

出雲平野の築地松の西日遮蔽効果に関する 実測および幾何学的評価

Empirical examination and theoretical estimation on solar shading effect of tsujimatsu in Izumo Plain

長野 和雄¹, 小松 充典²

Kazuo Nagano¹, Mitsunori Komatsu²

¹島根大学総合理工学部, ²株式会社プレビジョンシステムズ

¹*Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University,* ²*Prevision Systems Co., Ltd*

(受付 2009 年 5 月 19 日 / 受理 2009 年 7 月 21 日)

本研究の目的は出雲築地松の西日遮蔽性能を実測により確かめ、幾何学的評価により定量的に捉えることである。45 軒の築地松形態を実測し、代表値や分布範囲を明らかにした。屋敷周りの屋外照度を築地松を有する 15 点、雑木を有する 11 点、いずれも有さない 20 点の別に測定したが、昼光率・昼光遮蔽率に築地松と雑木の間で明確な差は認められなかった。住宅西側に築地松を有する 1 軒、有さない 1 軒について日射量・外気温・外壁内外表面温・室温を測定し、築地松を有する 1 軒では日射量が著しく小さく、外気温・外壁内外表面温・室温とも明らかに低かった。築地松形態から幾何学的に推定した日射量は実測値と良く対応し、45 軒の築地松形態の代表値に基づいて導いた日射遮蔽率は 8 割強であった。

キーワード: 形態実測, 昼光遮蔽率, 日射遮蔽率

The purpose of this study is to evaluate empirically and theoretically the solar-shading effect of traditional pine hedges in Izumo Plain, called “tsujimatsu”. The geometries of forty-five pine hedges were measured. The observation of the illuminances at 15 points with tsujimatsu, 11 points with copse, and 20 points with no tsujimatsu/copse showed little significant differences of daylight factors/shading ratio of daylight illuminances at between tsujimatsu and copse points. Solar radiation, outdoor temperature, outdoor and indoor wall surface temperatures, and indoor air temperature at two houses with and without tsujimatsu were also observed. The tsujimatsu intercepted mostly the solar irradiation and lowered obviously outdoor, wall surface, and indoor temperatures. The estimations of solar irradiation passed through tsujimatsu was in agreement with the measured value. The shading ratio of solar irradiation which was derived from the geometries of forty-five pine hedges was more than 80%.

Key words: Geometrical measurements, Shading ratio of daylight illuminance, Shading ratio of solar irradiation

1. はじめに

出雲平野は北を北山山地, 南を中国山地に挟まれた田園地帯であり, 田畑の間に家々が散在する。築地松(ついでまつ)はその家々を覆い隠すよう

に構えられたクロマツの屋敷林のことである(Photo 1)。平野を流れる斐伊川の氾濫に備えて屋敷周りに土手を築き(築地), そこにクロマツを植えたことが呼称の由来とされる(有田, 1990)。4-5年ごとに剪定される単一樹種の刈込式高垣であり,



Photo 1 Scenery with tsujimatsu

その意味でいえば、屋敷林というよりも生垣と呼ぶ方が相応しい。地元ではこの剪定を陰手刈り(のうてごり)と呼び、やや上広がりや上部両端を反り上げるように刈る。その姿は壮観で、この散居村の景観を構成する重要な要素となっている。

築地松は主に屋敷の西と北に設けられ、冬季の北西風から屋敷と人々の生活を守る役割を果たすことから、気候の影響が視対象として表出した気候景観(矢沢, 1953)の一つとして捉えられてきた(青山, 2000)。築地松の林帯方向や偏形樹分布による卓越風向の検討(林と川上, 1980; 佐藤と池田, 1986)がその例である。また、居住環境に対する築地松の物理的効果の検証についても、防風性能を中心に行われてきた。その方法は現場実測による事例研究(黒谷ほか, 1999a, 2001a, 2001b)のみならず、風洞実験(黒谷ほか, 2002a, 2002b)や、CFDによる検討(鈴木ほか, 2002; 岩田ほか, 2003; 木村ほか, 2003)も行われ、防風性能評価の一般化まで試みられている。しかしながら、防寒効果(五十嵐ほか, 1971)や日射遮蔽効果(黒谷と小林, 2000a, 2000b)については、検証されているものの数が少なく、一部の実測事例に留まっている。本研究は築地松の西日に対する働きに着目し、光環境・熱環境の実測評価に加え、築地松の形態実測から幾何学的に評価し、西日遮蔽効果をより一般化し定量的に把握することを目的とした。

2. 方法

2-1. 遮蔽効果の幾何学的評価

築地松はその配置と形状から、住宅壁面に平行に掛けられた、均一な厚さと枝葉の密度を持つ

スクリーンとみなすことができる。築地松に入射する日射が枝葉部で吸収され、空隙部を通過するとすれば、築地松裏側(住宅側)の天空日射 J_{sh} [W/m^2]は、天空を等輝度完全拡散面とすれば次式で表される。

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

ここで、 φ_{sky} [n.d.]は築地松裏側の天空率、 J_{sh0} [W/m^2]は水平面全天日射量から分離した拡散成分である。 φ_{sky} [n.d.]は直接昼光率に一致するため、全天空照度を E_0 [lx]とすれば、築地松裏側の直接昼光照度 E_s [lx]も同様に表される。

$$E_s = \varphi_{sky} E_0 \quad (2)$$

直達日射についても、空隙部のみを通過するものとして取り扱う。すなわち、築地松の厚さを D [m]、築地松表側(屋敷外側)の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(以後、正投影空隙率と称す)を τ [n.d.]、直達日射が築地松を通過する距離(以後、日射通過距離と称す)を l [m]とすれば、築地松裏側の法線面直達日射量 J_{dn} [W/m^2]と水平面全天日射量から分離した法線面直達日射成分 J_{dn0} [W/m^2]の関係は次式で表される。

$$J_{dn} = \tau^{l/D} J_{dn0} \quad (3)$$

このとき、単位厚さあたりの築地松の空隙率は日射入射角に関わらず一定とする。

一方、直達日射が築地松を通過するときに減衰する程度は、入射する日射量自身に比例すると考えられる。したがって、 J_{dn} [W/m^2]は次式のように表すこともできる。

