

## 5種類の被覆材料による地表面熱収支の長期観測

塩月, 義隆  
九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

片山, 忠久  
九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

林, 徹夫  
九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

佐々木, 俊彦  
三機工業 (株)

<https://doi.org/10.15017/17324>

---

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 15 (4), pp.367-374, 1994-03-01. 九州大学大学院総合理工学研究科  
バージョン :  
権利関係 :

## 5種類の被覆材料による地表面熱収支の長期観測

### その2 4年間の地表面および地中温度の年間変動

塩月 義隆\*・片山 忠久\*  
林 徹夫\*・佐々木 俊彦\*\*  
(平成5年11月30日 受理)

## Consecutive Observation of Heat Balance on Ground Surfaces with Five Kinds of Covering Materials

### Part 2 Annual Fluctuations of Ground-Surface and Underground Temperatures for Four Years

Yoshitaka SHIOTSUKI, Tadahisa KATAYAMA  
Tetsuo HAYASHI, Toshihiko SASAKI

Thermal performance of the ground-surface and underground has been observed since September 1987. The surface is covered with the circles of 4m diameter and three types of pavement, lawn and bare soil. The pavements are asphalt, permeable asphalt and concrete. The fluctuations of surface and underground temperatures for four years are shown in this report. The annual underground temperatures fluctuate within 20°C range at 80cm depth. The correlation between the diurnal value of cumulative solar radiation and surface temperature range is significant on the covering materials without transpiration, the asphalt and the concrete pavement. The surface temperature difference between the pavement of asphalt and permeable asphalt is negligible. Annual ground temperatures and weather condition data are made from the observed four years data and examined to discuss the thermal characteristics on five kinds of the covering materials.

#### 1. はじめに

著者等は、都市熱環境に関する調査研究<sup>1),2)</sup>を継続して行っているが、ヒートアイランド現象に代表されるように、都市に形成される気温分布は土地被覆との関連が大きい。また、住宅等におけるパッシブクーリングの冷熱源として地盤を利用する方法も提案<sup>3)</sup>しているが、これを有効に活用するためには、地表面熱収支や地盤内伝熱の厳密な解明が必要である。これらの一連の研究には、各種地被材料の地表面熱収支や地盤内伝熱の長期的な実測データが必要であるが、実測例は非常に少ないのが現状であり、データの蓄積が急務とされている。

本論文は、1987年8月から1991年9月までの4年間に渡って行った5種類の地被材料の表面および地中温

度等の実測結果をまとめたものである。はじめに、地表面および地中温度の長期変動特性、日射や水分蒸発が地表面温度および地中熱伝導に及ぼす影響を示す。次に、連続した1年分の実測データが採取できなかったため、4年間分のデータから欠測の少ない月を繋ぎ合わせて、標準的な通年データを作成した結果について報告する。

#### 2. 地表供試体と観測概要

九州大学筑紫地区の実在地盤上に芝地、裸地、コンクリート舗装、アスファルトおよび透水性アスファルト舗装の計5種類の地被材料からなる地表供試体を作製した。各供試体は直径4mの円形で千鳥型に配置されている。舗装面の厚さは5cm、その下層は10cm厚の砂利で、いわゆる簡易舗装である。

各供試体は、表面から深さ5mmの位置に熱流測定用の熱流板、表面から深さ80cmまでに温度測定用の

\*熱エネルギーシステム工学専攻

\*\*三機工業(株)

熱電対と電気抵抗測定用の電極を設置している。電極は電気抵抗値を用いて土壌の含水率を測定するために設置されている。熱流および温度は、供試体に隣接する5階建て建物の屋上での気象観測結果とともに1時間間隔で収録している。主な測定項目と測定機器を、Table 1 に示す。観測概要の詳細は、既報<sup>9)</sup>を参照されたい。

### 3. 実測結果

#### 3.1 日射反射率

各地表供試体の中央部に設置している日射計のセンサーの高さは地面から20cmであり、センサーに対する供試体の形態係数はほぼ1となるため、供試体の日射反射率は、反射日射量を水平面全天日射量で除して求められる<sup>9)</sup>。

