

塗膜の色彩を変えた材料の日射による表面温度

Surface temperature of material which change color of paint film by insolation.

川崎三十四*¹

Satoshi KAWASAKI

This research is the one that it was attempted to presume the surface temperature by insolation of the material which gives paints each color. The materials which spread paints each color in summer and winter were outdoor exposed and the surface temperature was measured. The materials used for the measurement were aluminum, stainless steel, glass, and acrylic resin with different thermal character. Paints color used white, yellow, red, green, blue, black. The air temperature, material and the color examined the difference of the surface temperature when differing as result by the measurement of the surface temperature.

Keywords: Surface temperature, Air temperature, Material, Color, Reflectivity, Paint film, Insolation

表面温度, 外気温度, 材料, 色彩, 反射率, 塗膜, 日射

1. はじめに

建築物の屋外に面する部分の表面温度は多少なりとも日射によって変化しており, 材質, 構法などによっても異なる。また日射がある場合, 塗料を塗布した建築物の各部位, 各種材料の表面温度は, その材質とともに色彩によっても異なる。

日射で暖められた建築構成材料からの輻射熱などの問題, 建築工事作業や日常生活行為などで高温になった材料への接触時の問題など材料表面温度に関連する諸課題は多い。そこで本研究は建築物の外装部表面温度を類推出来ることも必要と考え, 手始めに色彩の異なる塗料を塗布した材料の日射による表面温度の影響を調査検討した。本報では試験材料を屋外暴露して夏季と冬季の表面温度の測定を行った結果から表面温度の予測方法について検討したことを述べる。

2. 測定材料

測定に用いた材料は表-1に示すように熱的性質の異なるアルミニウム, ステンレス, ガラス, アクリル樹脂の4種類である。これらは何れも寸法を全て一定

表-1 試験材料の熱的性質

試験材料	熱伝導率 λ (W/m·K)	密度 ρ (kg/m ³) $\times 10^3$	比熱 c (kJ/kg·K)	熱容量 (kJ/m ³ ·K) $\times 10^3$
アルミニウム (Al)	210.00	2.70	0.90	2.43
ステンレス (St)	45.00	7.86	0.48	3.77
ガラス (G1)	0.78	2.54	0.77	1.96
アクリル樹脂 (Ac)	0.20*	1.19*	1.46*	1.74

*物性値は「日本建築学会編, 建築設計資料集成1環境, 丸善, 1978」による。ただし*印は「山口ほか3名編, プラスチック材料選択のポイント, 日本規格協会, 1979・7」による。

とし100×100×2mmにした。表面色には一般に使用されている黒色, 青色, 緑色, 赤色, 黄色, 白色の6色の水性塗料をそれぞれ2回づつ吹き付けた。なお, 素材の色彩はアルミニウム, ステンレスはシルバー, ガラス, アクリル樹脂は透明である。

3. 測定方法

表面温度の測定は図-1および写真-1に示すようにJIS K 5400に準拠する木製の曝露台を, 海拔6mの東経130度46分, 北緯31度44分から直線距離にして約700mの位置にあるD工大キャンパス(鹿児島県国分市)

*¹建築学科 教授 Dr. Eng, Cn. Eng, Professor, Department of Architecture

に設置して行った。測定時期は平成12年の8月と12月であり、その時の太陽高度と方位角は表-2の通りである。^{1), 2), 3)}本研究では研究の初期であり材料の違い、塗料の色の違いの影響を見ることが主目的であるため、ほぼ太陽高度の高いときと低いときをねらった。

各材料は、左右各10mm幅の支持板に、厚さ5mmの断熱材を貼りその上に両面テープで固定し、その他の面は空气中に曝した状態とした。各材料表面の温度は、熱電対(JIS C 1602 T, 直径0.32mm)を材料表面に接着テープで貼り付け、打点温度記録計で測定した。外気温の測定は試験材料の近くの日陰で測定した。

