

夏季の乾燥地における大規模灌漑緑地の気象観測と環境評価

Analysis on the environment at an irrigated land in arid area in summer

藤野 毅*・浅枝 隆**・和氣 亜紀夫***

by Takeshi FUJINO, Takashi ASaeda and Akio WAKE

ABSTRACT; Meteorological field observations were conducted at an irrigated alfalfa farm in arid area to evaluate the mitigation caused by the farm effect against the intense heat in summer. Atmospheric on the farm was always in stable conditions. The atmospheric temperature decreased 5 degs. from the upwind edge of the farm to its downwind edge. These phenomena were well reproduced by the turbulent closure model. Evapotranspiration from the farm was estimated to be 11 mm/day, which was reasonable value in comparison with other estimated value in arid area.

KEYWORDS; arid area, irrigation farm, evapotranspiration, water management

1. はじめに

極度に高温で乾燥した夏季の砂漠域の生活環境は、特に厳しいことがよく知られている。現地の住民は、より気候が穏やかな沿岸域に集中して暮らしているのが現状であるが、人口増加と砂漠化の進行が加速する昨今では、土地活用のために砂漠の部分的な改善も試みられている。その改善の1つの例に灌がい緑化がある。その中には、すでに農作物が生産されている土地もいくつか存在し、そこでは十分な水の供給がなされているため、水文特性として水分の蒸発散が盛んに生じていることが報告されている^(1,2)。従って、生活環境の視野からでは、このような土地がある程度空間的な広がりを持てば、周囲の砂漠域と比べて微気象の改善が期待される。さらに、水分の蒸発散量と熱環境の改善度の関係を定量化することは、今後の乾燥地の水資源計画を考えるにあたって極めて重要である。そこで本研究では、夏季において砂漠域に存在する広域灌漑緑地(アルファルファ農場)の熱環境を評価するために気象観測を行い、その時空間特性について調べた。さらに、熱環境の改善の効果を数値モデルによって検証することを試みた。

* 学生員 工修 埼玉大学大学院

(〒338 浦和市下大久保 255)

** 正会員 工博 埼玉大学助教授 理工学研究科 環境制御工学専攻

*** 正会員 Ph.D 清水建設技術研究所

(〒135 江東区越中島 3-4-17)

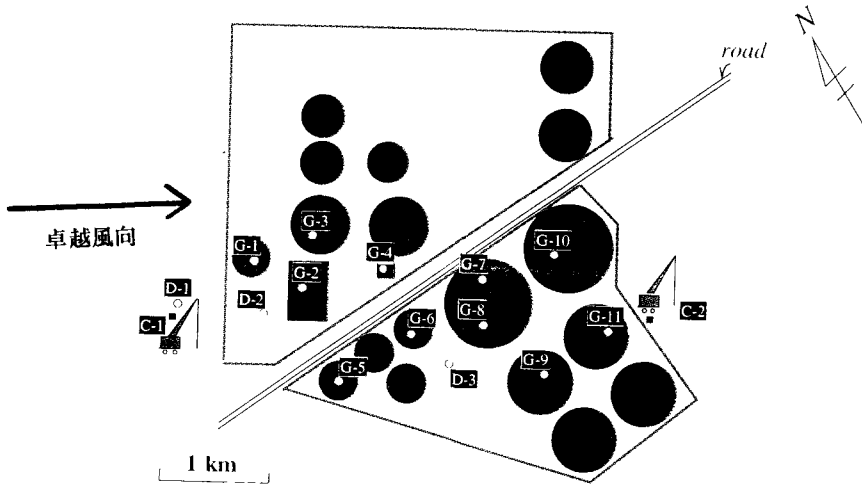


図-1 観測地概要図（○および□はアルファルファ農場部分を示す。）

2. 観測方法

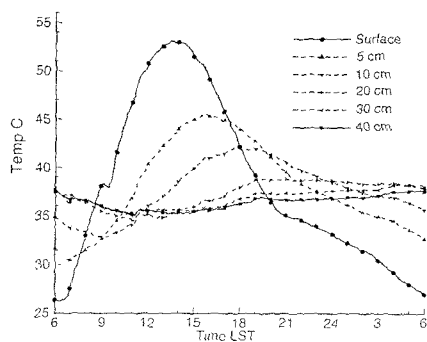
気象観測は、1995年8月28日から9月4日まで8日間行われた。観測場所は、クウェート国スライビア地区に存在するアルファルファ農場内(東経47°・北緯29°)とその周辺の砂漠を対象とした。農場の敷地はおよそ3km四方であり、その内部に、半径220mから490mの円形のアルファルファ農地(以下、緑地と称する)が多数点在している。水の供給方法は、生活排水処理水を用いて、巨大な巡回式スプリンクラーにより1日当たり約12mmの散水が行われている。アルファルファは発芽から21日間で刈り取られ、その草丈は約40cmまで成長する。図-1に観測地の概要を示す。

