

29. アラブ首長国連邦における乾燥地緑化試験 —吸水性繊維物を用いた芝の緑化およびその熱・水分環境への影響—

DEMONSTRATION TEST ON GREENING IN THE UNITED ARAB EMIRATES —GRASS GROWTH BY MOISTURE ABSORBENT TEXTILE AND EFFECT OF GREENING ON HEAT AND MOISTURE CONDITIONS—

高野保英* 福原輝幸**

Yasuhide TAKANO and Teruyuki FUKUHARA

ABSTRACT ; A grass growth test using a Moisture Absorbent Textile (MAT) has been carried out in the United Arab Emirates (U.A.E.) since 1996 to confirm the suitability of MAT for greening in arid regions. Meteorological data and sub-surface data were collected of a grass-covered site to provide information on the differences in heat and moisture regimes for applications in an arid region. It was found that the grass growth rate and vegetation density were increased because of the improved moisture retentivity of the resulting from presence of the MAT. As an additional benefit, air temperature over the grass surface was found to be lower, while relative humidity was higher than for the bare soil surface.

Additional tests carried out in the city of Dubai, U.A.E. to confirmed this effect.

KEYWORDS ; greening of arid region, Moisture Absorbent Textile, climate relaxation

1. はじめに

地球温暖化あるいは砂漠化といった地球環境問題への対応として、乾燥地緑化の取組みが世界の様々な地域で試みられている。乾燥地における緑化には、新たな食物生産、二酸化炭素固定化の促進あるいは乾燥地の厳しい気候の緩和といった効果が期待される。当然ながら乾燥地において“水”は貴重な資源であり、緑化あるいは植栽の際には節水灌漑を行い、水資源の有効利用を図ることが重要となる。

このような問題点を踏まえて、筆者らは吸水性繊維物 (Moisture Absorbent Textile, 以下MATと呼称) を開発し、MATを土壌内に布設することで土壌からの蒸発 (水分損失) が抑制される¹⁾²⁾こと、および芝の生育が良くなること³⁾を室内実験より確認した。そこで次のステップとして、乾燥地でのMATを用いた緑化の実証化を目的として、1996年よりアラブ首長国連邦 (U.A.E.) においてメロンおよび芝の生育試験⁴⁾⁵⁾を行っている。その結果として、MATを布設した区画ではMATを布設しない区画に比べて芝の密生度が高く、その成長も速くなること⁴⁾を示した。本報ではさらに両区画の表層土壌水分量の比較から、MATの有無による土壌保水性の違いと芝の生育の関係を調べ、MATによる節水栽培への有効性を検討した。

また、緑化あるいは植栽には一般に気候緩和の効果が期待され、近年、日本国内の都市における緑化による熱環境改善に関する研究⁶⁾が行われているが、ここでは生育試験と同時に行われている裸地、芝地における微気象観測および土壌熱・水分計測⁷⁾⁸⁾結果の比較から、乾燥地において芝の植生が大気および土壌の熱・水分環境にどのような変化を与えるかを調べる。

さらに、U.A.E.中部に位置する都市Dubaiにおいて気温・湿度観測を行い、乾燥地の都市における緑化による気候緩和を調べた。

* ; 福井大学大学院工学研究科博士後期課程 Program for Doctor's Degree, Graduate School of Engineering, Fukui Univ., ** ; 福井大学工学部 Fac. of Architecture and Civil Engineering, Fukui Univ.

