

◆ 歩行者空間特集 ◆

1/fゆらぎ理論を適用した歩行者空間の整備

小栗ひとみ* 寺川 陽**

1. はじめに

我が国の社会資本整備は、戦後から高度経済成長期にかけて機能性、効率性、公平性重視の量的な充足を優先する時代が続いていたが、80年代の終わりになると、美しさ、ゆとり、潤い、個性といった質の充実に対するニーズも高まり、いわゆるシビックデザインの重要性が認識されることとなった。「感性の時代」の到来が指摘されて久しい。工業製品の分野では、自動車やパソコンのデザインから食品のパッケージに至るまで、単に品質が良いだけでなく、より人間の感性に合った「人にやさしい」「快適な」ものづくりが求められている。社会資本整備においても然りである。

感性時代を支える技術としては、脳や心の研究による感覚・感性の定量的な計測・評価技術や、感性工学、快適科学といった人間の感性に基づく設計手法などがある。その中でも、筆者らが快適性向上のキーワードとして注目しているものに、「1/fゆらぎ」がある。武者らの分析^{1),2)}によれば、人間が心地よいと感じるものの多くは、「1/fゆらぎ」のリズムを持っており、生体リズムもまたこのゆらぎを示すことから、人は体内リズムと同じゆらぎを持つ外的な刺激を快適に感じると推測されている。本稿では、1/fゆらぎ理論を導入した歩行空間整備について、沖縄県の国道330号線および329号線におけるケーススタディ結果を中心にお伝えしたい。

2. 1/fゆらぎとは何か

(1) 様々なゆらぎ現象

一般に、「ゆらぎ」とは揺れて動く様を表現する言葉であり、不規則な変化あるいは規則的な部分に予想できない微妙なズレをプラスした変化と言うことができる。我々の周りには、天体運動や地球の磁力線といった宇宙規模のゆらぎから、太陽の光、天候、風、波、川の流れなどの自然界のゆら

ぎ、熱離音やブラウン運動などの物理的なゆらぎ、ニューロンの発射する電気パルス、心拍、呼吸、脳波、眼球の微細振動などの生体のゆらぎ、株価や景気などの経済的なゆらぎ、生物の進化や人間の感情に至るまで、様々なゆらぎが存在している。

(2) ゆらぎの種類

「ゆらぎ」には、種々の特性を持ったものがあるが、スペクトル解析手法を用いて、その特性を分類することができる。スペクトル解析とは、ゆらぎを様々な波長の波が合成されたものと考え、太陽光を波長ごとの光の成分に分解するように、様々な周波数を持った調和振動成分に分解する方法である。分解した周波数成分(スペクトル)の振幅を2乗平均したものをパワー・スペクトル密度といい、このパワー・スペクトル密度と周波数の関係からゆらぎ現象を分類することができる。両者の相関は、両対数グラフの横軸に周波数、縦軸にパワー・スペクトル密度をとってスペクトル値を表示すると、判別がしやすくなる。武者^{1),2)}によれば、自然界に存在するゆらぎ現象は、白色ゆらぎ、1/fゆらぎ、1/f²ゆらぎに大別することができる^{注1)}。白色ゆらぎは、理想乱数列で求められるもので、その1/2回積分で1/fゆらぎのスペクトルを、また1回積分で1/f²ゆらぎのスペクトルを求めることができる。それぞれのゆらぎは、両対数グラフ上で、図-1のような傾きを示す。すな

