

乾燥地域における自然環境要素の特性について
——二三の気象要素の解析——

山本 太平* · 山村 善洋**

Characteristics of Natural Environmental Elements
in Arid Land Areas
——Analysis of Some Meteorological Elements——

Tahei YAMAMOTO* and Yoshihiro YAMAMURA**

Summary

In general, arid land areas are defined as the areas in which the potential evapotranspiration is more than precipitation. Studies on agricultural problems of arid land areas are always necessary to analyze and understand natural environmental elements in these areas. In order to make clear the meteorological characteristics of arid land areas, this paper analyzed meteorological elements; solar radiation, air temperature, soil temperature and precipitation in arid and humid land areas.

In discussing these elements, the authors noticed that the flux of solar radiation at the outer limit of the atmosphere is equal on all geographical points on the same latitude of the earth. As a result, two areas were selected. The first was Shavour and Haft Tappeh of Khuzestan in Iran as an arid land area and the second was Kochi, Fukuoka and Miyazaki in Japan as a humid land area.

The results are as follows.

1. The maximum amount of daily solar radiation in each month are almost the same in Haft Tappeh and Kochi. However, the monthly mean amount of daily solar radiation are different from each other, depending upon precipitation distribution.
2. Two peaks appeared on the curves of frequent distribution of daily air temperature and of soil temperatures in Shavour. These two peaks are considered to be one of the temperature characteristics of arid land areas.
3. Since annual ranges of soil temperature at the depth of 100 cm were smaller

* 砂丘利用研究施設乾燥地農学情報解析室

** 宮崎大学農学部農業水工学講座

* *Division of Arid Land Agricultural Information and Analysis*

** *Faculty of Agriculture, Miyazaki University*

than those of air temperature in Kochi and Shavour. It is estimated that this depth shows comfortable temperature environment throughout the year, regardless of weather it be an arid or humid land area.

4. In the case of Shavour, it is clear that the air temperature tends to increase faster than the increases of soil surface temperature in the summer season and tends to decrease slower than the decreases of soil surface temperature in the winter season.

5. The inversion of the soil temperature profile appeared at a depth of 10-20cm in Shavour. It is suggested that the inversion is dependent upon the factors of soil moisture profile, soil texture and vegetation.

ま え が き

乾燥地域の面積は地球上の全陸地面積の約31%を占める反面、現在の乾燥地人口は世界総人口の16%程度にすぎないといわれる⁶⁾。これは乾燥地域の厳しい自然環境が人類生存の制限要素になり、人間社会の人文・社会環境を支配しているためと推察される。この様な人文・社会環境を構成している種々の要素、すなわち民族、言語、宗教、政治、経済等は乾燥地自然環境下でそれぞれ独自の発達を示し、数多くのユニークな乾燥地文化を築いている。特に古代文明下に人類文化発祥の先駆的役割を果たしたことは周知のとおりである。この文明下、現在の乾燥地域にも比較的大胆な自然環境が存在し緑の豊かな大地と穀倉地帯が分布したと記録されている²⁾。これらの穀倉地帯のうち河口域に発達した沖積大平原では、古来塩類集積による沙漠化現象がみられ自然環境の破壊要因として取上げられている。近年乾燥地域における塩類沙漠化は、急速に拡大し年間数万～数十万haの面積に達するといわれる。これは、主に高温乾燥条件下における長期間にわたる灌漑・排水管理の不備に基づくものと指摘される⁷⁾。すなわち、乾燥地の自然環境と人文・社会環境の歴史的な変動に起因するものであろう。一般に乾燥地域の自然環境は湿潤地域の場合に比べ、人文・社会環境を左右する重要なパラメーターになっている。

乾燥地域の農学研究に主要な自然環境要素として、気象、土壌、水資源、水質、植生等があげられる^{8,9)}。乾燥地域は降水量が可能蒸発量を下回る地域とも定義されるが、わが国には乾燥地がないので、乾燥地

の自然環境要素は直接現地調査を行って観測するか、間接的に外国の文献資料等により収集する必要がある。自然環境要素のなかでも、気象要素は乾燥地域の自然環境特性を顕著に表すと考えられ、例えば高温乾燥のような気象条件はわが国では出現しえない特異な現象である。

