

## 綿、ポリエステル布による紫外線防御

Ultraviolet Radiation (UV) Protection Efficiency of Apparel Fabrics of Cotton and Polyester

塩原みゆき・齊藤昌子

Miyuki SHIOBARA and Masako SAITO

The UV protection efficiency of fabrics depends significantly on the transmittance characteristics of their polymer materials. In addition to this, it shows strong dependence on the weaving properties such as the type of weave, density of warp and weft, thickness, weight, fabric porosity and surface characteristics. APE (UV-A Protection Efficiency) was proposed as the UV-A protection factor of fabrics, APE showed to be a useful index of UV-A protection of fabrics. The color (hue and lightness) effects on the UV protective efficiency of the dyed fabrics was evaluated by UPF and APE. To have the enough UV protection efficiency  $L^*$  values of cellulose should be less than 25 regardless of their hue,  $L^*$  values of polyester should be less than 86 in yellow, less than 67 in red and blue, less than 60 in black color, and the transmittance at 360 nm should be less than 10% in any cases. FWA in detergents has absorption in UV area and is expected to improve the UV protection efficiency of fabrics. It is also proved that thin cotton fabrics such as broad cloth (about 120 g/m<sup>2</sup> weight and about 0.2 mm thick) have the sufficient UV protection efficiency after 2 to 3 times washing with the detergent containing FWA.

UV protection efficiency, cotton, polyester, transmittance, APE, UPF, hue,  $L^*$ , FWA

### 1. はじめに

人体が受ける太陽紫外放射（以下UVと略記）によるリスクには、日焼け、皮膚がん、白内障、免疫機能の低下など、主として中波長紫外放射（UV-B：280-315nm）によって引き起こされるものと、長波長紫外放射（UV-A：315-400 nm）によって引き起こされる薬剤の服用による光線過敏症などがある。近年、これらの患者が急増し、日常生活で通常の強さの太陽光に当ることのできない老人や子供の数が増加してい

る。UVを防御する方法としては、できるだけ肌から遠いところから行うのが基本で、衣服による防御が最も効果的で安全な方法である。最近ではUV防御への関心の高まりから、防御を目的とする日傘、帽子などの製品が登場している。これまでのUV防御に関する研究は、UV防御加工法や、加工した布についての評価がほとんどで、通常の布や衣服によってどの程度UVを防御できるのかということについての系統的な研究はあまり行われて来なかった。

UV防御に関する研究は、世界的には患者を

診察する皮膚科の医者が中心になって進められてきた。患者にとっては毎日大きなリスクに曝されていることになり、皮膚科で日常生活でどのような素材の衣服を着用すればよいのかを質問しても、これに対する具体的な評価や指針がなく、生活に即した具体的な指針が求められていた。

筆者らは、UV防御に最も効果的で安全な、衣服によるUV防御の研究を行ってきた。筆者らの研究では、日常的に最も多く着用されている綿とポリエステル素材の、UVカット加工されていない布帛に絞って、そのUV遮蔽効果を調べた。本論文はその成果についてまとめたものである<sup>1)</sup>。

## 2. 綿とポリエステル白布のUV防御能とUPF<sup>2)</sup>

まず、両素材の白布のUV防御能と、国際照明委員会CIEが定め、国際的に使用されている「布の紫外線防止指数：UPF」の意味と限界について調べた。図1は、両素材のフィルム状試料と布帛の紫外線透過率を示したものである。

セルロースフィルムの透過率は、波長が長くなるに従い徐々に大きくなる。一方、ポリエステルフィルムでは310nm以下では透過率はゼロで、UV-B 防御に優れた素材であるが、310nmを境に急激に増大し350nm付近からは、セルロ

ースフィルムとはほぼ同じ高い透過率を示す。このように、紫外線の透過率は素材高分子の化学構造によって大きく異なる。そして、布帛の透過率はこの素材高分子の透過挙動を基本とし、そこに布の織密度（平面重、厚さ、空隙率）と織組織（表面形態）特性が加わることになる。

