

財団法人 日本塗料検査協会  
 清水 亮 作  
 技術開発部 前川 晶 三

1. はじめに

近年、地球温暖化現象やヒートアイランド現象が大きな社会問題となっており、特に大都市でのヒートアイランド対策では既設の建築物等に塗るだけで効果が期待出来る「太陽熱高反射塗料」の活用が注目されています。そこで、「太陽熱高反射塗料」の性能や特徴を客観的に評価できる試験方法が非常に重要となりますが、現時点で標準化された手法はまだ確立されておらず、「板ガラス類」の規格である JIS R 3106 を参考にして日射反射率を求めている場合が多いようです。

「板ガラス類」の規格である JIS R 3106 については、既報の日塗検ニュース (116号, 117号, 118号, 119号) でも述べていますが、今回は、日射反射率を求める際に基本となる太陽光スペクトルの重価係数について紹介いたします。

2. JIS 規格や ISO 規格で規定される太陽光スペクトル (重価係数)

2.1 いろいろな分野の JIS 規格

太陽光に関する工業製品の試験方法として種々の JIS 規格が規定されています。例えば、

JIS R 3106：板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法

JIS A 5759：建築窓ガラスフィルム

JIS C 8910：一次基準太陽電池セル

等です。これらの規格では太陽光のスペクトル（波長分布の重価係数）を必要としており、それぞれに規定していますが、奇妙なことにどれも微妙に異なります。しかしながら、我々の太陽は何個もある訳ではなく不変の存在であるはずですが、既報の日塗検ニュース (# 117) で JIS R 3106 及び JIS A 5759 を用いて求めた塗膜の日射反射率を比較し、種々の塗膜で概ね ± 2% 程度の範囲で異なる結果を与えることを紹介しましたが、今回、これらの JIS 規格で用いられた太陽光スペクトルがどのような根拠で決められ、どのような理論（または想定）の違いが重価係数の差となって現れるのかについて追求したいと思います。

2.2 JIS 規格と太陽光スペクトル規定の根拠

JIS R 3106：解説に「国際整合性を重視し ISO 9845-1 の直達日射を採用」と記載。

JIS A 5759：解説に「ISO 9050 の重価係数によった」と記載。

JIS C 8910：特に記載は無いが、ISO 9845-1 の表 1 列 8 記載のデータとほぼ完全に合致。

以上のとおり、各 JIS 規格とも ISO を引用していることが判りましたので、更にその先を追跡してみました。その結果、どれも ISO 9845-1 「Solar energy-Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions-Part1:Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1.5」にたどり着き、さらに ISO 9845-1 は SPCTRAL2(BIRD model<sup>1)</sup>) と呼ばれている手法により算出されたものと判りました (図 1)。そして、日射の成分として JIS R 3106 は直達日射のみを想定しており、JIS A 5759 と JIS C 8910 は全天 (直達+拡散) 日射を想定していることを知りました。前述した JIS R 3106