本報では、乾燥地域の気象特性を明らかにするために、わが国と乾燥地域の気象要素を解析し比較検討を加えた。今回は、気象要素として、日射量、降水量、気温、地温を取扱った。

観 測

1) 研究対象地域・地点

対象地域として選んだのは、乾燥地域として、メソポタミア文明発祥の地と陸続きのイラン国南西部クーゼスタン州^{1,10)}であり、総面積630万haの沖積平原である。観測地点はこの州のShavourおよびHaft Tappehである。一方、わが国の観測地点は、高知、宮崎、福岡である。各観測地点の緯度、経度はTable 1に示す通りである。

両対象地域は、東西に1万km以上も離れているが同じ北半球のほぼ等緯度に位置し、それぞれ乾燥気候下および湿潤気候下と異なる気候帯に属している。

2) 観測方法および観測データ

わが国の観測方法は気象庁の観測法に準拠したもので、高知、宮崎および福岡の各気象台の観測データ^{3,9)}および高知大学農学部気象観測データ⁴⁾を参考にしている。

一方、イラン国のデータは日射量のみがHaft Tappehの観測値であり、気温、地温、降水量は、同

Table 1 Location of each observation field and specifications of meteorological data used in this paper

Observation field (Location)	Solar radiation daily amount	Air temperature	Soil temperature	Precipitation
Kochi (33°33'N, 133°32'E)	1960-1971	_____	1960-1979 (Measured at 0900)*	1960-1980
Miyazaki (31°55'N, 131°25'E)	_____	1941-1960 (Measured at 0900)	_____	_____
Fukuoka (33°35'N, 130°25'E)	_____	1926-1960 (Measured at 0900)	_____	_____
Haft Tappeh (32°04'N, 48° 27'E)	1960-1971	_____	_____	_____
Shavour (31°49'N, 48° 27'E)	_____	Mar., 1976-Sept., 1978 (Measured at 0630, 1230, 1830)		

* The data were measured in Kochi University.

国農林資源省 Shavour 土壌研究支所の気象観測露場の観測値を参考にしている。ただしこの露場は芝が植付けられ全面が一様な植生条件下にあるが、その植生を維持するため2~11月の間、月に1~2回ボーダー灌漑が行われた。この灌漑は地表面近くの地温に若干影響したものと推定される。本報で取扱った観測地点のデータの観測期間および時刻等は Table 1 に示した。

解析結果

1) 日射量

地球上の任意緯度地点における大気外日射量(単位時間当たり)は、太陽定数を I_0 、太陽高度を h とすると $I_0 \sin h$ で与えられる。実際に地球表面上で観測される日射量は、大気を通過する間に雲(水蒸気)、砂塵等の大気中の種々の物質に遮断されるので $I_0 \sin h$ の値より小さく $\alpha I_0 \sin h$ ($0 < \alpha < 1$) で表される。すなわち、一日の大気外日射量は時刻の関数で表される $\sin h$ について日の出から日の入りまで積分することによって求められる。更に、太陽高度は経年的にも変化するが地球上の同一緯度の地点では同じであるので、緯度が与えられると日々の大気外日射量は経度に関係なく同じ値が得られる。この詳細については、Smithsonian Meteorological Tables⁵⁾ を参照されたい。

ここで考慮している日射量観測地点の高知および Haft Tappeh の緯度は、前記の様にほぼ等しいと考

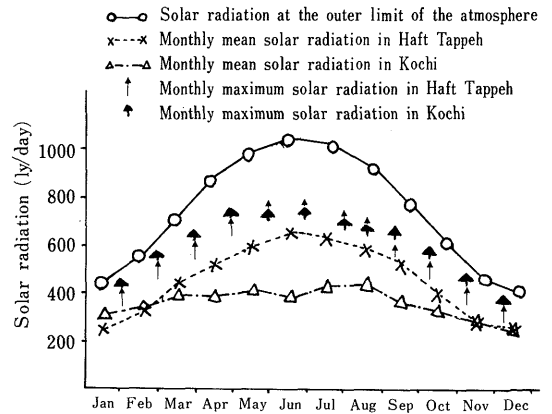


Fig. 1 Monthly variation of solar radiation in Shavour and Kochi.

