

気象観測データを用いた大気の射出率の考察

東京電機大学	学生会員	○小沼幸訓
(株)NIPPO コーポレーション	正会員	吉中 保
東京電機大学	フェロー会員	松井邦人
東京電機大学	正会員	藤波 潔

1. はじめに

舗装内部の温度を推定する場合、舗装表面における熱収支パラメータを明らかにする必要がある。これは3つに大別でき、1つ目は短波放射エネルギー、2つ目は長波放射エネルギー、3つ目は非放射エネルギーと言われる顕熱輸送量と潜熱輸送量である。

本研究では、長波放射エネルギーに注目し、推定に必要なパラメータのひとつである大気の射出率を、これまで提案されている代表的な提案式に気象観測データを用いて、それらの違いを定量的に評価し、本研究の実験値と比較検討を行った。

2. 実験概要

舗装体モデル実験は、東京電機大学理工学部構内にて2002年8月から行っており、現在も計測中である。舗装体は密粒度舗装で、断面は縦5m×5mで深さ60cmである。周辺地盤からの伝熱の影響を避けるため、舗装の周囲には深さ15cmの断熱材（発砲スチロール）を設置している。試験体内部に埋設された熱電対により内部温度の計測を行っている。

気象観測は、温・湿度計、雨量計及び風速計を設置し計測を行っている。試験体内部温度ならびに気象観測は1分間隔の瞬時値を出力している。さらに、2003年9月より長短波放射計を導入し、長波放射量・短波放射量を測定している。

3. 大気の射出率

3.1 提案式

大気の射出率 ε_{sky} の提案式は数多くある。そのうちの代表的な式を示す。表-1には外気温との関数で表されている提案式を示し、表-2には水蒸気圧、表-3には露点温度との関数で表されている提案式を示す。

表-1 大気の射出率提案式（外気温使用）

提案者	提案式
Swinbank(1963)	$\varepsilon_{sky} = 9.365 \times 10^{-6} T_a^{.2}$
Idso and Jackson(1975)	$\varepsilon_{sky} = 1 - 0.261 \exp\left\{-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2\right\}$
Maykut and Church(1973)	$\varepsilon_{sky} = 0.7855$
König-Langlo and Augstein(1994)	$\varepsilon_{sky} = 0.765$
Zillman(1972)	$\varepsilon_{sky} = 9.2 \times 10^{-6} T_a^{.2}$
Ohmura(1981)	$\varepsilon_{sky} = 8.733 \times 10^{-3} T_a^{0.788}$

表-2 大気の射出率提案式（水蒸気圧使用）

提案者	提案式
Brutsaert(1975)	$\varepsilon_{sky} = 1.24 (v_a / T_a)^{1/7}$
Idso(1981)	$\varepsilon_{sky} = 0.7 + 5.95 \times 10^{-5} v_a \exp\{1500/T_a\}$
Prata(1996)	$\varepsilon_{sky} = \left[1 - \left(1 + 46.5 (v_a / T_a) \exp\left\{-(1.2 + 3 \times 46.5 (v_a / T_a))^{1/2}\right\}\right)\right]$
Marshunova(1966)	$\varepsilon_{sky} = 0.67 + 0.05 v_a^{1/2}$
Efimova(1961)	$\varepsilon_{sky} = 0.67 + 0.0066 v_a$
Scatterlund(1979)	$\varepsilon_{sky} = 1.08 \left\{1 - \exp\left(-v_a^{T_a/2016}\right)\right\}$
Andreas and Ackley(1982)	$\varepsilon_{sky} = 0.601 + 5.95 \times 10^{-5} v_a \exp\{1500/T_a\}$
Kozelmann et al.(1994)	$\varepsilon_{sky} = 0.23 + 0.484 (v_a / T_a)^{1/8}$

表-3 大気の射出率提案式（露点温度使用）

提案者	提案式
Berdahl and Martin(1984)	$\varepsilon_{sky} = 0.711 + 0.56 (T_{dp}/100) + 0.73 (T_{dp}/100)^2$
Chen et al(1991)	$\varepsilon_{sky} = 0.736 + 0.00577 T_{dp}$
Clark and Allen(1985)	$\varepsilon_{sky} = 0.787 + 0.0028 T_{dp}$
Berdahl and Fromberg(1982)	$\varepsilon_{sky} = 0.741 + 0.0062 T_{dp}$

ここで、 T_a ：外気温[K]、 T_{dp} ：露点温度[]、 v_a ：水蒸気圧[mb]である。

3.2 結果

本研究では平成16年8月～平成17年7月までの1年間に於いて天候が快晴時のみの検討を行い、各提案式の算出値を月別平均した結果を図に示す。図-1には表-1の提案式の算出結果を示し、図-2には表-2の提案式の算出結果を、図-3には表-3の提案式の算出結果を示す。また、水蒸気圧と露点温度の推定式にはASHRAEの式とTetensの式があり、比較を行うためそれぞれ図-2-1、図-3-1と図-2-2、図-3-2に示した。

キーワード：大気の射出率、長波放射、露点温度、外気温、水蒸気圧

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL：0492(96)5731 内線(2734)、FAX：0492(96)6501