測定項目は、緑地面と農場外の砂漠面それぞれに対する全天日射、アルベド、放射収支、気温、湿度、風向・風速、土壌温度、含水比である。ここで、気温測定では、ロガー付き温度センサーを農場内の緑地に12ヶ所、砂漠地に1ヶ所設置した。また、土壌温度測定では熱電対温度センサーを埋設し、緑地と砂漠地に各1地点ずつ、深さ40cmまで測定を行った。また、基準点となる砂漠地での観測は、観測期間中の卓越風向が常に北西であるため、常に緑地の風上になる状態で行われた。さらに、緑地面上を通過した後の大気境界層の変化を調べるために、風上の砂漠面上と風下の緑地を過ぎた直後の砂漠面上において、クレーンを用いて高さ50mまでの気温を24時間連続して測定した。

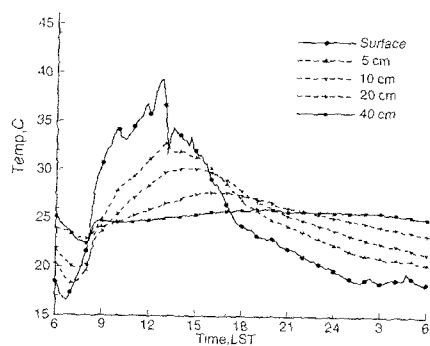
3. 観測結果

3.1 地表面温度と放射収支

観測期間中は全日、雲も無く快晴であった。まず、図-2に、砂漠地と緑地の地中温度の日変化を示す。これより、砂漠地の表面温度は55℃前後まで達したのに対し、緑地では35℃前後に留まった。ここで、時折緑地の温度が著しく低下するのは、観測地点に巨大なスプリンクラーによる散水が行われたためである。また、深さ40cmでの値は、砂漠地と緑地でそれぞれ37℃と25℃であり、地中内部ですでに10℃以上の差が生じていた。次に、図-3に両地面における放射エネルギー収支を示す。砂漠面の日中のアルベドは0.3以上に達し、緑地の0.15と比較し3割も高い。また、地面からの赤外放射($\varepsilon = 0.95$ で地表面温度から換算)も砂漠面で高くなるため、日中の砂漠面に入力する正味放射量は緑地よりも200 W/m²程度も低かった。



(a) 砂漠地



(b) 緑地

図-2 土壌温度の日変化

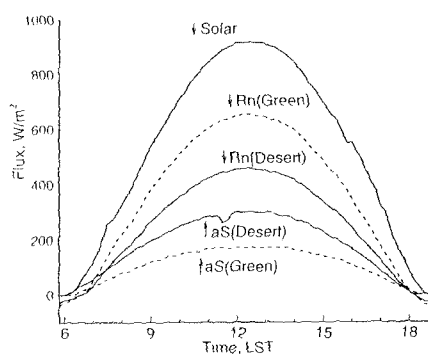


図-3 日射量(S)・日射の反射(aS)・放射収支量(Rn)

