジャンプする選手の足に確実な反力を与えられる硬さを有すると同時に、転倒した場合に加わる衝撃力をしっかりと吸収することなどである。特に反力を与えられる硬さと衝撃力の吸収という相反する条件において最適解を求め、グラウンドサーフェイスにおける人体への優しさと運動パフォーマンスを確保しようとする点に難しさがある。この点が人工芝改良の重要な目標となっており、パフォーマンスの維持と衝撃吸収性を追求しつつ著しく性能は向上しているが (Table 1)、常に天然芝に近い性能を目指していることが特徴である。

Table 1 世代別人工芝の特徴

世代	特徴
第1世代	(ショートパイル人工芝) 基布という合成繊維の布に天然芝の葉に似た色と形のパイルという莖葉部分を取り付けたもの。下部には衝撃吸収のための弾性素材であるアンダーパッドが敷かれる。
第2世代	(砂入り人工芝) パイルの間に砂を充填させ、さらに下部にアンダーパッドを敷いて、衝撃を二重構造で吸収。第一世代ともにパイル長 25mm 以下
第3世代	(ロングパイル人工芝) パイル長が 50mm 以上となり、充填材には珪砂やゴムチップを使用するロングパイル人工芝。さらに改良が加えられ、第4世代、第5世代とする人工芝も登場している。

## 2) グラウンドサーフェイスの物理的特性と人工芝

競技用の人工芝の物理的な特性にはクリアすべき条件があり、そうした観点から新世代の人工芝の改良が加えられてきたといっても過言ではない。競技種目にもよるが、材質、パイルの太さや長さ、充填材の素材・粒径・量・厚さなどの基本的な仕様基準とともに、ボールの反発、バウンドの速度、衝撃の吸収性、回転抵抗、線形摩擦、耐候性、耐久性な

ど、ラボテスト、フィールドテストによってクリアする必要があるが、公益財団法人日本サッカー協会ロングパイル人工芝ピッチ公認制度における基準<sup>27)</sup>、(財)日本ラグビーフットボール協会の競技に関する規定集「人工芝の使用に関する基準」<sup>26)</sup>によって定義されている。

本論では詳細な言及はしないが、パフォーマンスの観点からグラウンドサーフェイスの物理的特性と人工芝についての研究事例から概観したい。

### ① 足の支持力と衝撃吸収力

競技中の様々な動作、例えばダッシュ時や急激な方向転換や停止など、足には確実な支持力が与えられなければならない、同時に適切な衝撃吸収(弾力)が不可欠となる。Levy<sup>21)</sup>、Stanitski<sup>39)</sup>、Torg<sup>44)</sup>は、人工芝グラウンドは地面とスパイクとの摩擦力が高くなり、より強い力と加速度を得ることができていることを説明している。すなわち人工芝はグリップが効くことから選手の運動効率が向上し、エネルギーコストが減少するというパフォーマンス上のメリットを説明しているもの<sup>16)</sup>であり、ロングパイル導入以前から人工芝が評価されていた視点の一つである。

一方、青木<sup>2)</sup>は、スポーツの環境場の硬さについて舗装道路面の硬さを測る計器を人工芝などに適用し、衝撃減衰率(Fr)をドイツ工業規格に基づき算出している。その結果によれば、全天候型トラック0.561、クレイトラック0.767、天然芝0.792、ロングパイル人工芝0.822、砂入り人工芝0.523、アスファルト(細粒)0.059、アスファルト(粗粒)0.444、コンクリート0(以上平均)としている。日本サッカー協会が推奨している0.5以上には、アスファルト、コンクリート以外のグラウンドではクリアしており、さらにロングパイル人工芝も天然芝と同等の値を示すとしている。砂入り人工芝(テニスコートやラグビー場)はそれよりも硬い値となっている。これらのデータから見ればショートパイルからロングパイル人工芝への改良によって、サーフェイ