$$J_{dn} = J_{dn0} e^{-kl} \quad (4)$$

ここで、 k [m^{-1}]は築地松の消散係数であり、(3)式、(4)式より、次式で表される。

$$k = -\log \tau / D \quad (5)$$

築地松表側の法線方向の南からの偏角(以後、築地松方位角と称す)を ε [$^\circ$]、太陽高度を h [$^\circ$]、太陽方位角を α [$^\circ$]とすると、日射通過距離 l [m]は、次式で表される。

$$l = D / (\cosh \cos(\alpha - \varepsilon)) \quad (6)$$

したがって天空率 φ_{sky} [n.d.]、正投影空隙率 τ [n.d.]、築地松方位角 ε [$^\circ$]が定めれば、水平面全天日射量から築地松裏側の日射量が導出可能となる。

2-2. 築地松に対する住民意識調査

形態調査および環境調査に先立って、築地松が

有する役割に対する住民の認識を確かめるため、2005年9月にアンケート調査を実施した。典型的な散居形態を残す島根県斐川町黒目・三分市・坂田の住民を対象とした。配布回収方式は直接配布・直接回収を原則とし、訪問時不在だった世帯には留置き郵送により回収した。200部配布し、有効回収数・回収率はそれぞれ148部・74.0%であった。

2-3. 形態調査

出雲平野の散居集落の大部分を占める、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の地区を対象とした。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軒を選定した。比較のため雑木のみ(モチノキとマテバシイ)で構成された1軒も含めた。なお、この地域では雑木による防風林(以後、雑木防風林と称す)の中には剪定されず整形でないものもあるが、この1軒は築地松と同じように刈り整えられている。

築地松裏側における天空率 φ_{sky} [n.d.]を求めるため、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)を装着し天空写真を約300〜500万画素で撮影した。撮影位置は、三脚に据え付けたデジタルカメラをできるだけ住宅西側壁面に近づけ、レンズ天頂部と壁面との距離を0.15m、高さを1.1mに統一した。画像編集ソフトウェア(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、球面変形処理により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として求めた。ここでは、築地松枝葉部の間隙に覗く天空部(以後、天空空隙と称す)と天空空隙を除いた残りの天空部(以後、部分天空と称す)を区分し、Fig. 1に示すように築地松写像(すなわち、築地松枝葉部と天空空隙)の全写像に対する画素数比(以後、築地松率と称す)を φ_{pine} [n.d.]、天空空隙の築地松写像に対する画素数比(以後、天空空隙率と称す)を γ [n.d.]、部分天空の全写像に対する画素数比(以後、部分天空率と称す)を φ_r [n.d.]とし、それぞれ読み取った。

$$\varphi_{sky} = \varphi_{pine} \gamma + \varphi_r \quad (7)$$

正投影空隙率 τ [n.d.]の実測は西川と宿谷(2000)、黒谷ほか(2001a)の方法に準じた。すなわち、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)を装着し、正投影とみなせるよう築地松表側の法線方向のできるだけ遠方から、約800万画素の全写像の少なくとも1/2以上を築地松が占めるように撮影した。先述の画像編集ソフトウェアにて築地松枝葉部とその空隙部(以後、正投影空隙と称す)をそれぞれ取り出し、築地松写像(すなわち、築地松枝葉部と正投影空隙)に対する正投影空隙の画素数比として求めた。

また、築地松方位角 ε [°]を方位磁石、築地松の厚さ D [m]および西壁面との距離 d [m]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。

2-4. 昼光環境調査

形態調査と同じ対象地区の中で、築地松または雑木防風林を有し、かつ居住者の了承が得られた12軒を選定した。各住宅の4方位壁面の近傍を実測点とした。

2-3節と同一の手順により、全4方位について、各壁面との距離0.15m、高さ1.1mにて天空写真を撮影し、築地松率 φ_{pine} [n.d.]・天空空隙率 γ [n.d.]・部分天空率 φ_r [n.d.]を求めた。天空光のみで直射光を含まないよう曇天時に、天空写真撮影と同一位置4点および基準点の水平面照度を照度計(TOPCON IM-5; MINOLTA T-10)により実測した。基準点は各住宅別に定め、天空率を1とみなせる

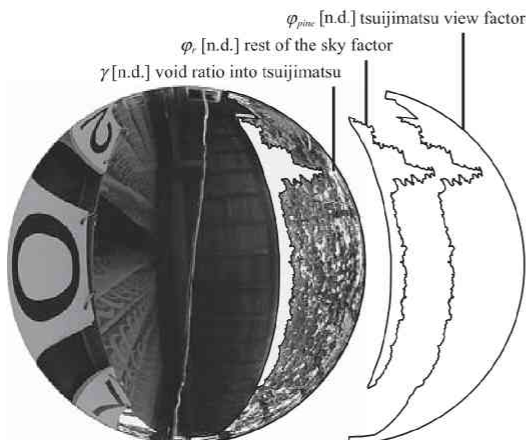


Fig. 1 Each item for sky view factor

よう住宅から数十 m 離れ, かつその他の障害物も少ない位置とし, また高さを 1.1m とした. 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. なお, 写真撮影は 2005 年 8 ~ 12 月, 照度実測は 2005 年 10 ~ 12 月に行った. また, 一部欠測したため, 築地松を有する 15 点, 雑木防風林を有する 11 点, 築地松・雑木防風林を有さない 20 点のデータを分析に用いた.