えられるので、高知の場合について理科年表の値に基づいて大気外日射量 ($I_0 \sin h$) の経年的な変化を、各月 1, 11, 21日について求めた。その結果を Fig. 1 に実線で示す。一方、1960年から1971年の観測データから Haft Tappeh および高知の月平均値と月間の最大値を求めた。これらと同じ Fig. 1 に示した。月平均値を基に年平均値を求めると、高知 358 ly/day, Haft Tappeh 447 ly/day と大きな差がある。

約10年の観測期間中における各月の最大値については、夏期は殆んど両地点等しく、冬期はむしろ高知の方がわずかであるが大きい。この最大値は、30年、50年と更に長期間のデータを収集すると、更に大きい値が得られるはずである。

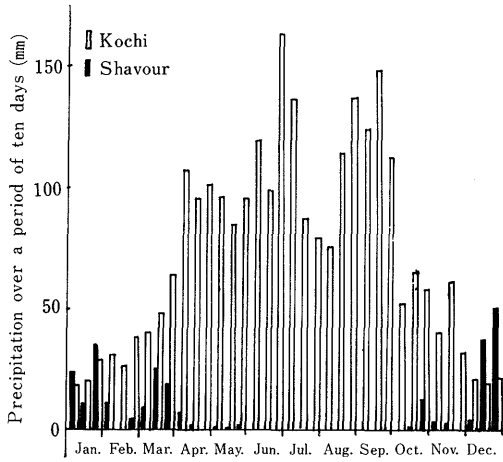


Fig.2 Variation of precipitation over a period of ten days in month in Shavour and Kochi, 1977.

前述の様に、ほぼ等緯度の2地点の大気外日射量はほぼ等しくなるはずであるのに、Fig.1に示された様に、Haft Tappehと高知の月平均日射量に顕著な差が4月から9月の間に見られる。これは、Fig.2に示される旬降水量分布からわかる様に、高知の場合には梅雨および台風における夏期の多雨により、一方、Haft Tappeh* は冬期の降水によって日射量が抑えられていることを示している。すなわち、前述の係数 α の値が季節によって変動する係数で、各地域の気象特性を表す一つの指数であることを意味している。

2) 気 温

1976年4月から1978年9月の間における月平均最高気温と月平均最低気温の変化をFig.3に示す。Shavourの場合月平均最高気温は夏期に45°C以上、冬期に13~15°Cになる。月平均最低気温は夏期に25°C、冬期に5°Cまで下がる。特に夏期における最高気温と最低気温の較差が大きく20°C以上に達する。高知では月平均最高気温が夏期に30~32°C、冬期に9~12°Cを示す。月平均最低気温の場合夏期はShavourとほぼ同じ値を示す。しかし冬期は0~-1°Cと低いので、月較差が年間9~13°Cになり最大月較差値は冬期に生じている。

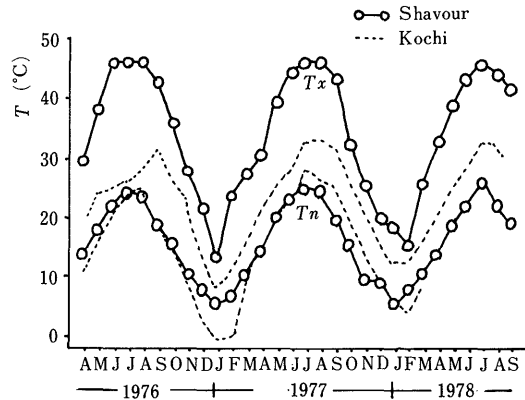


Fig.3 Monthly variations of maximum temperature (T_x) and minimum air temperature (T_n) in Shavour and Kochi, 1976-1978.

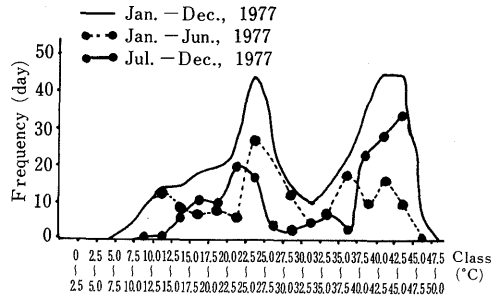


Fig.4 Curves of frequency distribution of daily maximum air temperature in Shavour, 1977.

