

新型人工芝グラウンドの水文気象環境に関する 基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON HYDRO-METEOROLOGICAL ENVIRONMENT OVER A NEW-TYPE ARTIFICIAL TURF FIELD

手計太一¹・渡辺亮一²・山崎惟義³・乾真寛⁴

Taichi TEBAKARI, Ryoichi WATANABE, Koreyoshi YAMASAKI and Masahiro INUI

¹正会員 博(工) 福岡大学助教 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1)

²正会員 博(工) 福岡大学講師 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1)

³正会員 工博 福岡大学教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1)

⁴非会員 修士 福岡大学教授 スポーツ科学部 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1)

Fukuoka University constructed a football field using a new-type artificial turf with improved soil on May 2007 in order to mitigate urban heat-island phenomenon and urban flooding. To clarify hydro-meteorological environment in the football field, we installed the hydro-meteorological observation system inside the football field. Furthermore, potential evaporation from the football field was measured using the model experiment.

As a result of the hydro-meteorological observation, meteorological environment over the artificial turf was analogous with environment over natural grass. In the nighttime, air temperature over the artificial turf was about 5 degree Celsius lower than in urban area. Moreover, runoff ratio of the field was 12%-14.5% and a lag time between peaks of a flood and a maximum rainfall was 4hours. As a result of the evaporation model experiment, evaporation rate from our proposed artificial turf system was slowly and continuously during 10 days. The new-type football field contributes to the mitigation of urban heat environment and urban flooding.

Key Words : Heat-island phenomenon, artificial turf, evaporation, urban flood mitigation, meteorological observation

1. はじめに

我が国の都市部における気温の上昇は、地球温暖化による気温上昇量を大きく上回り、その傾向が弱まる気配は全く見えない^{1),2)}。その原因は土地被覆の人為的な改変によることは疑う余地がない³⁾。

また、このようなヒートアイランド現象が単なる気象現象に留まらず、気象擾乱を引き起こし、降雨強度を変化させていると考えられている^{4),5),6)}。市街地における降雨強度の増加は特に内水氾濫に繋がり、大規模な災害へと発展する可能性が高い。

このような都市部における水文気象学的問題に対して、様々な対策や研究が実施されている。例えば、屋上緑化や保水性・透水性舗装道路の推進、構造物に対する高反射性塗料の利用促進等によって人工被覆物の改善対策が

実施されている⁷⁾。また、小河川や緑地を利用した風の道の形成、その可能性については研究が進められている⁸⁾。さらに、市民による草の根的なヒートアイランド緩和活動の一つとして「打ち水大作戦」が挙げられる⁹⁾。

ところで、福岡市城南区を流れる七隈川流域では、平成11年6月29日に発生した水害により約170戸が浸水するなど甚大な被害が発生した。現在、河道改修が進められているが、河道だけでは1/10の治水安全度しか得られないのが実情である。そのため福岡市は、流域面積の約9.3%を占め、かつ河川上流域に位置している福岡大学の敷地を利用した流出抑制対策を必要としている。

以上を鑑み、2007年5月、福岡大学は流出抑制効果や市街地の熱環境緩和効果を期待するとともに、世界最高峰のサッカーグラウンド環境を地域住民に提供することを目的に、保水性・浸透性の高い土壌と人体に優しい新型の人工芝を併用したサッカーグラウンドを建設した。

