

# 海岸林の紅斑作用紫外放射日除け特性に関する研究

## Erythema Ultraviolet Radiation Characteristics under Coastal Trees

川西 利昌\*・榎本 郷\*\*・加藤 学\*\*\*

Toshimasa KAWANISHI, Satoshi ENOMOTO and Manabu KATO

**要旨:** 海浜は遮蔽物が少ないため、人間は夏季の紫外線に強く被曝し、皮膚を害することがしばしばある。海浜で紫外放射を防ぐには、帽子、長袖長ズボン、UVカット化粧品といった個人的な防御手段のほか、ビーチパラソルや海の家などがある。その他、自然的な日除けとして海岸林がある。海岸林は本来、防風、防潮、飛砂防備、などのため植林されたものであるが、永く休憩や日除けとしても利用されてきた。本研究は、海岸林を紫外線防御の立場から検証したものである。静岡県西伊豆戸田海岸、東京都葛西臨海公園の海岸林下で高度・方位別の放射分光輝度を測定し、測定結果を用いて皮膚の紅斑作用紫外放射量を計算した。計算結果からUVINDEXや樹冠部の紅斑紫外放射輝度比を明らかにした。

**キーワード:** 海岸林、紫外線、日除け、紅斑

### 1. はじめに

夏季の海浜では過度の紫外放射から皮膚を守る必要がある。紫外放射は皮膚にシミやしわ等老化が起きやすくなり皮膚がんの原因ともなるからである。海浜は適切な遮蔽物がないため、紫外放射を浴びやすい。ビーチパラソル等を持参するが、日除け面積が小さい。かつ紫外放射は散乱による天空放射が大きく、太陽直射を防いでも天空が見える限りその範囲から紫外放射が入射する。

海浜には海岸林が多数存在する。海岸林とは海岸にあって防風・防砂・防潮を目的として植樹されたもの、また自生で同様の機能を果たしているものをいう。海岸林は日除けとしても海水浴客に利用されている。しかしながら海岸林の紫外放射に対する防護特性は明らかになっていない。したがって海岸林下にいると紫外放射を何割程度防護できるか定かではない。その上、日除け目的で植樹しようとしても目安となる計画手法がない。計

画者側では配置計画を行う際に指針が求められている。

本研究に関する既往研究は大別して、「樹木下の紫外放射に関するもの」、「天空紫外放射輝度分布に関するもの」、「紅斑作用紫外放射測定に関するもの」がある。樹木下の UV-B 帯域紫外放射測定は佐々木政子ら<sup>1)</sup>、興水肇ら<sup>2)</sup>が実施し、紫外放射遮蔽特性を示した。Grant, RH<sup>3)</sup>は UV-B・UV-A・日射帯域での天空輝度分布測定を行い林学の立場から論じている。また紅斑作用に関しては垂水ら<sup>4)</sup>が行い、UV 日除けチャートに関しては昆野ら<sup>5)</sup>が行った。しかし、本研究のように樹木下における高度・方位分布を描いて、紅斑作用紫外放射輝度比や紫外放射推定について論じたものは無かった。

本研究は海岸林下で何割程度、紅斑作用紫外放射を軽減できるかを知ることを目的として、単立・群立海岸林樹木下の分光放射輝度分布測定を

\* 正会員 日本大学 理工学部海洋建築工学科, \*\* 日本大学 大学院理工学研究科 \*\*\* ハザマ

実施したものである。各天空要素の高度角・方位角別による放射輝度測定から輝度分布がわかり、樹木と天空からの放射が判明する。また分光放射輝度なので UV-B, UV-A, 可視域の波長毎の放射輝度がわかる上、紅斑作用紫外放射輝度を算定できる。全天空と樹木下の放射輝度から、樹木の UV-B, UV-A, 可視域及び紅斑作用紫外放射輝度比を算出し、比較検討した。さらに樹木モデルを用いて紅斑紫外放射推定法も提案する。