Shavourの1977年の日最高気温データの全領域に対して2.5°Cきざみの階級設定を行い、それぞれの階級における度数(生起日数)を計算し度数分布曲線を作成した。また1977年を前半(1~6月)と後半(7~12月)の2期に分け、各半年間における度数分布曲線を作成した。これらの結果をFig.4に示す。1977年の日最高気温の場合、25.0~27.5°Cと42.5~47.5°Cの気温領域で生起日数がピーク値を生ずる。ピーク値はいずれも43日であった。1977年の平均最高気温は32.4°Cであり、47.5~50.0°Cの気温領域が9日も生じている。この年を前半と後半に分けた場合、後半における平均最高気温は35.4°Cを示し前半に比べて5.8°Cも高い。しかも47.5°C以上の気温領域はいずれも後半に生じている。

*降水量データはShavourのものであるがHaft Tappehもほぼ同じとみなしこのデータを用いた。

つぎに1977年の日平均気温の度数分布曲線を、Shavour とわが国の高知、福岡、宮崎の場合について作成した。これらの結果を Fig. 5 に示す。高知、福岡、宮崎の度数分布曲線はそれぞれ年平均気温16.3℃、15.7℃および17.3℃の付近に分布形が集中している。Shavour の場合は、15~20℃（低温期）および30~50℃（高温期）の気温領域でそれぞれピーク値が生ずる。すなわち、Shavour では低温期が2月、3月、4月、10月、11月に、高温期が5月、6月、7月、8月に長期に発生し、日本でいう春・秋の様な温度遷移期が極端に短いことが認められる。

このような特徴ある分布形は日最高気温の場合も見られるが日最低気温や地中温度に関しても見られるので、乾燥地域における温度特性の一つとして考慮される。

3) 地 温

a) 度数分布曲線

地表面から100cmの深さの観測値のうち、地表面および深さ100cmの地温を用いて度数分布曲線を作成した。Shavour の度数分布曲線のうち地表面の場合を Fig. 6 に、深さ100cmの場合を Fig. 7 に示す。Shavour の場合、地表面温度の度数分布曲線は気温の場合と同様各観測時刻で2つのピーク値を生ずる。

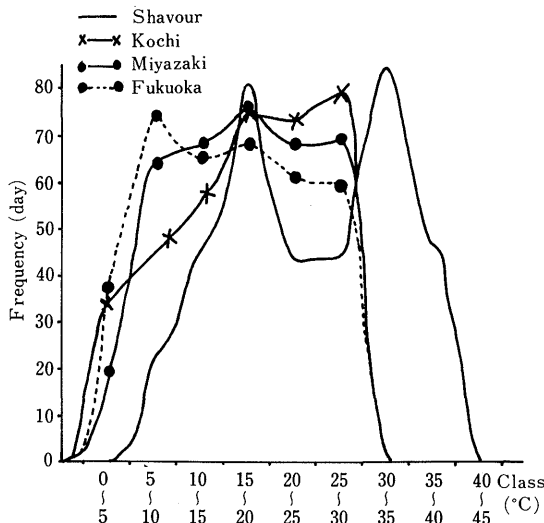


Fig. 5 Curves of frequency distribution of daily mean air temperature in Shavour, Fukuoka, Miyazaki and Kochi.