スの衝撃度は天然芝と同程度の水準に改善されていると考えられる。

## ② ボールの反発力（バウンド）や転がり

グラウンド上でボールは適度な反発、バウンド、転がり、跳ね返り挙動に異常がなく不均一とならないようにすることが不可欠であり、前述のとおり人工芝においてはラポテスト、フィールドテストによる基準が設けられている。

良質な管理のもとに維持している天然芝であれば、常にフレッシュな茎葉がムラなくターフを形成しており、競技中に一時的に痛んでも養生期間中にその生育によってターフが回復するというサイクルによって、良質なコンディションを維持している。

一方、人工芝についてはボールの動態と素材特性が徹底して研究されており、新世代の人工芝が天然芝の性能に近づきつつあるという報告もある。田原ら<sup>40)</sup>は、第5世代人工芝グラウンドにおける野球ボールの動態検証を行っており、第5世代人工芝の反発高、反発係数は第2世代や土のグラウンドと天然芝の中間的な値を示したこと、ただしバウンド後の水平方向のボール速度は天然芝よりも低下することを報告している。Spurrら<sup>38)</sup>はテニスコートを事例に様々なサーフェイスにおけるボールの反発係数を実験的に明らかにし、ハードコートにおいては0.79～0.86、クレーコートでは0.87～0.91としている。反発係数が大きければそれだけボールが高く弾むことを示しており、テニスのトッププレイヤーはハード、クレー、グラス、オムニのコートに応じてプレーを行っており、フィールドにあわせてシューズが選ばれるとともにプレイヤーにとってコートサーフェイスに得意・不得意があることが知られている。高橋ら<sup>43)</sup>はテニストッププレイヤーを対象とした調査によって、コートサーフェイスによってサービスショット時間に差が認められることなど、プレーに大きく影響することを説明しており、こういったゲーム戦略上の観点からも、人工芝と天然芝の競技性能の差異とそのメカニ

ズムについて徹底検証されることが期待される。

## 3. グラウンドサーフェイスにおけるスポーツ傷害とその要因

本項ではグラウンドサーフェイスとスポーツ傷害について議論したい。スポーツ傷害は、その予防という観点から、発生要因を個体の要因、方法の要因、環境の要因とに分けて考えられている。スポーツ選手は、試合中、練習中に通常の生活やレジャーの際には及ばない動作・強度・時間・頻度で身体を酷使するため、そのこと自体がスポーツ傷害の重要な因子となっている。一方で、その傷害は環境要因によって軽度にも重度にもなり得る。とりわけ身体を支えている脚部と地面の接地部分であるグラウンドサーフェイスに基づく傷害に関する議論は少なくない。

### 1) グラウンドサーフェイスに基づくスポーツ傷害の報告例

スポーツ傷害の発生要因として、早くからグラウンドのサーフェイスが問題視されてきた。例えばPowell<sup>31)</sup>とEkstand<sup>6)</sup>によって、アメリカンフットボールにおいて損傷を引き起こす要因は相手とのコンタクトによるものだけではなく、選手が使用しているグラウンドにもあると指摘している。Ekstand<sup>6)</sup>、Heidt<sup>4)</sup>、Gorse<sup>10)</sup>は、硬い表面の路上やタータントラックでのコンディショニングトレーニングは、選手が疲れやすくなるだけでなく、グラウンドから受ける衝撃が強いためにシンスプリントやアキレス腱炎などの障害を引き起こす要因となっているとしている。Ekstand<sup>6)</sup>とIchii<sup>19)</sup>は降雨後の土のグラウンドは、滑りやすくなることにより捻挫や肉離れなどの外傷を引き起こす要因になることを報告し、硬さではなく滑りやすさの観点から言及している。また西村ら<sup>29)</sup>によれば、アメリカンフットボール競技中に発生した損傷に関する研究において、競技歴に関係なく下肢への損傷が半数以上を占め最も多かったとし、この事例