各地表供試体の日射反射率の経年変化を Table 2 に示す。日射反射率は、各年度毎に計4回測定し、そのうち2回は乾燥状態と湿潤状態での測定を行っている。

。地表供試体作製後、約3年半が経過した1991年3月の表面が乾燥状態における日射反射率は、裸地が0.36、芝地は0.21、透水性アスファルト舗装は0.12、アスファルト舗装は0.10、コンクリート舗装が0.25である。1987年9月の作製当初の日射反射率と1991年3月のそれを比較すれば、コンクリート舗装の日射反射率は5割以上減少している。当初、灰白色であった表面が経年変化で黒ずんできたためである。アスファルトおよび透水性アスファルト舗装は、作製時から1年間までの変動は大きいですが、その後はほとんど変化は見られない。芝地の日射反射率が徐々に小さくなっているが、これは経年変化というよりも、芝の季節による状態変化に起因するものと思われる。裸地については、4年間ほとんど変化しない。湿潤状態の日射反射率は、乾燥状態のそれに比べ0.05~0.1程度小さい。

#### 3.2 地表面温度

裸地、芝地、透水性アスファルト、アスファルトおよびコンクリート舗装の表面温度の日平均値、日最高

Table 1. Measurement items and instruments.

Items	Instruments
Surface temperature	T type thermocouple (0.3mm $\phi$ , 0.05mm $\phi$ ) Spot type thermography Infrared ray thermocamera
Underground temperature	T type thermocouple (0.3mm $\phi$ )
Air temperature	T type thermocouple (0.05mm $\phi$ )
Global solar radiation	Pyranometer
Reflected solar radiation	Pyranometer
Long-wave length radiation	Radiometer
Ground surface heat flux	Heat flow meter
Air flow velocity	Small sized three-cup anemometer Two dimensional supersonic anemometer
Dew point temperature	Dew point temperature meter.

Table 2. Solar reflectivity

Ground surface samples	1987. Sep.	1988. Aug. ~Dec.		1990. Dec.		1991. Mar
	Dry	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
Bare ground	0.32	0.33	0.25	0.34	0.25	0.36
Lawn	0.34	0.31	0.25	0.26	0.22	0.21
Permeable asphalt	0.05	0.11	0.07	0.12	0.07	0.12
Asphalt	0.07	0.12	0.09	0.10	0.10	0.10
Concrete	0.59	0.40	0.30	0.25	0.24	0.25