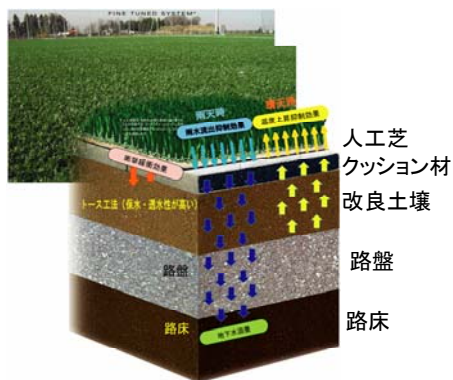


図-1 新型人工芝グラウンドの模式断面図。



図-2 実際の人工芝グラウンドの写真。

表-1 観測項目、観測機材、観測期間、観測場所の一覧。

観測場所	観測項目(観測頻度)	観測機材	観測期間	備考
人工芝グラウンド	気温・湿度(1min)	HOB0 H8 Pro(自然通風シェルター付)	2007年6月4日～継続中	※長期観測 ※観測前検定・校正済
	気温・湿度(30sec)	HOB0 H8 Pro(自然通風シェルター付)	2007年6月9日～11日 2007年8月18日～20日	※短期集中観測 ※観測前検定・校正済
	全日射量(1min)	MS-601(英弘精機社製)	2007年7月31日～継続中	※長期観測
	表層温度(30sec)	3線式白金測温抵抗体センサ(T&D Corporation社製)	2007年6月9日～11日 2007年8月18日～20日	※表面から深さ5cm
	表面温度(1min)	放射温度計(FLIR SYSTEMS社製)	2007年8月18日～20日	※54mのビル屋上より撮影 ※照射角度74°14'40"
	雨量(10min)	転倒樹式雨量計	～継続中	※長期観測
	表面流出量、水位(10min)	水位計、量水計(コーナシステム社製)	～継続中	※長期観測
天然芝グラウンド	気温・湿度(1min)	HOB0 H8 Pro(自然通風シェルター付)	2007年6月4日～継続中	※長期観測 ※観測前検定・校正済
	気温・湿度(30sec)	HOB0 H8 Pro(自然通風シェルター付)	2007年6月9日～11日 2007年8月18日～20日	※短期集中観測 ※観測前検定・校正済

この人工芝グラウンドの建設直後より、著者らは水文気象観測を実施している。本稿では、新型人工芝の持つ水文気象学的特徴を報告するとともに、新たな都市熱環境緩和対策・流出抑制対策を提案するものである。

2. 新型人工芝グラウンド

一般的な人工芝グラウンドは、人工芝の下にアスファルト等の不透透性の素材を利用しているため、降水は速やかにグラウンド横の側溝に排水されていた。しかし、今回施工された新型の人工芝グラウンドは透水性・保水性の高い素材を利用しているため、雨水を一時的に貯留する効果があると期待されている。

本研究で対象とする新型人工芝システムの模式断面図を図-1に示す。また、実際に施工された福岡大学仮設サッカーグラウンドを図-2に示す。システム上部には我が国では導入実績のない人工芝システム、システム下部には保水・浸透能の高い改良土壌を埋設している。それぞれの詳細については以下の通りである。

(1) 新型人工芝システム

本研究において対象としている人工芝は、MONDO S. p. A. (イタリア共和国)が開発した「モンドターフ・ファインチューン・システム」である。

この人工芝システムは環境や人体への負荷を最小限に抑えようと試みた画期的な人工芝である。これは大きく

分けて3層から構成されている。

下層はファインチューンと呼ばれる廃タイヤを再利用して製造されたマットレスである。これは衝撃吸収性をもち、運動者の安全性や怪我の危険性を軽減するものである。また、このマットレス自身に保水力があり、一定の湿潤性を保っている。

上層は縮小フィブリル化構造を持つ新重合体のポリエチレン性の人工芝である。天然芝に良く似た性能を持つとされている。この人工芝の中にエコフィルと呼ばれるチップを充填する。このエコフィルは、一般的に使用されているゴムチップとは全く異なり、ゴムと樹脂がブレンドされた熱可塑性弾性体である。エコフィルの比重は1.4～1.7なので飛散が少なく雨水でも流出しにくい特徴を持っている。

2006年5月、この新型人工芝はユベントスやASローマといったイタリアの名門サッカークラブに採用され、続いて7月にはフィンランドのフィンエアースタジアム(国立競技場)に採用されている。ASローマとフィンエアースタジアムでは、国際サッカー連盟(FIFA)による現場テストを受検し、人工芝ピッチとしては最高レベルの「2スター」を取得している。