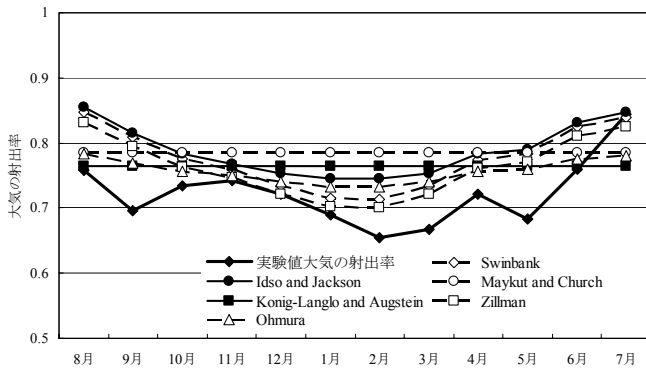


図-1 大気の出射率比較（外気温使用）

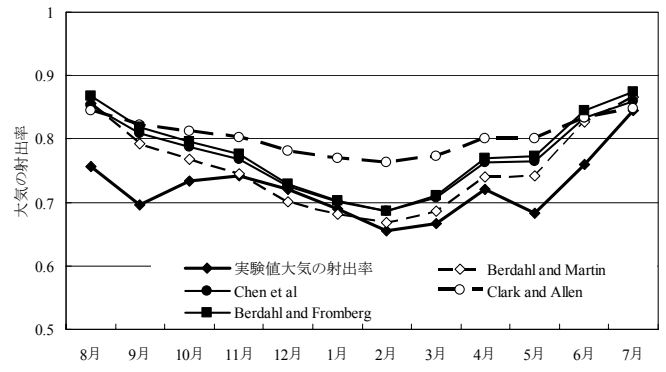


図-3-1 大気の出射率比較（ASHRAE 露点温度使用）

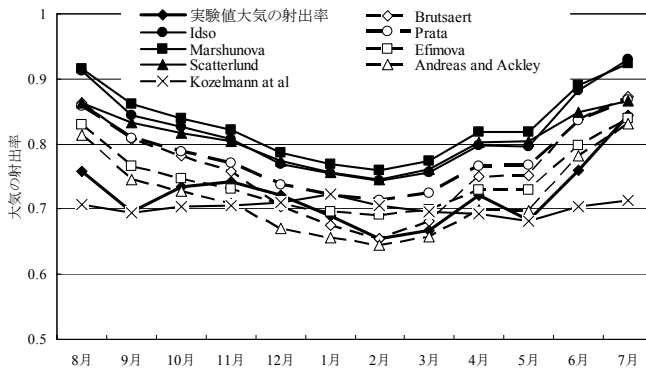


図-2-1 大気の出射率比較（ASHRAE 水蒸気圧使用）

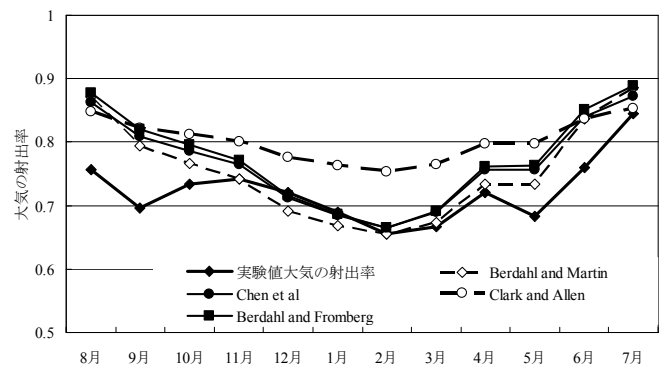


図-3-2 大気の出射率比較（Tetens 露点温度使用）

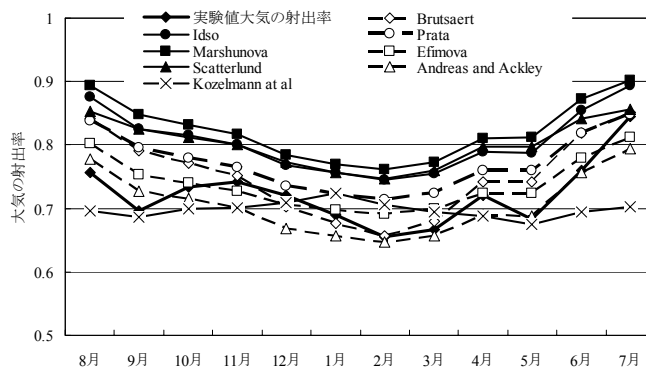


図-2-2 大気の出射率比較（Tetens 水蒸気圧使用）

式(1)は下向きの長波放射量と外気温から大気の出射率を求める式であり、各図には実験値から求めた大気の出射率を示した。

$$\varepsilon_{sky} = E \downarrow / \sigma T_a^4 \quad (1)$$

ここで、 T_a ：外気温[K]， σ ：Stefan-Boltzmann 定数（ $5.67 \times 10^{-8} [W/m^2K]$ ）， $E \downarrow$ ：下向き長波放射量 [W/m^2]

各図から1年間で大気の出射率が変動している事がわかる。そして夏季の方が冬季よりも高い値を示すことがわかった。図-1 から実験値の大気の出射率と各提案式の大気の出射率はあまりよく一致していないことがわかる。図-2 と図-3 においては実験値の

大気の出射率と同じような値を示している提案式があり、図-2 では Andreas and Ackley の式、図-3 では Berdahl and Martin の式である。

4. まとめ

本研究より得られた知見を以下に記す。

- 1) 大気の出射率はどの提案式においても、0.6 から 0.9 の値をとる事がわかり、また季節変動することがわかった。
- 2) ASHRAE の式と Tetens の式で求めた水蒸気圧と露点温度を使用し、大気の出射率を比較した場合それほど、顕著な差が見られなかった。
- 3) 実験値の大気の出射率と比較した場合、表-1 では Zillman の提案式が一番近く、表-2 では Andreas and Ackley の式、表-3 では Berdahl and Martin の提案式が一番近い値を示す事がわかった。

【参考文献】

- 1) 椎名貴快, 松井邦人, Smith, T.F: 地上気象観測データを用いたアスファルト舗装の内部温度推定, 土木学会, 第2回舗装工学論文講演会論文集, pp.105-112, 1997。