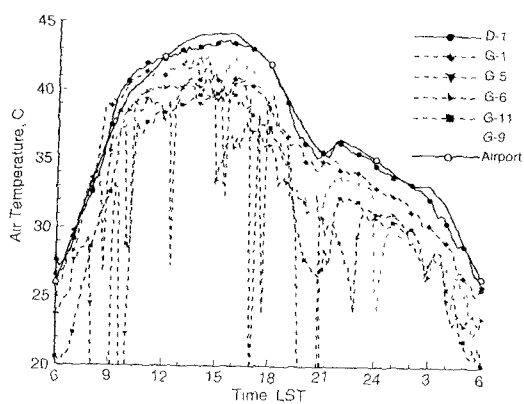


図-4 気温の日変化

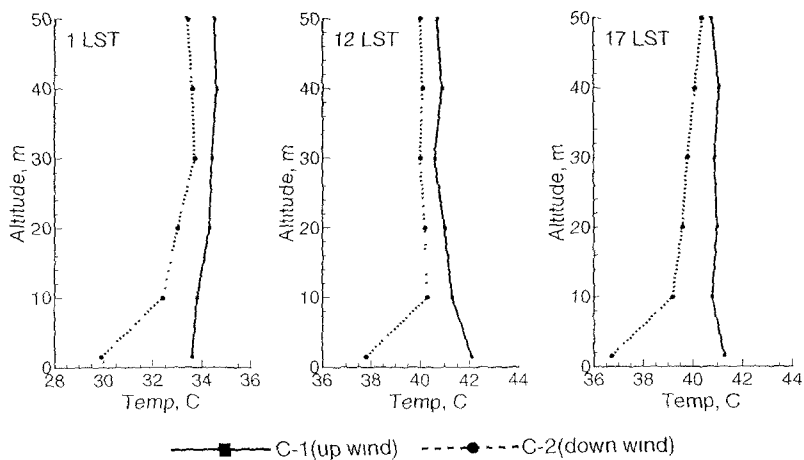


図-5 鉛直気温分布

3.2 地上気温

図-4に、砂漠地と数ヶ所の緑地の気温の日変化を示す。参考として、内陸で50km以上南に位置する砂漠内のクウェート空港での気温も記した。この場所と観測を行った砂漠地での気温の変動及び絶対値は、どの日もよく一致しており、砂漠の観測地点として、この周辺地域の気候を代表する場所であったといえる。次に、緑地の気温は、どれも砂漠地よりも完全に下回っていることがわかる。ここで、各緑地での気温を比較すると、風下に位置するほど低くなる傾向が確認できる。日中、砂漠面では最高44℃まで達したのに対し、最も風下側の緑地では39℃以下に抑えられている。

3.3 気温の鉛直分布

図-5に、高さ50mまでの気温の鉛直分布を示す。これより、どの高さにおいても風下側の方が風上側よりも気温が低くなっていることがわかる。まず高さ10m以下では、両者には大きな温度差があることが予想できる。特に緑地では、地表面温度が常に大気よりも低いので、日中も安定層が形成されている。この成層は、夜間になるといっそう強まる。一方、高さ10mから上では、1℃以上の温度差が生じるときもあれば、ほとんど差がない状態にもなる。いずれにしろ、高さ10m以下で生ずる大きな温度差は、もはや存在しなくなる。

4. 数値計算

観測で得られたデータを基に、この領域の気象解析を大気乱流モデルを用いて行った。方程式は Mellor and Yamadaのレベル2.5乱流クロージャーモデル⁽³⁾を用い、差分法により解析した。境界条件として、地表面温度は熱収支式と熱伝導方程式により求めた(方程式は藤野ら(1994)に記載)。土地利用は砂漠地と緑地の2種類とし、それぞれの表面アルベド、地中熱伝導率、熱容量を与え、さらに緑地のみ蒸発散を考慮し、 β 法⁽⁴⁾により評価した。ここで、緑地の水収支を考える上では、蒸発散の見積りにはより物理的、かつ詳細なモデルによる検討が好ましいが、本研究では大気の混合過程を評価することが目的であり、しかも水分は地中からではなく散布されるという条件から、既存の観測データに基づき、簡略化したパラメータを用いた手法に止めた。計算領域はバックグラウンドの気象条件を考慮するために、水平方向には20km×28kmの長方形領域を対象として、これを400m四方のメッシュに分割し、さらに、その中に観測の対象領域である4km×7kmの領域を100m四方のメッシュで分割した。高さ方向には4000mまで不等間隔で25層に分けた。計算は9月3日を対象に、午前5時から49時間の積分計算を行い、2日目の24時間分の結果について考察した。各初期条件には観測値の他、気温や風の鉛直分布はクウェート空港で観測された値を用いた。