布のUV防御指標として国際的に使用されているUPFは、ISO/CIE標準紅斑作用スペクトルE<sub>λ</sub>、真夏のメルボルンの正午の太陽放射スペクトルS<sub>λ</sub>、および布の透過率T<sub>λ</sub>を積算して算出され（式1）、UPF値とUV防御能との関係は表1のようにになっている。

$$UPF = \frac{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} \cdot Ser(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} \cdot Ser(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

E<sub>λ</sub>: 太陽放射スペクトル (W/m<sup>2</sup>/nm) メルボルン (38°S) 1990/1/17 正午  
 Ser(λ): ISO/CIE標準紅斑作用スペクトル  
 T(λ): 布の透過率  
 Δλ: 波長間隔 (nm)

表2は、筆者らが試験した布の305および360

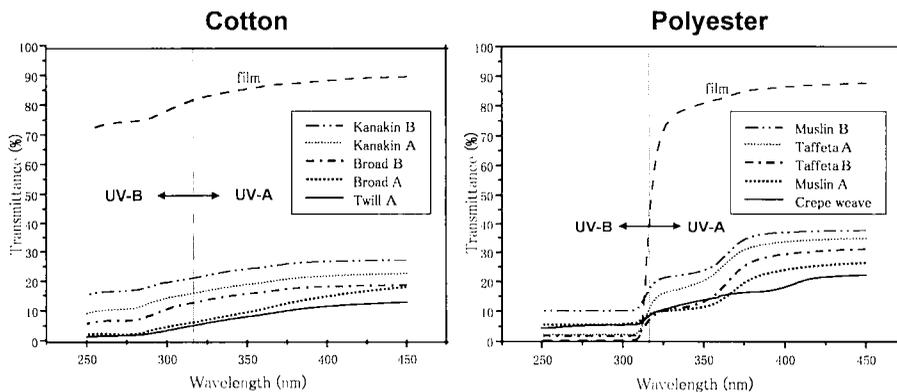


図1 Transmittance of cotton and polyester fabrics, and their films.

表2 Sample fabrics (undyed and non-fluorescent) and their UV protection effect.

Material	Weave	Sample No.	305 nm		360 nm		Porosity (%)	UPF	
			T	R	T	R			
Cotton	Plain-weave group	C-2	23.6	53.9	29.0	60.2	11.9	4.1	
		C-3	27.0	50.0	32.2	55.3	14.7	3.6	
		C-5	16.3	55.5	23.6	63.8	0.8	5.8	
		C-8	20.0	49.1	24.9	54.3	2.8	4.8	
		C-9	20.8	46.6	28.5	56.6	11.5	4.6	
	Twill group	C-4	5.7	57.5	12.4	68.5	0.3	14.9	
		C-6	7.8	55.7	14.3	66.0	0.8	11.4	
		C-7	11.9	55.3	20.1	66.3	3.9	7.6	
		C-15	9.2	58.0	16.9	68.5	0.2	9.6	
		C-10	12.1	53.0	19.1	63.1	7.1	7.6	
Others	C-11	14.7	47.5	25.7	66.7	1.9	6.1		
	PES-1	2.5	6.7	32.7	30.8	13.2	12.8		
Polyester	Plain-weave group	PES-2	2.1	7.0	22.5	28.7	12.7	17.9	
		PES-3	5.8	4.9	15.2	29.5	12.8	13.2	
		PES-4	8.8	3.8	30.2	27.8	16.0	7.8	
		PES-8	39.1	3.1	57.1	25.7	38.1	2.4	
		PES-9	24.4	3.4	36.5	24.6	27.4	3.8	
	Twill group	PES-11	2.4	5.0	18.8	37.6	6.1	22.7	
		PES-16	1.7	5.2	21.4	44.6	5.0	21.5	
		PES-20	2.7	4.6	20.2	42.3	6.9	19.2	
		PES-23	50.1	3.2	72.0	10.2	46.3	1.8	
		PES-12	1.2	6.1	22.8	56.9	3.4	23.9	
		PES-18	0.2	4.6	1.7	34.7	0.2	19.1	
		PES-27	0.3	4.7	7.8	36.8	0.8	79.0	
		Others	PES-26	0.9	4.5	10.7	37.0	4.6	41.9