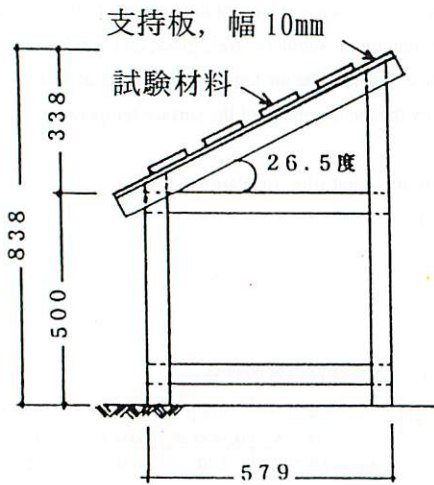


図-1 暴露試験台(木製)(単位:mm)



写真-1 表面温度の測定状況

表-2 太陽の高度と方位角(東経130度46分, 北緯31度44分)

	時刻	高度(度)	方位角(度)
平成12年8月8日(火)	8:00	28.9	-91.8
	10:00	54.1	-72.7
	12:00	73.5	-19.4
	14:00	62.9	60.4
	16:00	38.4	85.6
平成12年12月21日(木)	8:00	7.9	-56.1
	10:00	26.2	-34.5
	12:00	34.7	-4.0
	14:00	29.3	27.9
	16:00	12.9	51.6

4. 全天日射量と外気温

本報では外気温の測定によって表面温度を検討したが、そのもととなる日射量については簡易日射計で測定しその結果を図-2に示す。外気温は全天日射量に相関しており、測定精度などを精査し今後の課題として検討の必要がある。なお直達日射量と外気温の相関は既往のデータ³⁾等で小さいことが判明している。

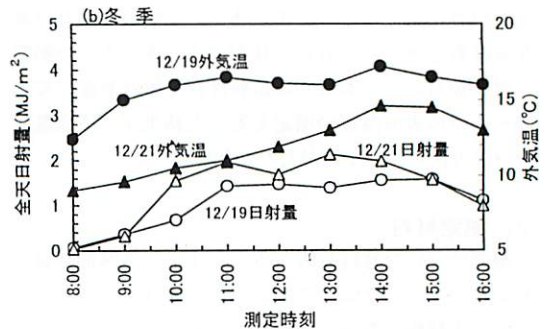
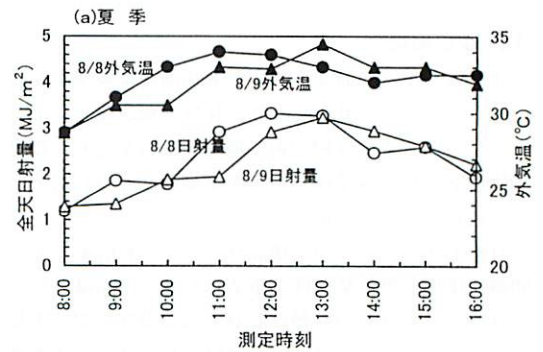


図-2 全天日射量, 外気温の経時変化 (測定:平成12年8月, 平成12年12月)

塗膜の色彩を変えた材料の日射による表面温度

表-3 マンセル表色系による暴露試験材料の表面色 ()内は視感反射率, 視感反射率の単位: (%)

材料名	アルミニウム			ステンレス			ガラス			アクリル樹脂		
	色相	明度 (視感反射率)	彩度	色相	明度 (視感反射率)	彩度	色相	明度 (視感反射率)	彩度	色相	明度 (視感反射率)	彩度
白色	6.6G	9.4 (87.6)	0.1	3.4BG	9.3 (85.3)	0.1	1.5G	9.4 (87.6)	0.1	5.9G	9.4 (87.6)	0.1
黄色	5.2Y	8.0 (59.1)	10.4	5.1Y	8.1 (60.9)	10.4	5.0Y	8.1 (60.9)	10.3	4.8Y	8.1 (60.9)	10.5
赤色	6.9R	3.7 (10.1)	12.8	7.1R	3.7 (10.1)	9.9	6.9R	3.7 (10.1)	10.3	6.8R	3.8 (10.7)	10.4
緑色	1.1G	3.7 (10.1)	4.1	1.0G	3.7 (10.1)	4.1	1.0G	3.6 (9.6)	4.1	1.1G	3.6 (9.6)	4.1
青色	4.7PB	3.2 (7.5)	6.6	4.7PB	3.2 (7.5)	6.8	4.7PB	3.2 (7.5)	6.8	4.6PB	3.2 (7.5)	6.7
黒色	5.9Y	1.9 (2.9)	0.1	6.9Y	2.0 (3.1)	0.0	7.1Y	1.9 (2.9)	0.1	5.8Y	1.9 (2.9)	0.0