5. 計算結果および考察

5-1 気温・風ベクトルの空間分布

図-6,7,8に15時の地表面温度分布、地上気温・風ベクトル分布、及び気温・風ベクトルの鉛直分布をそれぞれ示す。まず、地表面温度は鉛直1次元解析によるものだが、全体として砂漠地と緑地でそれぞれ均一な温度分布であることが示された。すなわち両者の境界は、かなり明確に確認することができる。ここで、緑地について各地点を厳密に比べると、風下に行くほど温度は高くなる傾向にある。これは、図-7,8で風速を見ると、風下の方が弱くなっており、地面からの熱輸送量が小さくなったためである。次に、地上気温では、風下に行くほど低くなる様子が再現された。地上レベルの気温は、地表面温度を観測値と合わせた結果、風上からの熱風が冷気塊と混ざり合い、最終的に風上の砂漠から風下端の緑地まで、5℃程度の温度低下が算出された。最後に、高さ50mまでの鉛直分布では、観測値で見られたように、砂漠と緑地の大きな温度差は接地层と呼ばれる高さ10m程度までに現れ、それより上では風下に行くほど気温の低下は確認できるが、その度合は小さくなる。これは、夏季の砂漠気候の特徴として、数100m上空には40℃程度の高温の混合層が存在しており⁽⁷⁾、緑地面付近の安定層の上には中立状態の大きな対流が生じているためである。さら

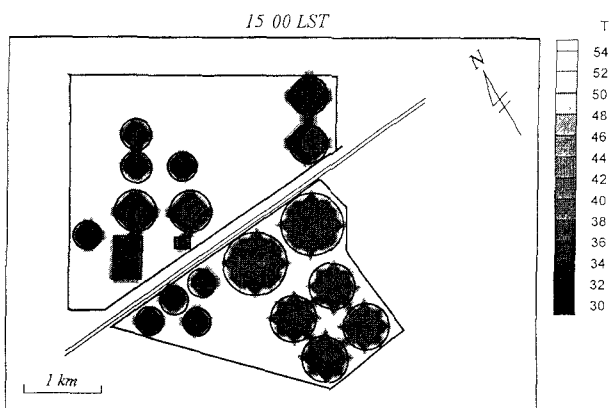


図-6 地表面温度分布図

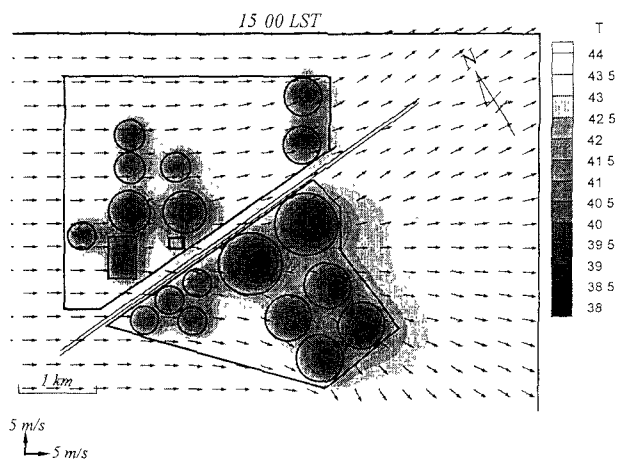


図-7 気温(1.5m)・風ベクトル(6m)分布図

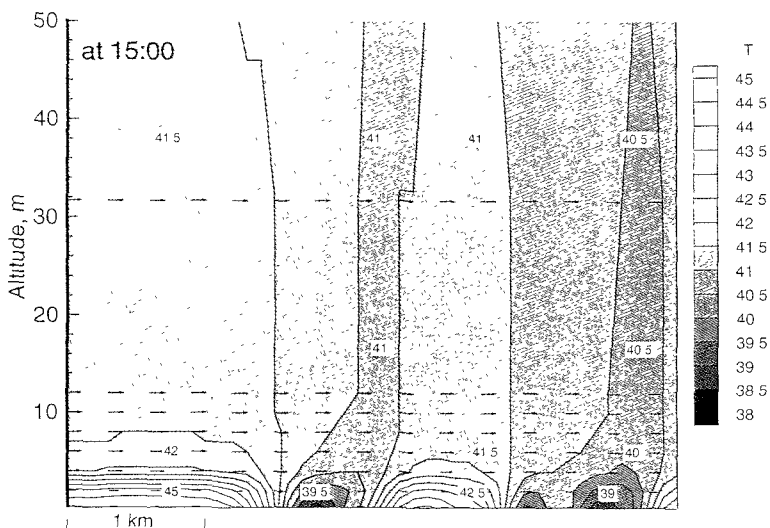
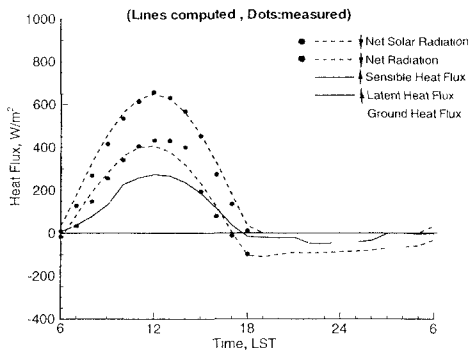
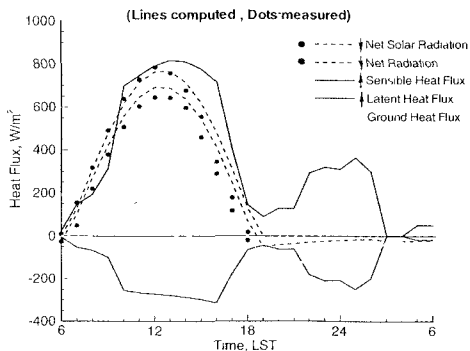