このように、上述の人工芝は運動者の安全性や機能性については国際的に極めて高い評価を得ている。

人工芝に関する既往研究は主として、人工芝の地表面粗度を実験的に求めた例¹⁰⁾や気象観測所において人工芝敷設が気象観測に及ぼす影響を検討した研究¹¹⁾、建物屋上に敷設した場合における室内クーリング効果の研究な

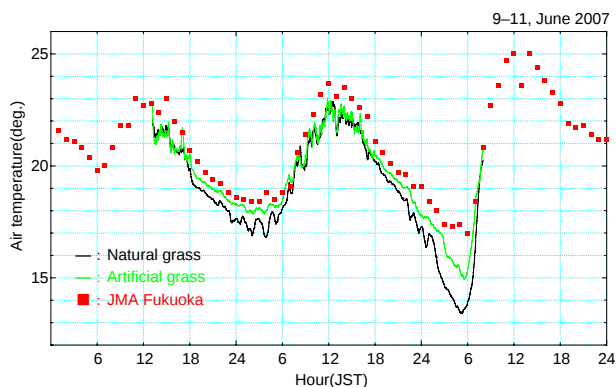


図-3 2007年6月9日から11日までの人工芝と天然芝グラウンドと福岡管区気象台における気温の時系列。

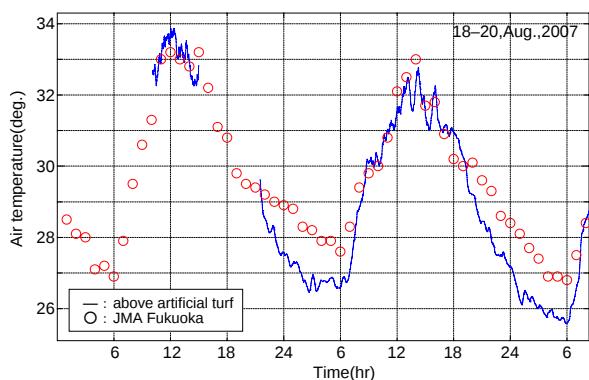


図-5 2007年8月18日から20日までの人工芝上と福岡管区気象台における気温の時系列。

どである¹²⁾。

一方で、熱環境や保水性など水・熱環境についての詳細な検証は実施されていない。特に、我が国のように高温多湿の環境下での実証実験は全く行われていない。

(2) 透水性保水型工法

本工法は、土に添加剤を配合し、土を団粒構造に変化させることで透水性と保水性を向上させる工法として、(株)シーマコンサルタント社が開発したものである。

実際の施工法は以下の通りである。まず真砂土を敷き均し、固化剤を所定量散布しトラクターで混合する。次に、希釈した混和剤を散布し、さらに混合する。最後にローラーで転圧を行う。

本工法による改良土壌は、水はけが良く、保水による流出抑制効果が期待できる。一方で、使用する土は基本的に砂質土であり、土質によっては使用できない可能性がある。また、施工場所によっては凍害を受ける可能性が指摘されている。

