

衣服の色彩がもたらす 表面温度の違いに関する屋外実験

一ノ瀬 俊明

正会員 工博 独立行政法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター

/ 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

* E-mail: toshiaki@nies.go.jp

2011年3月福島第一原発事故後の夏季空調における節電必要性の高まりを背景として、同年8月の晴天日に茨城県つくば市の(独)国立環境研究所敷地において、日中屋外(建物等による日影のかからない場所)で色彩以外が同一規格の衣料(U社製、同一素材・デザインのポロシャツ、色違いの9色)を用い、表面温度の経時変化を記録(赤外線サーモグラフィで最高温度を読み取る)した。色の明度という概念は可視光の反射率を代表しており、表面温度を決める支配的要因の1つであると考えられる。色彩による温度差(最大で20℃程度)は明瞭であったが、濃緑や緑が明度の低い黒よりも高温となるケースが多く観測され、近赤外領域での反射特性などにメーカーが意図しない差異が存在している可能性が示唆された。

Key Words : color, cloth, brightness, radiation, electricity saving

1. はじめに

2011年3月の福島第一原発事故後、夏季の空調における節電の必要性が強調されている。冷房の空調需要に関しては、著者は衣服の色彩と着用時の温熱快適性にも注目すべきであると考えている。この分野は家政学・被服学の領域であるが、従来ほとんど関心が向けられていなかったようで、データも少ない。

屋外を徒歩で通勤する場合、表面温度が上昇しやすい黒よりも上昇しにくい白を選ぶなど、夏服の色彩に対する配慮は、熱中症の予防等健康維持の観点からも重要である。職場などに到着した際の空調に対する要求に関し、衣服の色彩の相違が有意な差をもたらしかどうかの検討が必要であると思われるが、本研究ではその前段階にあたる部分の検討を行った。

2. 建築物・舗装面の塗装における研究事例

短波放射とも表現される太陽放射エネルギーの量的な構成は、紫外線(波長: ~約0.4 μm)が約7%、可視光線(約0.4 μm~約0.8 μm)が約47%、赤外線(約0.8 μm

~)が約46%となっている。このうち太陽放射に含まれる赤外線は、赤外線の中でも近赤外線とよばれる領域(780~2500nm)である。これは最も物質に吸収されやすい波長領域であり、吸収された光エネルギーは分子運動を活発にし、熱へと変わる。

都市の高温化防止対策として、日本では舗装面などへの散水が注目されているが、水資源の貴重な地域では一般的なものではなく、また、都市緑化を維持するための用水も厳しいところでは、都市表面の明色化(地中海地域、カリフォルニアなど)が推奨されている¹⁾。

米国EPAが「都市の明色塗装に関するガイドライン」¹⁾を刊行して以降、都市の表面温度を上げないためのCool Surface研究はローレンスバークレイ国立研究所などを中心に推進され、1990年代より建物表面や都市舗装面の塗料への混入材料、塗装面における被膜の構造などがもたらす太陽放射の反射率(albedo)向上に関して多くの成果を上げてきた²⁾。また日本国内においても、神戸大学屋上のCool Roof実験施設などにおいて関連の実証研究³⁾が進められているほか、民間企業においても特殊塗料の商品化が行われている(図-1; 図-2)⁵⁾。

たとえば、色彩は同一(可視光の反射特性が同じ)でも、直接色彩には関係しないはずの近赤外領域の反射特

性が異なれば、色彩によらず表面温度を下げる可能性がある程度可能である。今日では、近赤外領域の反射率を特殊素材の混入や特殊被膜の重ね合わせなどで高めた高反射性塗料が商品化されている（図-1）。