図-8 気温・風ベクトル鉛直分布図(中央断面)



(a) 砂漠面



(b) 緑地面

図-9 地表面の熱収支

にこの緑地によるさらに風下側の砂漠地への冷却の効果は、そこでは強い対流が生じているために急速に弱まる。このような現象は、武若ら(1993)が行った都市河川による風下地域への冷却がわずか100m程度という報告と一致している。

5-2 熱フラックス特性

最後に、図-9に地表面の熱収支を示す。これより、砂漠面では日中の正味放射量が 400W/m^2 程度と小さいが、水分の蒸発が無いために最大 200W/m^2 程度の顕熱輸送が生じている。これに対し、緑地面では、正味放射量が多く、さらに負の顕熱輸送が生じている。観測では、厳密な熱収支が見積られなかったが、計算結果によると正味放射の大部分が潜熱輸送にとってかわり、その最高値は 800W/m^2 程度に及ぶ。ここで、既存のアルファルファ農場からの潜熱フラックスの推定値と比較すると、Normanら(1978)の報告では、夏季のアメリカのネブラスカにおいて最高 900W/m^2 前後にまで達し、Van Bavel(1966)は、夏季のアリゾナにおいて 800W/m^2 前後にまで達している。これらは、本観測の気象条件と全く同じではないが、正味放射量以上の熱が潜熱輸送に変換することなど、アルファルファからの蒸発散量に関しては不自然な結果ではない。この場合の1日の水分蒸発量は約11mmになる。この量は1日に散布される処理水の実に90%程度である。

6. おわりに

夏季の砂漠域内の灌がい緑地は、空間的な広がりがあれば、局所的な微気象の緩和効果は明確に認められることが分かった。また、蒸発散の見積りは必ずしも厳密ではないが、モデルは観測で得られた事象をまずまずの精度で再現した。これを踏まえて、緑地規模の大小による影響など、乾燥地内の緑地効果についての水文予測も可能であるといえる。

参考文献

- 1) C.H.M Van Bavel: Potential Evaporation: The Combination Concept and Its Experimental Verification, Water Resources Res., Vol.2, No. 3, pp.455-467, 1966.
- 2) Norman J. Rosenberg and Shashi B. Verma: Extreme Evapotranspiration by Irrigated Alfalfa: A Consequence of the 1976 Midwestern Drought, J. Applied Meteor., Vol.17, pp934-941, 1978.
- 3) G.L.Mellor and T.Yamada: A hierarchy of Turbulent Closure Models for Planetary Boundary Layers, J. Atmos. Sci., Vol.31, pp1791-1806, 1974.
- 4) Kondo J., Saigusa N., Sato T.: A Parametrization of evaporation from bare soil surface, J Atmos. sci., 1990.
- 5) 藤野毅・浅枝隆・和氣亜紀夫: 灌がい緑化による砂漠域の微気象緩和効果に関する検討, 環境システム研究, No. 23, pp. 223-228, 1995.
- 6) 武若聡・池田駿介・平山孝浩: 都市河川による大気冷却効果, 土木学会論文集, No.479, II-25, pp.11-20, 1993.
- 7) 蒲生稔: 砂漠の自由対流境界層について, 公害, Vol.27, No.1, pp.47-54, 1992.