運動場等のスポーツ施設を中心に日本全国での施工実績があるものの、強度試験の問題から車道への利用にはいたっていない。

3. 現地観測方法

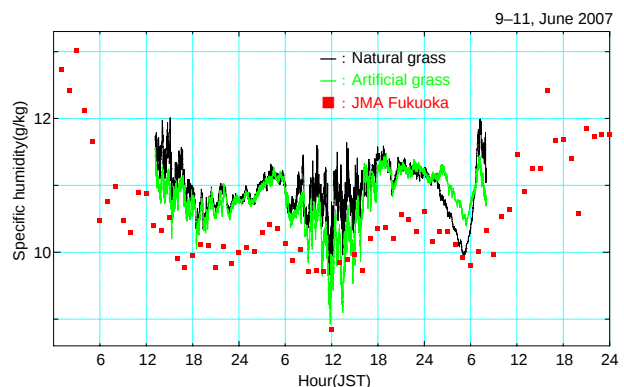


図-4 2007年6月9日から11日までの人工芝と天然芝グラウンドと福岡管区気象台における比湿の時系列。

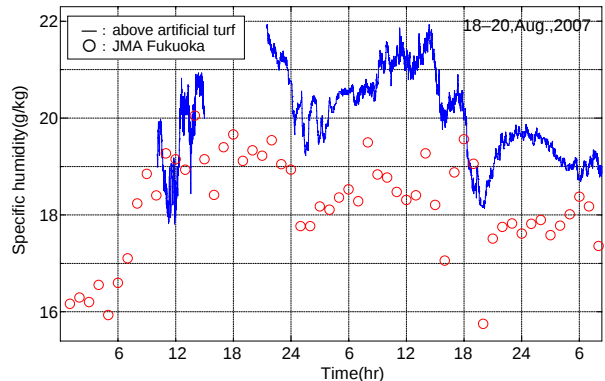


図-6 2007年8月18日から20日までの人工芝上と福岡管区気象台における比湿の時系列。

(1) 観測場所と比較対象

本研究対象とする人工芝グラウンドは福岡大学七隈キャンパス内（福岡市城南区）に位置しており、その東側は体育館、南側は約6mの道路擁壁、西側は4階建てビルが建っている。北側はグラウンドの入口となっており、構内道路に面している（図-2参照）。

先述したように、本人工芝グラウンドはサッカー用として建設されたものである。その広さは東西方向に112m、南北方向に78m、面積は8763m²であり、国際サッカー連盟の規定を満足する広さを持つグラウンドである。

人工芝グラウンドの水文気象環境を検討するため、約900m離れた聖スルピス大神学院内の天然芝グラウンドにおいて気象観測を実施した。この天然芝グラウンドは多目的の広場として利用され、周囲には樹木が配置されている。

(2) 観測項目・時期

表-1に観測項目、観測機材、観測期間、観測場所を示す。これまでに、短期集中観測を二度実施するとともに、長期継続的にも観測している。短期集中観測では、人工芝グラウンド中央に観測機材を設置し、長期観測においては人工芝グラウンドと構内道路との境界に設置している。また、天然芝グラウンドについても、集中観測ではグラウンド中央に観測機材を設置し、長期観測においては構内建物の近傍に観測機材を設置している。