日最低値に相当する6時30分観測の場合は年平均17.3℃を示し、12時30分観測の場合はこれより10℃も高い地温領域に分布する。18時30分観測の分布形は年平均23.4℃を示し、12時30分の場合より若干低い地温領域に移動している。100 cmの深さの度数分布曲線では、地表面と同様2つのピーク値が生ずるが、各観測時刻の分布曲線はいずれも年平均値21.9℃付近に集中している。すなわち、この深さになると地表面の影響が小さくなり、地温の日較差、季節較差が小さくなる。

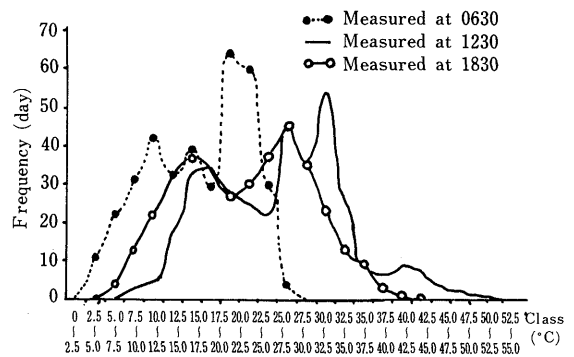


Fig. 6 Curves of frequency distribution of soil surface temperature measured at 0630, 1230 and 1830 in Shavour, 1977.

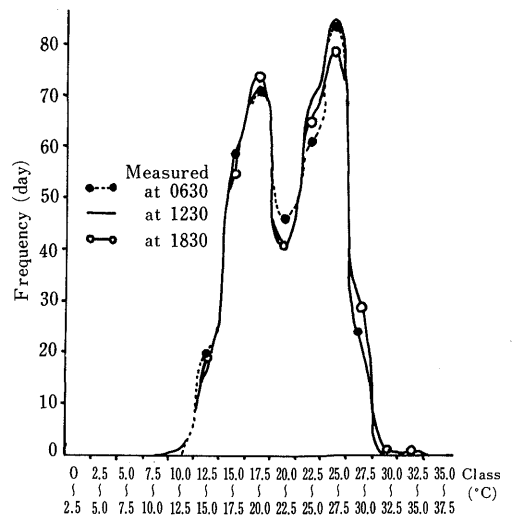


Fig. 7 Curves of frequency distribution of soil temperature at 100 cm depth measured at 0630, 1230 and 1830 in Shavour, 1977.

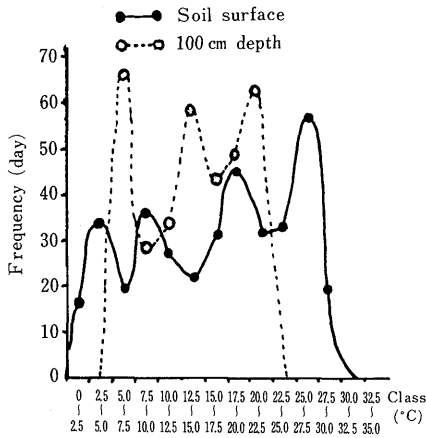


Fig. 8 Curves of frequency distribution of soil temperature measured at 0900 in Kochi, 1977.

高知の度数分布曲線を Fig. 8 に示す。高知の場合は 9 時観測のデータで Shavour と直接比較できないが、地表面温度の分布形は 5°C 以上の地温領域で 6 時 30 分観測の Shavour の分布形に若干似ている。100 cm の場合は Shavour より小さい 5.0~25°C の地温領域に分布しているが、Shavour と同様地表面より年較差が小さい。100cm 深さの年平均地温は高知の場合 17.5°C, Shavour の場合 21.9°C を示した。Shavour と高知におけるこの深さの年平均地温差は 4.4°C を示し、年平均気温差 7.4°C の約 1/2 であった。

一般に地表面温度の較差は気温の場合より大きく、厳しい自然環境を直接反映している。しかし土壌体は熱容量が大きく熱伝導性が低いので地中温度は深さに伴って単調に減少あるいは増加して不易層の温度に収斂する。乾燥地域でも 100cm 深さ付近の領域では常時好適な温度環境が保持されている。

b) 気温と地温との関係

前述したように、Shavour と高知の地温の観測時刻が異なるので、Shavour の 1 日 3 回の観測時刻から 9 時の推定地温を求め、両対象地域の比較検討を行った。ここでは簡便のために地温が日の出から日没まで二次曲線的に経時変化すると考え、近似式を求め 9 時の地温推定を行った。地表面、深さ 30cm、深さ 100cm における 9 時の地温と平均気温の関係について検討した。Shavour と高知における両者の関