T: Transmittance (%)  
R: Reflectance (%)

nmにおける透過率、反射率と空隙率、UPF値を示したものである。綿の透過率はポリエステルより大きく、UV防御と言う点ではポリエステルが有利である。また、両素材の白布の透過率は綾織が平織より低く、反射率は綾織が高い。平面重が同じ場合、ポリエステル白布の透過率は綿布より低く、ポリエステル白布は、平織でも空隙率が5%以下であればUPF値が20を越える。

布の透過率とUPFとの関係についてみると(図2, 3)、UPFは305nmの透過率との相関が見られるが、360nmの透過率には相関が見られない。これはポリエステルのUV-A透過率が急激に高くなることに起因しており、UPFはUV-Bの防御指標にはなるが、必ずしもUV-Aの防御指標にはならないことを示している。

ポリエステル白布は、綿白布と異なり、平面重が小さく(約80g/m<sup>2</sup>)、薄手の布(約0.1mm)の場合でも、UV-Bの吸収が大きく、反射率が低いことから、優れたUV-B防御布である。

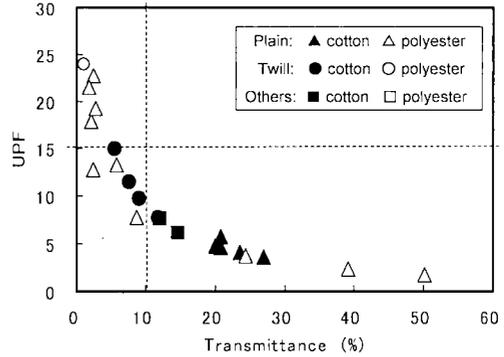


図2 Relationship between UPF and transmittance (at 305 nm) of cotton and polyester white fabrics.

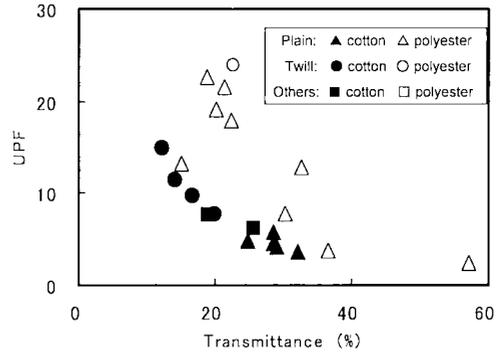


図3 Relationship between UPF and transmittance (at 360 nm) of cotton and polyester white fabrics.

### 3. DNA鎖切断効率を利用する布のUV-A防御指標APEの提案<sup>3)</sup>

2の成果から、UPFが必ずしもUV-Aの防御指標にはならないことが判明したので、布のUV-A防御指標APEを考案した。

APEは、式2で表されるもので、通常は2本閉鎖構造をしているプラスミドDNAにUV-Aを照射してDNAを損傷させ、そのうちの1本の鎖が切断されて開環構造へと変化し、さらに光損傷を受けると2本の鎖が切断されて直鎖構造へと変化するのを利用したものである。

$$APE = \frac{[DNA \text{ 光損傷反応量}]_{no \text{ fabric}}}{[DNA \text{ 光損傷反応量}]_{fabric}} \quad (2)$$

$$= \frac{[FI(O.C.)+FI(L.)]_{no \text{ fabric}}}{[FI(O.C.)+FI(L.)]_{fabric}}$$

FI: Fluorescence Intensity (エチジウムプロマイドの蛍光強度)

O.C.: Open Circular

L.: Linear

fabric: 布あり

no fabric: 布なし

実験には、UV-A透過率の大きいポリエステル布10種(表3)について、太陽光とBLBランプを用いて、布のあるなしでDNAの損傷量の違いを測定して、評価した。APEは、許容露光時間によって3段階に分類して評価指標とした(図4)。

布のUV防御能は、UPFとAPE両方で評価すべきであること、この2つからUV防御能が高いと評価されたポリエステル白布は、いずれも表面に凹凸のある厚地の布で、360nmの透過率が10%以下のものであった。

#### 4. UV防御に与える染色の効果<sup>4)</sup>

2および3では白布について調べてきたので、

表3 UPF and APE of white polyester fabrics.