2-5. 熱環境調査

斐川町坂田に位置し, 居住者の了承が得られた築地松を有する住宅 1 軒 (KW 邸) および有さない住宅 1 軒 (ES 邸) を選定した. KW 邸・ES 邸とも, 正確な間取りや壁の構成材は不明だが木造軸組構法であり, 西壁の外壁はトタン仕上げとしている. この地域では西端に位置する室のうち, 南の表側をカミノマまたはオモテ, 北側をナンドと呼ぶ (伊藤, 1995). カミノマは行事や接客時以外にはあまり使われないのに対し, ナンドは物置部屋ではなく通常の居室であり日常的に使用される. 本研究では室内熱環境と居住者の生活実感を照合することも目的の一つであるため, ES 邸ではこのナンドの内外を実測対象とした. KW 邸ではさらにナンドの西に母屋から約 1 間半突き出して居室があるため, この室の内外を実測対象とした. KW 邸の対象室には南側に窓があり, 西壁に開口部はない. 築地松は屋敷の西側と北側の東半分であり, そのすぐ外側の敷地境界に敷地面からの高さ 1.0 ~ 1.3m のブロック塀が構えられている. ES 邸のナンドも西に約半間張り出し, 西と北に窓がある. ナンドの西に築地松やブロック塀はないが, 壁から約 3m 離れた位置に高さ 2m 弱のカイツカイブキが 1m 程度の隙間を空けて並んでいる.

2-3 節と同一の手順により KW 邸の西壁側に構えられている築地松の形態を実測した. 同様に ES 邸の西壁側にて天空写真を撮影し, 天空率を求めた. 熱環境については水平面日射量, 西壁付近の外気温, 西壁外表面温・内表面温, 室温を実測した. 水平面日射量の実測には, KW 邸については長短波放射計 (EKO MR-40), ES 邸については全天日射計 (EKO MS-802) を用いた. KW 邸の長短波放射計の設置位置は, 天空写真撮影位置と同じ壁面から 0.15m・高さ 1.1m とした. ES 邸の全天日射計

の設置位置は, 居住者への配慮上, 室内から窓越しに見えない位置とする必要があり, また近距離に遮蔽物が少なく低い位置としても実測値への影響は小さいと判断し, 壁面から 0.15m・高さ 0.15m とした. 西壁付近の外気温の実測には自己記録式温湿度計 (T&D TR-72S) を用い, 自作の百葉箱に収めて高さ 0.9m に設置した. 西壁外表面温・内表面温の実測には 0.3mm φ T 型熱電対を用い, 地面から高さ 0.9m・1.4m・1.9m (水平方向の間隔は 0.3m) の各 3 点にアルミテープで貼付し, データロガー (KEYENCE NR-1000) にて記録した. 以降の分析にはこの 3 点の平均値を用いた. 室温の実測には自己記録式温湿度計 (T&D TR-72S; ESPEC RS-10) を用い, 居住者の邪魔にならないよう床上 1.8m に設置した. 同時に KW 邸からおおよそ南南西 530m, ES 邸からおおよそ南南東 230m に位置する公民館敷地内を基準点 ($\phi_{\text{sky}} = 0.827$) とし, 基準点の水平面日射量を全天日射計 (EKO MS-43F) を用いて実測した. 実測値を水平面全天日射量として扱うため, 宇田川と木村 (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. 実測は 2006 年 6 月 29 日に行い, いずれも測定間隔は 5 分であった.

3. 結果

3-1. アンケート調査

回答者の年齢は, 50 代, 60 代, 70 代, 40 代の順に多く, それぞれ 39 (26.4%) 36 (24.3%), 35 (23.6%), 25 (16.9%) であった. 80 代以上, 20 代, 20 才未満は 1 桁と少なく, それぞれ 8 (5.4%), 4 (2.7%), 1 (0.7%) であった. また, 築地松の保持は, 「有している」が 100 (67.6%), 「以前有していた」が 22 (16.2%), 「有していない」が 24 (14.9%) であった.

Fig. 2 に築地松の良い点・悪い点に関する各項目に対し「思う・どちらでもない・思わない」の 3 択で得た回答結果を示す. 良い点に関して, 「防風効果がある」にはほぼすべての回答が「思う」である. 「陽射しを和らげる」「暑さを和らげる」「景観面に優れている」について「思う」が 8 割強, 「防雪効果がある」について「思う」が 7 割弱である. 悪い点に関しては, 「維持に費用がかかる」「松葉が雨樋に詰まる」について「思う」が 8 割強, 「剪

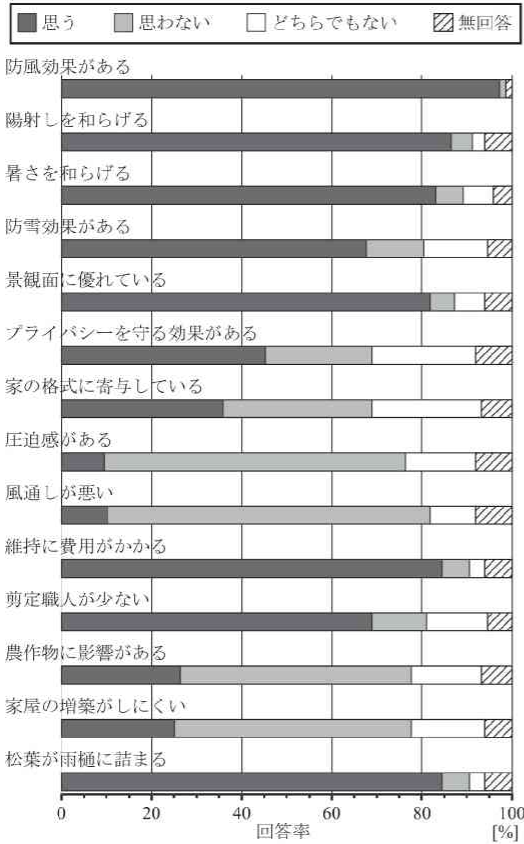


Fig. 2 Residents' evaluation of tsujimatsu

定職人が少ない」については約7割が「思う」である一方、「圧迫感がある」「風通しが悪い」については「思わない」が7割前後である。

3-2. 形態実測

Fig. 3 に築地松の形態実測により導出した各観測値の度数分布, 平均, 標準偏差を示す. 度数分布については, 参照のため雑木防風林の1軒のデータも示す. Fig. 3 より, 築地松の厚さ D は, 1 ~ 1.5m が 17 軒, 1.5 ~ 2m が 15 軒と大半を占める. 西壁から築地松までの距離 d は, 2 ~ 3m が 14 軒, 4 ~ 5m が 10 軒と多いが, 0 ~ 1m から 8 ~ 9m まで幅広く分布している. 築地松方位角 ε は, 70 ~ 80° が 13 軒, 80 ~ 90° が 10 軒と多い. 90° 以上よりも 70° 未満の方が多く, 真西よりやや南に振れている築地松が多い. 天空率 φ_{sky} は, 0.04 ~ 0.08 が 18 軒, 0.08 ~ 0.12 が 12 軒と大半を占める. 空隙を含む築地松率 φ_{pine} は, 0.2 ~ 0.25 が 13 軒, 0.25