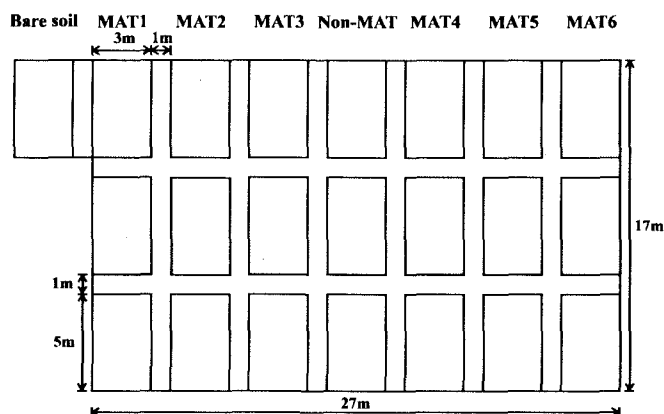


図-1 芝生育試験圃場の概略図

2. 乾燥地におけるMATを用いた芝の生育試験⁴⁾⁷⁾

2.1 試験地および生育試験の概要

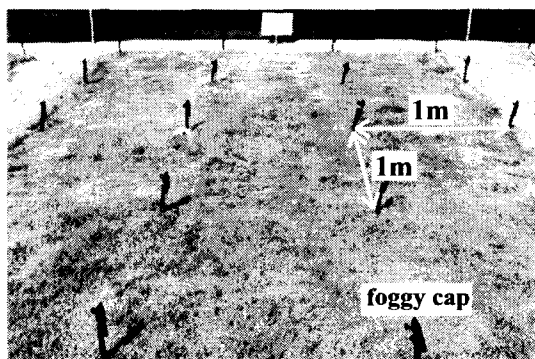
試験地はU.A.E.のRas Al Khaimah首長国にある連邦農漁業省北部農業試験場にあり、その面積は約600m²である。当地の年間降雨量は100mm程度であり、気象特性については参考文献⁷⁾を参照されたい。試験地の土壌はsandy loam (平均粒径 0.08mm) とsandy soil (平均粒径 0.22mm) に分類され、芝の生育試験は前者の圃場にて行われた。

MATは、構造あるいは素材等が異なる計6種類であり、それぞれ3区画 (1区画3m×5m) の土壌内 (地表面下約0.1m) に布設される (MAT区画)。さらに、比較のためにMATを布設しない区画 (基準区画) を3区画および裸地区画を1区画設けて、合計22区画が用意される (図-1参照)。芝の播種 (1区画当り60g) は1996年2月に行われ、以後、基本的に毎日地下水を霧状で1時間散水し (5ℓ/m²/hr)、10日に1回程度の頻度で肥料や除虫剤を与える。試験期間中、芝丈は定規により測定され、生育状況や密生度は写真およびビデオに収録される。詳細については参考文献⁴⁾を参照されたい。また、土壌の保水性の違いを検討するため、表層土壌の体積含水率の測定がサンプリング法により行われ、各区画の表層2cmの土壌が採取される (基準およびMAT区画については土壌表面が現れている部分が選ばれる)。

2.2 芝の生育試験結果

写真-1は、播種35日後の芝の生育状況をMATおよび基準区画についてそれぞれ示したものである。基準区画の芝の密生度は、MAT区画のそれに比べて低いことがわかる。表-1は播種後の平均芝丈の経時変化を示す。芝丈はMAT区画の方が基準区画に比べて常に長く、成長もMAT区画の方が優れていることが知れる。芝丈については、播種からおよそ1ヶ月半経過すると両区画の差はほとんど観られなくなるが、前述の密生度の違いは3ヶ月経っても確認できる。

次に、1996年3月17日 (1996/3/17、播種21日後) の7:00から18:00に渡る、裸地、基準およびMAT区画の表層土壌体積含水率 θ の経時変化を、図-2に示す。前日の夕刻に散水が行われ、当日は終日快晴であった。



(a)MAT区画



(b)基準区画

写真-1 芝の生育状況 (播種35日後)