Fabric	UPF	APE
Muslin	7.8	2.2
Chiffon Georgette	2.4	1.4
Georgette	3.8	2.0
de Chine	22.7	3.0
Organdie	1.8	1.2
Tuxedo Satin	39.6	6.6
Twill A	191.0	6.9
Chirimen	19.2	2.5
Amunzen	41.9	6.3
Twill B	79.0	3.0

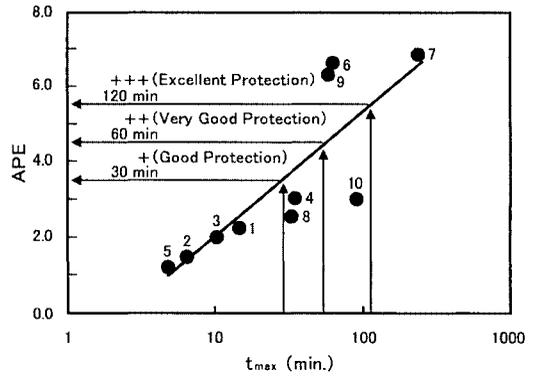


図4 APE classification, and relationship between tmax and APE.

染色された場合にUV防御能はどのくらい向上するのかを調べた。

まず、セルロースフィルムと綿カナキンを同一の染料で染色した試料を作成した。染料には赤、青、黄色をそれぞれ2~3色用い、それぞれ単独で使用し、染料濃度は3%と5% o.w.f.とした。図5は染色フィルムの、図6は同じ染料で3% o.w.f.で染色したカナキン布のUV透過スペクトルである。フィルムでは、透過スペクトルは染料によってλmaxが異なったが、カナキン布では染料による違いは現れず、全ての染料において透過率は全波長域で10%以下であった。5% o.w.f.では、さらに透過率は小さくなり、全て5%以下であった。表4と図5は、染色した綿カナキンの測色値とUPF値を示したものである。

これらのデータは、まずカナキン(厚さ約0.3mm)以上の厚さの布においては、UV透過率は染料の化学構造に関係なく、3% o.w.f.程度の染料濃度で10%以下となること、UPFは染色によって大きく増大し、布の色相が大きく関係することを示している。最も大きくUPFを増大するのは黄色であり、次いで赤、その次に青と黒であった。

そこでカナキンより薄手の市販染色タフタ布(レーヨンとポリエステル, 厚さ約0.1mm)を用いて、同じ評価を行った。タフタはカナキンよ

綿、ポリエステル布による紫外線防御

表4 Cotton kanakins dyed with direct dyes and their CIE Lab and UPF.

Dye Conc.	Dyestuff	CIE LAB			UPF
		L*	a*	b*	
Undyed		94.02	-0.35	2.46	3.7
3% o.w.f. <sup>1)</sup>	Yellow 9	82.30	6.17	85.66	25.2
	Yellow 59	89.90	-4.62	47.58	12.0
	Red 2	39.53	53.13	29.15	26.8
	Red 45	54.10	44.66	6.18	15.0
	Blue 14	22.10	-3.42	-24.40	22.4
	Blue 78	35.67	-3.65	-25.16	18.4
	Black 167	47.02	-1.64	-10.29	14.6
5% o.w.f. <sup>1)</sup>	Yellow 9	78.05	12.13	87.92	31.4
	Yellow 59	82.05	-4.97	62.72	20.0
	Red 2	34.24	41.31	24.81	39.8
	Red 45	38.15	42.82	10.00	32.5
	Blue 14	24.60	-0.19	-20.21	25.5
	Blue 78	26.41	-3.00	-21.32	20.7
	Black 167	31.82	-0.55	-9.24	21.1