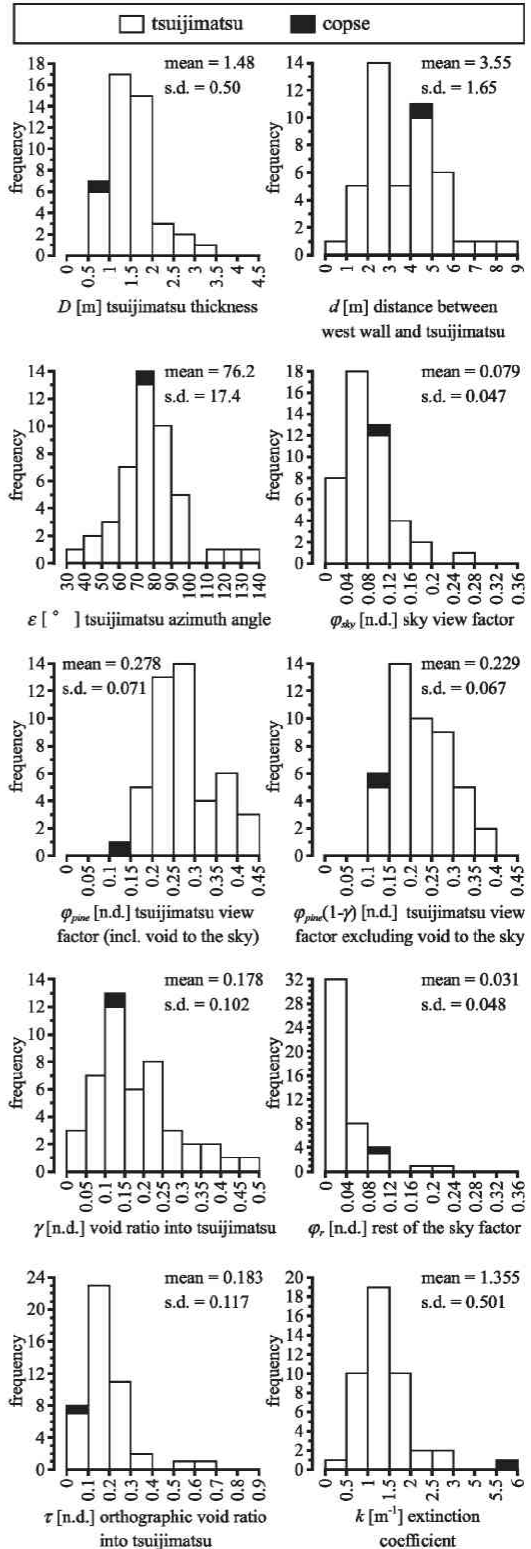


Fig. 3 Histograms of the geometric measurements

0.3 が 14 軒と多いが, 0.4 ~ 0.45 と大きい値も 3 軒ある。雑木防風林は 0.14 と実測住宅中で最も小さかった。空隙を除いた築地松率 $\varphi_{pine}(1-\gamma)$ は 0.15 ~ 0.2 が 14 軒と最も多い。0.15 未満が 5 軒と少ないのに対し, 0.2 以上は 26 軒であり, そのため平均値が最頻値より大きい。天空空隙率 γ は, 0.1 ~ 0.15 が 12 軒, 0.2 ~ 0.25 が 8 軒と多く, 0 ~ 0.5 まで幅広く分布している。部分天空率 φ は, 0 ~ 0.04 が 32 軒と最も多い。正投影空隙率 τ は, 0.1 ~ 0.2 が 23 軒と最も多い。雑木防風林は 0.01 と, 実測住宅中で最も小さかった。消散係数 k は, $1 \sim 1.5m^{-1}$ が 19 軒と最も多く, $0.5 \sim 1m^{-1}$, $1.5 \sim 2m^{-1}$ がともに 10 軒である。前年に陰手刈りを行ったことがわかっている 2 軒においては $0.298m^{-1}$, $0.645m^{-1}$ であり, 実測住宅中それぞれ 1 番目, 3 番目に小さかった。一方で雑木防風林は $5.730m^{-1}$ と, 築地松に比べ極端に大きかった。

3.3. 昼光環境実測

Fig. 4 に天空写真実測から算出した天空率と照度実測に基づき算出した昼光率の関係を, 築地松を有する点, 雑木防風林を有する点, 築地松・雑木防風林を有さない点の別に散布図で示す。ここで昼光率の算出は, 基準点において実測した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すことによる。また, 昼光率に併記している数値軸は, 全天照度の累積出現率が 5% (伊藤と大野, 1975) である $E_0 = 5000 \text{ lx}$ としたときの各点照度である。Fig. 4 より, 築地松を有する 15 点とも天空率 0.2, 昼光率 0.2 (照度 1000 lx) をそれぞれ下回る。雑木防風林を有する 11 点についても天空率 0.3, 昼光率 0.2 (照度 1000 lx) をそれぞれ下回り, 築地松と雑木防風林との間に顕著な差は認められない。築地松・雑木防風林を有さない点を含めた全体としてみると, 昼光率が天空率よりもやや大きい傾向がうかがえる。しかし昼光の程度を表す指標 (天空率, 昼光率) と樹種 (築地松, 雑木防風林, 築地松・雑木防風林ともない) の 2 要因による分散分析の結果 (森と吉田, 1990), 有意差は認められなかった。