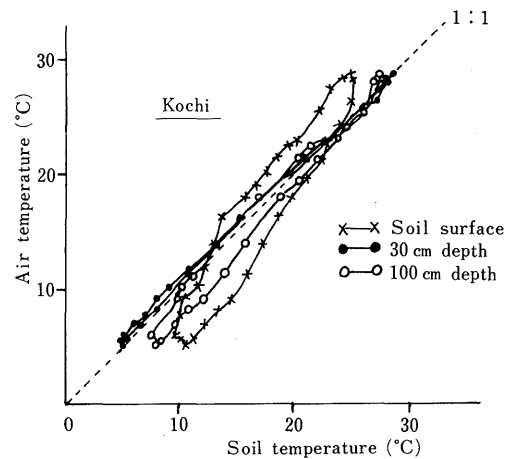
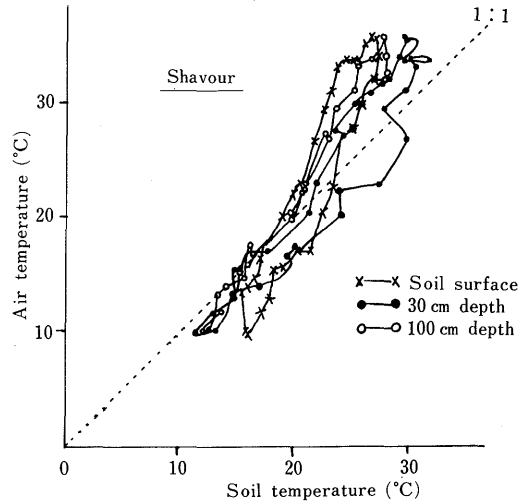


Fig. 9 Relationship between air temperature and soil temperature in Shavour and Kochi.

係を Fig. 9 に示す。これらの結果から判断すると、高知の場合気温と地表面温度との相関が 0.999 と非常に高いのに、Shavour の場合は 0.952 と低くなっている。また、気温 T_a と地表面温度 T_s との一次回帰式を求めると、高知の場合 ($T_s = 1.03 T_a - 0.9$)、回帰係数が 1.03 とほぼ 1 に等しいのに反し、Shavour の場合 ($T_s = 0.703 T_a + 6.32$)、回帰係数が 0.703 と小さい。このことは Fig. 9 から明らかのように日平均気温 21°C 程度を境にして、地表面温度と気温の高低が逆転していることを表している。すなわち 21°C 以