1) o.w.f.: on the weight of fiber

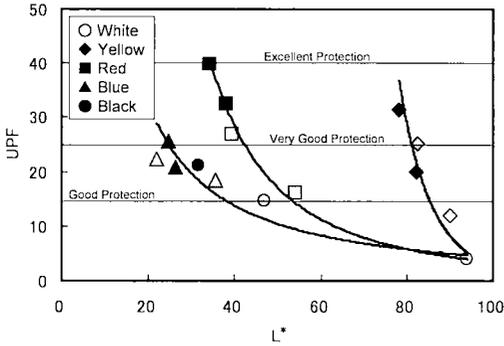


図5 Relationship between L\* and UPF of and dyed cotton kanakin (gray plot: dye conc. 3%, black plot: 5% o.w.f.)

り薄く、透過率曲線は染料によって異なり、この程度の厚さの布の場合はフィルムに近い挙動を示すこと分かった(図6, 7)。ポリエステルタフタ(図7)では、透過率は素材高分子の特性を基本とし、そこに染料の透過特性が加味されたスペクトルになっている。

図8はレーヨントフタの、図9はポリエステルタフタのL\*とUPFとの関係を示したものである。

染色布は、黄色が他の色相よりも高いL\*値でUPFが15 (good protection) に達し、UV防御能が大きい。生地が薄くなると色相による違いが明確でなくなるが、その現象はポリエステルよりも綿で顕著であった。

表5は、試験した全ての布について、UPF

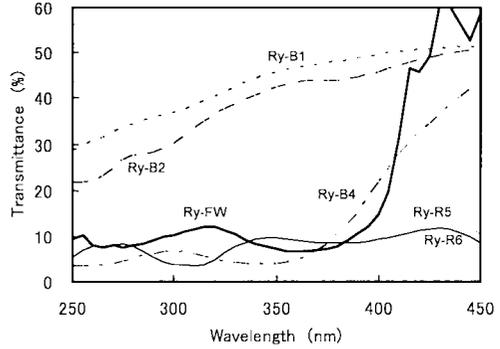


図6 Transmittance spectrum of fluorescent white and dyed rayon taffetas.

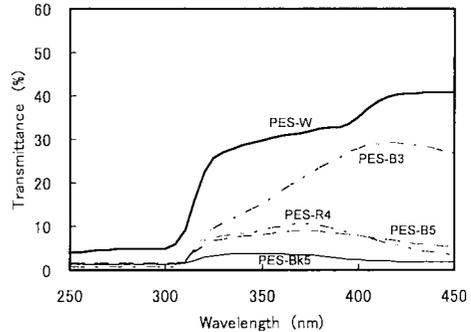


図7 Transmittance spectrum of fluorescent white and polyester taffetas.

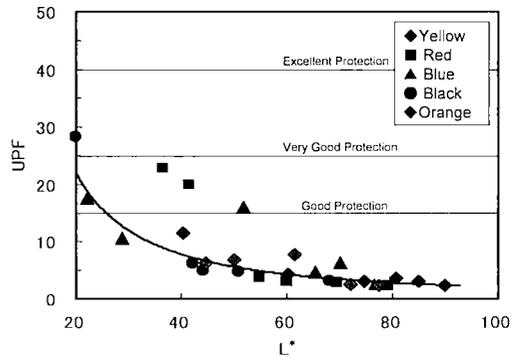


図8 Relationship between L\* and UPF of white and dyed rayon taffetas.