において人工芝グラウンドでの練習における対応策が急務であることを述べている。すなわち人工芝グラウンドと摩擦力の低いスパイクを履くことにより、下肢への損傷発生頻度が低くなるとしている<sup>29)</sup>。なお従前から人工芝によるスポーツ傷害の発生が問題視され、人工芝の増加と同時に人工芝によって引き起こされる損傷の報告も増え始めたこととされ、まずは転倒時にグラウンドとの摩擦により起こる擦過傷や肘・膝関節から倒れた時に見られる滑液包炎などの報告が多いとしている<sup>3)、4)、6)、14)、20)、21)、25)</sup>。転倒時に頭部をグラウンドにぶつけたときに人工芝では天然芝グラウンドと比較してより重度の脳震盪が引き起こされる<sup>11)</sup>。

西村ら<sup>28)</sup>によれば、土グラウンドと人工芝グラウンドとのサーフェイスの違いによって引き起こされる損傷の比較研究を行った結果、人工芝グラウンドでは下肢への損傷が有意に多く引き起こされ、特に膝関節外傷が多かったことを報告している。斎藤<sup>34)</sup>は、ラグビー部に在籍する選手の治療記録から治療部位を調査解析し、ラグビーの靭帯損傷による怪我人数は足関節捻挫と膝関節捻挫が大半であり、人工芝での練習時と天然芝の試合時に見られる特徴があることを報告している。Arnheim<sup>3)</sup>、Ichii<sup>19)</sup>、Keene<sup>20)</sup>、Levy<sup>21)</sup>は、人工芝グラウンドは加速度を得ることができるためスピードが上がり、アメフトでは衝突時のインパクトが増大し、損傷の可能性も大きくなるとしている。安部ら<sup>1)</sup>の大学アメリカンフットボール選手を対象にした調査では膝靭帯の損傷が人工芝で多いこと、藤高ら<sup>17)</sup>の大学サッカー選手を対象にした調査では転倒時の上肢の外傷が人工芝で多いこと、斎田ら<sup>33)</sup>の高校サッカー選手を対象に行った調査では期間中に発生した第5中足骨疲労骨折のすべてが人工芝で認められたことが報告されている。とりわけ第5中足骨疲労骨折はロングパイル人工芝の普及とともに増加しているとの指摘もある<sup>33)</sup>。第5中足骨疲労骨折は足底外側に過剰な圧力がかかることが原因の一つとされているため<sup>15)</sup>、ロングパイル人工

芝の物性との関係からそのメカニズムの究明が急がれる。

スポーツサーフェイスとスポーツ傷害の検討に際して大畑ら<sup>30)</sup>は人工芝で摩擦力が過剰に生じる背景について、シューズとサーフェイスの両面からの検討が必要なることを述べており、武藤<sup>23)</sup>はサーフェイスなどの環境要因や動作特性の関係についても考慮する必要があるとしている。例えば、硬いグラウンドサーフェイスと靴底の柔らかい人工芝用スパイクによって「Turf Toe」と呼ばれている第一中足趾関節捻挫が引き起こされ<sup>3)、4)、5)、21)、32)</sup>、アメリカンフットボール、サッカー、ラグビーなどで見られる。またTurf Toeは、爪先立ち状態で上の方向から過度の力がかかると、母趾のMP関節が過度に伸展され、足底にある靭帯が損傷され、アメリカンフットボールや、ラグビーなどのコンタクトスポーツにおいては、踏ん張りながら相手からのタックルを受けることがあるので、つま先の一か所に過度な力がかかり受傷するケースが多いとしている。

一方、Nicholas<sup>24)</sup>やSkovron<sup>37)</sup>は、人工芝と天然芝を比較して、発生する損傷の割合や傾向には大きな差はないとも述べている。Ekstrand<sup>7)</sup>、Fuller<sup>8)、9)</sup>は、近年最新の人工芝と天然芝において傷害の発生パターンはわずかに異なるものの、その発生率に差は見られないとしている。

