

## 築地松による昼光・日射遮蔽効果の実測調査

長野和雄\*、小松充典\*\*、吉田啓司\*\*\*、橋本 剛\*\*\*\*

\* 島根大学、\*\* 島根大学大学院、\*\*\* エス・バイ・エル・カバヤ (株)、\*\*\*\* 筑波大学大学院

### Field measurement of shading effect of Tsuijimatsu in Izumo on solar radiation

Kazuo NAGANO\*, Mitsunori KOMATSU\*\*, Keiji YOSHIDA\*\*\* and Tsuyoshi HASHIMOTO\*\*\*\*

\*Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University,

\*\*Graduate School, Shimane University, \*\*\*SxL Kabaya, Inc., \*\*\*\*Graduate School, University of Tsukuba

**Abstract:** This study measured the geometries of forty-five traditional pine hedges in Izumo Plain, called "Tsuijimatsu" in order to estimate the solar-shading effect, and derived the extinction coefficients and sky view factors from orthographic and fisheye projection. Daylight factors derived from illuminances measured at forty-eight points showed slightly larger than the sky view factors. The measured data at two houses with and with no Tsuijimatsu undoubtedly showed that Tsuijimatsu intercepted the solar irradiance and lowered the wall surface and indoor temperatures. The estimated solar irradiance through Tsuijimatsu was in agreement with the measured value.

**Key Words:** Geometric measurement, Extinction coefficient, Sky view factor, Solar transmittance, Daylight factor

**要旨:**本研究は出雲築地松の太陽光に対する遮蔽性能を幾何学的に捉え、光・熱環境実測により検証した。45軒の築地松の正投影・天空写真を撮影し、消散係数・天空率を導いた。計48点の照度実測から導いた昼光率は天空率よりやや大きい傾向にあった。熱実測により日射遮蔽効果は明らかで、また幾何学実測に基づいた推定日射量は実測値と良く対応した。

**キーワード:** 幾何学実測、消散係数、天空率、日射透過率、昼光率

## 1. はじめに

散居形態を有する出雲平野の住宅の多くは、家屋の西や北にクロマツの屋敷林を構える。この築地松（つじまつ）は4～5年ごとに陰手刈り（のうてごり）と呼ばれる剪定が行われ、上部両端に反りをつける以外は均一な高さ・厚さに整えられる。広く防風林として知られるが、日射遮蔽効果も検証されている（黒谷ら、2000）。本研究ではさらに築地松を形態実測して幾何学的に評価し、光・熱環境実測により検証した。

## 2. 方法

### 2.1 遮蔽効果の幾何学的評価

築地松を、ある日射透過率と厚みを持ち、住宅壁面と平行に掛かるスクリーン（以後、築地松面と呼ぶ）とみなし、遮蔽効果を次のように幾何学的に導く。

ここでは築地松への入射日射はすべて空隙部からのみ透過し、枝葉部を透過しないとみなす。築地松裏面側（住宅側）の天空率 $\varphi_{sky}$ 、水平面全天日射量から分離した拡散成分 $J_{sh0}$ のとき、築地松裏面側の天空日射 $J_{sh}$

は、天空を等輝度完全拡散面とすれば次式で表される。

$$J_{sh} = \varphi_{sky} J_{sh0} \quad (1)$$

厚さ $D$ の築地松面を法線方向に正投影したときの築地松写像に対する空隙部の面積比を正投影空隙率 $\tau$ 、築地松面の法線方向に対する南からの偏角を築地松方位角 $\varepsilon$ 、直達日射が築地松を通過する距離を日射通過距離 $l$ とする。築地松裏面側の法線面直達日射 $J_{dn}$ 、水平面全天日射量から分離した法線面直達成分 $J_{dn0}$ 、築地松の消散係数 $k$ 、太陽高度 $h$ 、太陽方位角 $\alpha$ のとき、直達日射に対する築地松透過率 $P$ および日射通過距離 $l$ は、単位厚さあたりの正投影空隙率が日射入射角にかかわらず一定とすれば、次式で表される。

$$P = J_{dn} / J_{dn0} = e^{-kl} = \tau^{l/D} \quad (2)$$

$$l = D / (\cosh \cos(\alpha - \varepsilon)) \quad (3)$$

したがって天空率 $\varphi_{sky}$ 、正投影空隙率 $\tau$ 、築地松方位角 $\varepsilon$ を実測すれば、水平面全天日射量から築地松裏面側の水平面日射量を算出できる。また、(1)式の $J_{sh0}$ を全天空照度 $E_0$ に変えれば、 $\varphi_{sky}$ は直接昼光率に一致し、築地松裏面側の直接昼光照度も同様に算出できる。