本稿では、これまでに二度実施した短期集中観測

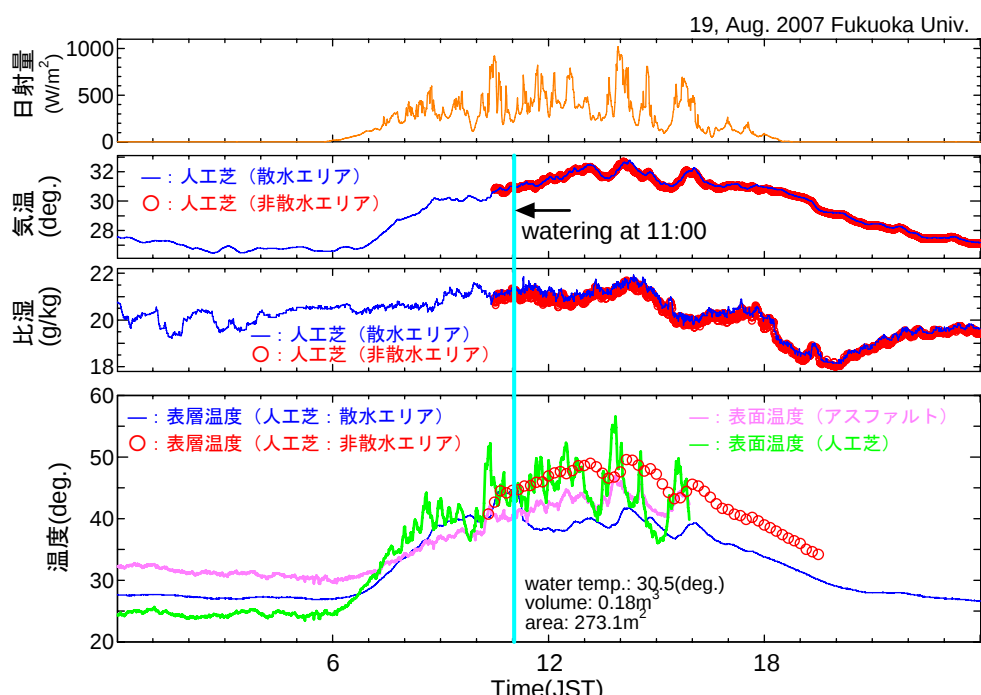


図-7 2007年8月19日の人工芝グラウンドにおける全天日射量、気温、比湿、表層温度、赤外放射温度計で観測した人工芝とアスファルトの表面温度の時系列。

(2007年6月9日から11日、2007年8月18日から20日)の結果を中心に報告するものである。

4. 現地観測結果

(1) 気象環境

図-3は2007年6月9日から11日までの人工芝グラウンドと天然芝グラウンドと福岡管区气象台における気温の時系列である。全体的に、人工芝・天然芝グラウンド上の気温は福岡管区气象台の気温よりも低い傾向にある。福岡管区气象台は福岡市中心部に位置しているため、周囲も市街化されており気温の日変化が小さい。これはヒートアイランド現象に起因していると考えられる。

また、人工芝上と天然芝上の気温を比較すると、日中の両者はほぼ同じ挙動を示している。最高気温も同程度であり、人工芝上であっても気温がそれほど上昇しないことがわかった。一方、夜間の気温は、天然芝上の気温よりも人工芝上の気温の方が高く、最大で1.5℃の差であった。これは芝の素材による影響であると考えられるが、福岡管区气象台の気温と比較すると2℃以上低い。

図-4は2007年6月9日から11日までの人工芝グラウンドと天然芝グラウンドと福岡管区气象台における比湿の時系列である。福岡管区气象台における比湿は、人工芝・天然芝グラウンド上のそれと比較すると、全体的に低い。これは、福岡市内の都市化による影響であると考えられる。人工芝グラウンド上の比湿は天然芝グラウンド上のそれとほとんど同じ挙動を示し、大気は湿った状態にあることがわかる。

図-5は2007年8月18日から20日までの人工芝グラウンド上と福岡管区气象台における気温の時系列である。図-3と同様に、両者の日中の気温は同じ程度である。しかし、夜間の気温は人工芝グラウンド上の方が1℃以上低い。

また、長期観測の結果においても、気温が高い場合には人工芝上・天然芝上の気温と福岡管区气象台のそれはほぼ同じであった。しかし、気温が低い場合には福岡管区气象台の気温の方

が高い傾向にある。さらに、人工芝上の気温と天然芝上のそれとは同じ挙動であった。

図-6は2007年8月18日から20日までの人工芝グラウンド上と福岡管区气象台における比湿の時系列である。観測期間を通して、人工芝上の比湿は福岡管区气象台のそれよりも高い傾向にある。これまでの観測期間を通して、人工芝上・天然芝上の比湿は福岡管区气象台のそれよりも最大約2g/kg高い。市街地よりも湿潤な状態が保たれていることがわかる。さらに、人工芝上と天然芝上の比湿の挙動はほぼ同じであった。この要因の一つとして、人工芝システムの保水性による影響が挙げられる。

2007年8月19日、人工芝グラウンドにおいて、散水による気象環境の変化を捉える実験を行った。その結果を図-7に示す。気温がまだ上昇しつつある午前11時から約20分間、水温30.5℃の水を約0.18m³、範囲はサッカー場の北東部の一画(約273.1m²)に散水した。散水エリアと非散水エリアの両方に温湿度計を設置し、気温と比湿の変化を観測した。観測日当日は快晴であったものの、薄雲がかかっていたので日射量の時間変化は大きかった。散水エリアと非散水エリアの気温と比湿を比較すると、大きな変化は見られなかった。散水した面積が小さく、水量も少なかったことが影響していると考えられる。

(2) 表面温度特性

一般的な人工芝の表面温度は非常に高くなることは知られており、人工芝競技場の問題とされてきた。そこで、本研究対象としている人工芝グラウンドの表面温度についても検討を行った。