Fig. 5 に空隙を除いた築地松率と昼光遮蔽率との関係を, 築地松を有する点, 雑木防風林を有する点の別に散布図で示す。それぞれ原点を通る回

帰直線を併せて示す。ここで昼光遮蔽率とは, (7) 式に天空空隙率 $\gamma=1$ を代入して求めた築地松・雑木防風林がないと仮定した場合の天空率と, 照度実測に基づき算出した昼光率との差である。また, 昼光遮蔽率に併記している数値軸は, Fig. 4 と同様に $E_0 = 5000 \text{ lx}$ としたときの照度 (以後, 昼光遮蔽照度と称す) である。Fig. 5 より, 築地松を有する点について, およそ空隙を除いた築地松率 0.19 ~ 0.37, 昼光遮蔽率 0.13 ~ 0.41 (昼光遮蔽照度 650 ~ 2000 lx) に分布する。雑木防風林を有する点について, およそ空隙を除いた築地松率 0.13 ~ 0.44, 昼光遮蔽率 0.11 ~ 0.47 (昼光遮蔽照度 570 ~ 2300 lx) に分布する。空隙を除いた築地松率と昼光遮蔽率との間に正の相関が認められ, 同様の値を示している。回帰直線は, 築地松の方が雑木

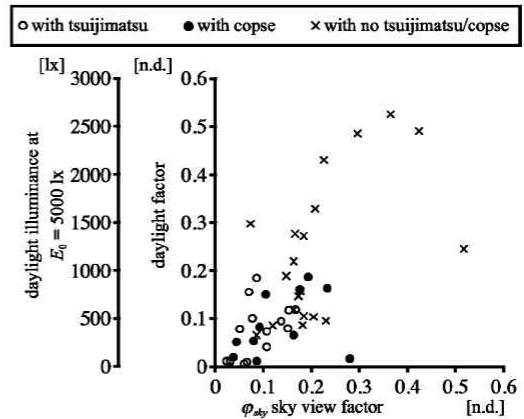


Fig. 4 Scatter plot of the daylight factor versus the sky factor

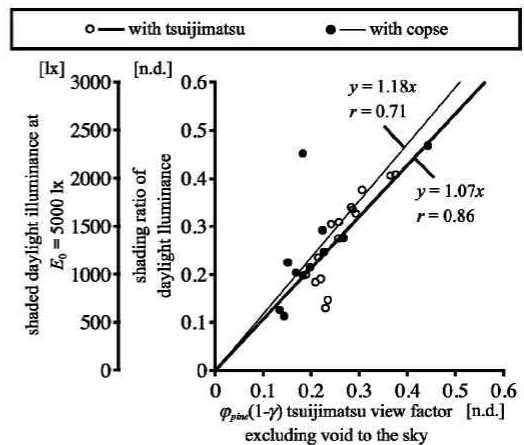


Fig. 5 Scatter plot between two daylight-shading factors

防風林より傾きがやや緩い。しかし光遮蔽指標（築地松率，昼光遮蔽率）と樹種（築地松，雑木防風林）の2要因による分散分析の結果（森と吉田，1990），有意差は認められなかった。

3.4. 熱環境実測

KW 邸西側の築地松の形態を実測した結果， $D = 1.2\text{m}$ ， $d = 1.1\text{m}$ ， $\varepsilon = 77^\circ$ ， $\varphi_{sky} = 0.044$ ($\varphi_{pine} = 0.201$ ， $\gamma = 0.217$ ， $\varphi_r = 0.000$)， $\tau = 0.114$ の値を得た。ES 邸西壁側における天空率は， $\varphi_{sky} = 0.339$ であった。

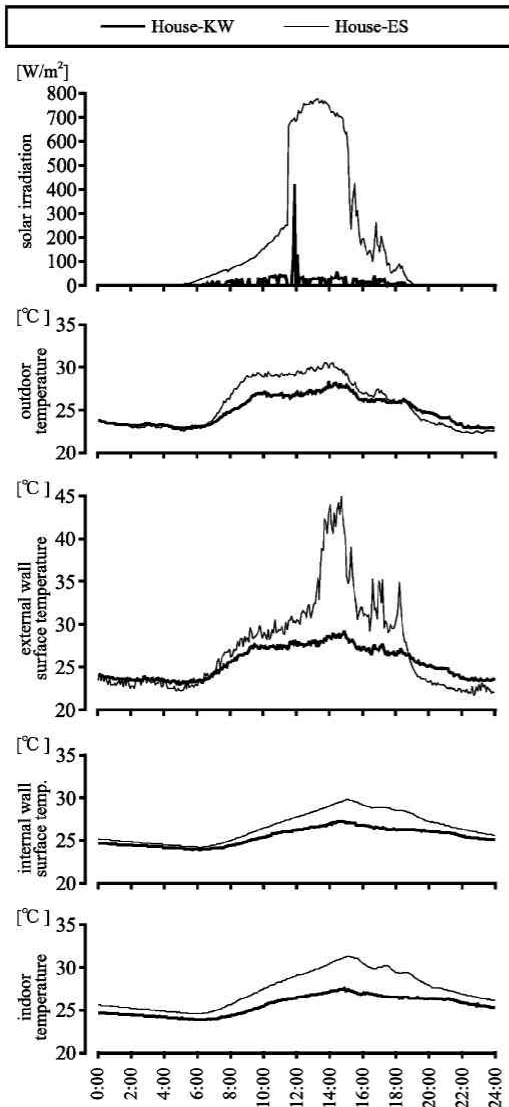


Fig. 6 Time series results of each measured item at House-KW and -ES on June 29, 2006

Table 1 Mean, maximum, minimum values, and range of each measured item at House-KW and -ES on June 29, 2006