静岡県西伊豆戸田海岸、東京都葛飾臨海公園の樹木を選択した理由は、実際に海岸の樹木下で入場客が日差しを避けるために使用していたからである。海岸に植林されている樹木は多いが、水際からの距離、樹木の未整備などで訪問客に日除けとして利用されていない事例が多い。筆者らは千葉県房総半島、静岡県伊豆半島、東京都を海水浴客に日除けとして利用されている海岸林を探したが少なく、利用され、かつ単立及び群立樹木が存在した上述二箇所となった。クヌギは臨海公園に実際に植樹されていたものであり日除けとして利用されていたので検討対象とした。

## 2. 単立樹木下の紫外放射特性

### 2.1 紫外放射輝度測定

2006年8月、10月、静岡県西伊豆戸田海岸、東京都葛西臨海公園において測定を実施した。戸田海岸のクロマツは樹高14m、枝下5.7m、枝張りNS方向18m、EW方向17m、葛西臨海公園のクスノキは樹高12m、枝下1m、枝張りNS方向14m、EW方向13m、クヌギは樹高6m、枝下1.47m、枝張りNS方向8m、EW方向9mである。測定には図1に示すようなB&W TEK社分光器BTC112Eを使用した。分光器の仕様は電子冷却、2048素子リニア CCD、波長分解能0.3~20nmである。測定波長は280~500nmで紫外放射 UV-B(280~315nm)と UV-A(315~400nm)と一部の可視域(400

~500nm)を含む。天空の分光紫外放射輝度測定は、樹幹南側の地上高0.45mにおいて高度角6, 18, 30, 42, 54, 66, 78, 90度それぞれの



図1 天空放射輝度測定器

高度ごとの角方位30, 30, 24, 24, 18, 126, 1点の計145点測定し、併せて魚眼写真撮影を行った。145点の高度、方位を図2, 3に示す。円中心は天頂、円周は地平線である。樹木内外で同じ高度方位を採用した。

図4, 5は戸田海岸における測定に用いたクロマツの全景写真と樹木下の測定地点を示す。図6は樹木から離れた地点①での天空紫外放射の南方位の高度角6, 30, 54, 78°放射輝度波長分布である。UV-B, UV-A, 可視域と波長が長くなるにつれて放射輝度は高くなる。

高度角54°, 78°の放射輝度は樹木によって遮蔽されて低くなり、天空部分が見える中高度角30°が最も高くなる。

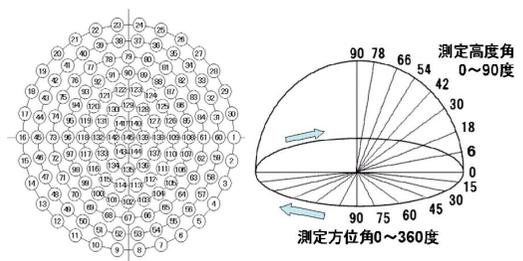


図2 天空要素145点 図3 測定高度方位



図4 クロマツ

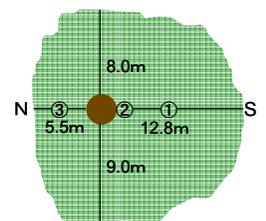


図5 測定地点①

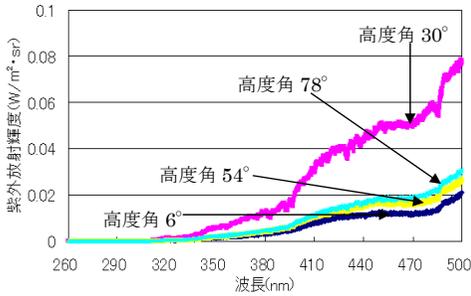


図6 クロマツ南方位の高度角別放射輝度波長分布

図7(a)はクロマツの魚眼写真である。図7(b), (c), (d)はUV-B, UV-A, 可視域毎に放射輝度比を求め、円形等値線図にしたものである。放射輝度比とは測定した天空の放射輝度を、樹木の外で測定した放射輝度で除したものである。天空のように季節、太陽位置、時刻、雲量などにより時々刻々変化する現象について考察するには、絶対量よりも比で表現した方がわかりやすい。代表波長にUV-Bは310nm, UV-Aは340nm, 可視域は500nmを選択した。円形等値線図の円周の数値は方位角を示し、0が南、180が北を示す。また円周は地平線を示し、円の中心に行くにしたがって高度が