注1) 微分法の公式から、n回積分は式(1)で表すことができる。

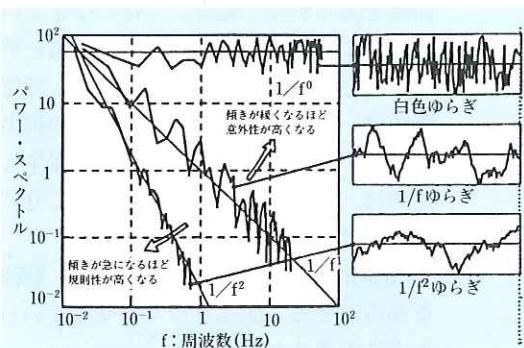
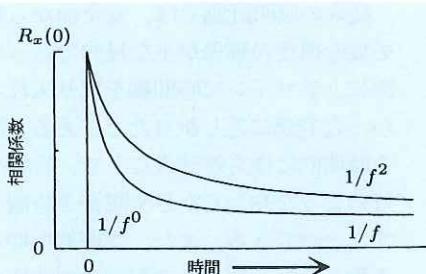
$$\Delta^{-n} X_m = \delta^n \sum_{r=0}^N \frac{n(n+1)\cdots(n+(r-1))}{r!} X_{m-r} \quad (1)$$

δ : 離散化した時間間隔
この式を用いて、1回積分を表す式(2)、1/2回積分を表す式(3)を得ることができる。

$$\Delta^{-1} X_m = \delta(X_m + X_{m-1} + X_{m-2} + \dots) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta^{-1/2} X_m = \delta^{1/2} & \left(X_m + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 1!} X_{m-1} + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2^2 \cdot 2!} X_{m-2} \right. \\ & \left. + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{2^3 \cdot 3!} X_{m-3} + \dots \right) \end{aligned} \quad (3)$$

式(2),(3)に理想乱数列を代入することで、1/f²スペクトル、1/fスペクトルの時系列が求められる。式(3)を用いれば、理想乱数列を線形変換することにより、1/fゆらぎ数値列を求めることができる。

図-1 ゆらぎのパワー・スペクトル図³⁾図-2 自己相関関数(模擬図)⁴⁾

わち、白色ゆらぎは、周波数に関係なく一定のスペクトル値をとるゆらぎ、 $1/f$ ゆらぎはパワー・スペクトル密度が周波数の逆数に比例して傾きが -1 になるゆらぎ、 $1/f^2$ ゆらぎは周波数の増加とともにパワー・スペクトル密度が -2 で低下するゆらぎである。

スペクトル解析の他に、ゆらぎの性質を分析する方法として、自己相関関数がある。これは、ゆらぎの時間的な変化を見る方法であり、ゆらぎがある時間経過しても、それ以前の性質をある割合で維持していることから、現在のゆらぎの状態が過去の状態とどのような関連を持つのかを、時間遅れの関数として求めるものである。自己相関関数は、時間の増加とともに指数的に減少する関数となり、ゆらぎがゆっくりした変動であるほどその減衰は緩やかになる傾向を示す(図-2)。

自己相関関数とパワー・スペクトル密度は、片方が決まれば、もう一方も決まると言った1対1の関係にある。自己相関関数の減衰が急なほど、周波数に対するパワー・スペクトル密度の減少が緩やかになり、逆に自己相関関数の減衰が緩やかなほど、パワー・スペクトル密度の減少は急になる。つまり、パワー・スペクトル密度と周波数の

相関が低いほど、意外性の高い不規則な変化となり、相関が高いほど、もとのゆらぎの記憶効果があるため、規則性が強く予測性の高い変化となる。

$1/f$ ゆらぎは、無秩序な白色ゆらぎと、規則性の高い $1/f^2$ ゆらぎの中間にあるゆらぎであり、意外性と規則性を適度に合わせ持つゆらぎである。

(3) $1/f$ ゆらぎと快適性の関係

武者は、自然界に存在する種々のゆらぎ現象をはじめ、音楽、絵画、手作り工芸品、高速道路上の自動車の流れなど、様々なゆらぎの性質を分析している。その結果、小川のせせらぎや、木目模様、クラシック音楽、手紡ぎの織物など、人がやすらぎや心地よさを感じるものは、共通の性質、すなわち $1/f$ ゆらぎのリズムを持っていることがわかった。また、安静時の心拍や脳波(α 波)など生体信号のリズムも、 $1/f$ ゆらぎを示すことが確認されており、人は生体リズムと同じ性質を持つ外的なゆらぎ刺激に、美しさ、やすらぎ、心地よさといった感情を覚えると推測されている^{1),2)}。長町らの実験では、安静時のみならず、快い気分状態において心拍、 α 波が $1/f$ 型を示すことから、 $1/f$ ゆらぎ刺激と快適感の関係が確認されている⁴⁾。