5. 結果及び考察

1) マンセル表色系による試験材料の表面色

塗装した各試験材料の色彩を色彩差計 (CR-300) を用いて測定し, マンセル表色系によって表した結果を表-3に示す。また表面温度は材料表面の視感反射率に影響を受ける。視感反射率と明度の関係は, アメリカ光学会 (O.S.A) 測色委員会の (1) 式⁴⁾ ならびに近似式の (2) 式⁴⁾がある。本研究では (1) 式を用いて視感反射率を求めた結果を図-3に示す。何れの材料も塗料を十分塗布してあるため下地の材料の影響を受けずにそれぞれの色彩に対応した視感反射率

を示している。

$$Y = 1.2219V - 0.23111V^2 + 0.23951V^3 - 0.021009V^4 + 0.0008404V^5 \dots \dots \dots (1)$$

$$Y = V(V-1) \dots \dots \dots (近似式) (2)$$

ここに, Y: 視感反射率 (%)

V: 明度

2) 表面温度の経時変化

各材料の表面温度は測定機器の関係から夏季については平成12年8月8日及び9日, 冬季については平成12年12月19日及び21日に測定した。各測定材料別に午前8時から午後16時までの色彩による表面温度の経時変化を夏季は図-4に, 冬季は図-5に示す。日中で表面温度が変動しているのは雲によって日差しが遮られたことによる影響である。

各材料の表面温度は太陽高度が高くなるに従い高温となり, 正午頃から午後2時頃が最も高温となる。その後, 太陽高度が低くなるに従い低温になる。試験材料の材質の違いは測定日が異なる場合の比較はできないが, 同一測定日のものを比べると熱伝導率の大きい材料ほど表面温度が高い傾向を示している。また, 試験体に塗布した塗料の色の違いによっても表面温度が異なることを示している。