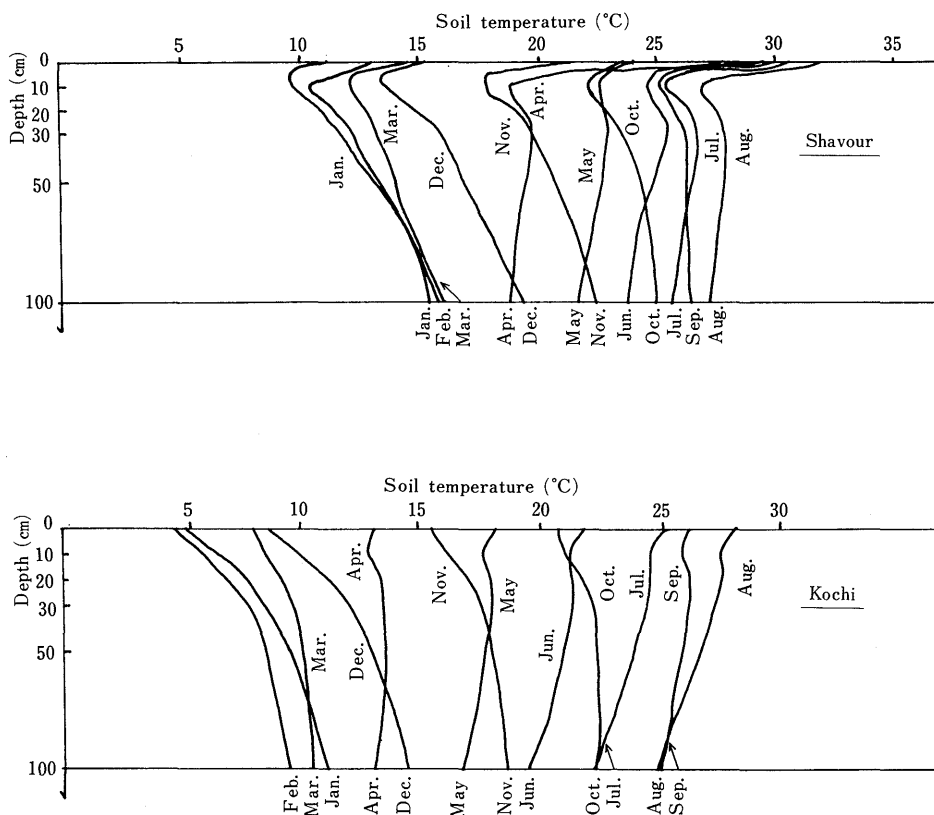


Fig.10 Variation of soil temperature profiles over a period of first ten days in each month in Shavour and Kochi, 1977.

上の高温領域は地温の上昇以上に気温の上昇速度が大きく、逆に21°C以下の低温領域は気温の低下ほどには地表面温度が低下してはならず高知の場合と異っている。

c) 地温プロフィール

9時の地温プロフィールの経年変化を検討するために、各月の上旬の地温プロフィールを求め Fig. 10 に示す。Shavour と高知¹²⁾ の地温プロフィールを比較してみると高温部はほぼ同じであるにかかわらず、低温部が高知の場合著しく低い。この結果、各深さにおける地温の年較差は3)。a で述べた様に Shavour の方が小さくなっている。また高知の場合に比べて、Shavour の地温プロフィールには、地表面から10~20cmの深さに顕著な逆転層が見られる。

一般に地温の逆転層は、i) 土性および土壌の成

層条件、ii) 土壌水分量分布状態、iii) 植生条件等、によって出現するもので気温の場合とは異ったメカニズムによると考えられる。この地温の逆転層はまた土壌水分の蒸発・移動および塩類集積等の現象とも重要な関連性をもつと考えられる。なおここで地温データに関しては9時の値が推定値であること、および前述の様に芝の植生を維持するための灌水の影響も加味する必要がある。

摘 要

乾燥地域の農学研究を行ううえでそれらの地域の気象特性を明確に把握することは必要不可欠である。地球上の等緯度に位置する地域では経度に無関係に大気外日射量が等しいことに着目し、本報では研究対象地点を湿潤地域の場合として高知、福岡、宮崎、

乾燥地域の場合として、イラン国クーゼスタン州の Shavour, Haft Tappeh を選定した。これらの地点の気象要素のうち日射量、気温、地温、降水量の比較検討を行った。

1. 高知と Haft Tappeh の約10年間の日射量データを解析した結果、両地点の月別最高日射量は年間を通じほぼ等しい値を示した。一方月平均日射量は季節により顕著な差が認められ、両地点の降水量分布に関連していることが示された。

2. 日平均気温の度数分布曲線は、高知、福岡、宮崎の場合年平均気温16~17°Cにそれぞれ分布形が集中し、Shavour (年平均気温23.7°C) の場合15~20°Cと30~50°Cの気温領域でそれぞれピーク値がみられた。また Shavour の場合地表面と100cmの深さの地温において、気温の場合と同様2つのピーク値がみられた。これらの現象は乾燥地域の温度特性の一つとして考慮される。

3. 100cmの深さの年平均地温は、高知17.5°C Shavour 21.9°Cで両地点の地温差は4.4°Cを示した。この地温差は年平均気温差の約 $\frac{1}{2}$ を示し、乾燥・湿潤地域ともこの深さでは、好適な温度環境が保持されているものと推定された。