表-1 平均芝丈の経時変化

経過日数	MAT区画	基準区画
10日	1.6 cm	1.0 cm
20日	3.8 cm	3.1 cm
25日	7.7 cm	6.7 cm

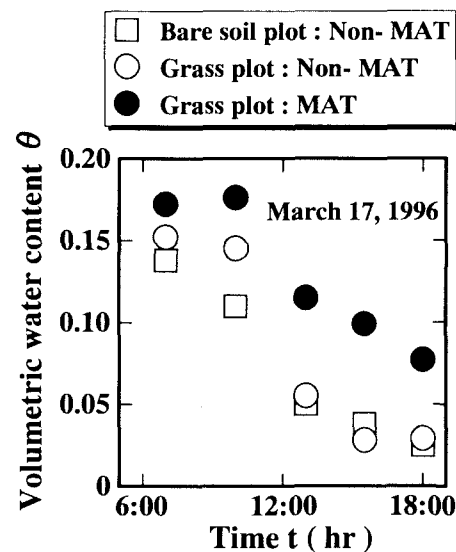
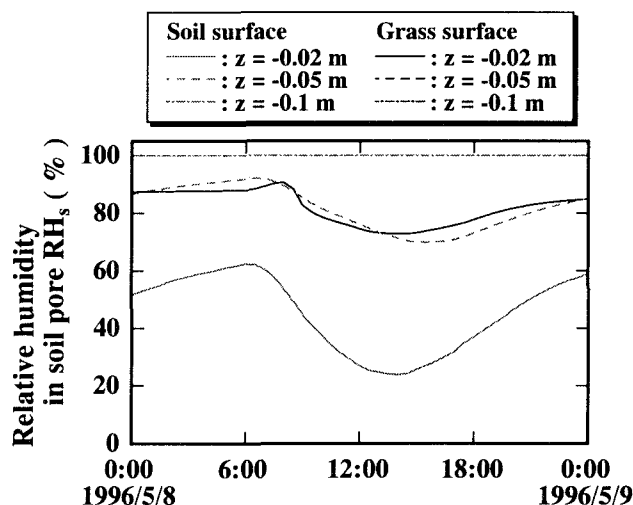
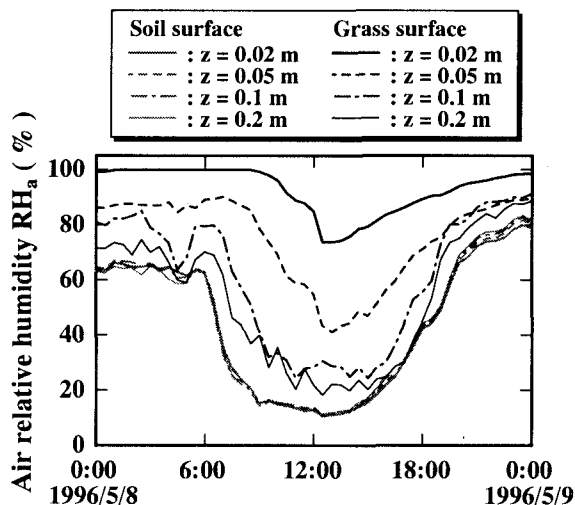


図-2 表層土壌体積含水率の経時変化 (1996/3/17,7:00~18:00)



(a)大気の相対湿度

(b)土壌内の相対湿度

図-3 裸地および芝地における相対湿度経時変化 (1996/5/8,0:00~5/9,0:00)

また、この頃には上述した芝の密生度および成長速度の違いは既に明確であった。同図より、MAT (●) および基準 (○) 区画の θ は12:00前後から急激に減少するものの、MAT区画の θ は、基準および裸地 (□) 区画のそれに比べて常に高く、午後では2倍以上になる。よって、MATを布設した区画の表層土壌は、比較的長時間に渡って高い土壌水分量を維持することが確認され、この保水性の違いが、芝の密生度および成長速度の差を生むと推察される。なお、表層土壌の保水性の違いと植生の生育の関係については、筆者らが引き続いて同地で行った、MATを用いたメロンの節水栽培試験においても同様の結果が得られた⁹⁾。

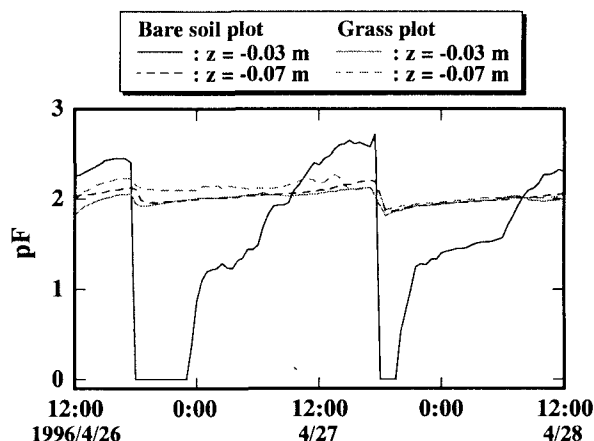


図-4 裸地および芝地の土壌 pF の経時変化 (1996/4/26,12:00~4/28,12:00)