値、日最低値の年間変動を、気象データと併せて Fig. 1 に示す。芝地と裸地の表面温度の測定方法が、1988年に決定したため、両者については同年1月より

解析している。

地表面温度は1年を周期として変動し、日最高値が大きく変動することから、気象条件と密接な関係にあ

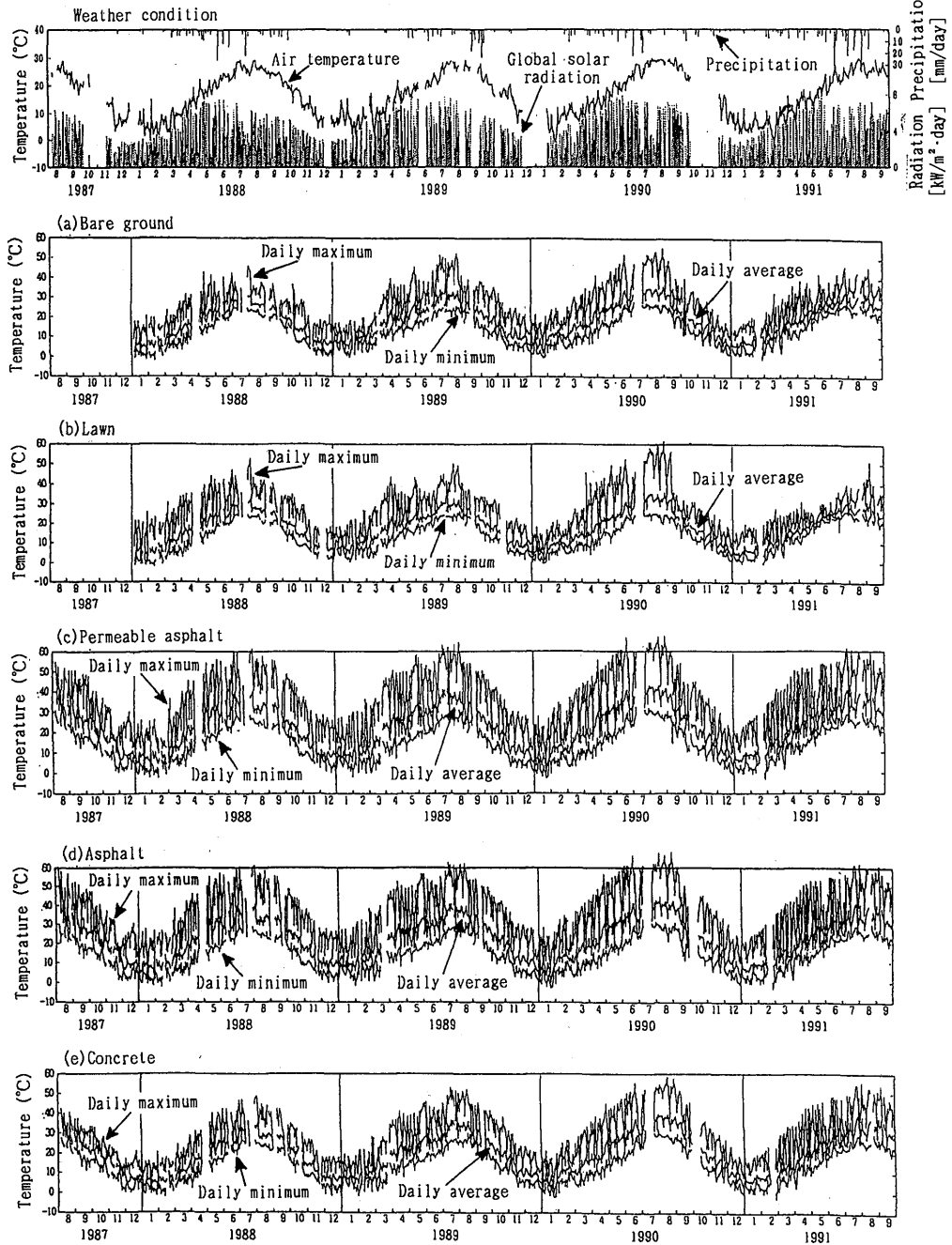


Fig. 1 Annual fluctuations of daily maximum, average, minimum temperatures of the ground surface and weather conditions.

ることが窺える。表面温度の上昇・下降は、日射量と降雨の影響が大きい。各年とも降雨量の多い6月および7月では、降雨のあった日には明らかに表面温度は低下している。アスファルトおよび透水性アスファルト舗装は、他の地表供試体より特に表面温度の日毎の変動幅が大きい。両者は日射反射率が小さく、地表で日射の影響を強く受けている。夏季の日最高値は60℃を越える日もあり、日平均値でも40℃に達している。しかし、アスファルト舗装と透水性アスファルト舗装の表面温度には、有意な差は見られない。透水性アスファルト舗装は表面から地中へ水分の浸透があり、舗装面の下層の土壤に保水されるが、その水分は舗装面の間隙から水蒸気となって外気へと抜けて行くため、表面温度の低下には直接寄与していないと考えられる。また、コンクリート舗装の日最高値が年々上昇しているのは、前述した日射反射率が年々減少していることに起因する。