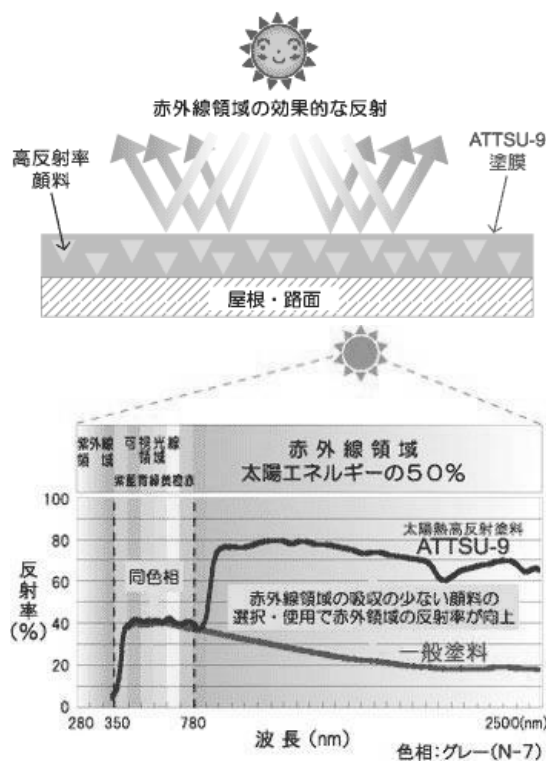


図-1 特殊塗料による建物表面温度低減のメカニズム
日本ペイント株式会社資料⁹⁾

しかし、その価格は通常のものより高額（およそ1.5倍）であり、こうした技術について、量産に必要な衣料の染料への応用が可能かどうかは明らかでない。

また、白・灰・黒のように、可視光領域のすべての波長帯における反射率が等しい場合（色相が同じで明度だけが違う）、可視光領域と近赤外領域とで反射特性が一般的に類似することが知られている（図-2）。この事例では、色彩による表面温度制御の可能性がわかりやすく示されているものの、それ以外の特定の色彩、つまり、その色彩に応じた特定の可視光領域の反射率だけが高くなっている場合、近赤外領域における反射特性がどうなっているのかについての知見は存在しない。

なお、Cool Surface研究においてもバンドが狭く相対的に放射エネルギーの大きくない紫外線の対策はあまり重要視されていない。衣料の分野でも、いわゆるUVカットはあくまで日焼け防止などの目的で行われており、表

面温度を下げるための工夫ではない。

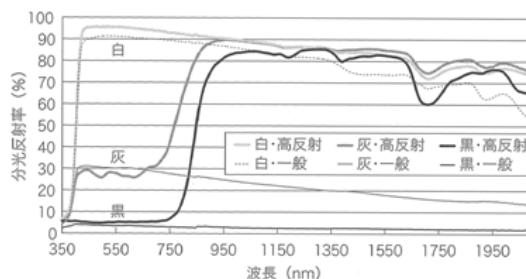


図-2 可視光領域と近赤外領域の反射特性における類似性
三木コーティング・デザイン事務所資料⁹⁾



図-3 屋外実験の様子

上：2011年8月8日 下：2011年8月9日

3. 夏季屋外における衣服の色彩選択の効果に関する実証実験

以上を踏まえ、2011年8月の晴天日に茨城県つくば市の（独）国立環境研究所敷地において、日中屋外（建物

等による日影のかからない場所)で色彩以外が同一規格の衣料(U社製、綿77%・ポリエステル23%・同一デザインのポロシャツ、色違いの9色)を用い、地上約1mの高さにつるした状態で表面温度の経時変化を記録(赤外線サーモグラフィで最高温度を読み取る)した(図-3)。衣類表面への日射の当たり方によって温度ムラが大きいので、ここでは見えている範囲の最高温度を読み取る方法を採用した。

実験に先立ち、衣料サンプルの色彩を定量化しておく必要がある。HSB色空間(色相Hue, 彩度Saturation, 明度Brightness)もしくはHSV色空間(Hue, Saturation, Value)はAlvy Ray Smithによって考案された概念である⁷⁾。明度は可視光領域に対する反射率に対応している。RGBの数値が決まれば明度は数式で求められる。そのためのフリーソフトウェアは多数存在しており、RGBを操作しながら明度をPCのスクリーン上で官能試験的に決めることが可能である(表-1)。

表-1 用いた衣料サンプルの色彩と明度との関係

色	明度	R	G	B
黒	0.10	26	26	26
濃緑	0.37	0	94	38
紫	0.43	61	0	110
緑	0.62	0	158	73
青	0.70	0	65	179
赤	0.78	199	0	36
灰	0.88	224	224	224
黄	0.99	254	220	0
白	1.00	255	255	255