吉村ら<sup>46)</sup>は、人工芝ピッチにおけるサッカーの試合が筋損傷（運動後に血液中に流出した筋たんぱく質あるいは酵素の量によって間接的に評価される／CK）に及ぼす影響に関する研究において、土よりも天然芝・人工芝で試合を行ったほうが筋損傷の程度は小さいという結果を得ている。ただし一過性の評価であり、慢性的な影響についての究明は課題であるとしている。さらにロングパイル人工芝ピッチにおけるスポーツ傷害の対策として、橋本ら<sup>13)</sup>はハムストリングスの肉離れの発生因子の一つと予測される筋硬度の推移について調査し、下地ら<sup>36)</sup>は閉眼片脚起立

時間をパラメータとした足関節に及ぼす影響（足関節捻挫の指標）を調査し、いずれも最近のロングパイル人工芝が天然芝に近い特性を有していることを報告している。

以上のようにスポーツ傷害の発生要因としてのグラウンドサーフェイスのあり方として、人工芝を問題視する調査結果と、最新の人工芝がかなり天然芝に近い性能を有しているとする見解もあるが、あらためて競技別の動作の種類とその身体負荷からみたサーフェイスの影響についてより多くのデータが蓄積されていくことが期待される。

なおプロ野球選手の腰痛持ちや故障の多発などの話題では、高校時代の早くからレギュラーとしてハードな練習を人工芝で繰り返していたことが大きな負担となっていたのではないかとする意見も散見され、前述の急性期傷害のみならず、グラウンドサーフェイスと慢性症状、加えて成長段階の年齢等の属性についても議論を深めることが重要である。

もう一つ重要な視点として、グラウンドサーフェイスに関連したスポーツ傷害の要因としてグラウンド表面の硬さが指摘されているが、そもそも人工芝はコンクリート・アスファルト上に敷設することが多く路盤そのものの硬さとも相まって衝撃負荷の大きな条件となっている。しかし天然芝は表層の茎葉部のみならず根圏となる土壌層が一定の深さを構成していることも衝撃吸収に有効に働いていると考えられ、今一度衝撃吸収層としての深さにも着目すべきである。

## 2) 運動学・機能解剖学からみた歩行・走の動作と接地負荷

前述のとおり競技中の動作はより限定的に身体への負荷を加えることとなるが、本項では「歩行」や「走」といった動作の基本と接地（衝撃）負荷から考察したい。足の動作、特に接地という観点から、まず足の接地は踵から始まり、足底外側部、小指球を経て拇指先端で蹴り出される。足が体重を支えている立脚期（接地期／contact phase）、体重を

支えていない遊脚期（離地期／swing phase）があり、片脚で体重支持している単脚支持期（single stance phase）と両足で体重支持している両脚支持期（double stance phase）がある<sup>22)</sup>。「走」は両脚支持期のない動作であり、より接地負荷が大きくなるといえる。

このような脚の動作の接地期における歩行面にかかる力（衝撃負荷）が重要な議論となる。歩行時の接地負荷の基本的な考え方として、進行方向（前後方向）については、踵接地から重心が支持脚の真上にくるまでの間は重心に対して支持脚は前方にあり、支持脚は重心に対して制御的に働く（その最大値は体重の20%）。その後、重心は支持脚より前方にあり、蹴り出しの力は重心に対して推進的に働く（その最大値は同じく体重の20%）。左右方向については、支持脚は重心に対して外側にあり、踵接地時から初期は、支持脚は重心を体の外側へと向かわせるが、足のあおり作用により体の内側へと向かわせる。垂直方向については、踵接地時は体重を踵部を中心に受け止め、下向きの大きな力（体重の約115～120%）を地面に加える。重心が支持脚の真上にくるときは、1回抜重（体重の約80%）して足の親指の付け根で蹴り出す際に再び下向きに大きく力（体重の約115～120%）を加えるとしている<sup>22)</sup>。競技中はこの重心が前後左右に足から大きく外れ、極めて不安定な支持状態となるため、様々な衝撃に対する人体側の吸収機構も複雑で脆弱なものとなる。