### 2.2 幾何学的調査

出雲平野の散居集落のほぼ全域で、宍道湖・斐伊川・新建川・国道9号線に囲まれた東西約10km、南北約3kmの地区において、部分的に欠落せず家屋全体を隠し、かつ厚さが均一とみなせる築地松を西壁側に構える住宅のうち、居住者の了承が得られた45軒を対象とした。比較のため雑木のみで構成された1軒も対象に加えた。デジタルカメラ(NIKON COOLPIX 990またはCOOLPIX 5000)に等距離射影方式の全周魚眼レンズ(NIKON FC-E8)を付け天空写真を約300~500万画素で撮影した。撮影位置はレンズ天頂部と住宅西側壁面との距離を15cm、高さを1.1mとした。画像処理ソフト(Adobe Photoshop 7.0)を用いて、撮影された写像から画角180°分を取り出し、球面変形処理し正射影画像に変換して、全写像に対する天空部の画素数の比を天空率 $\varphi_{sky}$ として算出した。ここでは、全写像に対する築地松の面積比を築地松率 $\varphi_{pine}$ 、築地松写像に対する空隙部の面積比を天空空隙率 $\gamma$ 、全写像に対する築地松空隙部を除く残りの天空部分の面積比を部分天空率 $\varphi_r$ とし、それぞれ区分して読みとった。

$$\varphi_{sky} = \varphi_{pine}\gamma + \varphi_r \quad (4)$$

正投影空隙率 $\tau$ の実測は西川ら(2000)、黒谷ら(2001)の方法に準じた。すなわち、正投影と見なせるよう築地松面の法線方向のできるだけ遠方から、デジタルカメラ(OLYMPUS E-300)に300mm相当の望遠レンズ(OLYMPUS ZUIKO DIGITAL 40-150mm f3.5-4.5)を付け、約800万画素で少なくとも画面の1/2以上を築地松が占めるように撮影し、先述の画像処理ソフトにて2階調化し枝葉部と空隙部を区分して、築地松写像に対する空隙部の画素数の比として算出した。築地松方位角 $\epsilon$ を方位磁石、築地松面の厚さ $D$ および西壁面との距離 $d$ を巻尺にて実測した。なお、天空・正投影写真撮影および採寸はいずれも2006年9~10月に行った。

### 2.3 屋光環境調査

居住者の了承が得られた、築地松を家屋の西に有する住宅2軒、西・北に有する住宅6軒、西・北・東に有する住宅4軒の計12軒を対象とした。全方位壁面および基準点にて、照度計(TOPCON IM-5; MINOLTA T-10)により水平面照度を実測した。実測位置は各壁面については受光部と壁面との距離を15cm、基準点については家屋から十分離れ天空率1とみなせる位置とし、高さをすべて1.1mとした。天空光のみで直射光を含まないよう、曇天時に5点同時観測を3回続け、その平均値を各点の照度とした。2.2節と同一の方法で、西面だけでなく北・東・南面についても天空写真を撮影し、天空率を算出した。なお、照度実測は2005年10~12月、写真撮影は2005年8~12月に行った。

### 2.4 熱環境調査

2006年6月29日に、居住者の了承が得られた築地松を有する住宅1軒(KW邸)および有しない住宅1軒(ES邸)について、全天日射計(EKO MR-40; EKO MS-802)により水平面日射量、自作の百葉箱に収めた自己記録式温湿度計(T&D TR-72S)により西壁付近の外気温、0.3mm $\phi$ T型熱電対およびデータロガー(KEYENCE NR-1000)により西壁外面面温・内表面温、自己記録式温湿度計(T&D TR-72S; ESPEC RS-10)に