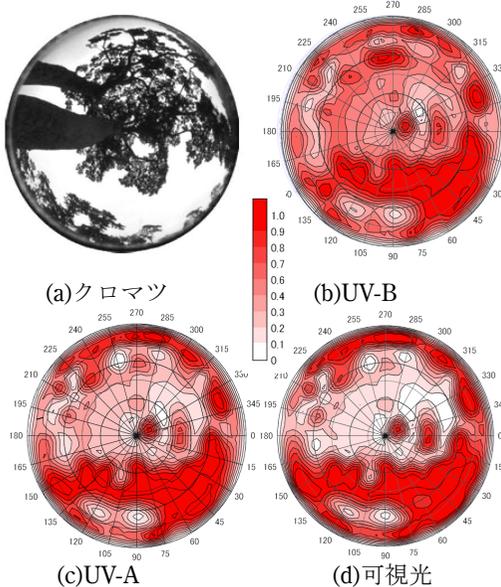


図7 クロマツの放射輝度比分布

高くなり、中心は天頂である。最も濃い部分は、放射輝度比1で天空放射がそのまま入射している。円形等値線図と魚眼写真を比較すると白い部分と枝張の部分が重なる。白い部分は、放射輝度比0で樹木や地物で天空放射が遮蔽されている。UV-B, UV-A, 可視域で放射輝度比分布を比較するとUV-Bの数値が高く、UV-Aや可視域より遮蔽されていない部分が多い。

葛西臨海公園のクスノキ、測定地点①とその放射輝度比分布を図8~10に、クヌギを図11~13に示す。魚眼写真と放射輝度比分布が重なり樹木で遮断される様子がわかる。地平線に近い部分で放射輝度比が高くなるのは、地物付近は遮蔽物が無く樹木内外の放射輝度が同じになるためである。



図8 クスノキ

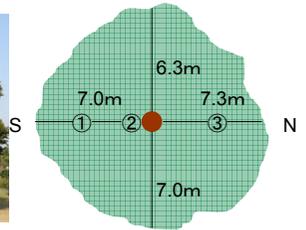
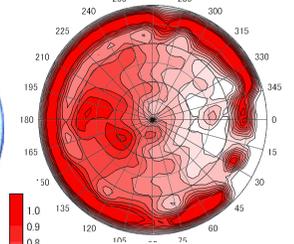


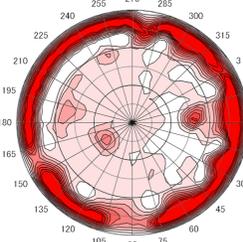
図9 測定地点



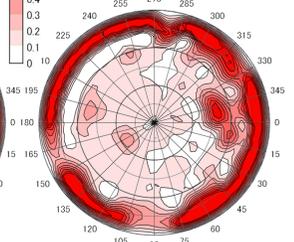
(a)クスノキ



(b)UV-B



(c) UV-A



(d)可視光

図10 クスノキの放射輝度比分布



図 11 クヌギ

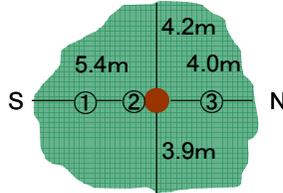


図 12 測定地点

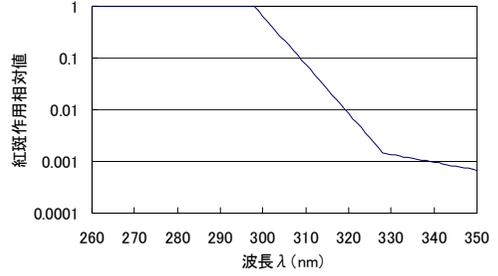
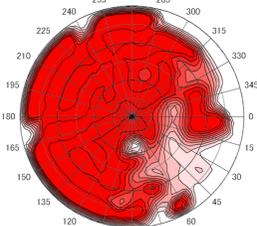