また硬いアスファルトやコンクリートの路上を、裸足で踵をつけて走ると足には17Gという衝撃がかかり、走っているときに足にかかる力は体重の約3倍、跳んだときは約6倍になるとされている<sup>12)</sup>。なお佐藤ら<sup>35)</sup>は土圧計による衝撃荷重を計測する実験を行っており、ジャンプ時、走行時、歩行時、静止時の4パターンで衝撃荷重を明らかにしている。静止時、歩行時、走行時、ジャンプ時と衝撃荷重が増加していくが、その傾向は静止時約600Nに対して、歩行時は2倍の約1200

N、走行時が3倍の約2000 N、ジャンプ時は4倍の2400 Nあたりを示している。これらのデータはスプリンター（体重63Kg）が9.5m/sで走った際の計測データとも近似しているとされる。なおこうした衝撃を実際に意識しないのは、衝撃が足から脳に伝わる段階で、踵、骨や軟骨、筋肉、腱などで少しずつ吸収されているからであり、換言すれば接地部の衝撃は極めて大きなものとなっている。シューズやサーフェイスのあり方で初期荷重が緩和されることになるが、接地部分の弾力性だけでは限界のようにも考えられる。一般論であるが衝撃加速度を吸収するためには、一定の距離が必要である。そのため人工芝においても表面の改良のみでは限界があると考えられる。先に述べた天然芝は表層に加え、厚みのある根圏層が衝撃吸収に有効な距離（深さ）をもたらししていると推察できる。

もう一つ接地荷重に関する重要な視点として足のアーチ構造がある。円滑な歩行を支えているのは足の骨組みに見られるアーチ構造であり、下腿からの体重を受ける距骨がアーチの頂上となり、踵骨と、足の拇指と小指の中足指節関節の3点が底部となってアーチ構造を呈している。踵接地時はアーチがつぶれ、踵接地から体重が支持脚前方へ移動する際に、アーチの支点が踵から中足指節関節へと移動し、その間にアーチの反発的復元により抜重され、中足指節関節を支点にして強く蹴り出す<sup>22)</sup>。このときにアーチの反発的復元で重心を前方に強く押し出している。併せて山崎<sup>45)</sup>はこのアーチ構造が衝撃吸収や蹴り出しのときの安定性という意味においても機能し、体重や動くための力を、踵、親指の付け根、小指の付け根の3点に分散するとしている。こうした力の分散に対してグラウンドサーフェイスが及ぼす影響についての検討も必要であろう。なお福士ら<sup>18)</sup>は、ロングパイル人工芝と天然芝との比較において、10 m折り返し走の移動時間、足底圧分布測定（ターン動作の内側脚となる左足が地面に接地してから離地するまでの間に、センサーシートに

かかったすべての平均荷重値と最も高い圧力がかかった際の値）を行っている。10 m折り返し走の移動時間ではロングパイル人工芝と天然芝との間に差はなく、中足骨外側付近の荷重値が高い点も共通している。一方、天然芝は中足骨外側だけでなく指骨内側の荷重値も高く、荷重を分散しているということを説明している。そのメカニズムは不明であるが、グラウンドサーフェイスによっては足のアーチ構造が生かされず衝撃が一点に集中すること、天然芝では衝撃負荷を分散する可能性があるという極めて重要なメカニズムが示唆されている。先の第5中足骨疲労骨折や第一中足趾節関節捻挫なども、このアーチ構造による衝撃の分散がうまく働いていない結果であるとも考えられ、サーフェイスとの関係からの改善策が期待される。

#### 4. おわりに

以上、グラウンドサーフェイスとスポーツパフォーマンス、スポーツ傷害について概観し、人工芝の改良の成果と課題に着目しつつ天然芝の長所について考察した。また「歩」の基本からも、その傷害の要因について若干の考察を加えた。