図-4 実験場所における天空写真
2011年8月8日12時30分の事例

観測当日の日中は気温が高く、時折太陽が雲に入って

日射量が落ちることはあったものの、総じて日射量の多い典型的な夏の日となった(図-4; 図-5)。2011年8月8日は14時以降太陽が雲に隠れた状態が続いた。

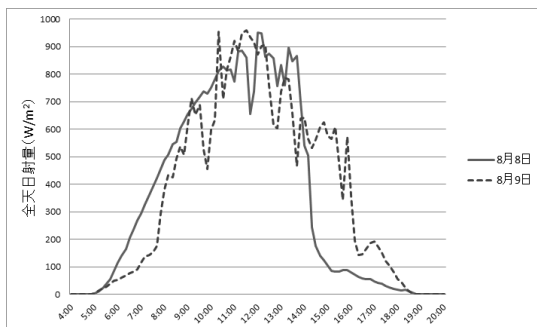


図-5 観測日における全天日射量の日変化
つくば市・気象研究所(10分値)

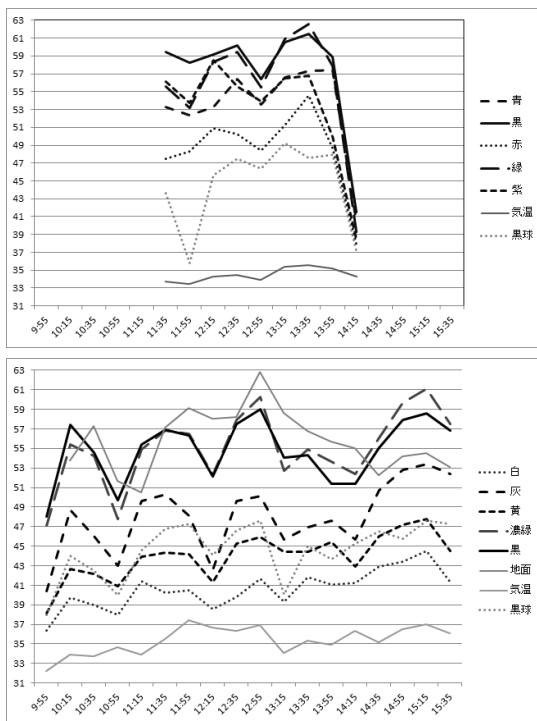


図-6 衣料サンプル表面における最高温度(°C)の経時変化

図-6に表面温度の経時変化を示す。観測スペースの制約上、全9色の衣料サンプルを8月8日と8月9日とに分けて観測している。記録は20分間隔、京都電子工業製AM-101を簡易気象計とし、地上約1mの気温、黒球温度などを同期して記録したほか、一部の時間帯においては衣料

サンプル直下の地表面温度を赤外線放射温度計を用いて観測した。観測開始当初しばらくの間は、明度の序列と温度の序列（逆順）が整合的になっている（図-7）。総じて色彩による温度差は明瞭であり、白・黄がとりわけ低く、灰・赤がほぼ同じレベルで、紫・青がさらに高めで拮抗し、緑・濃緑・黒が最も高温のグループを形成している。また、一般に日射が強まるとこの差は顕著となった（図-5；図-6）。また、濃緑や緑が明度の低い黒よりも高温となるケースも多く観測された。

ここで同じ手法を、教育用折り紙のように厚みがなく、熱容量が小さいと考えられる素材へ適用してみると、白（1.0）、黄（1.0）、赤（0.8）、紫（0.7）、青（0.7）、緑（0.6）、黒（0.0）という明度に対し、観測（2011年7月6日14時15分：快晴）の結果もほぼこの順番（白44℃、黄49℃、赤54℃、紫57℃、青59℃、緑62℃、黒71℃）で低温から高温に並び、衣料サンプルの事例よりもさらに大きな温度差が出現した。なお、13時に屋内で記録した表面温度は、いずれの色彩においても約30℃であった。