		House-KW	House-ES
solar irradiation	maximum [W/m ²]	421	778
	daily [MJ/m ²]	0.8	13.8
outdoor temperature	mean [°C]	25.0	25.6
	maximum [°C]	28.4	30.6
	minimum [°C]	22.9	22.3
	range [°C]	5.4	8.3
external wall surface temperature	mean [°C]	25.5	27.3
	maximum [°C]	29.2	44.9
	minimum [°C]	23.0	21.7
	range [°C]	6.2	23.2
internal wall surface temperature	mean [°C]	25.4	26.6
	maximum [°C]	27.2	29.8
	minimum [°C]	23.9	24.2
	range [°C]	3.3	5.5
indoor temperature	mean [°C]	25.6	27.4
	maximum [°C]	27.5	31.3
	minimum [°C]	23.9	24.6
	range [°C]	3.6	6.7

Fig. 6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・壁外表面温・壁内表面温・室温の経時変化を示す。Table 1にその平均値・最大値・最小値・日較差を示す。ただし日射量のみ最大値と日積算値を示す。Fig. 6より，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。KW邸は正午頃に一時的に大きいものの，日中30W/m²前後で推移する。外気温・壁外表面温・壁内表面温・室温について，未明から明け方にかけてKW邸とES邸の差は小さいが，日出頃から差がみられはじめ，いずれもES邸の方がKW邸より大きい。外気温についてはとくに9時頃から14時過ぎに顕著であり，約3°Cの差がみられる。壁外表面温については14時前から15時頃，壁内表面温・室温については15時頃から15時30分頃に最も顕著であり，それぞれ約16°C，約3°C，約4°Cの差がみられる。Table 1より，日射量について，最大値・日積算値ともKW邸の方がES邸よりも顕著に小さい。外気温・壁外表面温・壁内表面温・室温について，KW邸の方がES邸よりも平均値が低く，最大値が低く，日較差が小さい。

Fig. 7に2006年6月29日14-18時におけるKW邸の日射量の実測値と推定値を示す。ここで推定値は，KW邸の築地松形態および基準点の日射量から導いている。同時に平均的な築地松の場合の日射量として，Fig. 3に示す平均値および基準点の

日射量から導いた算出値を併せて示す。Fig. 7より、KW邸の日射量の実測値は最大でも60W/m²に満たず、たびたび0W/m²を示すなど、上下動を繰り返しながら漸減する。14-18時の平均値は15.4W/m²であった。KW邸の日射量の推定値は実測値ほどの上下動はないものの、おおよそ同様の値を示しながら漸減する。14-18時の平均値は16.7W/m²であった。Fig. 3の平均値に基づく日射量の算出値はKW邸の推定値の倍近い値で同調的に上下しながら推移する。14-18時の平均値は31.2W/m²であった。

Fig. 8に2006年6月29日14-18時における築地松の日射遮蔽量を示す。ここで日射遮蔽量とは、 $\tau = \gamma = 1$ として築地松がないと仮定した場合(KW邸： $\phi_{shy} = 0.201$ ；形態調査の対象住宅： $\phi_{shy} = 0.308$)

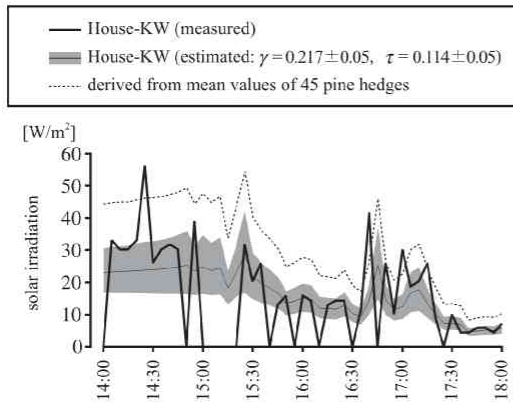


Fig. 7 Measured and estimated solar irradiation at House-KW on June 29, 2006

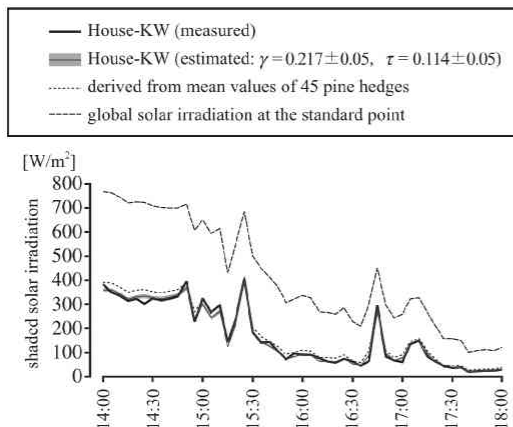


Fig. 8 Shaded solar irradiation at House-KW and estimation derived from mean values of 45 pine hedges on June 29, 2006

の日射量と Fig. 7で示した各日射量との差である。同時に基準点における水平面全日射量(すなわち基準点の天空率による補正後の値)を併せて示す。Fig. 8より、KW邸の日射遮蔽量の実測値と推定値の差は非常に小さく、いずれも全日射量の変動に同調的に上下しながら低下する。Fig. 3の平均値に基づく日射遮蔽量の算出値は、天空率が大きい分だけKW邸よりわずかに大きい値を示すものの、ほぼ同様の値で推移する。

本研究では、撮影した天空写真および正投影写真から天空空隙率 γ ・正投影空隙率 τ を求めたため、築地松枝葉部と天空空隙または正投影空隙を区分する際の読み取り誤差がKW邸の推定値に及ぼす影響を検討した。Fig. 7, Fig. 8について、天空空隙率 γ と正投影空隙率 τ の読み取り誤差を最大 $\pm 5\%$ とし、そのときのKW邸の推定値の範囲を同時に示した。Fig. 7より、日射量の誤差範囲は15時頃まで $\pm 7 \sim 8 \text{W/m}^2$ 程度であり、推定値の漸減とともに狭まる。一方Fig. 8より、日射遮蔽量の誤差範囲はFig. 8上では判別できないほど小さい。

また、築地松がないと仮定した場合の日射量に対する日射遮蔽量の比を日射遮蔽率とし、14-18時の平均値を求めた。その結果、KW邸の実測値で0.887、推定値で0.881、天空空隙率 γ と正投影空隙率 τ の読み取り誤差を $+5\% \cdot -5\%$ としたときの推定値でそれぞれ0.843・0.916、Fig. 3の平均値に基づく算出値で0.825であった。