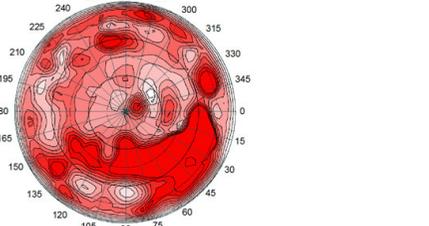
図 14 CIE 紅斑作用相対値



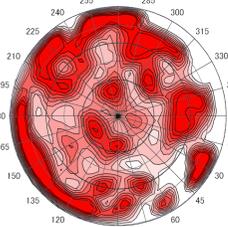
(a) クヌギ



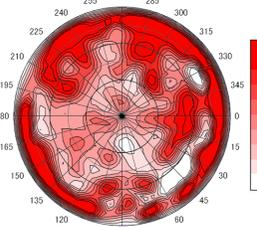
(b) UV-B



(a) クロマツ

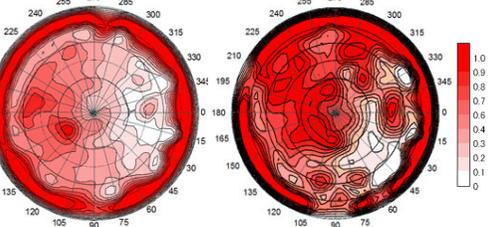


(c) UV-A



(d) 可視光

図 13 クヌギの放射輝度比分布



(b) クスノキ

(c) クヌギ

図 15 紅斑作用紫外放射輝度比分布

紫外放射量に紅斑作用曲線で重み付けすることによって皮膚の紅斑作用に対するエネルギーを表現できる。樹木下の紫外放射輝度に図 14 に示すような国際照明委員会 CIE の紅斑作用曲線<sup>6)</sup>で重み付けをし、全波長の放射輝度を総和し紅斑作用紫外放射輝度を求める。その値を樹木の外で測定した天空の紅斑作用紫外放射輝度で除し、紅斑作用紫外放射輝度比を求めた。

$$L_{u,o} = \int \{ E_r(\lambda) \times L_{u,o}(\lambda) \} d\lambda \quad (1)$$

(λ = 250~400nm)

ここで  $L_{u,o}$  は紅斑作用放射輝度、 $E_r$  は紅斑作用曲線、 $L_{u,o}$  は測定した放射輝度、 $\lambda$  は波長である。

添字  $u$  は樹木下、 $o$  は樹木の外を意味する。紅斑作用放射輝度比は、

$$R_L = Lu \div Lo \quad (2)$$

で図 15 に各樹木の紅斑作用紫外放射輝度比を示す。紅斑作用曲線は UV-B 範囲と同じ波長域なので、紅斑作用紫外放射輝度比の円形等値線図は UV-B の傾向と酷似する。天空が見える部分のみならず、枝張り部分からも入射している。クロマツ、クヌギのように天空が多く見える領域が広いと紫外放射の入射は大きい。地平線付近は放射輝度比が大きいが、低高度の放射輝度は小さい上、水平成分に換算すると極めて小さくなる。

紅斑作用紫外放射輝度から UVINDEX の算出をする。UVINDEX とは紫外放射が人体に及ぼす影響の度合いとして使用されるものである<sup>7)</sup>。指数は 1~2 が弱い, 3~5 が中程度, 6~7 が強い, 8~10 が非常に強い, 11 が極端に強いとなっている。UVINDEX の算出方法は各要素の紅斑作用紫外放射輝度を水平面に換算して合計し, さらに 40 を乗じて求める。

$$\text{UVINDEX} = 40 \int L_e(\alpha, \beta) d\alpha, d\beta \quad (3)$$

$$\alpha = 0 \sim 360^\circ, \quad \beta = 0 \sim 90^\circ$$

ここで  $\alpha$  は方位角,  $\beta$  は高度角である。

樹木の外で UVINDEX6 となり「強い」を示し, 樹木下は UVINDEX1.9 となり「弱い」を示す。樹木下では樹木の外の 1/3 になる。日除けとしての性能は建築的太陽紫外線防御指数 ASPF で推定でき, 日除け外の UVINDEX を日除け下の UVINDEX で除して求める<sup>8)</sup>。本樹木の場合, ASPF は 1/3 の逆数である 3 となる。すなわち樹木の外にいる場合に比較して, 3 倍の時間紅斑発生を遅らせられる。