グラウンドサーフェイスとしての人工芝は、運動パフォーマンスと身体へのやさしさという観点で日進月歩改良が進んでおり、その成果も現れている。JFAやJRBが基準を設けロングパイル人工芝ピッチを公認導入しており、これをクリアすべく開発が進められていることも重要な背景となっている。

多くの競技は走行や機敏な方向転換などある程度の支持力（反発力）が必要な反面、関節等への負荷を軽減するための衝撃吸収力をもたなければならない。前者は人工芝のパイルの長短や素材、表面処理などによって摩擦力が調整されると考えられる。後者については、やはりパイル長やチップ等の充填材によって吸収性を向上させることで大きく改良されてきた。しかしこれらは表層部の改良の

成果である。体重を支える足部の吸収、特に「走」「ジャンプ」からの加速度を抑えるためには吸収するための距離、すなわち深さも重要であると考えられる。良質な管理下の天然芝は適度な支持力（反発力）を持ちつつ、根圏層を含む膨軟な土壌層が加速度の吸収に貢献していると考えられる。またサーフェイスと足部の関係は、動作の形態やシューズの性能との関係など複雑であるが、「走」「ジャンプ」に加え、競技特有の負荷の大きい特殊な動作の際に、関節や足の骨組みによるアーチ構造による吸収性とグラウンドサーフェイスがどのように影響し合うのかについてはさらなる検討が不可欠であろう。

一方、暑熱特性についても初期の人工芝と比較すれば軽減される傾向にあるが、人体への輻射熱の影響という観点からは天然芝の快適性には及ばない。

グラウンドサーフェイスの安全性という観点からは、さらなる人工芝の改良とともに、やはり天然芝を積極的に活用するための維持管理の支援体制が重要な課題である。

#### 【引用文献】

- 1) 安部総一郎・中嶋寛之・川原貴・下条仁土・阿部均 (1998) : アメリカンフットボール試合時における外傷について／5年間の検討、臨床スポーツ医学、15 (5)、pp.547-551
- 2) 青木豊明 (2006) : 屋外スポーツサーフェスの衝撃度比較、Training Journal、320、pp.32-33
- 3) Arnheim, D. D., & Prentice, E. W. (2000) : Principles of Athletic Training 10th edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia:PA
- 4) Bowers, K. D., Jr., & Martin R. B. (1976) : Turf Toe: A Shoe Surface Related Football Injury, Medical & Science in Sports, 8, pp.81-83
- 5) Coker, P. T., Arnold, A. J., & Weber, L. D. (1978) : Traumatic Lesions of the Metatarsophalangeal Joint of the Great Toe in Athletes, American Journal of Sports Medicine, 6,

pp.326-334

- 7) Ekstrand, J., & Nigg, M. B. (1989) : Surface-Related Injuries in Soccer, Sports Medicine, 8, pp.56-62
- 8) Ekstrand J, Timpka T, Hagglund M. (2006) : Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. Br J Sports Med. 40, pp.975-980
- 9) Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R. (2007) : Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 1: match injuries. Br J Sports Med. 41 Suppl 1, pp.120-126
- 10) Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R (2007) : Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 2: training injuries. Br J Sports Med. 41 Suppl 1, pp.127-132
- 11) Gorse, K., Mickey, A. C., & Bierhals, A. (1997) : Conditioning Injuries Associated with Artificial Turf in Two Preseason Football Training Programs, Journal of Athletic Training, 32, pp.304-308
- 12) Guskiewicz, M. K., Weaver, L. N., Padua, A. D., & Garrett, E. W. (2000) : Epidemiology of Concussion in Collegiate and High School Football Players, American Journal of Sports Medicine, 28, pp.643-650
- 13) 長谷部やエ (2000) : 足・靴・健康、生活工学研究 2 (2)、pp.124-137
- 14) 橋本賢太・辻和哉・中尾哲也・増田研一・山口由美子・吉田隆紀・内田靖之・吉村雅文・安田雅宏 (2008) : ロングパイル人工芝ピッチにおけるスポーツ傷害と対策 1 / ハムストリングスの肉離れについて、関西臨床スポーツ医・科学研究会誌 18、pp.37-38
- 15) Heidt, S. R., Dormer, G. S., Cawley, W. P., Scranton, E. P., Jr., Losse, G., & Howard, M. (1996) : Differences in Friction and Torsional Resistance on Athletic Shoe-turf Surface Interfaces, American Journal of Sports