夏季に、日最高温度と日最低温度の差、すなわち日較差は最大となり、人工供試体と自然供試体では、その差が大きくなっている。一方、冬季では各地表供試

体の表面温度の日較差は小さい。同様に、人工供試体と自然供試体の温度差も小さくなっている。

### 3.3 地中温度

Fig. 2 に地下 80cm, 40cm および 20cm における地中温度の日平均値の年変動を示す。地中温度は、深くなるほど地表面温度に時間遅れをともなって変動し、地中 80cm では地表面より約半月遅れて、8月中旬に最大値となる。また、日平均値の年最高値と年最低値の差、すなわち年較差も地中 20cm で約30℃、地中 40cm で約25℃、地中 80cm で約20℃と、深くなるほど小さくなる。アスファルトおよび透水性アスファルト舗装の場合、地下 80cm でも日平均値は連続して常に滑らかな変動はしない。これは、年周期より短い周期の変動がこの深さまで及んでいると考えられる。地中温度の変動傾向は、大きくは自然供試体と人工供試体に分けられ、後者の方が年周期変化の振幅も大きく、変動値は地中 80cm で常に3～5℃高い。また、両者の差は、表面温度が最高になる夏季に大きくなる。コンクリート舗装では、表面温度と同様に、年々地中温度の上昇が見られ、測定4年目では透水性アスファ

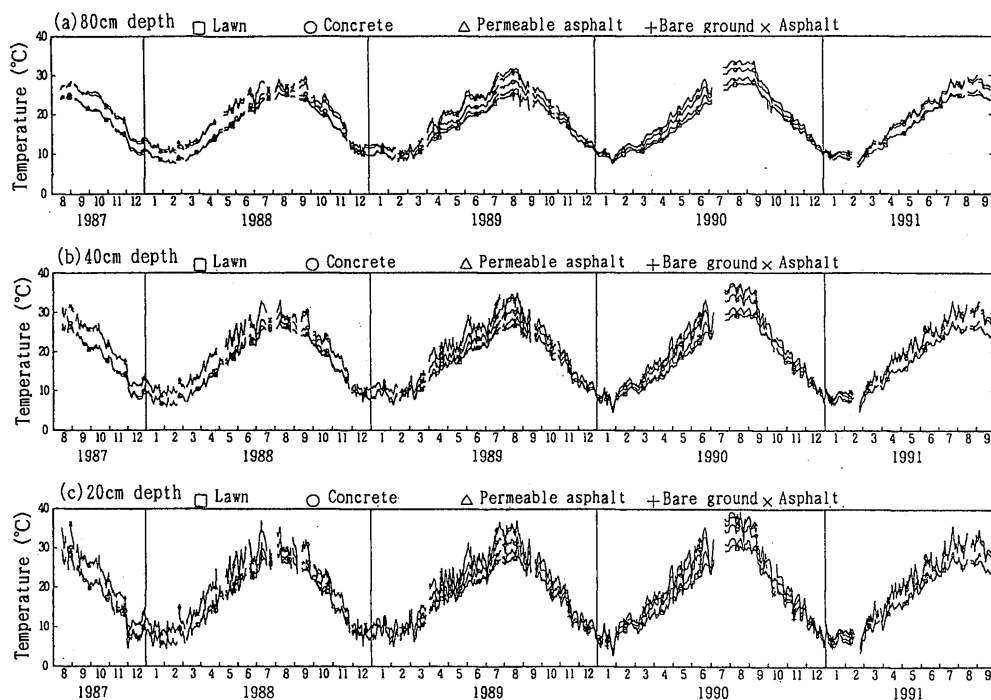


Fig. 2 Annual fluctuations of daily average temperatures at 80cm, 40cm and 20cm depth under the ground.

ト舗装とアスファルト舗装の温度とほぼ同じ変動傾向を示す。地中 80cm の温度が最も低いのは芝地であり、裸地とは夏季において最大約 2℃ の温度差が生じている。

### 3.4 表面温度に及ぼす日射の影響

地表面温度の日較差と日積算日射量との関係を Fig. 3 に示す。1988年1月から1990年1月までの欠測のなかった668日分の実測データを解析に使用している。各地表供試体とも相関は比較的高く、特に表面が不透水面のアスファルトおよびコンクリート舗装のそれが高い。逆に、透水面の裸地および芝地は蒸発や蒸散作用などにより、複雑な伝熱機構を呈するためには