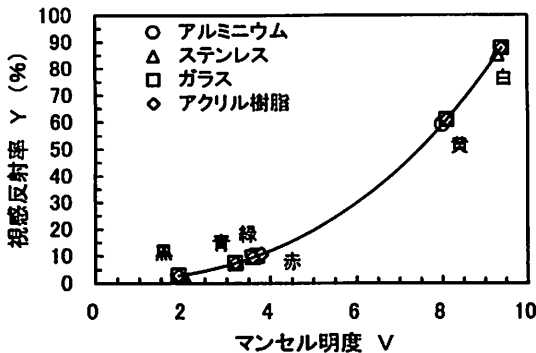


図-3 マンセル明度と視感反射率の関係

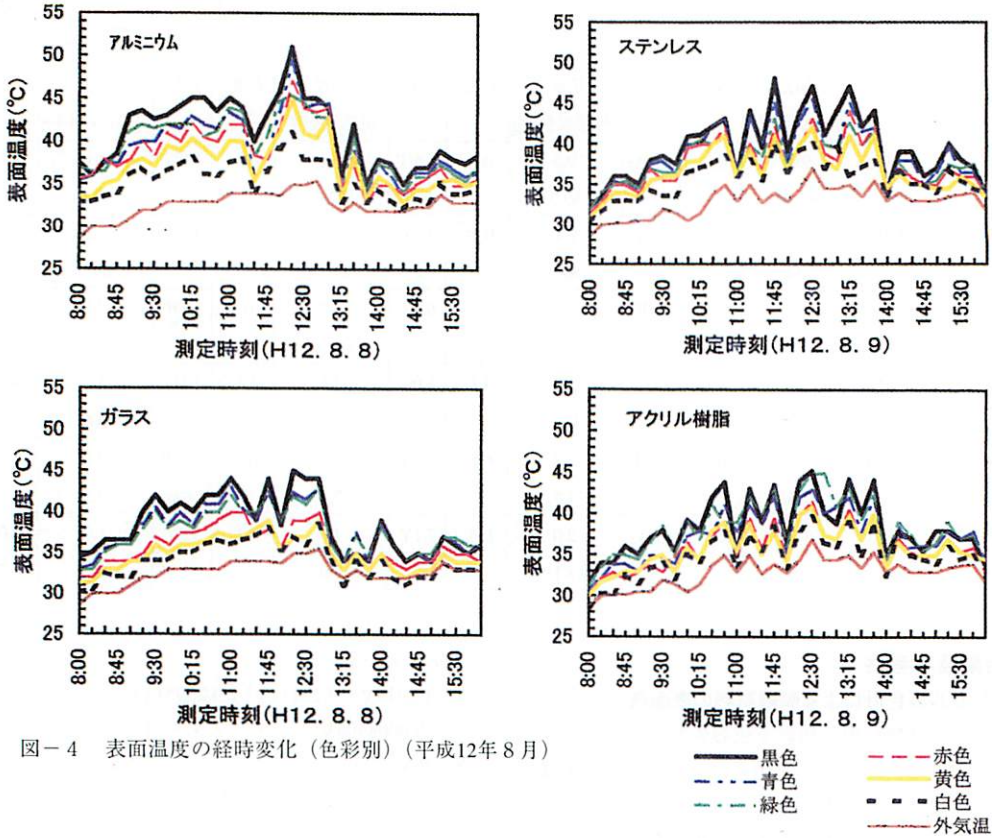


図-4 表面温度の経時変化(色彩別)(平成12年8月)

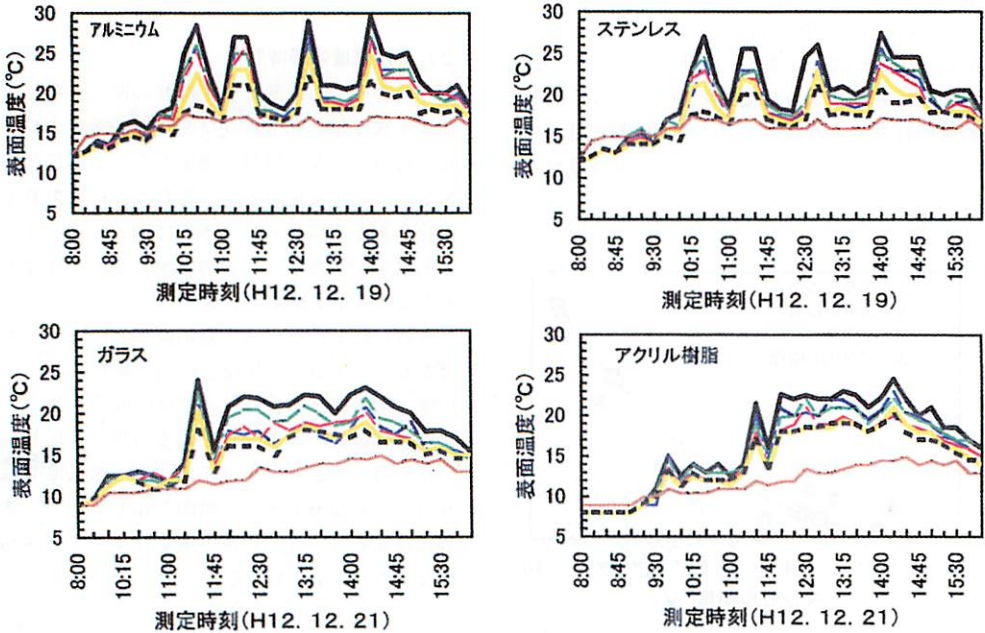


図-5 表面温度の経時変化(色彩別)(平成12年12月)