本稿においては、赤外放射温度計で測定した人工芝表

面の温度を「表面温度」、熱伝対を利用して測定した人工芝表面から約10cmの深さにあるエコチップと砂が交わる層の温度を「表層温度」と定義する。

前項で示した図-7の最下図に、散水した人工芝と散水していない人工芝の表層温度の時間変化、赤外放射温度計で撮影した人工芝とアスファルト面の表面温度の時系列を示す。散水エリアの表層温度は散水直後に急激に低下するとともに、温度が低い状態を長時間にわたって維持している。散水エリアと非散水エリアにおける表層温度差は最大で10℃以上であった。表層温度の低下は、人工芝上の運動者への輻射熱を減少させる効果がある。そしてその効果の持続時間が極めて長い。

また、人工芝の表面温度と表層温度を比較すると、18日の日中は両者とも約60℃で同じであったものの、19日は日射量の変化に伴い表面温度も変化しており、表層温度との差は5℃程度ある。夜間における人工芝の表面温度は、表層温度よりも約5℃低い。これは、エコチップによる保温効果によるものと考えられる。

人工芝とアスファルトの表面温度を比較すると、最高温度は人工芝の方が約5℃高い。一方夜間においては、アスファルトの方が約8℃高く、日没から翌日の日の出まで続いている。これは両者の熱容量の違いが影響しており、人工芝による夜間の熱環境緩和効果は期待できるものと考えられる。

(3) 雨水流出抑制効果

先述したように、本研究対象グラウンドには雨量計を設置し、表面流出を捉えるために水位計を整備し、大きな出水時には人的観測を実施している。観測しているのは、人工芝表層からの流出量とさらにその下層の改良土壤中からの流出量（本稿では「伏流水」と定義する）である。これらは合わせて直接下水に流れるものであり、これを抑制させる必要がある。

図-8は2007年7月1日から10日までの降水量、表面流出量高、伏流水量の時系列である。伏流水量の挙動に着目すると、ピークが緩やかである場合やピーク時間がずれていることがわかる。7月2日の出水（総雨量70mm）では、降水量のピークと表面流出のピークは40分の時間差がある。また流出率は12%と極めて小さい。また、7月6日から7日にかけて発生した梅雨前線による大雨（総雨量145.5mm）のケースにおける流出率は14.5%であった。いずれの降雨イベントにおいても、直接流出量は極めて小さく、流出抑制に大きく貢献していると考えられる。15～20mm程度の保水力があると仮定すると、降水量の約60～70%が地下水涵養に寄与すると推算できる。

5. 新型人工芝の蒸発量に関する実験的検証

前章において、新型人工芝グラウンドの水文気象環境に

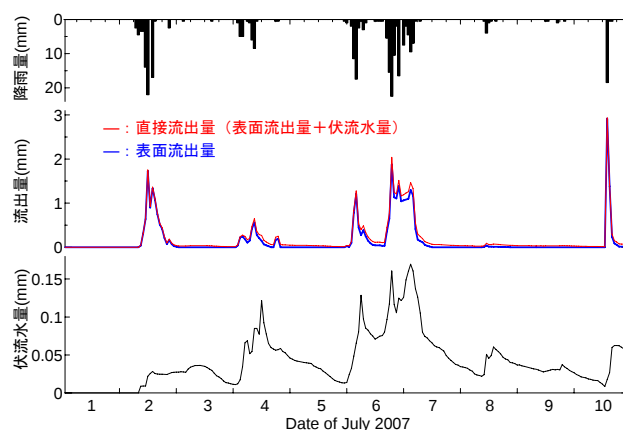


図-8 2007年7月1日から10日までの人工芝グラウンドにおける降雨量、表面流出高、伏流水量の時系列。

についての現地観測結果を示した。その中で、グラウンド内の比湿が高いことを示した。その要因として、人工芝や改良土壌のもつ保水能力が考えられるため、20cm角のサッカーグラウンドの模型を製作し、蒸発量の時間変化を実験的に検証した。