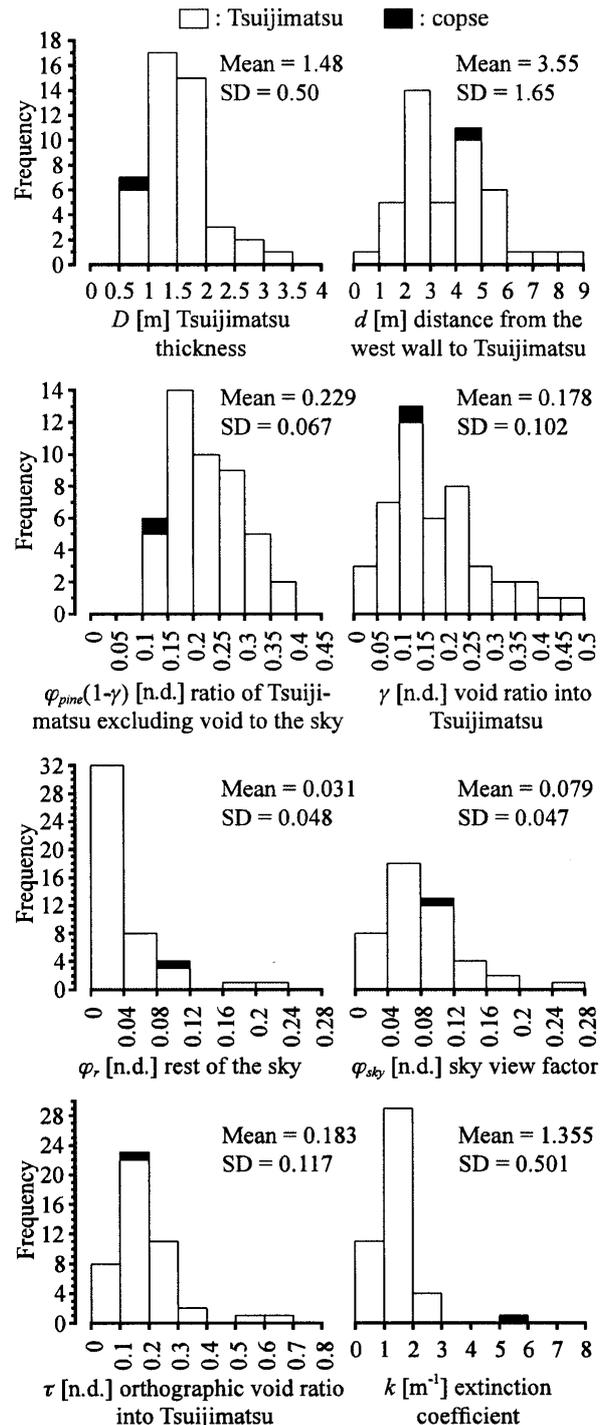


Fig. 1 Histograms of the geometric measurements

より室温を実測した。同時に両家屋から十分離れた基準点（天空率 0.827）において、全天日射計（EKO MS-43F）により水平面日射量を実測した。実測値を水平面全天日射量として扱うため、宇田川ら（1978）の式を用いて直散分離し、天空日射を天空率により補正した。西壁外表面温・内表面温については各3点で実測し、その平均値を以降の分析に用いた。

### 3. 結果

Fig. 1 に築地松形態の幾何学実測により導出した主な観測値の度数分布、平均、標準偏差を示す。度数分布については雑木のみ1軒のデータも示す。Fig. 1 より、空隙を除いた築地松率  $\varphi_{pine}(1-\gamma)$  は天空率  $\varphi_{sky}$  より大きい値の分布が多く、築地松による遮蔽効果の大きさが伺える。部分天空率  $\varphi_p$  は 0.04 以下が突出して多い。これは西壁から軒が張り出し、また多くは築地松の高さが2階建て住戸の棟高を超え、建物と築地松により天空が完全に覆われる場合が多かったためである。消散係数  $k$  は、前年に陰手刈りを行ったことがわかっている2軒において 0.298、0.645 であり、対象家屋中それぞれ1番目、3番目に小さかった。5.730 と突出して大きいのは雑木のみ1軒であり、築地松全体としてはばらつきが小さい。平均値 1.355 は広葉樹の単木に比べ大きい方であり（吉田ら、2006）、規模が大きいと樹冠内が空洞化する単木と異なり、枝振りが良く空洞部が少ない築地松の特徴がよく表れている。

基準点における水平面照度を全天照度  $E_0$  とし、各点の照度実測値を全天照度で除し昼光率を算出した。なお、ここでの各点の実測照度は間接昼光照度を含んでいる。Fig. 2 に天空率に対する昼光率の分布を築地松の有無別に示す。昼光率に併記している数値軸は、累積出現率 5%（伊藤ら、1975）である  $E_0 = 5000$  lux としたときの各点照度を示している。Fig. 2 より、ばらつきが大きい全体として昼光率の値が天空率よりもやや大きい傾向がある。築地松がある26点中のすべてで天空率 0.3、昼光率 0.2、照度 1000 lux を下回り、3点で 50 lux を下回った。

Fig. 3 に KW 邸（築地松あり）および ES 邸（築地松なし）における日射量・外気温・壁面温・室温の経時変化を示す。日出頃から ES 邸の方が KW 邸より日射量が大きく、西壁面に直達日射が届く正午前頃からさらに卓越する。一方 KW 邸は一時的に大きい時間帯があるものの、日中 30W/m<sup>2</sup> 前後で推移する。外気温・壁内外表面温・室温とも夜間には KW 邸と ES 邸間の差が小さく、日出頃から差が顕著になる。外気温・壁外表面温では 14 時頃に、壁内表面温・室温ではやや遅れて 15 時頃に最大値を示す。