## 2.2 紫外放射モデル

単立樹木下における地上に到達する紫外放射状況は以下の 4 つが考えられ, 図 16 に示す。①天空から入射するもの, ②枝張内の隙間から入射するもの, ③葉を透過するもの, ④葉や樹幹等で反射するものである。樹木の外と樹木下の紅斑紫外放射輝度比を紅斑作用紫外放射透過率と以降称する。図 17 は紅斑紫外放射輝度比

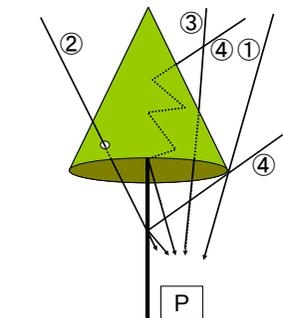


図 16 放射の入射

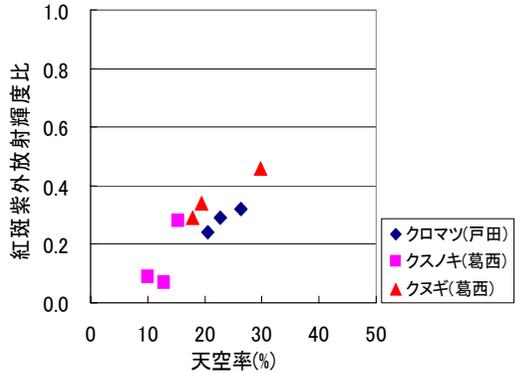


図 17 単立樹木枝張部の輝度比と天空率

表 1 枝張部の紅斑作用放射輝度比平均と天空率平均

樹種・場所	平均輝度比	平均天空率(%)
クロマツ・戸田	0.28	23.2
クスノキ・葛西	0.15	12.7
クスギ・葛西	0.36	22.4

と天空率との関係である。天空率の算出は魚眼写真から Canop On 2<sup>9)</sup> を用いて求めた。クロマツの紅斑作用紫外放射透過率平均は 0.24~0.32, クスノキ 0.07~0.28 は, クスギは 0.29~0.46 である。クスノキが 3 本の樹木の中で最も葉密度が高く, 枝張等も大きいことから最も低い紅斑作用紫外放射透過率平均になる。

枝張り部の天空率が紅斑作用放射透過率と比例することから葉の透過分③と内部反射分④は極めて少なく, 枝張り内の隙間通過分②が大部分を占めることがわかった。樹木枝張り部の紅斑作用紫外放射透過率平均を求めた結果を天空率平均と比較して表 1 に示す。

## 3. 群立樹木下の紫外放射特性

群立樹木の測定器と測定内容は単立樹木の測定概要と同様である。戸田海岸のクロマツは樹高 13.0~14.8m, 枝下 2.5~3.2m, 枝張 9.4~12.8m で, 葛西臨海公園のクロマツは樹高 4.0~4.8m, 枝下 1.4~1.6m, 枝張 2.7~3.9m である。図 18, 19 に戸田海岸クロマツの写真と測定地点を示す。6 本