- Medicine, 24, pp.834-842
- 16) 平野篤・福林徹・和田野安良・宮川俊平・菅野淳・二宮浩ほか (1992) : サッカー選手に生じた第5中足骨疲労骨折の3例/プレスケールを使用した足底圧の解析一、サッカー医・科学研究報告書、12、pp.133-135
  - 17) 星洋介・宮川俊平・向井直樹・竹林雅裕・福田崇 (2006) : グラウンドサーフェス(人工芝と天然芝)の違いが大学野球選手の運動パフォーマンスや疲労の程度に及ぼす影響、体力科学、55 (6)、873
  - 18) 藤高紘平・大槻伸吾・大久保衛・橋本雅至・山野仁志・岸本恵一 (2010) : グラウンドサーフェイスの変化が大学サッカー選手のスポーツ傷害に及ぼす影響/土グラウンドとロングパイル人工芝との比較、日本臨床スポーツ医学会誌、18 (2)、pp.256-262
  - 19) 福士徳文・吉村雅文 (2011) : ロングパイル人工芝の評価に関する研究、順天堂スポーツ健康科学研究、3 (1)、pp.37-41
  - 20) Ichii, S (1987) :Relation of Running Injuries to Surfaces and Shoes, Japanese Journal of Sports Science,5 pp.554-561
  - 21) Keene, S. J., Narechania, G. R., Sachtjen. M. K., & Clancy, G. W. (1980) :Tartan Turf on Trial: A Comparison of Intercollegiate Football Injuries Occurring on Natural Grass and Tartan Turf, American Journal of Sports Medicine, 8, pp.43-47
  - 22) Levy, M., Skovron, L., & Agel, J. (1990) :Living with Artificial Grass: A Knowledge Update Part 1: Basic Science, American Journal of Sports Science, 18, pp.406-412
  - 23) 真家 and 生 (2007) : 自然人類学入門/ヒトらしさの原点、技報堂出版
  - 24) 武藤芳照 (1987) : スポーツ・サーフェイスと障害、Jan J Sports Sci、21、pp.546-547
  - 25) Nicholas, A. J., Rosenthal, P. P., & Gleim, W. G. (1988) :A Historical Perspective of Injuries in Professional Football: Twenty-six Years of Game-Related Events, JAMA, 19, pp.939-944
  - 26) Nigg, M. B., & Segesser, B. (1988) :The Influence of Playing Surfaces on the Load on the Locomotor System and on Football and Tennis Injuries, Sports Medicine, 5, pp.375-385
  - 27) 日本ラグビーフットボール協会 (2004) : ラグビー競技場人工芝に関する IRB 公認性能仕様書
  - 28) 日本サッカー協会施設委員会 (2012) : JFA ロングパイル人工芝ピッチ公認検査実施マニュアル第6版
  - 29) 西村忍・川村真紀・中里浩一・中嶋寛之 (2003) : グラウンドサーフェイスの変化が大学アメリカンフットボール選手の身体損傷に及ぼす影響/土グラウンドと人工芝グラウンドとの比較、日本体育大学紀要 33 (1)、pp.17-24
  - 30) 西村忍・中里浩一・中嶋寛之 (2005) : アメリカンフットボール競技中に発生した損傷に関する研究/大学生チームと社会人チームを比較して、慶應義塾大学体育研究所紀要、44 (1)、pp.9-15
  - 31) 大畑光司・市橋則明 (2006) : スポーツ傷害予防と着地サーフェイス、体力の科学、56 (11)、pp.895-899.
  - 32) Powell, W.J (1987) :Incidence of Injury Associated with Playing Surface in the National Football League 1980-1985, Journal of Athletic Training, 22 pp.202-206
  - 33) Rodeo, A. S., O'Brien, S., Warren, F. R., Barnes, R., Wickiewicz, L. T., & Dillingham, F. M. (1990) :Turf-Toe: An Analysis of Metatarsophalangeal Joint Sprains in Professional Football Players, American Journal of Sports Medicine, 18, pp.280-285
  - 34) 斎田良知・高澤祐治・池田浩 (2009) : ユース年代サッカー選手における第5中足骨疲労骨折の発生状況、日本整形外科学会雑誌、29 (4)、80.
  - 35) 齋藤徹 (2008) : 早稲田大学ラグビー蹴球部 2007年度活動報告、スポーツ医・科学サポートシステムの概要と 2007年度活動報告、早稲田大学ラグビー蹴球部
  - 36) 佐藤和宏・児玉健太郎・上浦正樹 (2000) :