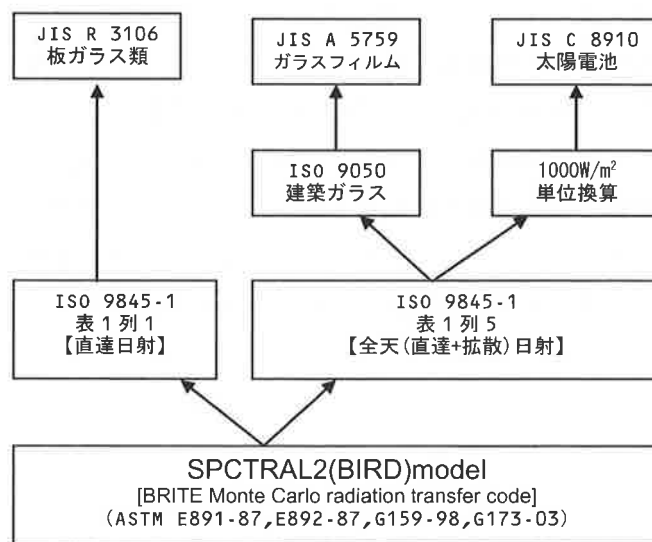


図 1 JIS 規格の太陽光スペクトルが決まる過程

と JIS A 5759 で算出した日射反射率の差は、日射の成分によるものかもしれません。

### 2.3 SPCTRAL2 について

太陽から放射される光エネルギーは、地球大気に侵入する直前（エアマス 0）までは不変かつ唯一のものと考えられますが、地球大気に入るとその状態（大気中の水蒸気、エアロゾル、通過距離、大気密度等）によって減衰したり特定の波長を吸収したりした後に地表に届くため、エアマス 0 とは異なるスペクトルになってしまいます。SPCTRAL2 では、エアマス 0 の太陽光スペクトルが大気の状態を示すパラメータ（表 1）によって、地表に届く時にはどのようなスペクトルになっているかを算出する手法を与えます。

SPCTRAL2 のオリジナルコンピュータプログラムは FORTRAN 言語で書かれていますが、収束するまで演算を繰り返すといった処理が無いことから Excel にも移植され、大変使いやすいパッケージで公開されており<sup>2)</sup>、大気の状態を示すパラメータをセルに入力するだけで一瞬にして太陽光スペクトルを求めてくれます。ただし、太陽の位置関係を計算するプログラムにバグ（誤り）がありますので注意が必要です。

### 2.4 エアマスについて

地表における太陽光スペクトルの状態に最も影響を及ぼすパラメータとしてエアマスが上げられます。このことは、我々の生活の中でも冬より真夏の陽射しの方が強く感じたり、朝夕より日中の方が暖かく感じたりすることからも体感できると思います。エアマスは、同じ場所であっても季節や時刻によって刻々としかも非常に大きく変化しています（図 2、図 3）。

このように、エアマスは太陽光スペクトルの特に

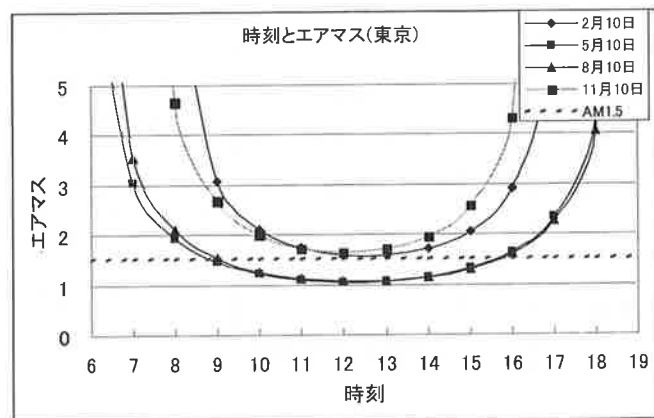


図 2 東京における季節とエアマス

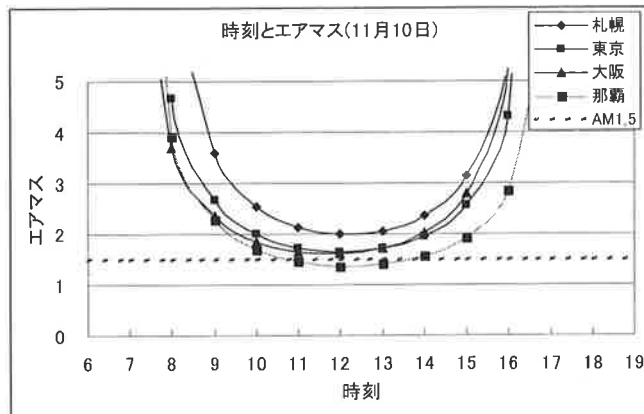


図 3 11月10日における日本各地のエアマス

強度に関して大きく影響するため、任意のエアマスで算出した日射反射率等の値を並べて評価することは、例え比較であっても行うことができません。何らかの基準を設けなければならないのです。前述しました3つの JIS 規格では、幸いどれも「エアマス 1.5」における太陽光スペクトルを基準にしていますので、エアマスについては「同様」として比較することができます。