塗膜の色彩を変えた材料の日射による表面温度

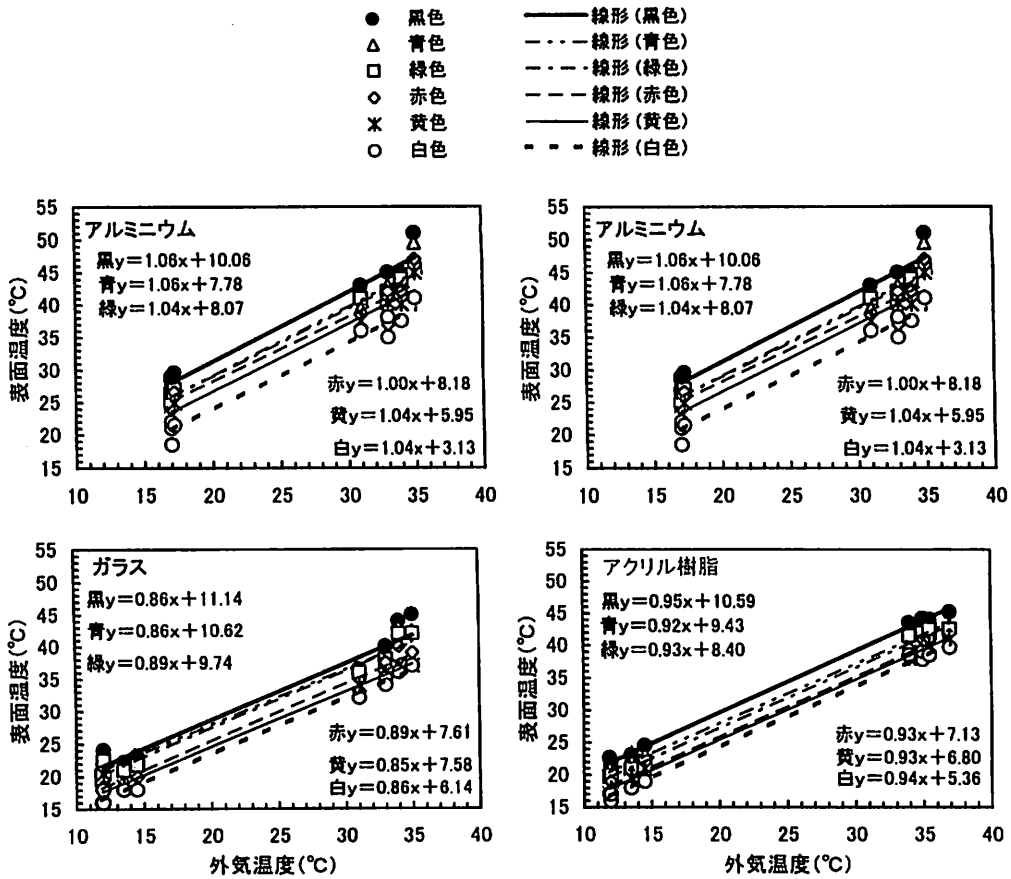


図-6 外気温と表面温度の関係

3) 外気温と表面温度の関係

外気温と各材料の表面温度の関係を検討するため、図-4、および図-5の測定結果から、各材料とも夏季、冬季の午前8時から午後16時までの間の日射のある時刻(図-4、図-5の凸の部分)の表面温度を平均化するために5ポイントを抽出して表した外気温と各塗膜材料の表面温度の関係を図-6に示す。黒色と白色がそれぞれ最高、最低の表面温度を示し、その他の色彩はその間に分布し黒色、白色と同様な温度勾配を示す。回帰式の寄与率は何れも0.94~1.0の範囲であった。尚、外気温は試験材料の近くの日陰で測定している。

4) 視感反射率と表面温度の関係

異なる色彩の視感反射率による表面温度を明らかにするために、外気温と各材料の表面温度の関係と同様

表-4 表面温度の推定回帰式(視感反射率から推定)

材料	外気温(°C)	回帰式	R ²
アルミニウム	15	$y=-1.82\text{Ln}(x)+27.7$	0.92
	35	$y=-1.92\text{Ln}(x)+48.7$	0.89
ステンレス	15	$y=-1.46\text{Ln}(x)+24.9$	0.84
	35	$y=-1.81\text{Ln}(x)+46.9$	0.87
ガラス	15	$y=-1.43\text{Ln}(x)+25.7$	0.85
	35	$y=-1.56\text{Ln}(x)+43.4$	0.91
アクリル樹脂	15	$y=-1.35\text{Ln}(x)+25.6$	0.85
	35	$y=-1.37\text{Ln}(x)+44.4$	0.84

(注) y: 表面温度(°C), x: 視感反射率(%)

な手法で平均値を用いて視感反射率と表面温度の関係を表したものを図-7に示す。両者の関係は片対数座標上で、各材料とも平行な直線を示している。各材料の測定日が異なるため相対的な比較となるが、各材料とも視感反射率が大きくなるに従い表面温度は低くな