3. 乾燥地における緑化による熱・水分環境変化の検討⁷⁾

3.1 微気象観測および土壌熱・水分計測の概要

乾燥地における緑化による大気および土壌の熱・水分環境の変化を検討するために、芝の生育試験圃場を利用して裸地、芝地の微気象観測および土壌・熱水分計測が行われる。

裸地における計測は1996年3月より開始され、大気および土壌中の温度、相対湿度、日射量、天空長波放射量、アルベド、風速および土壌水分量が連続的に測定される。詳細については参考文献⁷⁾を参照されたい。芝地における計測は、裸地との比較を目的としており、上記の生育試験圃場にて1996年4月下旬より約1ヶ月間に渡って連続的に行われる。大気および土壌中の温度および相対湿度は8本の温・湿度センサー (VISALA製および

TESTO TERM製) により、土壌水分量 (pF) は8本のテンシオメータ (大起理化製) により、芝地表面のアルベドは裸地に設置されたアルベド計 (英弘精機製) を随時芝地に移動することによりそれぞれ測定される。

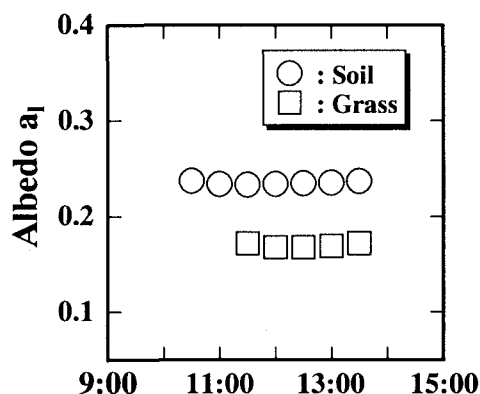


図-5 裸地および芝地面のアルベドの経時変化

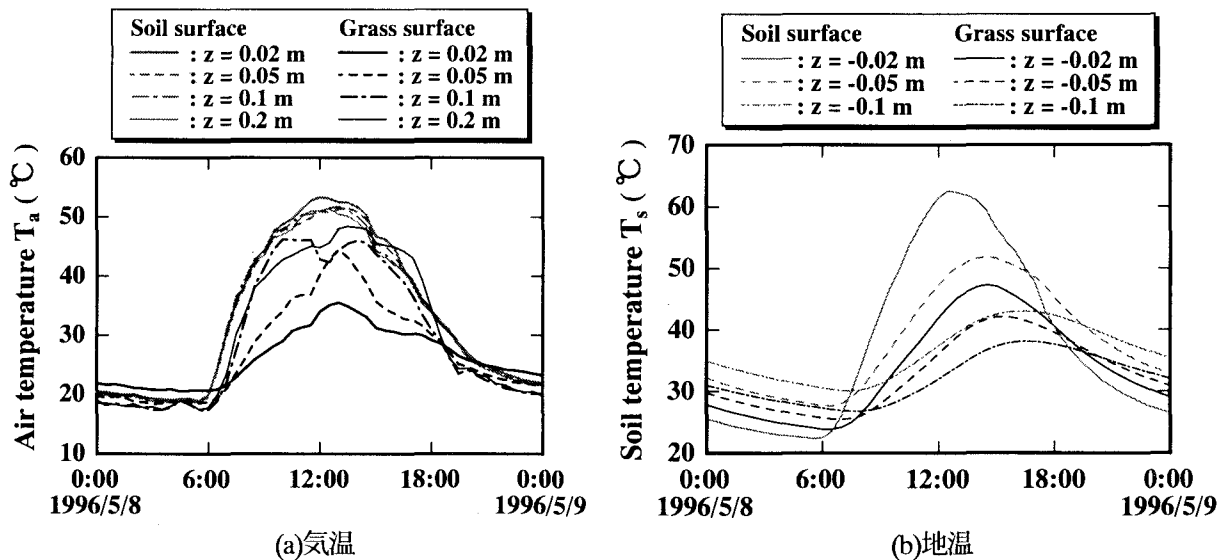


図-6 裸地および芝地における温度経時変化 (1996/5/8,0:00~5/9,0:00)

3.2 水分環境の変化

裸地および芝地上大気の任意の高度における相対湿度 RH_a の経時変化を図-3 (a)に、土壌内の任意の深度におけるそれ RH_s の経時変化を図-3 (b)にそれぞれ示す (1996/5/8,0:00~5/9,0:00, この期間中、灌水無し)。