なお、エアマスとは太陽光が垂直に地球大気を通過した路程の長さをエアマス 1 (AM1.0) として、実際に通過した路程の長さをそれに対する倍率で示します(図 4)。地球大気に突入する直前の状態はエアマス 0 にあたりま

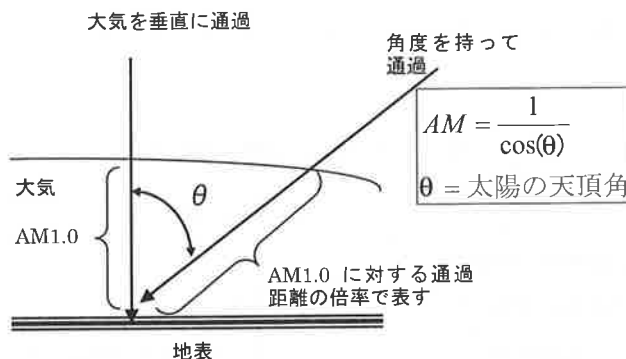


図 4 エアマスの定義

## 3. SPCTRAL2 による太陽光スペクトル（重係数）のシミュレーションと日射反射率

### 3.1 SPCTRAL2 に与えるパラメータ

SPCTRAL2 を用いると、地球上の任意個所の太陽光スペクトルを計算によって推定することができます。例えば、8月1日13時の東京における太陽光スペクトル等を知ることができます。そこで、SPCTRAL2 に大気の状態を示すパラメータ及び日本国内の代表的な地域、季

節、時刻等を入力し（表1、表2）、その計算によって得られた太陽光スペクトルの重価係数を用いて実際の塗膜の日射反射率を求めてみました（表3）。なお、塗膜にはつやの有無による2種類の太陽熱高反射塗料（N6グレー色）を用い、それぞれの分光反射率は入射角8°（正反射を含む拡散反射測定）で測定しました。

### 3.2 計算の結果及び考察

表3を見ると、日本における季節及び観測地（北海道～沖縄）の違いはエアマスを1.5に固定している限り認められず、これらの要因は日射反射率の値には影響を与えないことが解ります。ただし、直達日射のみの場合と全天（直達+拡散）日射では概ね4%ほどの差異が認められ、無視できない差とも考えられます。

次に、季節と観測地を「8月1日の東京」に固定し、時刻を12時～18時（エアマス1.05～3.68）まで変化させた場合の重価係数で日射反射率を求めてみました。この場合、直達日射のみの場合、比較的顕著な差異（12時と18時の差、7.4%）が認められ、全天（直達+拡散）日射では2.6%の差異が見られました。

SPCTRAL2によるシミュレーションにより、塗膜の日射反射率はエアマスの状態によって比較的大きな影響を受け、直達日射と全天（直達+拡散）日射では直達日射のほうがより大きな影響を与えることが解りました。

### 4. おわりに

日塗検では太陽熱高反射塗料の日射反射率の測定

方法について、「JIS R 3106の重価係数」を用いた手法を紹介してきました。しかしながら、詳細を検討している過程で直達日射のみを考慮しているJIS R 3106の重価係数に疑問を持つようになってきました。なぜなら、建築物の屋根や壁等に照射する太陽光は決して直達日射のみではなく、天空（拡散）日射成分も含まれている事実によります。また今回、天空（拡散）日射を考慮した重価係数を用いると、エアマスの影響をより受け難くなることを見出しました。以上のことから、塗膜の日射反射率評価を行う重価係数には全天（直達+拡散）日射で考えたほうがより有意義ではないかとの思いが強くなりましたが、現時点では結論を得るまでには至っておりません。

日塗検では、今後も塗料メーカーや学術研究者の意見を聞きながら、この新しい塗料について、より有意義で人々の役に立つ試験方法の開発を目指し努力してまいります。

### 5. 参考文献

- 1) BIRD, R. E. Hulstrom, R. L. and Lewis, L. J. Terrestrial solar spectral data sheets. Solar Energy, 30(6)(1983) 563.
- 2) <http://rredc.nrel.gov/>
- 3) Angstrom, A., 1964: The parameters of the atmospheric turbidity, Tellus, 16, 64-75