Fig. 4 上段に幾何学実測により導いた天空率・築地

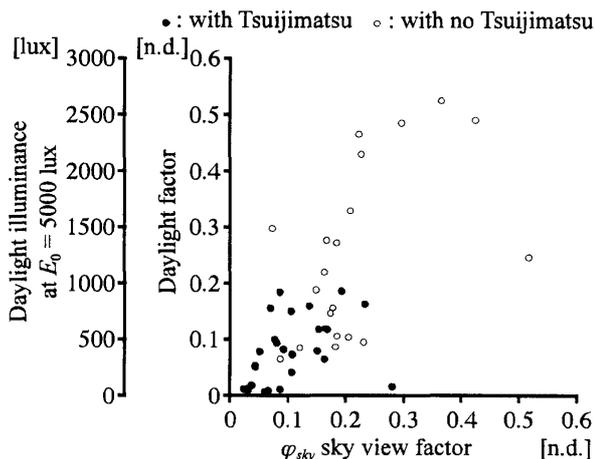


Fig. 2 Scatter plot of the daylight factor or illuminance versus the sky view factor.  $E_0$  skylight illuminance at standard point.

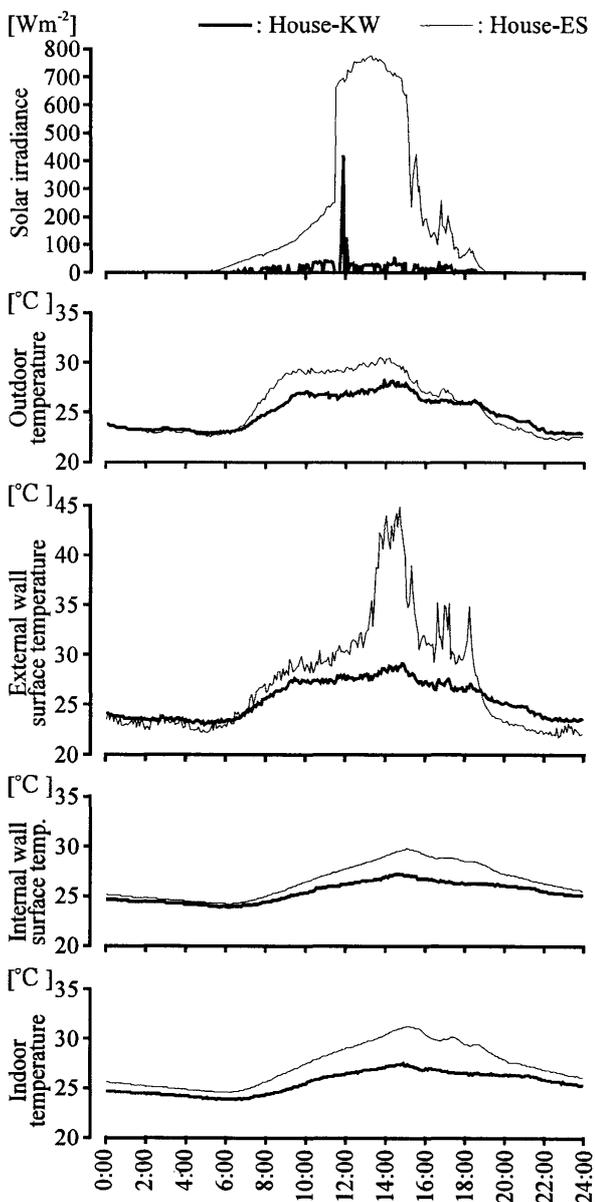


Fig. 3 Results of the thermal environment measurements at House-KW and -ES on June 29, 2006

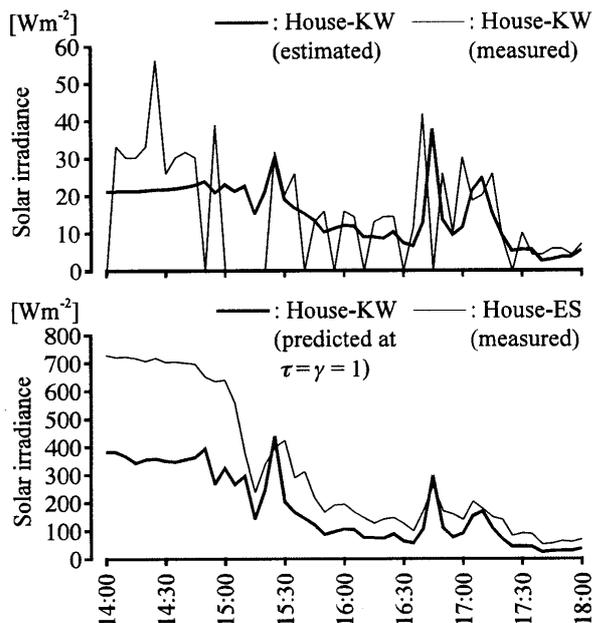


Fig. 4 Measured and estimated solar irradiance at House-KW and -ES on June 29, 2006