らつきが大きい。日射量に対する傾きから、各地被材料の日射の影響度合が分かる。

### 4. 通年データの作成

本長期測定の一つの目的は、雨量を含む気象データと一体化した地表面および地中の熱流・温度データの通年採取である。しかし、地表供試体の測定と屋上の気象測定を二箇所で行うため、測定機器のトラブル、配線の断線、電波による障害、カラスのいたずらなどと思われる障害に見舞われた。1時間間隔で測定する表面熱流、表面および地中温度、気象要素の全て

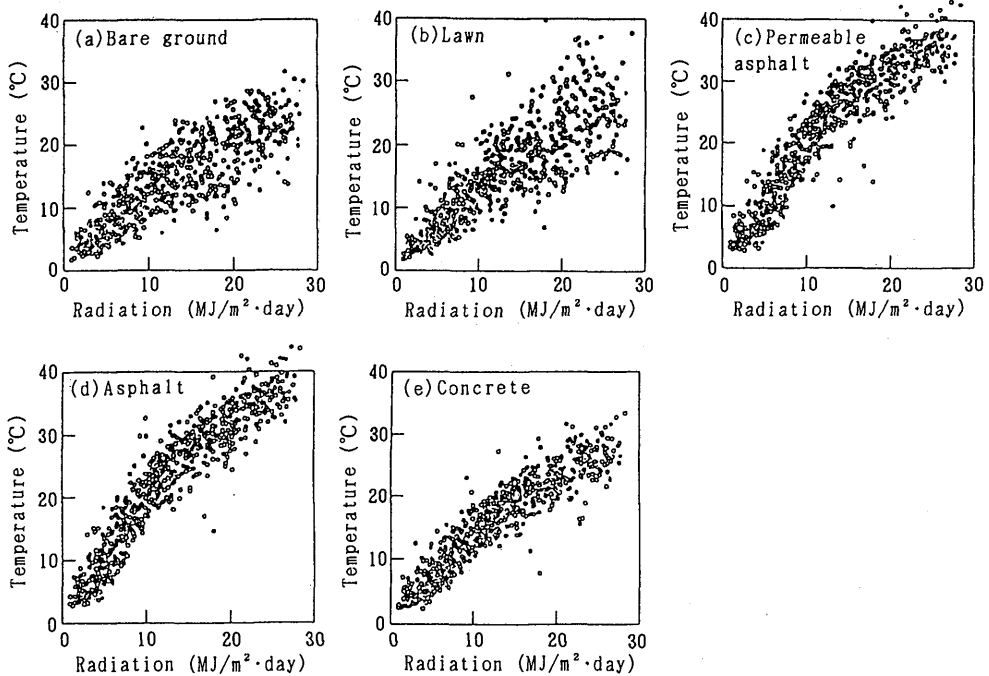
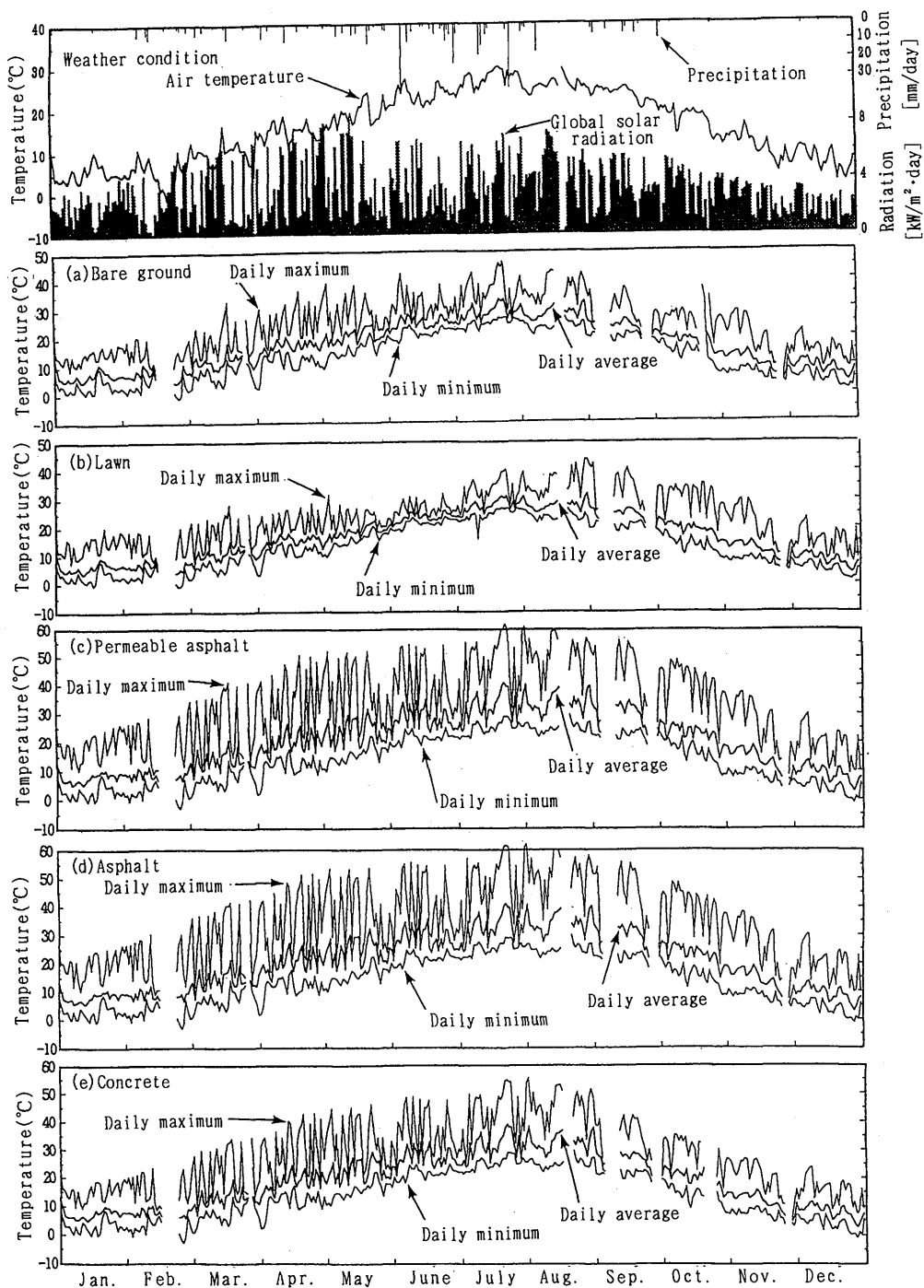