- スポーツ競技に合う土の運動場に関する研究、平成 12 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 57 号、pp.946-949
- 37) 下地達朗・辻和哉・中尾哲也・増田研一・山口由美子・吉田隆紀・内田靖之・吉村雅文・安田雅宏 (2008) : ロングパイル人工芝ピッチにおけるスポーツ傷害と対策 2 / 足関節捻挫、関西臨床スポーツ医・科学研究会誌 18、pp.39-40
- 38) Skovron, L. M., Levy, M., & Agel, J. (1990) : Living with Artificial Grass: A Knowledge Update Part 2: Epidemiology, American Journal of Sports Science, 18, pp.510-513
- 39) Spurr, J., Capel-Davies, & Miller, S. (2007) : Player perception of surface pace rating in tennis. In: S. Miller & J. Capel-Davies, (eds) . ITF Tennis Science and Technology 3. London: ITF Licensing Ltd., pp.73-80
- 40) Stanitski, L., C., McMaster, H. J., & Ferguson, J. R. (1974) : Synthetic Turf Grass: A Comparative Study, Journal of Sports Medicine, 2, pp.22-26
- 41) 田原亮二・渡邊正和・田口正公・乾真寛 (2010) : 第 5 世代人工芝グラウンドにおける野球ボールの動態検証、福岡大学スポーツ科学研究 40 (2)、pp.1-9
- 42) 体育施設出版 (2008) : 依然として人気は上々安定的に増えるロングパイル人工芝、月刊体育施設増刊号、37 (6)、pp.2-5
- 43) 体育施設出版 (2010) : 日本初導入から 10 年多用途に対応でき高稼働率誇る張り替え需要も増加、スポーツファシリティーズ、39 (5)、pp. 10-15
- 44) 高橋仁大・西中間恵・石原雅彦・森重貴裕 (2011) : テニスのプレーはコートサーフェスによって変わるのか? / 世界トッププレーヤーを対象に、スポーツパフォーマンス研究、3、pp. 49-58
- 45) Torg, S. J., Quedenfeld, C. T., & Landau, S (1974) : The Shoe-Surface Interface and its Relationship to Football Knee Injuries, Journal of Sports Medicine, 2, pp.261-269
- 46) 山崎 敦 (2012) : 足のアーチ / 運動学、機能解剖学の知見から、Sportsmedicine 24 (8)、pp.22-23、pp.29-31
- 47) 吉村雅文・内藤久士・宮原祐徹・青葉幸洋・吉井秀邦 (2010) : 人工芝ピッチにおけるサッカーの試合が筋損傷に及ぼす影響、順天堂スポーツ健康科学研究、1 (3)、pp.414-420