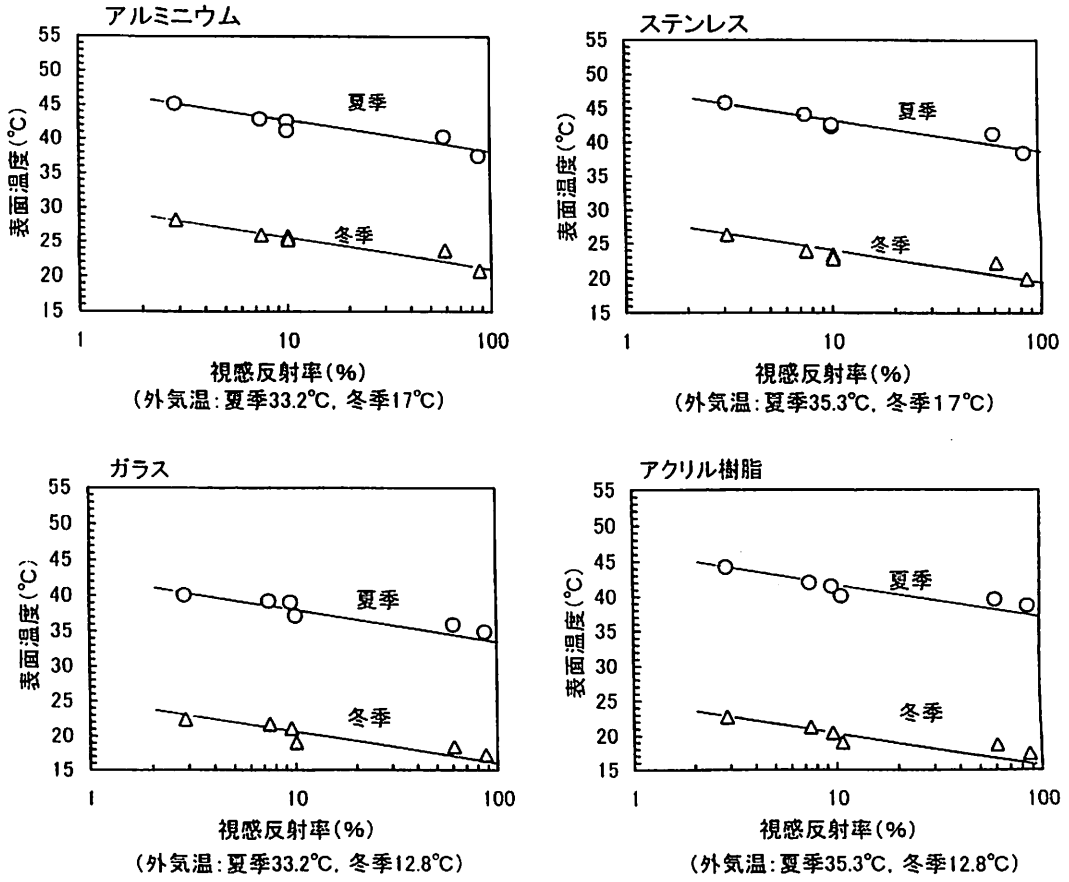


図-7 色彩の視感反射率と表面温度の関係

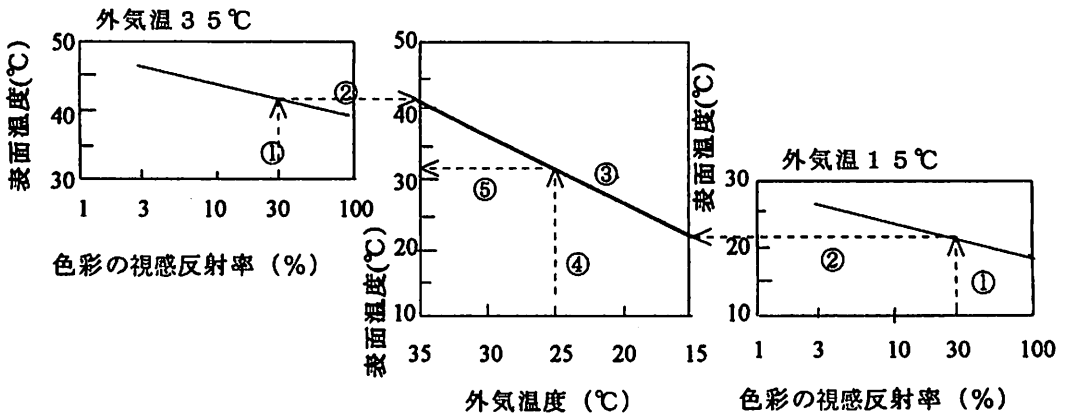


図-8 表面温度の推定模式図 (アルミニウム)

っており、視感反射率2%の黒色に対して、視感反射率90%の白色は5℃～8℃低くなっている。

5) 色彩の反射率、外気温、材質から表面温度を推定する方法の検討

外気温と表面温度の関係(図-6)をもとに外気温が15℃、35℃の場合の表面温度を推定する回帰式は表-4のように求められる。この回帰式をもとに外気温や色彩の視感反射率、材質が異なる場合の表面温度を推定する方法を検討した。例えば、図-8の推定模式図に示すように視感反射率が30%で、外気温25℃の表面温度を推定する場合、外気温15℃と35℃の視感反射率が30%のところを図-6で求めた回帰線に延長し(表-4の回帰式で求めても良い)、それぞれの交点を結んだ線に、外気温25℃からの延長線が交わった点が推定される表面温度となる。

6. まとめ

本研究によって得られた結論を以下に示す。

- ① 同一測定日のものを比べると熱伝導率の大きい材料ほど表面温度が高い傾向を示す。
- ② 試験体に塗布した塗料の色の違いによっても表面温度が異なる。
- ③ 色彩別の温度差は雲のない青空のときに大きく現れ、雲によって太陽の直達日射が遮られると、色彩の違いによる表面温度の差異はほとんど現れない。
- ④ 各材料の表面温度は視感反射率によって異なり、視感反射率が大きくなるに従い表面温度は低くなる。
- ⑤ 表面温度は視感反射率が小さい黒色が最も高く、視感反射率の大きい白色が最も低い。