表1 SPCTRAL2 計算に用いたパラメータ

パラメータ	設定値
試験板の設置角	37°
試験板の設置方位	南（赤道）向き
大気混濁係数	0.27（波長500nmの場合）
オングストロームの混濁係数 <sup>3)</sup>	1.14
アルベド	0.20
大気オゾン含有量	0.34cm
気圧	1013.25 h Pa
可降水量	1.42cm
天頂角	観測地（札幌・東京・大阪・那覇）、
エアマス	日付、時刻

表2 観測地のロケーション\*

観測地	ロケーション （緯度・経度）
札幌	N 43° 03' 51" E 141° 20' 49"
東京	N 35° 41' 02" E 139° 45' 15"
大阪	N 34° 41' 12" E 135° 31' 11"
那覇	N 26° 12' 45" E 127° 40' 50"

※ WGS84（世界測地系）

表3 観測地、日付(季節)、時刻(エアマス)を変化させた場合の重係数数  
(SPCTRAL2による計算値)で算出した日射反射率。

重係数モデル (SPCTRAL2で計算)					日射反射率(%)					
					つや有りグレー			つや消しグレー		
					全波長 300~ 2100nm	可視光 300~ 780nm	近赤外 780~ 2100nm	全波長 300~ 2100nm	可視光 300~ 780nm	近赤外 780~ 2100nm
日射 成分	日付	時刻	観測地	エア マス						
直達	8月1日	15:49	札幌	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達	8月1日	15:50	東京	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達	8月1日	15:34	大阪	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達	8月1日	16:04	那覇	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達+拡散	8月1日	15:49	札幌	1.50	50.3	30.4	78.6	49.3	29.6	77.2
直達+拡散	8月1日	15:50	東京	1.50	50.1	30.4	78.6	49.1	29.6	77.2
直達+拡散	8月1日	15:34	大阪	1.50	50.1	30.4	78.6	49.1	29.6	77.2
直達+拡散	8月1日	16:04	那覇	1.50	49.9	30.3	78.5	48.8	29.5	77.2
直達	2月20日	13:22	東京	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達	5月20日	15:44	東京	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達	8月20日	15:32	東京	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達	11月27日	12:15	東京	1.50	54.0	31.3	78.9	52.9	30.4	77.5
直達+拡散	2月20日	13:22	東京	1.50	50.9	30.6	78.6	49.8	29.8	77.3
直達+拡散	5月20日	15:44	東京	1.50	50.0	30.4	78.6	49.0	29.5	77.2
直達+拡散	8月20日	15:32	東京	1.50	50.3	30.4	78.6	49.3	29.6	77.2
直達+拡散	11月27日	12:15	東京	1.50	50.9	30.6	78.6	49.9	29.8	77.3
直達	8月1日	12:00	東京	1.05	46.7	30.9	76.7	45.7	30.0	75.4
直達	8月1日	15:00	東京	1.27	47.5	31.2	76.7	46.5	30.4	75.4
直達	8月1日	17:00	東京	2.15	50.2	32.3	76.8	49.1	31.4	75.5
直達	8月1日	18:00	東京	3.68	54.1	33.4	77.0	53.1	32.5	75.7
直達+拡散	8月1日	12:00	東京	1.05	43.7	29.8	76.4	42.8	29.0	75.2
直達+拡散	8月1日	15:00	東京	1.27	43.9	30.0	76.4	43.0	29.1	75.1
直達+拡散	8月1日	17:00	東京	2.15	44.0	30.1	76.2	43.1	29.2	75.0
直達+拡散	8月1日	18:00	東京	3.68	41.1	29.2	75.7	40.2	28.4	74.5
直達	JIS R 3106			1.50	53.2	31.1	78.4	52.1	30.2	77.0
直達+拡散	JIS A 5759			1.50	51.1	33.0	77.5	50.1	32.2	76.2
直達+拡散	JIS C 8910			1.50	49.6	30.5	78.8	48.6	29.7	77.4