もちろん、人間の快適感は、外的な刺激のみに起因するものではなく、内的な状態(心理的生理的状態)と大きく関わっているものであるが、快適性を考える上で「 $1/f$ ゆらぎ」は重要な要素と言うことができる。

3. 歩道空間への適用に関する検討

これまでの土木施設設計では、直線的、規則的、画一的な施設整備が多く行われてきたが、「 $1/f$ ゆらぎ」を導入することで、人の感性に合ったやわらかで快適な空間を作り出せる可能性がある。そこで、一般国道の歩道空間を対象として、「 $1/f$ ゆらぎ」の導入可能性を検討し、ケーススタディを通じて設計の手順を整理した(図-3)。

$1/f$ ゆらぎを歩道デザインに適用する場合、まずゆらぎの対象となる構成要素を決定する必要がある。すべての要素をゆらがせることは、逆に乱雑でまとまりのない不快な空間を作りだしてしまうことになりかねない。また、ゆらぐものと直線的・規則的なものを対比させることで、ゆらぎの効果を明らかにできる。今回の検討では、既設歩道という条件から、歩道舗装、街路樹

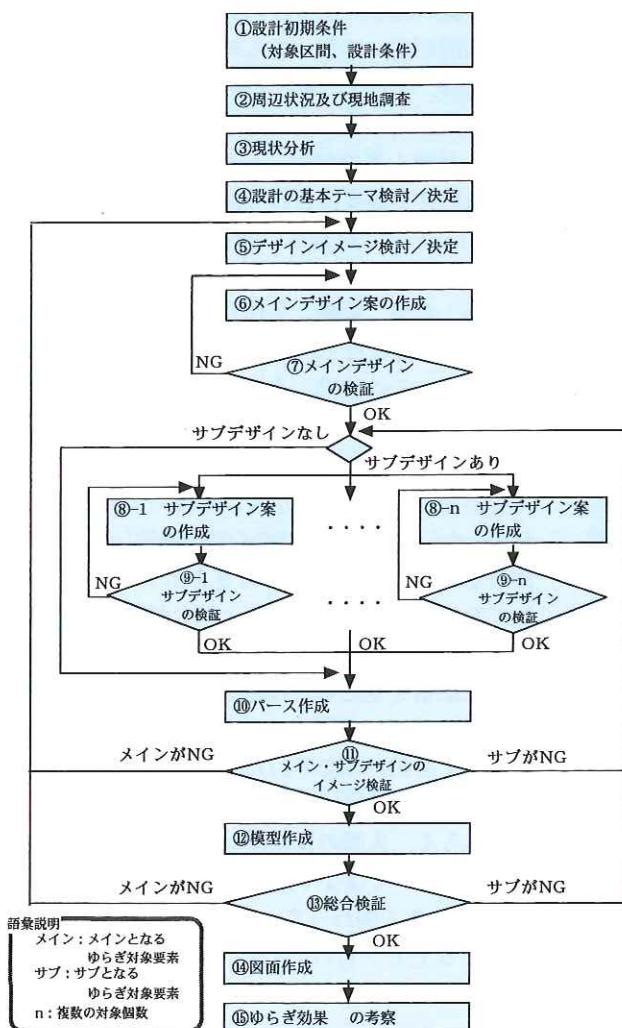


図-3 設計の手順

の配置および照明灯の照度と配置の3要素を、ゆらぎデザインの対象として抽出した。

次に、抽出したデザイン対象に、ゆらぎデザインの3原則(形のゆらぎ、配置のゆらぎ、配色のゆらぎ)を適用すると、次のような基本デザインコンセプトが作成される。

① 補装デザイン

舗装デザインには、石畳のように材料そのものの形をゆらがせる方法と、既製のタイル等を用いて配置と配色をゆらがせる方法の2通りが考えられる。しかし、前者では、施工にかなりの困難が伴うという問題があり、現実的には後者の方法を取らざるを得ない。