Fig. 3 Correlation between diurnal range of ground surface temperature and daily cumulative solar radiation.

Table 3. The number of days without mission data in each month during the four years.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
87	*	*	*	*	*	*	*	0	0	0	0	0
88	0	0	0	10	17	16	8	11	12	16	22	8
89	12	2	6	23	26	16	22	14	6	14	13	0
90	0	0	15	24	30	11	4	10	0	0	11	19
91	31	19	26	20	30	29	24	23	10	*	*	*



**Fig. 4** Annual fluctuations of ground surface temperatures and weather conditions obtained from four years data.

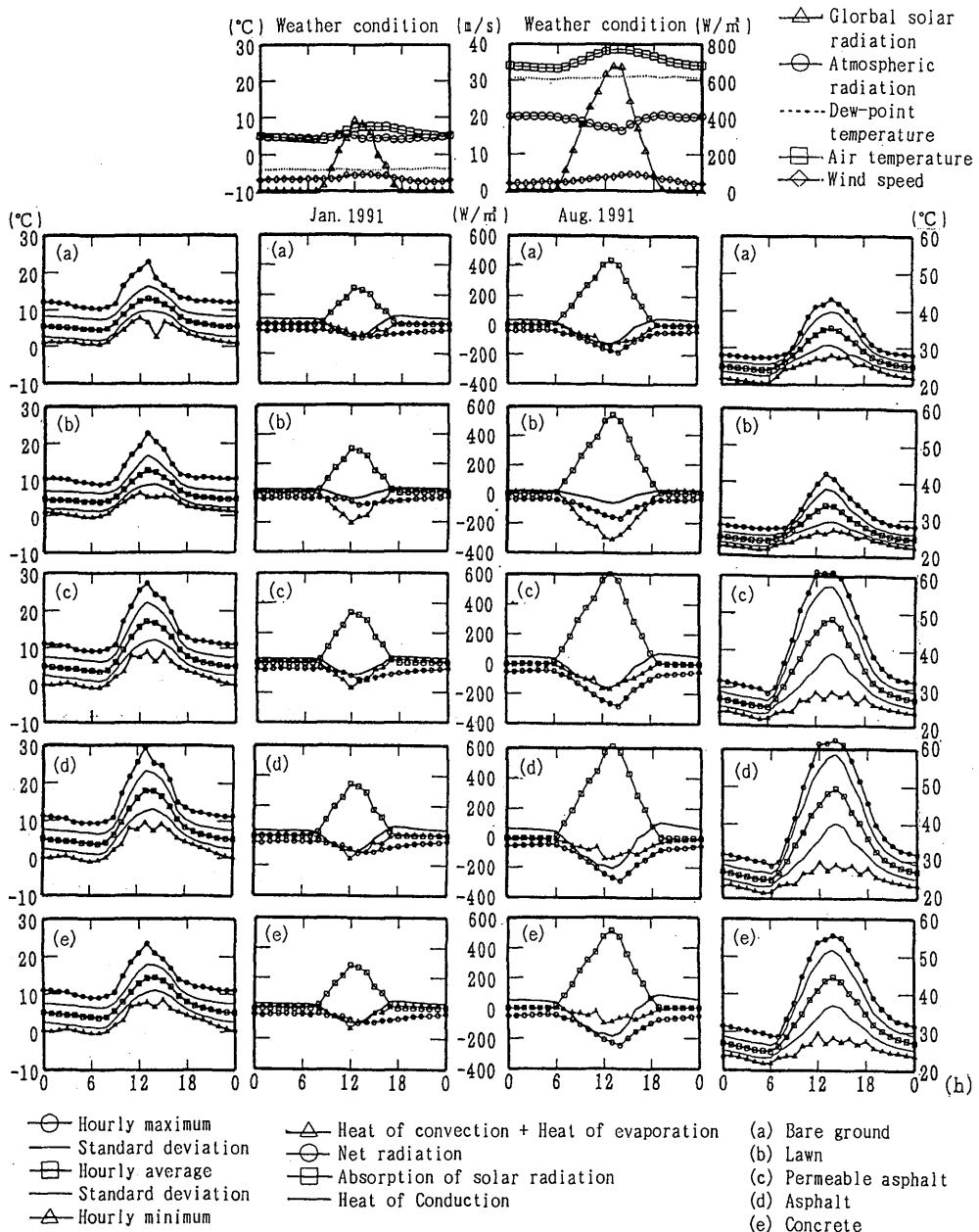


Fig. 5 Hourly fluctuations of monthly average temperatures and heat balance components of the ground surface.

に欠測のない各月の日数を Table 3 に示す。1987年 8月～1988年 3月で有効日数が 0 であるのは、芝地の測定方法を 1988年 4月から変更したためである。この

中で欠測の少ない 1991年 1月～8月、1988年 9月～11月および 1990年 12月のデータを用いて、Fig. 4 に示す通年データを作成した。この通年の気象データと



Fig. 1 の気象データを比較すれば、通年データの日射量がやや少ない。

### 5. 月別時間平均値の変動

前節の通年データから冬季として1月、夏季として8月を選び、表面温度と表面熱収支の時刻別月平均値を求めて Fig. 5 に示す。表面の熱収支成分中、伝導熱量は熱流計による測定値、日射吸収量は気象データの全天日射と Table 2 から求められる日射吸収率の積、放射収支量は気象データの大気放射量と表面からの長波射出量（表面温度から算出）、「対流+蒸発」は熱収支の残差として求めた。