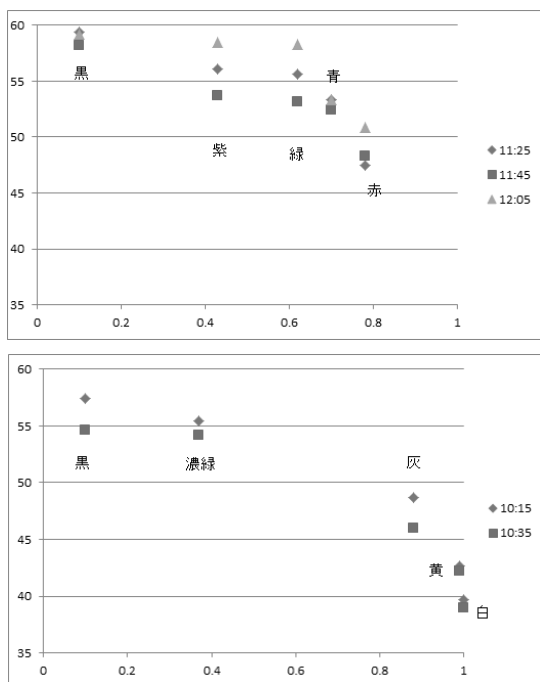


図-7 注目時間帯における明度と温度（℃）との関係

U社広報部門へのヒアリング（2012年1月13日）では、UVカット処理など、染料による対応を色彩によって変えたりはしておらず、また、色彩による温熱快適性の差は存在しない、という見解が示された。よって、色彩以

外の要因、たとえば近赤外領域での反射特性にメーカーが意図しない差異が生じている可能性もあり、今後分光反射特性などの計測も必要である。また、時間帯（気象条件、蓄熱の度合いなど）でもこれらの傾向が変動している。

4. 結論

2011年3月福島第一原発事故後の夏季空調における節電必要性の高まりを背景として、同年8月の晴天日に茨城県つくば市の（独）国立環境研究所敷地において、日中屋外（建物等による日影のかからない場所）で色彩以外が同一規格の衣料（U社製、同一素材・デザインのポロシャツ、色違いの9色）を用い、表面温度の経時変化を記録（赤外線サーモグラフィで最高温度を読み取る）した。色の明度という概念は可視光の反射率を代表し、表面温度を決める支配的要因の1つであると考えられる。色彩による温度差（最大で20℃程度）は明瞭であったが、濃緑や緑が明度の低い黒よりも高温となるケースが多く観測され、近赤外領域での反射特性などにメーカーが意図しない差異が存在している可能性が示唆された。

謝辞：実験をお手伝いいただきました早稲田大学創造理工学部環境資源工学科3年の皆川雄典君に感謝いたします。

引用文献

- 1) Akbari H., Davis S., Dorsano S., Huang J. and Winnett S. Eds.: *Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. U.S.EPA, 1992.
- 2) Gartland L.: *Heat islands: Understanding and mitigating heat in urban areas*. London: Earthscan, 2008.
- 3) たとえば, Levinson R., Berdahl P., Berhe A.A. and Akbari H.: Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane, *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 7807-7824, 2005.
- 4) 佐野公俊, 森山正和, 竹林英樹：クールルーフに関する研究（その1）：高反射性塗料を塗装した屋上表面の放射特性評価に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集（環境系）, Vol. 44, pp. 397-400, 2004.
- 5) 三木コーティング・デザイン事務所編：「～太陽熱高反射技術～ ヒートアイランド対策公開勉強会」資料, 2005.
- 6) 森山正和編：「ヒートアイランドの対策と技術」京都：学芸出版社, 2004.
- 7) Smith A.R.: Color gamut transform pairs, *Computer Graphics*, Vol. 12

Outdoor experiment on difference of skin temperature brought by color of cloth

Toshiaki ICHINOSE

Effect of reflectance of solar radiation was well studied in the field of painting on surfaces of building and paving. However this knowledge has never considered enough in color of cloth. After the accident of the nuclear power plant in Fukushima of March 2011, electricity saving in summer air-conditioning is emphasized. Skin temperatures of polo shirts of the same material and design and the different colors (U company, 9 colors) hanged in the outdoor open space without any shadow at the campus of NIES (Tsukuba) were observed with infrared thermography in fine days of August 2011. The brightness of color (Smith, 1978) is considered to represent the reflectance of visible light. It is found as 1.0, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.4, 0.4, 0.1 for white, yellow, grey, red, blue, green, purple, dark green, black, respectively, in changing RGB balance. In the early stage of this observation the order of observed skin temperatures is almost same with the opposite order of brightness value. This brightness is one of the dominant factors to decide the albedo of solar radiation. Maximum difference between black and white was almost 20 degree.