4. 考察

4.1. 住民の認識

風だけでなく、日射・雪などの気象要素に対する緩和効果について、住民がよく認識していることはアンケート結果から明らかである。特に日射遮蔽・暑熱緩和については、景観面への貢献と同等以上であり、日常的にこれらの効果を実感していると考えられる。1994年に実施された築地松景観保全対策推進協議会による調査(1995)でも、築地松の役割(最大3つまで選択する質問形式であった)として、「防風」が最も高く94.8%、次いで「景観」73.6%、「防雪」33.5%、「家の格式」18.8%と続いていた(ただし、本調査地区を含む斐川町の1374回答のみを抜粋)。村川ほか(1998)

も築地松の機能について「防風防雪」「美しい景色」「日照調節」「伝統性保持」の評価が高いとするアンケート結果を示し、黒谷と小林 (1998a, 1998b)、黒谷ほか (1999b) の調査結果も同様であった。したがって、住民の築地松に対する視覚的効果や環境調節性能の認識はほぼ好意的・肯定的であり、経年的な意識変化も大きくないと考えられる。

4.2. 築地松形態の特徴

形態実測結果で注目されるのは、空隙を除いた築地松率 $\varphi_{pine}(1-\gamma)$ の値が天空率 φ_{sky} の値よりも大きい範囲に分布している点である。このことは、築地松を取り除けば天空率が大幅に増加することを意味しており、築地松による昼光照射度や天空日射に対する遮蔽効果の大きさをうかがわせる。消散係数 k について、その平均値は広葉樹の単木に比べ大きい方である (吉田ほか, 2006)。これは、単木は規模が大きいと樹冠内が空洞化しやすいのに対し、築地松は枝振りが良く空洞部が少ないためと考えられる。また、部分天空率 φ_r が 0.04 以下に集中しているのは、西壁からの軒の張り出しに加え、高さ 10m を超える築地松によって天頂付近まで覆われる場合が多かったためである。一方の実測した雑木防風林は、高さが約 8m 弱と低い (整形された雑木防風林の中では高い方である)、築地松と比べて部分天空率 φ_r は大きく、築地松率 φ_{pine} 、 $\varphi_{pine}(1-\gamma)$ も小さい。ここにも築地松の特徴があらわれているといえるだろう。

本研究の形態実測項目のうち、築地松方位角 ϵ を除いて、多くは剪定の程度の影響を受けると推察される。正投影写真から築地松の遮蔽率を陰手刈り後の経過年別に求めた黒谷ほか (2001a) の結果を正投影空隙率に改めると、約 0.04 から 0.32 であった。本調査はこれより広い範囲に分布していることから、剪定後の経過年を幅広く対象していると推察される。したがって各項目の分布範囲をおおよそ捉えており、平均値は代表値として妥当であると考えられる。

4.3. 昼光環境の実態と推定

Fig. 4, Fig. 5 より築地松・雑木防風林によって昼光が明らかに遮られている。Fig. 4 について昼光率が天空率よりもやや大きいのは、昼光率の算出に

用いた照度の実測値に間接昼光照射度が含まれるためである。しかし昼光率と天空率の間に有意差はなく、築地松と雑木防風林との相違も見いだされない。一方 Fig. 5 より、築地松の方が雑木防風林より遮蔽される昼光が小さい傾向がうかがえる。このことは一連の実測中、とくに広葉樹系の雑木防風林では築地松よりも暗く感じるが多かった調査者の実感とも矛盾しない。黒谷と小林 (1998a, 1998b)、黒谷ほか (1999b) によるアンケート調査においても、西側の築地松に面する室内の明るさについて「暗い」よりもむしろ「明るい」が多かった。これらを考え合わせると、雑木防風林ほどには暗くなりすぎない築地松の優位性が示唆される。しかしやはり Fig. 4 同様、データ全体のばらつきが大きくて統計的な有意差もみられず、築地松の輝度が雑木防風林より高いことを示すのは困難といわざるを得ない。本研究では天空空隙においてのみ光が通過すると仮定したが、枝葉部での反射・透過を考慮して間接昼光を含めて検討することが、築地松の光遮蔽効果を十分に把握する上での重要な課題である。

4.4. 熱環境の実態と推定

Fig. 6, Table 1 より築地松が大きく日射を遮っているのは明らかである。それが外気温・壁外表面温・壁内表面温・室温の上昇を抑制していると考えられる。日較差も小さく抑えられており、築地松によって屋外熱環境の影響が和らげられている様子が捉えられる。したがって、居住者によって明確に認識されていた日射遮蔽効果・暑熱緩和効果が客観的にも裏付けられたといえよう。

形態実測に基づく KW 邸の日射量の推定については、Fig. 7 に示すように実測値の大きな変動までは十分に反映できていない。これは、実際には築地松の空隙が一律でないのに対し、推定値を求める際には透過率が均一であるとして取り扱っているためと考えられる。しかし西日が射している 14 時から 18 時までの全体では、漸減する様子は同様であり平均値も近い値を示すなど、KW 邸の日射量の推定値は実測値とおおむね良く対応しているといえる。日射遮蔽量についてはさらに、Fig. 8 に示すように KW 邸の推定値と実測値の対応は非常に良い。算出方法から当然のことであるが、Fig. 7

の日射量における KW 邸の実測値と推定値との差, また天空空隙率 γ と正投影空隙率 τ の読み取り誤差による推定値の誤差範囲の大きさは, Fig. 8 の日射遮蔽量におけるそれと一致する. そのため, 築地松裏側に到達する日射量に比べて大きい日射遮蔽量としてみた場合, 築地松の透過率を均一と仮定したことによる影響, 天空空隙率 γ や正投影空隙率 τ の読み取り誤差の影響はともに相対的に小さい. むしろ Fig. 8 より, 日射遮蔽量の変動は全天日射量自身の変動に大きく因っている様子が読み取れる. すなわち, 本研究で行った幾何学的評価法は, おおむね良好に築地松裏側の日射量を推定しており, とくに築地松の日射遮蔽量を定量的に表す方法として有効であるといえるだろう. したがって, 平均的な築地松の日射遮蔽効果が, Fig. 3 の平均値に基づき導かれた日射遮蔽量や日射遮蔽率によって, 的確に捉えられていると考えられる.