夏季においては、日射吸収量の大小が、表面温度の高低に大きく影響する。但し、ほぼ同じ日射吸収量、表面温度である透水性アスファルト舗装とアスファルト舗装でも、伝導と対流+蒸発の比率が異なっている。伝導熱量は芝地が供試体の中で最も小さく、それと比較して人工供試体は大きい。芝生による日射遮蔽、蒸散作用などにより地表面の温度上昇が抑制されるからである。また、芝地の対流+蒸発成分が5種の中では最も大きい。これも、水分蒸発の影響だと考えられる。表面が高温となる透水性アスファルトおよびアスファルト舗装は温度の標準偏差も大きい。これらの最高温度は60℃を越えている。

冬季は日射量が少ないため、夏季ほど顕著ではないが、夏季と同様の傾向がある。

### 1. ま と め

本研究で得られた結果を要約すれば以下のようなものである。

- 1) 裸地および芝地に比べて、人工地被材料の日射反射率は小さい。特に、透水性アスファルトおよびアスファルト舗装の日射反射率は極端に小さく、舗装面作製後3年が経過しても10%前後である。
- 2) 透水性アスファルトおよびアスファルト舗装の夏季における表面温度は、最大60℃を越える日も見られ、芝地および裸地と比較すれば、日平均値で15℃の温度差が生じる場合もある。
- 3) 地表から地中への伝導熱量は芝地が最も小さく、それに比較して人工地被材料は大きい。逆に、表面からの「対流+蒸発」成分は芝地が最も大きい。また、

透水性アスファルト舗装とアスファルト舗装では、伝導熱量と「対流+蒸発」成分の比率が異なっているが、表面温度には顕著な差は見られない。

4) ロガーの故障、配線の断線などにより、1年間連続してデータを採取できなかったため、4年間の長期観測データから、標準気象データの通年データを作成した。

### 謝 辞

供試体の作製、実測に際し、張晴原氏（現在、熊本大学助手）、津々見伸広氏（現在、東陶機器株式会社）をはじめ、当研究室大学院生の多くの協力を得た。また、(株)香椎造園永松睦夫氏からは芝生の提供を受けるとともに植栽上の指導を頂いた。ここに記して深謝の意を表す。なお、本研究の一部は平成4年度文部省科学研究費、一般研究(C)によることを付記する。

### 参 考 文 献

- 1) 古川太郎他5名：都市内の土地利用状況と気温分布に関する調査研究その1～その3，日本建築学会九州支部研究報告，第9号2，pp. 297-308，1993. 3.
- 2) 片山忠久他5名：水面を有する市街地の熱環境に関する調査研究，日本建築学会計画系論文報告集，No. 372，pp. 21-29，1987. 2.
- 3) 林徹夫他3名：地盤冷熱利用と自然換気を利用した住宅のバッシブクーリング手法の検討，九州大学総合理工学研究科報告，第9巻，第1号，pp. 73-78，1987. 7.
- 4) 林徹夫他4名：5種類の被覆材料による地表面熱収支の長期観測，九州大学総合理工学研究科報告，第11巻，第3号，pp. 313-319，1989. 12.
- 5) 林徹夫他5名：水分移動を考慮した地盤の伝熱シミュレーション，九州大学総合理工学研究科報告，第12巻，第1号，pp. 47-52，1990. 6.
- 6) 佐々木俊彦他3名：地表面熱収支の長期観測（その7 地表面温度と地中温度の通年変動と月別時間平均値），日本建築学会九州支部研究報告，第33号2，pp. 61-64，1992.3.
- 7) 成田健一他2名：アスファルト舗装面における熱収支の実測一（試験体を用いた野外実験）都市地表面における日射エネルギーの変換機構に関する研究・その1一，日本建築学会環境工学論文集，No. 5，pp. 127-132，1983. 11.
- 8) 梅干野晃他1名：屋上の芝生植栽による照り返し防止・焼け込み防止効果，日本建築学会環境工学論文集，No. 5，pp. 133-140，1983. 11.