- ⑥ 塗膜を施した材料の表面温度の推定は外気温から推定できる。また、視感反射率から推定する場合は、予め外気温が低温度と高温度のときの材質、色彩ごとの表面温度が分かっておれば、視感反射率と外気温から推定できる。

- ⑦ 今後は太陽の全天日射量、材料の厚さと大きさ、素材の色彩などによる違い、熱伝導率、熱容量などからの検討を要する。

(参考文献)

- 1) 板本守正, 市川裕通, 片山忠久他2名著: 改訂新版環境工学, 朝倉書店, 1987年版
- 2) 田中俊六, 武田仁, 足立哲夫, 土屋喬雄著: 建築環境工学, 井上書院, 1999年版
- 3) 国立天文台編, 理科年表, 丸善, 平成12年度版
- 4) 建築環境工学用教材, 環境編, 日本建築学会, 1990年版, pp.41-42
- 5) 近藤恒夫著: 色彩学, 理工図書, 1969年版, pp.31-51
- 6) 千々岩英彰著: 色彩学概説, 東京大学出版会, 2001年版
- 7) 山中俊夫著: 色彩学の基礎, 文化書房博文社, 1997年版
- 8) 川上元郎, 小川原仁著: 新版 色の常識, 日本規格協会, 1999年版
- 9) 川上元郎著: 色のはなし, 日本規格協会, 2002年版
- 10) 平井敏夫著: 色をはかる, 日本規格協会, 1998年版
- 11) JISハンドブック: 61, 色彩, 日本規格協会, 2002年版
- 12) 新編色彩科学ハンドブック(第2版) 日本色彩学会編, 東京大学出版会, 2001年版
- 13) 川崎三十四: 色彩が異なる材料の日射による表面温度について, 日本大学学術講演会建築部会講演梗概, pp.153-156, 2001年12月
- 14) 川崎三十四: 塗膜の色を変えた材料の日射による表面温度について, 日本建築仕上学会2002年大会学術講演会研究発表論文集, pp.41-44, 2002年9月