松透過率と基準点の日射量を用いて推定したKW邸の日射量を実測値とあわせて示す。下段に $\tau=\gamma=1$ 、すなわち築地松を除去した場合のKW邸の予測日射量をES邸の実測値とあわせて示す。なお、それぞれの天空率はKW邸0.044、KW邸の築地松を除去した場合0.201、ES邸0.339であった。Fig. 4より、築地松面の透過率は現実には完全に一様ではないため、実測値は細かく変動を繰り返すが、推定値は実測値と概ね良く対応している。築地松を除くことでKW邸の日射量は非常に大きくなり、14～15時頃には $360\text{W}/\text{m}^2$ 前後と10倍以上にもなる。天空率が小さい分だけES邸よりほぼ一貫して低い値で推移し、雲の影響と推察される多少の変動にも良く追従している。

#### 4. 考察

消散係数は築地松透過率や正投影空隙率のように時刻や築地松厚に依存せず、他樹種と遮蔽特性を比較する上で有効な指標であるが、幾何学実測結果はその消散係数の個体差が比較的小さく、陰手狩り後の経過年数別に算出すれば、築地松の特性値として扱えることを示唆している。消散係数が決まれば実測が比較的容易な築地松の厚と方位角によって直達日射を、天空率を実測すれば天空日射を算出できる。ここでは周囲地物からの反射日射を含めていないが、直達日射も合わせた全体から見れば相対的に小さく、熱実測結果との対応も良好であり、築地松の日射遮蔽効果を概ね把握できていると考えられる。

一方、昼光率については直射光を含めていないため、周囲地物からの間接昼光の影響が相対的に大きく、直

接昼光率を意味する天空率のみでは昼光遮蔽効果の十分な推定に至らなかった。室内の最低照度の確保を採光により計画する上で、昼光率の把握は欠かせない。周辺建物はもちろん築地松枝葉部が天空に占める比率も大きく、これらからの間接昼光を考慮する必要がある。とくに一連の実測中、築地松裏面側では広葉樹系の雑木より明るく感じるが多かった。理由の一つに、針葉へ入射する日射が反射・散乱する際、その形状によって中に侵入しやすく築地松面の輝度が高くなると推察される。いずれにせよ、築地松は日射を十分に遮蔽しながらも、必要な採光を維持し得る性能を備えていると示唆される。陰手狩り後の経年別の消散係数の導出や、ツタ(梅干野ら、1985)や他樹種の場合の室内への熱的影響比較と合わせ、築地松の環境調節性能をさらに明らかにすることが今後の課題である。

**謝辞** 調査にご協力いただいた住民の皆様、測器に関し便宜を図っていただいた名古屋工業大学大学院堀越哲美教授、島根大学上原徹教授に深謝します。

#### 5. 文献

- 伊藤克三、大野治代 (1975)：天空輝度の地域別設計用標準値に関する研究、日本建築学会論文報告集、229、85/91
- 宇田川光弘、木村健一 (1978)：水平面全天日射量観測値よりの直達日射量の推定、日本建築学会論文報告集、267、83/90
- 黒谷靖雄、小林定教 (2000)：出雲地方の築地松が住まいに及ぼす影響について その6、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、125/126
- 黒谷靖雄、清田誠良、小林定教 (2001)：出雲地方の築地松が有する防風効果、日本建築学会中国支部研究報告集、24、423/426
- 西川竜二、宿谷昌則 (2000)：樹木の日射遮蔽効果の簡易推定法の開発、日本建築学会計画系論文集、527、29/35
- 梅干野晁、茶谷正洋、八木幸二 (1985)：ツタの西日遮へい効果に関する実験研究、日本建築学会計画系論文報告集、351、11/19
- 吉田伸治、中井 敦、大岡龍三 (2006)：樹木の成長、樹種の違いが樹冠の葉面積密度・光学的深さに及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集、605、103/110

#### <連絡先>

長野和雄  
〒690-8504 松江市西川津町 1060  
島根大学総合理工学部  
nagano@riko.shimane-u.ac.jp