② 街路樹

街路樹は、 $1/f$ ゆらぎ曲線上に、配置幅、配置

間隔をゆらがせて配置し、林の中を歩いているような効果を演出する。歩道を単なる通行帯ではなく、散策の場として位置づけ、歩きたくなるような空間の創出をめざす。なお、円滑な通行を確保するために、歩道内を通行帯と散策帯に分けて、デザインを考える必要がある。

街路樹では、位置の操作の他にも、樹種をゆらがせる、樹高をゆらがせるといった方法も考えられる。

③ 照明灯の照度と配置

従来の照明計画では、安全面から見て必要な照度の確保が主な目的であったために、デザインに時間軸を取り入れるといった発想に乏しかったと言える。照度を時間的にゆらがせることで、行燈や提灯のようなやわらかさや暖かさを醸し出すことができる。また、空間的なゆらぎを取り入れ、照明灯の配置や照明柱の高さなどに変化を付けると、複雑な光の演出が行える。

4. ケーススタディ

(1) 国道330号線ゆらぎ歩道デザイン (沖縄市胡屋地区)

①周辺状況および設計条件

国道330号線は、沖縄本島の中心部を沖縄市から那覇市まで南北に縦貫する幹線道路である。このうち、本設計の対象となる胡屋交差点付近は、沖縄市の中心街に当た



図-4 位置図

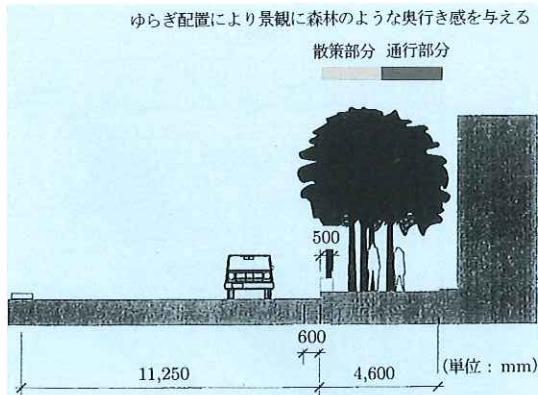


図-5 樹木の配置



図-6 ゆらぎ照明のイメージ

り、大小の商店および娯楽施設の建ち並ぶ地区となっている(図-4)。

当該地区は、電線の地中化に伴い歩道の修景が計画されていたため、胡屋交差点より宜野湾市方向の約350m区間の歩道(幅員約4.5m)を対象として、ゆらぎデザインを作成することとした。設計にあたっては、沖縄の地域特性を考慮して、赤瓦、琉球石灰岩、海・波および雲などをキーワードに色調やデザインテーマの設定を行った。

② デザイン概要

ゆらぎの適用対象を、舗装デザイン、樹木配置および照明の3要素としたデザイン案を作成した。歩行者のすれ違いが円滑に行える道幅を確保しながら、樹木の配置間隔を平均距離4~7m、歩道の車道側で横方向に最大2m程度の振れ幅を持たせた(図-5)。