4. Shavour の気温と地表面温度との関係を検討した結果、高知の場合に比べて、夏期は気温より地温の上昇速度が早く、冬期は気温より地温の下降速度が遅かった。

5. Shavour の地温プロファイルには、10~20cmの深さに年間を通して明確な逆転層がみられた。逆転層は土壌中の水分プロファイル、成層状態、植生等の影響により生じたものと推定された。

あ と が き

わが国において、乾燥地域の研究を行う場合一般に次の様な研究手法が考えられる。i) 直接現地調査を行い乾燥地圃場で実験解析を行う。ii) 現地の気象条件を室内で再現できるアリドトロン施設を利用する。iii) 乾燥地やわが国の従来の文献資料データ等を利用して乾燥地とわが国の自然環境特性を比較検討する。iv) ランドサット衛星を用いたリモートセンシング手法で乾燥地の地表面情報を収集解析する。

iv) のリモートセンシング画像解析法は最近開発された新しい研究手法である。乾燥地の自然環境要素を精度高く収集できれば、乾燥地研究に必要な画期的な方式となりうる。反面、画像解析を行うには高価な画像処理システムが必要であり今後の課題であろう。

本研究施設では、従来 i), ii) の研究手法が意欲的に採用され、貴重な研究成果が得られている。今後、この様な研究手法が主体となり乾燥地研究が継続されよう。反面これらの研究手法は、乾燥地の実態を直接把握できるのに欠くべからざる方法であるけれども、いずれも多くの経費と時間を要する。

iii) の研究手法は本研究の目的でもある。この方法による解析結果はいくつかの仮定条件を有するが、現地調査やアリドトロン施設による乾燥地研究の計画・評価を行い効率的な研究を実施する基礎的資料になる。さらに乾燥地とわが国の自然環境の関連性が明確にできるなら、わが国で容易に得られる自然環境データを解析することによって乾燥地を把握・予測することも可能であろう。

一方、北半球にはわが国と等緯度付近に位置する乾燥地域は比較的多い。これらの乾燥地域では湿潤地の場合と同様に地域性が存在し、それぞれ異った気象特性を有している。本報告で取扱った両対象地点は一組の比較検討事例である。しかも検討対象の気象要素が日射量、気温、地温、降水量の4項目に限られているので、必ずしも乾燥地または湿潤地の一般的気象特性を表しているとは限らない。今後、他の気象要素について検討すると同時に観測点を他の地域に拡大して検討を加える必要がある。

最後に本論文をまとめるにあたり、著者らの既報の論文^{9,11,12)}より一部分を引用しここに取り上げた。また乾燥地のデータは海外学術調査報告書^{1,10)}を利用させていただいた。

引用文献

- 1) 長 智男・矢野友久・神近牧男・松本 聡・山本太平：中近東乾燥地域の農業開発に伴うカンガイ方式と水管理に関する調査研究(1), 海外学術調査報告書 (1977)。
- 2) Horst Klengel：古代バビロニアの歴史—ハンム

- ラピ王とその社会一, 江上波夫・五味 享訳 (1980).
- 3) 高知気象台: 気象月報 (1960~1981).
 - 4) 高知大学農学部気象観測月報 (1960~1979).
 - 5) 日本太陽エネルギー学会編, 太陽エネルギーの基礎と応用, p. 15 (1978).
 - 6) 佐藤一郎: 乾燥地農業と沙漠化, 砂丘研究, 24 (2), 1~12 (1978).
 - 7) 山本太平・地下水位一定条件下の土壌カラム中における土壌水と塩類の動態解析, ペトロジスト, 25(2), pp. 145~153 (1981).
 - 8) 山本太平: 乾燥地農学研究における情報処理一灌漑排水学の立場より一, 農学土木学会誌, 50(12), pp. 2~4 (1982).
 - 9) 山本太平: イラン国クーゼスタン州における自然環境解析と水管理, 東京外語大アジア・アフリカ言語文化研究所, 共同研究プロジェクト報告 7, 13~31 (1982).
 - 10) 矢野友久・樋口英夫・松本 聡・山本太平・長智男・黒田正治・西山壮一: 中近東乾燥地域の農業開発に伴うカンガイ方式と水管理に関する調査研究(2), 海外学術調査報告書 (1979).
 - 11) 山村善洋, 降水が地温に及ぼす影響について(1)一高知大学農学部気象観測データの解析一高知大学学術研究報告, 農学, 30, pp. 115~127 (1981).
 - 12) 山村善洋, 降水が地温に及ぼす影響について(2)一地温プロファイルの観点から一高知大学学術研究報告, 農学, pp. 29~36 (1982).