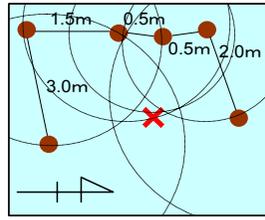


図 18 クロマツ

図 19 測定地点

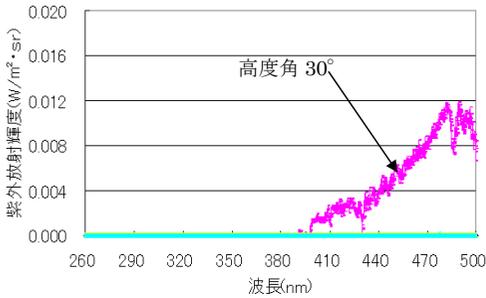


図 20 戸田海岸クロマツの南方位  
高度角別放射輝度波長分布

の樹木の中心の 1 点で測定を行った。

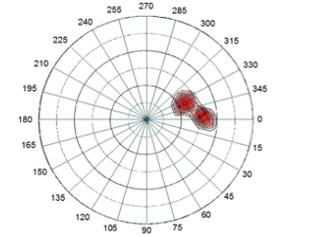
分光放射輝度波長特性を図 20 にめす。群立樹木下の場合、隙間が見える部分はあるものの大半を枝張で蔽われていることから、単立樹木下の 1/5 程度の数値である。UV-B はほとんどなく、UV-A も少量であり、可視域に近い 380nm あたりから数値が上昇する。

図 21 は測定地点の魚眼写真と、群立樹木下における UV-B, UV-A, 可視域毎の分光放射輝度比の円形等値線図である。群立樹木下の放射輝度比は UV-B, UV-A, 可視域の順に増加する。群立樹木下ではまず、天空からの紫外放射が極めて少ないことと UV-B の散乱作用が顕著に表れず、反射の影響も小さいことが単立樹木下と異なる分布特性をしめした。葉密度の高いところで放射輝度比は 0 になる。

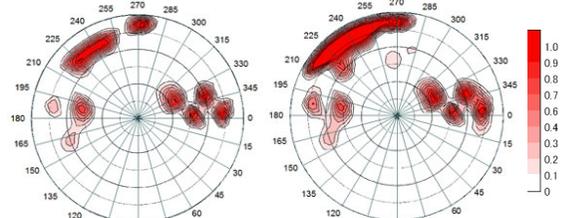
図 22, 23 が葛西臨海公園のクロマツと測定地点②である。7 本の樹木の中心で測定した。図 24 に魚眼写真と放射輝度比分布を示す。葛西臨海公



(a) クロマツ



(b) UV-B



(c) UV-A

(d) 可視光

図 21 戸田海岸クロマツと放射輝度比分布



図 22 葛西のクロマツ

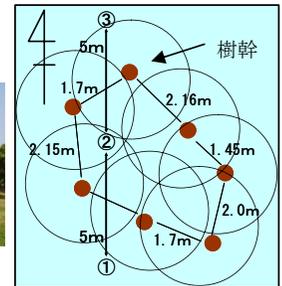
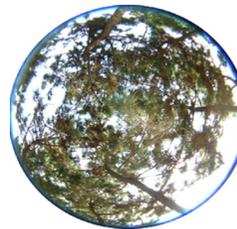
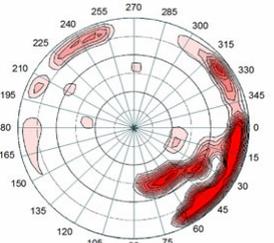


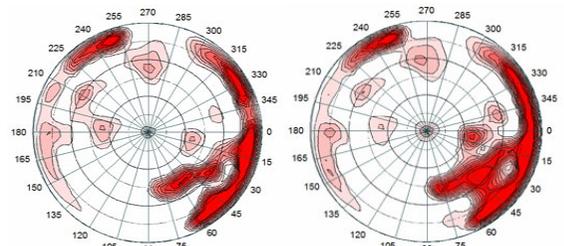
図 23 測定地点



(a) 葛西のクロマツ



(b) UV-B



(c) UV-A

(d) 可視光

図 24 葛西のクロマツと放射輝度比分布

園のクロマツは戸田海岸と比較して葉密度が低く、地平線付近が大きく空いていることもあり、UV-B放射輝度比は低高度角で放射輝度比が高くなる。UV-A、可視域は戸田海岸のクロマツと同様な傾向である。単立樹木同様、分光紫外放射輝度にCIE紅斑作用曲線で重み付けして紅斑作用紫外放射輝度比を求め、その結果を図24に示す。単立樹木下と群立樹木下では、群立樹木下のほうが紅斑作用放射輝度比の低い範囲が広く日除けとして効果的である。群立樹木下のUVINDEXは小さすぎて求められず、被曝しない。