まず、底面から排水できる20cm角の亚克力容器に改良土壌を充填し、サッカーグラウンドと同程度の転圧を掛けた。比較対象として、一般の真砂土に同程度の転圧をかけたものを準備した（非改良土壌）。改良土壌については、二種類の異なる真砂土を利用した（Type AとB）。模型作成時における転圧は手作業で実施したため、Type AとBの模型には若干の密度差が生じた。Type Aの密度は 2.849g/cm^3 、Type Bの密度は 2.886g/m^3 であった。これら三種類の土壌が飽和状態になるまで散水し、外気にさらし重量を測定することで蒸発量を算出した。その結果と日射量、気温の時系列を図-9に示す。実験直後は、土壌表面付近の水分が蒸発するので、いずれの土壌とも蒸発量は同程度であった。しかし実験二日目の午後から、非改良土壌からの蒸発量はType AとBのそれよりも大きくなり、実験三日目にはほとんど蒸発しなくなる。一方、非改良土壌は気象条件に応じて蒸発している。Type AとBは共に、実験四日目以降も一日約20gの蒸発を続けている。このことから、改良土壌は表層付近の水分が蒸発した以降、ゆっくりと継続的に蒸発を続けていることがわかる。

次に、上述の三種類のうち改良土壌の一つ（Type A）と非改良土壌の上に、サッカーグラウンドと全く同じ人工芝を敷いて、上述と同様の実験を実施した。模型の構造は図-1に示すような実際と路床以外は全く同じである。また、土壌面は人工芝に完全に覆われている。その結果と土壌下面からの浸透水量と日射量の時系列を図-10に示す。先述したように、人工芝と土壌の間にはクッション材が入っている。それによって、水が一時的に溜まった状態になり、Type Aは20時間にわたり浸透水量が観測されたと考えられる。人工芝があることで土壌への直射

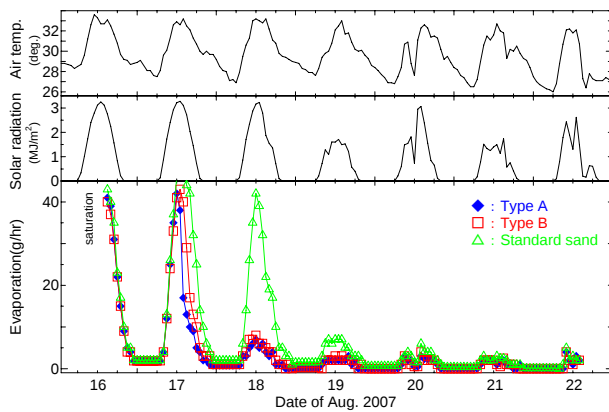


図-9 模型実験による蒸発量、気温、日射量の時系列。

日光が遮られ、蒸発量が抑制されている。しかし、実験期間10日間にわたって、ほぼ一定の蒸発量が観測された。その理由として、(1)人工芝底面やクッション材に水が溜まっている、(2)改良土壌の団粒構造による保水効果の二点が挙げられる。

以上から、人工芝システムや改良土壌に蓄えられた水分はゆっくりと継続的に蒸発していることがわかり、人工芝グラウンドの比湿が高い一因であると考えられる。

6. 結論

都市の熱環境緩和や流出抑制効果を期待して建設された新しい人工芝を利用したグラウンドの水文気象環境についての基礎的な観測と実験を実施した。その結果ヒートアイランド現象緩和効果と雨水流出抑制効果について大きな期待ができるとがわかった。それぞれについて以下にまとめを示す。

(1) ヒートアイランド現象の緩和効果

本研究対象人工芝グラウンドは天然芝上と同程度の気象環境にあることがわかった。夜間の気温や表面温度は非常に低く、ヒートアイランド現象の抑制に繋がるものと考えられる。また、この人工芝グラウンドは、日射量や気温には大きく左右されずに、ゆっくりと継続的に蒸発することが確認された。これがグラウンドを湿潤な条件にさせているものと考えられる。

(2) 雨水流出抑制効果

新しい技術を応用して建設されたサッカーグラウンドは直接流出量を抑制する能力があり、地下水涵養に大きく貢献することができる。地域の洪水氾濫抑制に大きな期待ができるものと考えられる。