図-3 (a)を観ると、日中における芝地の RH_a は、どの高度でも裸地のそれに比べて高いことが判る。例えば、地表面直上0.05m ($z = 0.05m$) における13:00の RH_a を比較すると、裸地上では約10%であるのに対して芝地上では約40%であり、30%程度の差が生じている。また、同時刻の $z = 0.2m$ の RH_a を比べても、10%程度の差があることが判る (裸地上約10%, 芝地上約20%)。この違いは、芝の葉からの蒸散により直上大気相対湿度が高くなるために生じると考えられる。

また、図-3 (b)の土壌内の相対湿度に注目すると、芝地の地表近傍 ($z = -0.02m$) の RH_s は、裸地のそれに比べて終日高く、最大約50% (14:00頃)、最小でも約20% (7:00頃) の差がある。従って、芝地の表層土壌水分量は裸地のそれに比べて、高い状態が維持されていることが予想される。なお、それ以深の両者の相対湿度には、あまり大きな違いは観られない。

次に、裸地および芝地の任意の深度における pF の経時変化を図-4に示す (1996/4/26,12:00~4/28,12:00)。4/26および4/27の夕刻 (18:00前後) に灌水が行われているが、両日とも灌水後、裸地地表近傍 ($z = -0.03m$) の pF が急激に低下して0になり、表層土壌は飽和状態になる。一方、芝地における同深度の pF はそれほど低下せず、約1.8となり、芝の葉の遮水効果による灌水の土壌内への浸透の抑制が確認される。灌水から数時間経つと、裸地地表近傍の pF は急激に上昇し始め、その上昇は深夜に到って緩慢になるが、翌朝6:00頃から再び顕著となる。しかし、芝地地表近傍の pF は1日を通じて緩やかに上昇し、9:00以降は裸地のそれよりも低くなる。このことより、芝地においては、日中の表層土壌水分量の低下が抑制されることが知れる。

3.3 熱環境の変化

熱環境の変化を検討するに当たって、まずその重要な支配要因であるアルベド a_i について考察する。図-5は、裸地面および芝地面のアルベドの経時変化 (南中時前後) を示す。同図中、裸地面については1996/4/19~4/25の、芝地面については1996/4/26~5/1の平均値である。裸地面および芝地面の a_i はそれぞれ0.18および0.23であり、芝地面の a_i の方が小さく、芝地面は裸地面よりも日射を吸収し易い。

裸地および芝地上の任意の高度における気温 T_a の経時変化を図-6 (a)に、任意の深度における地温 T_s の経時変化を図-6 (b)にそれぞれ示す (1996/5/8,0:00~5/9,0:00)。

図-6 (a)から、日中の芝地の T_a は、どの高度においても裸地上大気のそれに比べて低いことが知れる。例えば、13:00の $z = 0.05m$ における T_a を観ると、裸地上では約52℃であるのに対して芝地上では約44℃で

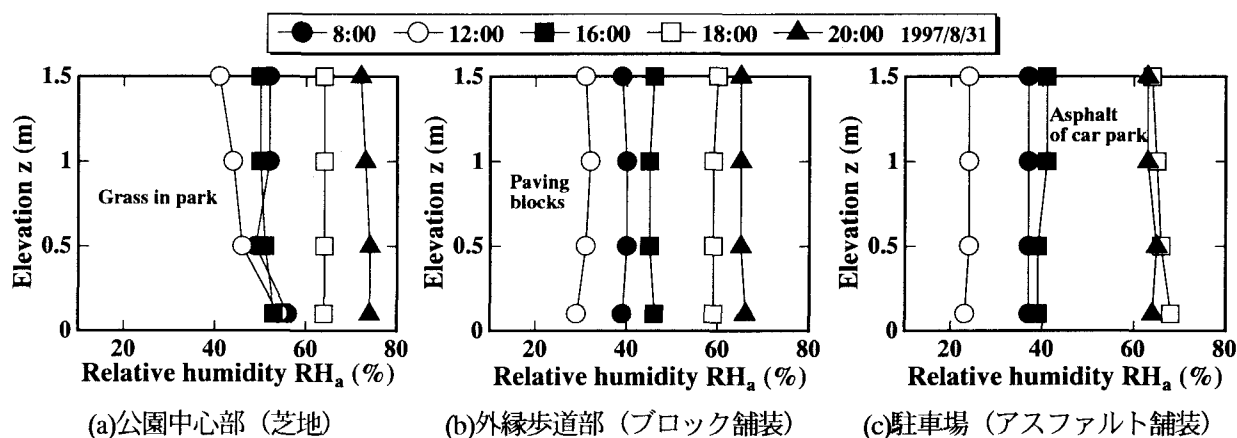


図-7 大気の相対湿度鉛直分布の経時変化 (1997/8/31, 8:00~20:00)