が15、25、40に達する時のL\*値をまとめたものである。綿よりもポリエステル染色布がUV防御に有利であることが分かる。

ポリエステル白布の場合、光線過敏症の作用

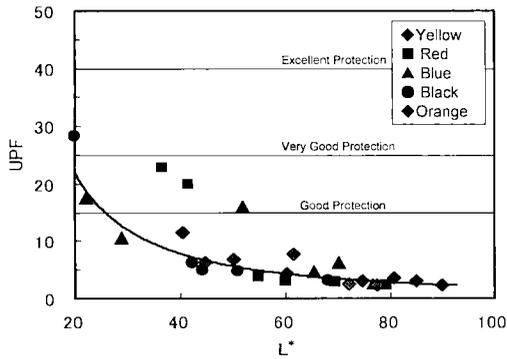


図9 Relationship between  $L^*$  and UPF of white and dyed polyester taffetas.

表5  $L^*$  values of dyed fabrics when UPF are 15, 25 and 40.

Material	Fabric Name	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Thickness (mm)	Color	$L^*$		
					UPF=15	UPF=25	UPF=40
Kanakin (UPF 3.7)		103.0	0.29	Yellow	85	81	78
				Red	53	42	35
				Blue	37	26	18
				Black	37	26	18
Twill (UPF 7.9)		127.3	0.41	Yellow	91	89	87
				Red	85	80	75
				Blue	85	80	75
				Black	85	80	75
Cellulose Broad (UPF 6.0)		122.0	0.26	Yellow	84	79	74
				Red	73	63	55
				Blue	73	63	55
				Black	73	63	55
Taffeta (UPF 2.7)		25.2	0.09	Yellow	25	—	—
				Red	25	—	—
				Blue	25	—	—
				Black	25	—	—
				Orange	25	—	—
Polyester Taffeta (UPF 8.8)		53.8	0.10	Yellow	86	78	—
				Red	67	40	25
				Blue	67	40	25
				Black	60	36	25

波長である370nm付近の透過率が高く、APEでの評価も必要であることを述べた。測定した全ての染色布をAPEでも評価した結果、最も

薄地のタフタ布がUV-B, UV-A両方の防御能を有するための条件は、素材がセルロースの場合は色相に関係なく、 $L^*$ 値が25以下であること、素材がポリエステルの場合は、黄では $L^*$ 値が86以下、赤と青は67以下、黒は60以下であること、およびこれらに加えて370nmの透過率が10%以下であることが判明した。蛍光増白布はUV防御に有効であることも判明した。これらの結果は、この条件を満たしている布では、既にUV防御能を有していることを意味している。

5. 洗剤中の蛍光増白剤がUV防御能へ与える効果<sup>9)</sup>

4において、蛍光増白剤は、UV-Aを吸収してその透過を低下させ、UV-A防御能を高める効果を持っていることが確認された。ここでは、洗濯中に布に染着した蛍光増白剤がどの程度UV防御能を向上させるのかを調べた。綿とポリエステルの白布(全22枚)を市販の粉末洗剤4種を用いて実験用洗濯機(ターゴトメーター)で繰り返し10回洗濯し、洗濯前後のUPFとAPEを算出した。図10は洗濯前後の綿布のAPEを示したものである。

洗剤Aは通常の洗剤、洗剤Dは蛍光増白剤とUV吸収剤配合の洗剤である。

用いた全ての綿布は洗濯前はUV防御能を有しなかったが、カナキン以外の布は蛍光増白剤とUV吸収剤配合の洗剤での洗濯5回で、十分

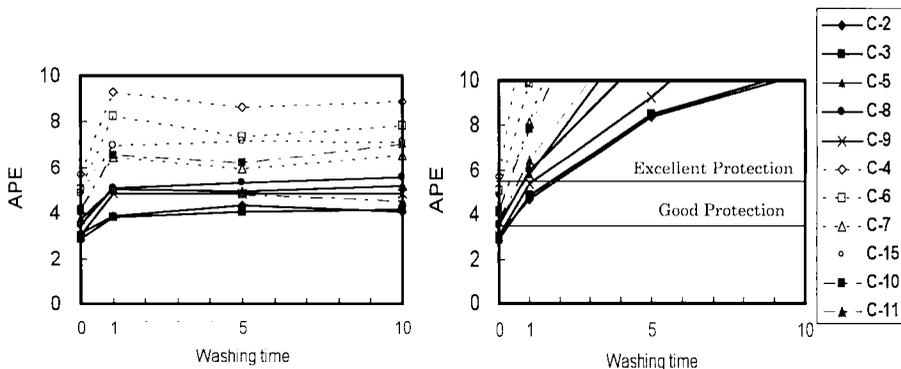


図10 APE of cotton fabrics before and after washing.