最後に、維持管理やコストを考えると、天然芝よりも人工芝の方が有利であることは良く知られており、さらに本研究によって科学技術的な有効性も証明された。新

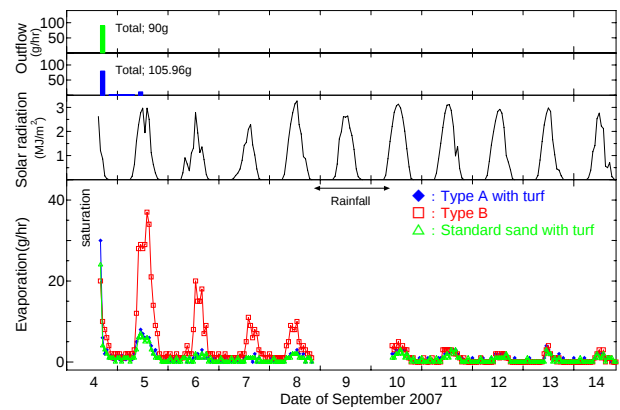


図-10 人工芝を被せた模型実験による蒸発量、浸透量、日射量の時系列。

型人工芝システムと保水性土壌を組み合わせることは、都市の熱環境や流出抑制に効果的な技術であり、広く普及されることを切望する。

謝辞：本研究の遂行に際し、MONDO S.p.A.、クリヤマ株式会社、株式会社シーマコンサルタントに多大なる協力をしていただいた。また、聖スルピス大神学院に天然芝グラウンドの観測場所を提供していただいた。観測や実験に際し、福岡大学工学部水圏システム研究室の学生諸氏の協力を得た。合わせてここに記して謝意を表します。最後に、本研究課題は福岡大学と福岡市との協力連携に関する協定に基づいて実施されたものである。

参考文献

- 1) 気象庁: 20世紀の日本の気候, 財務省印刷局, 116pp.
- 2) 鬼頭昭雄: 地球温暖化と都市化による気温変化について, 天気, 51, pp.93-94, 2004.
- 3) 下田吉之, 澤本昌典, 松本邦彦, 松村暢彦: 土地利用シナリオにもとづく流域の将来像 (ヒートアイランド現象を例に), 環境科学会誌, 20, pp.225-231, 2007.
- 4) 藤部文昭: 東京における降水の空間偏差と経年変化の実態—都市効果についての検討—, 天気, 45, pp.7-18, 1998.
- 5) 神田学, 井上裕史, 鶴野伊津志: “環八雲”の数値シミュレーション, 天気, 47, pp.11-24, 2000.
- 6) 藤部文昭: ヒートアイランドが降水に及ぼす影響—夏の対流性降水を中心にして—, 天気, 51, pp.25-30, 2004.
- 7) 山本桂香: 都市におけるヒートアイランド現象の緩和対策, 科学技術動向, 54, pp.21-34, 2005.
- 8) 木内豪, 前村良雄, 伊藤将文: 都市河川と周辺市街地の熱環境の実態—目黒川を事例に—, 土木学会年次学術講演会講演概要集, II-086, 2007.
- 9) 狩野学, 手計太一, 木内豪, 榊茂之, 山田正: 打ち水の効果に関する社会実験と数値計算を用いた検証, 水工学論文集, 48, pp.193-198, 2004.
- 10) 石崎発雄, 桂順治, 谷池義人, 丸山敬: 地表面粗度の違いによる境界層気流性状の変化に関する風洞実験, 風工学シンポジウム論文集, Vol.8, pp.91-98, 1984.
- 11) 前田勝彦, 山下晃弘: 大瀬戸地域気象観測所の人工芝敷設による気温の変化について, 気象庁研究時報, Vol.50, pp.202-203, 1998.
- 12) 阿部敏雄, 尹聖皖, 足永靖信: 蒸発・日射反射による建物屋上面の冷却効果に関する実験的研究, 環境の管理, No.50, pp.79-84, 2004.

(2007. 9. 30受付)