#### 4. 結論

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 対象とした単立樹木の場合、樹木下の紫外放射が人体に及ぼす影響の度合いであるUVINDEXは樹木外の1/3になった。したがって皮膚の紅斑作用発生を3倍程度遅らせられる。群立樹木では樹木下のUVINDEXは0で、被曝しない。
- (2) 樹木下の天空率が増すと紅斑作用紫外放射透過率も増える。クロマツ、クヌギのように天空が多く見える領域が広いと紫外放射の入射は大きい。葉密度の粗い部分から放射が入射する。
- (3) 海岸林を利用した日除けは、樹木配置は単立ではなく、群立に配置すること、また葉密度の高い隙間の少ない樹木を採用することが望ましい。

#### 参考文献

- 1) 佐々木政子, 松江浩二, 竹下秀, 坂田俊文, 遠藤恵子  
「屋外の各種環境における太陽紫外UV-BとUV-A放射量の測定と評価」照明学会誌, 第82号, PP:877-884. 1998
- 2) 奥水肇, 岡野通明, 橋田祥子「樹種と階層構造が異なる樹林地と単木の有害紫外線防衛機能について」, ラン

ドスケープ研究 68(5), 2005, PP:529-532

- 3) Grant·RH, GM Heisler, and W Gao. 「Clear sky radiance distributions in ultraviolet wavelength bands」 J. Theor. Appl. Climatol. 56:PP:123-135 1996
- 4) 垂水弘夫「生体影響紫外線 DUV の特別特性解析」日本建築学会計画系論文集, 第564号, PP:71-78 2003
- 5) 川西利昌, 齊藤広海, 昆野雅也:海浜における紅斑作用紫外放射量の天空及び地物分布に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第587号, pp.87-91, 2005.1
- 6) CIE RESEARCH NOTE: Reference Action Spectra for Ultraviolet Induced Erythema and Pigmentation of Different Human Skin Types, CIE Technical Collection 1993 103/3
- 7) [http://www-cger2.nies.go.jp/ozone/uv/uv\\_index/outline/index.html](http://www-cger2.nies.go.jp/ozone/uv/uv_index/outline/index.html)
- 8) 川西利昌, 齊藤広海, 昆野雅也:海浜における紅斑作用紫外放射量の天空及び地物分布に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第587号, pp.87-91, 2005.1
- 9) <http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2>

#### 川西 利昌 (正会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科(千葉県船橋市習志野台7-24-1), 昭和20年生まれ, 昭和45年3月日本大学大学院電気工学専攻修士課程修了, 同年4月日本大学勤務, 現在同大学教授, 工学博士, 平成13年千葉大学大学院教育臨床修士課程修了, 修士(教育学)。

E-mail:kawanisi@ocean.cst.nihon-u.ac.jp

#### 榎本 郷 (学生会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科(千葉県船橋市習志野台7-24-1), 平成19年3月日本大学大学院海洋建築工学専攻博士課程前期修了, 修士(工学)。

#### 加藤 学

株式会社ハザマ 昭和42年生まれ。平成4年3月日本大学大学院海洋建築工学修士課程修了, 同年4月株式会社間組入社, 現在に至る。

## Erythema Ultraviolet Radiation Characteristics under Coastal Trees

Toshimasa KAWANISHI, Satoshi ENOMOTO and Manabu KATO

**ABSTRACT:** There are a lot of planted trees in the coastal zone. The trees in the coastal zone were planted for storm, high tide and sand motion. The trees are also used as sunshade by swimmers at summer season. However, the protection characteristics for the erythema action ultraviolet radiation of the tree did not clear. This research was aimed to know that how decrease erythema action ultraviolet radiation by the trees. We carried out the measurements of spectral radiance distribution under the trees standing single and group. The radiances of sky element at attitude and direction were measured. From measurement results, the radiances of each sky element were cleared. The erythema action ultraviolet radiance can calculate using the results. After that, tree model with the erythema action ultraviolet radiation is proposed.

**KEYWORDS :** *ultraviolet radiation, coast, tree, erythema, protection*