あり、 8°C 程度の差がある。また、同時刻の $z=0.1\text{m}$ の T_a を比較しても、約 7°C の差があることが判る（裸地上約 52°C 、芝地上約 45°C ）。日中、芝の葉は日射を吸収し易いものの、上述した蒸散効果により芝の葉自体の温度上昇が抑えられ、芝地上の気温の上昇も抑制されることが知れる。

また、地温 T_s （図-6 (b)）を両者で比較しても、日中においてどの深度でも、芝地の T_s の方が裸地のそれに比べて低い。例えば、12:00の地表近傍 ($z=-0.02\text{m}$) では両者の間に 20°C 程度の差がある。これは、芝の葉の日射吸収および日射遮蔽効果によるものである。

以上より、裸地、芝地における微気象観測および土壌熱・水分計測から、緑化による熱・水分環境の変化が確認された。

4. 乾燥地の都市における緑化による熱・水分環境変化の検討

4.1 観測地および観測概要

上記の芝の植生に伴う熱・水分環境変化の確認という結果を踏まえて、U.A.E.のDubaiにおいて気温・湿度観測を行い、乾燥地の都市における緑化による熱・水分環境の変化の検討を行った。

DubaiはU.A.E.中部に位置する中東でも有数の大都市であり、街路樹の整備が進み、芝地を有するゴルフ場や緑地公園も数多く存在する。

気温・湿度観測は1997年8月31日に行われ、気温および相対湿度の鉛直分布が、Dubaiの中央部に位置する緑地公園のほぼ中央（芝地）、そこから約100m離れた外縁歩道部（ブロック舗装）および約450m離れたショッピングセンターの駐車場（アスファルト舗装）の3地点において、8:00から20:00にかけて1~2時間毎に温・湿度センサー（SHINYEI製）により測定される。なお、当日の天候は終日快晴であった。

4.2 観測結果

各地点における大気相対湿度 RH_a の鉛直分布の経時変化を図-7 (a)~(c)に、気温 T_a のそれを図-8 (a)~(c)にそれぞれ示す。

まず、大気の相対湿度について3地点で比較すると、図-7 (a)に示される日中の芝地の RH_a は、どの高度でも他の2点に比べて常に高いことが判る。この違いは、3.2で述べた芝の葉の蒸散効果によるものである。

次に、気温について観ると、図-8 (a)に示される日中の芝地の T_a は他の2地点に比べて最も低く、特に地表付近 ($z=0.02\text{m}$) で顕著である。例えば12:00について観ると、ブロック舗装面上の T_a は約 63°C 、アスファルト舗装面上のそれは約 68°C であるのに対して、芝地のそれは約 40°C である。当日は日陰に居ても、日向のアスファルト舗装面からの輻射熱が強く感じられ、上述の地表面付近の気温の違いが実感された。