なUV防御能を示した。カナキンは洗濯10回後においても十分なUV防御能を示さない唯一の綿布であった。これらの結果は家庭用洗濯機においても同じ結果であった。

綿布では蛍光剤がUV-A領域の透過率を著しく下げてUV-A防御能を上げること、UV吸収剤がUV-B領域の透過率を下げてUV-B防御能をあげることがわかった(図11)。ポリエステル布は、洗濯前後のUV防御能に変化は見られなかった。これは、洗剤に配合されている蛍光剤が綿用の染料で、ポリエステルに染着しなかったことによる。

光線過敏症への対策としては、カナキンより目の詰った綿布(ブロード、サテンなど)を蛍光増白剤とUV吸収剤配合の洗剤で2-3回洗濯した後、着用、洗濯を繰り返すことでUV防御ができる。

## 6. まとめ

- 1) UVカット加工されていない布にも、UV防御効果がある。
- 2) ポリエステルは、UV-B防御能は大きいですが、UV-A防御能は小さい。セルロースはポリエステルに比べてUV防御能が小さい。
- 3) 綿、ポリエステル白布のUV防御能は、素材高分子の透過特性を反映し、加えて布の織り特性の影響を受ける。
- 4) UPFはUV-B防御指標とはなるが、必ず

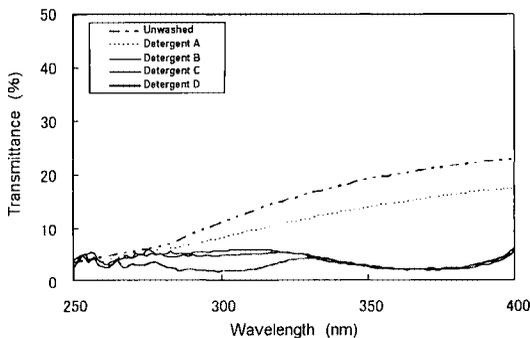


図11 Transmittance of cotton(C-7) before and after washing ten times.

しもUV-A防御指標にはならない。布のUV防御能は、UPFとAPEの両方で評価すべきである。

- 5) 布のUV防御能は染色によって向上し、黄>赤>青・黒の順に防御能は高い。
- 6) 洗剤に配合されている蛍光増白剤は、UV-A領域の透過率を下げ、UV吸収剤はUV-B領域の透過率を下げて、綿布のUV防御能を高める。
- 7) 効果的な夏場のUV防御には、黄色に染色された薄手のポリエステル布(カナキン、ブロードなど)を着用するのがよい。
- 8) 光線過敏症対策には、カナキンより目の詰った綿布(ブロード、サテンなど)を蛍光増白剤入り洗剤で2-3回洗濯後、洗濯、着用を繰り返すことによってUV-A防御能を上げることができる。

## 引用文献

- 1) 塩原みゆき：博士論文「衣服による太陽紫外線放射防御に関する研究」,平成22年3月 共立女子大学大学院 乙第20号
- 2) 佐々木政子、三島栄治、加賀見悦成、竹下秀、塩原みゆき、齊藤昌子：繊維学会誌, 64, 163(2008)
- 3) 佐々木政子、塩原みゆき、竹下秀、齊藤昌子：照明学会誌, 93, 300(2009)
- 4) 塩原みゆき、齊藤昌子、佐々木政子、竹下秀：繊維学会誌, 65, 229(2009)
- 5) 塩原みゆき、竹下秀、佐々木政子、齊藤昌子：日本繊維製品消費科学会誌, 50, 1080(2009)