5. おわりに

築地松の西日遮蔽効果について, アンケート調査により住民の認識を確かめた. 45 軒の築地松の形態調査を行い, 築地松形態の代表値や分布範囲を示した. 昼光・熱環境実測から, 昼光遮蔽・日射遮蔽・暑熱緩和効果を実証し, また築地松形態から幾何学的に昼光遮蔽・日射遮蔽の推定も試みた. 築地松が必要な採光まで遮らない性能を有しているか否かについて, 雑木防風林との対比として示せたとはいえ難いが, 築地松の日射遮蔽効果については高い精度で推定することができた. その効果は顕著であり, 平均的な築地松の日射遮蔽率は 8 割を超えていた.

築地松が風だけでなく, 日射に対しても高い環境調節性能を備えていることは明らかである.

謝辞

調査にご協力いただいた地域住民の皆様, データ整理に尽力いただいた島根大学卒論生(当時)の吉田啓司氏・安田照斎氏, 測器の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.

引用文献

- 青山高義 (2000): 出雲平野—築地松がいろどる散村. 青山高義, 小川肇, 岡秀一, 梅本亨編, 日本の気候景観—風と樹 風と集落—, pp. 135-138.
- 有田宗一 (1990): 築地松と民家, 島根県斐川町教育委員会, pp. 14-15.
- 林正久, 川上道江 (1980): 出雲平野における築地松分布と卓越風向, 地理科学, **34**: 1-9.
- 五十嵐由利子, 梁瀬度子, 花岡利昌 (1971) 民家の微気候学的研究 第 7 報 出雲平野における屋敷防風林の室内気候に及ぼす影響について, 家政学研究, **18**(2): 53-59.
- 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.
- 伊藤庸一 (1995): 第 2 章 築地松民家の空間特性, 平成 6 年度出雲平野の築地松調査報告書, 築地松景観保全対策推進協議会, pp. 24-35.
- 岩田達明, 持田灯, 吉野博, 木村敦子 (2003) 植生 Canopy モデルを用いた出雲地方の築地松の防風効果の数値解析, 日本建築学会東北支部研究報告集・計画系, **66**: 133-136.
- 木村敦子, 岩田達明, 持田灯, 吉野博, 大岡龍三, 吉田伸治 (2003) 樹木の流体力学的効果の再現のための植生 Canopy モデルの最適化 その 1 既往のモデルと Green 型モデルの比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-2**: 721-722.
- 黒谷靖雄, 小林定教 (1998a): 出雲地方の築地松が住まいに及ぼす影響について その 1 山陰地方の気候特性を考慮した住宅の開発に関する基礎的研究 (1), 日本建築学会中国支部研究報告書, **21**: 313-316.
- 黒谷靖雄, 小林定教 (1998b): 出雲地方の築地松が住まいに及ぼす影響について その 2 山陰地方の気候特性を考慮した住宅の開発に関する基礎的研究 (3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-2**: 189-190.
- 黒谷靖雄, 小林定教, 清田誠良 (1999a): 出雲地方の築地松が住まいに及ぼす影響について その 3 山陰地方の気候特性を考慮した住宅の開発に関する基礎的研究 (4), 日本建築学会中国支部研究報告書, **22**: 305-308.
- 黒谷靖雄, 小林定教, 清田誠良 (1999b): 出雲地方の築地松が住まいに及ぼす影響について その 4 山陰地方の気候特性を考慮した住宅の開発に関する基礎的研究 (6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-2**: 517-518.
- 黒谷靖雄, 小林定教 (2000a): 出雲地方の築地松が住まいに及ぼす影響について その 5 山陰地方の気候特性を考慮

- した住宅の開発に関する基礎的研究 (7), 日本建築学会中国支部研究報告書, **23**: 313-316.
- 黒谷靖雄, 小林定教 (2000b): 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 山陰地方の気候特性を考慮した住宅の開発に関する基礎的研究 (8), 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 (2001a): 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書, **24**: 423-426.
- 黒谷靖雄, 清田誠良, 小林定教 (2001b): 出雲地方の築地松が有する防風効果 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-2**: 745-746.
- 黒谷靖雄, 清田誠良, 小林定教 (2002a): 出雲地方の築地松が有する防風効果 その3, 日本建築学会中国支部研究報告書, **25**: 477-480.
- 黒谷靖雄, 清田誠良, 小林定教 (2002b): 出雲地方の築地松が有する防風効果 その4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-2**: 681-682.
- 森敏昭, 吉田寿夫編著 (1990): 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 北大路書房, pp. 1-349.
- 村川三郎, 西名大作, 安野淳 (1998): 住民による地域の伝統のみどり景観の評価構造に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, **509**: 77-84.
- 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.
- 佐藤典人, 池田一 (1986): 出雲平野における屋敷林分布の偏在とその意味について, 法政地理, **14**: 13-26.
- 鈴木淳一, 吉田伸治, 大岡龍三, 黒谷靖雄 (2002) CFD解析による出雲地方の築地松が有する防風効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-2**: 871-872.
- 築地松景観保全対策推進協議会 (1995): 第4章 出雲平野地域住民の築地松保護対策と築地松に関する意識, 平成6年度出雲平野の築地松調査報告書, 築地松景観保全対策推進協議会, pp. 92-132.
- 宇田川光弘, 木村建一 (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.
- 矢沢大二 (1953): 気候景観, 古今書院, pp. 1-227.
- 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.

*Corresponding Author Address: Kazuo NAGANO,

Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504 Japan

E-mail: nagano@riko.shimane-u.ac.jp

別刷請求先: 〒 690-8504 松江市西川津町 1060

島根大学総合理工学部

長野和雄