以上より、乾燥地の都市においても、芝による局所的な気温上昇および湿度低下の抑制（気候緩和）が確認された。

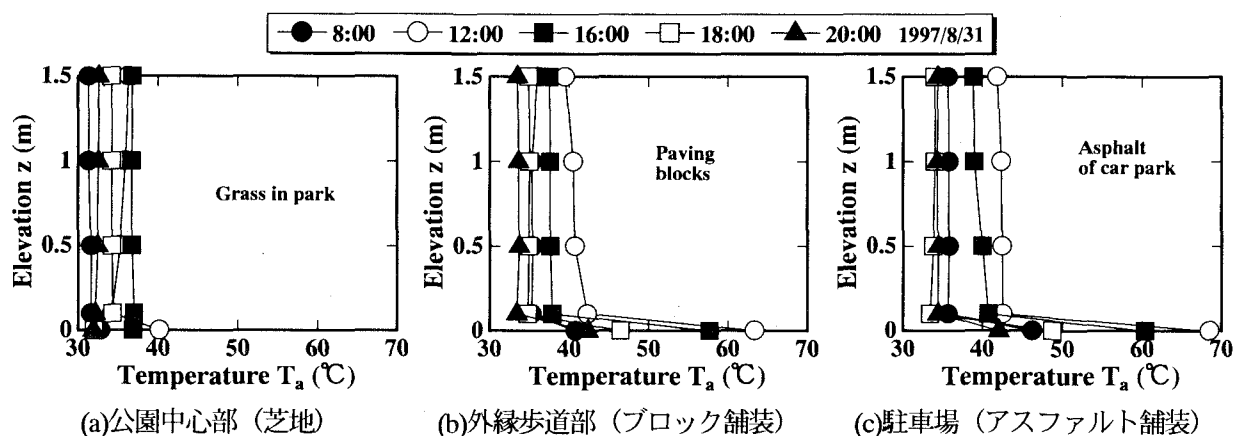


図-8 気温鉛直分布の経時変化 (1997/8/31, 8:00~20:00)

5. 結論

砂漠化問題への対応として吸水性繊維物 (MAT) による乾燥地緑化を提案し、アラブ首長国連邦 (U.A.E.) において MAT を用いた芝の生育試験を行った。また、同時に行われた裸地、芝地での微気象観測および土壌熱・水分計測を通じて、乾燥地における芝の植生に伴う大気および土壌の熱・水分環境の変化を検討した。さらに、Dubai において気温・湿度観測を行い、乾燥地の都市における緑化による熱・水分環境の変化を調べた。以下に結果を要約する。

- (1) MAT を用いた芝の生育試験より、芝の植生は成長速度および密生度ともに、MAT を布設した区画の方が布設していない区画に比べて良くなることが判った。また、表層土壌体積含水率の経時変化より、MAT を布設した区画では土壌の保水性が向上し、これが上述した芝の生育の良化を生む。
- (2) 芝地上大気の冷温・加湿効果、あるいは芝地表層土壌の冷温・保湿効果が確認され、乾燥地における緑化による気候緩和の可能性が確認された。

最後に、本研究の遂行に終始御尽力を頂いているアラブ首長国連邦農漁業省政務次官補の Mutawa 氏、同省北部地域監督官の Abdulla Khalfan 氏、北部農業試験場長の Mansool 氏、福井県工業技術センターの黒川和男氏、笠嶋文夫氏および (株) アサヒテクノス、ウラセ (株)、酒清繊維物 (株) の各社に謝意を表する。

参考文献

- 1) 福原輝幸, 黒川和男, 高野保英: 吸水性繊維物布設法による砂層内水分分布および蒸発制御, 第48回土木学会年次学術講演会概要集, CS-79, pp.34-35, 1993.
- 2) 福原輝幸, 黒川和男, 高野保英: 吸水性繊維物布設法による砂層内蒸発抑制とそのメカニズム, 水工学論文集, Vol.38, pp.871-874, 1995.
- 3) 高野保英, 福原輝幸, 黒川和男: 吸水性繊維物布設法による芝の植生試験, 第50回土木学会年次学術講演会概要集, VII-258, pp.516-517, 1995.
- 4) 野上善弘, 福原輝幸, 松本耕平, 坂田信也, 黒川和男: 吸水性繊維物 (MAT) による乾燥地緑化の実証的研究—U.A.E.における芝の緑化—, 第52回土木学会年次学術講演会概要集, VII-24, pp.48-49, 1997.
- 5) 野上善弘, 福原輝幸, 松本耕平, 高野保英: アラブ首長国連邦における吸水性繊維物布設法による節水灌漑とメロン栽培, 第53回土木学会年次学術講演会概要集掲載予定.
- 6) 例えば, 梅干野晃, 何江, 堀口剛, 王革: 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験的研究第1報, 日本建築学会計画系論文集, No.462, pp.31-39, 1994.
- 7) 高野保英, 福原輝幸, 黒川和男: 中東の乾燥地土壌中の熱・水分移動特性と蒸発・乾燥過程—アラブ首長国連邦における気象観測および土壌熱・水分計測—, 水工学論文集, Vol.41, pp.221-226, 1997.
- 8) アラブ首長国連邦における現地気象・水分観測—土壌温湿度法による灌水後の土壌蒸発・乾燥過程の評価—, 水工学論文集, Vol.42, pp.91-96, 1998.