また、亜熱帯に属する沖縄の気候では、散策を楽しむ時間が夜間になると予想されるため、夜の景観が重要なテーマとなる。そこで、街路樹の樹

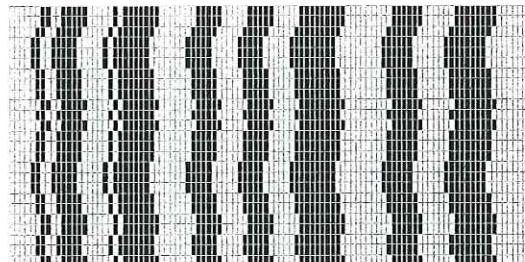


図-7 舗装デザイン

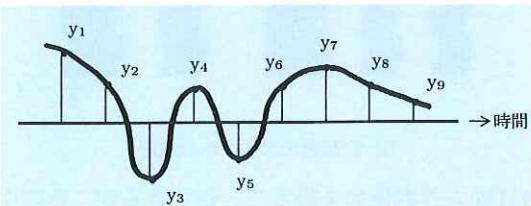


図-8 ゆらぎ数値列による曲線の作成

冠を下から照らす街灯と、琉球石灰岩の駒止めに内蔵した行燈のような照明により、光の演出を行うこととした(図-6)。

次に、舗装デザインについては、亀甲型に割った琉球石灰岩を用いて石畳風にアレンジしたデザイン案と、既製の磁器質タイルを用いて配色によりゆらぎを表現する案の2案を比較検討した結果、前者においては施工が困難なことが予想されたため、後者の案により海、雲、波をイメージとするデザイン案を作成した。

最終的には、地下に埋設される管路を避けてゆらぎ樹木を配置することが困難であること、また周辺の商店等の照明が明るすぎて、ゆらぎ照明の効果が期待できないことから、舗装デザインに絞った試験施工となった。イメージテーマは、波とした(図-7)。

ここでの、舗装デザインへの $1/f$ ゆらぎの適用方法は、次のとおりである。まず、乱数列 $x_1, x_2, x_3 \dots$ から線形変換により、 $1/f$ ゆらぎ数値列 $y_1, y_2, y_3 \dots$ を作る。この数値 y_n を時間 τ ごとの何らかの波形の振幅と見なすと、図-8 のような曲線を描くことができる。そこで、この曲線をゆらぎの基本パターンとして、曲線上に磁器質タイルを配置する。次に、列の数が同じ赤白の帯を1ユニットとして、長さ方向の配置を $1/f$ ゆらぎ数値列により決めていく(図-9)。

元の乱数列を変えることによって、いくつかの

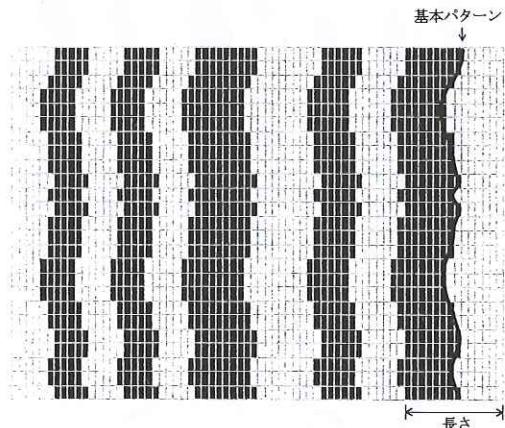


図-9 補装デザインへの適用

$1/f$ ゆらぎ数値列を得ることができるが、その中から、デザインテーマに最適と判断されたパターンを最終的に選択している。

(2) 国道330号線ポケットパークデザイン(沖縄市胡屋地区)

① 周辺状況および設計条件

胡屋交差点歩道橋下のスペースは、土が盛られ低木等の植栽が施されているが、若干無秩序な印象であった。また、付近にベンチ等の適當な休憩施設も見あたらなかったことから、買い物客等歩行者の休憩スペースとして、また地域の賑わいの場として、ポケットパークの整備を行うことが適當な場所と考えられた。

② デザイン概要

ポケットパークの設計では、昼間は歩行者が強い日差しを避けて一休みできるような日陰を提供し、夜間はゆらぎ照明で心が和むようなくつろぎの空間を演出することとした。これらのコンセプトに基づき、ベンチ、照明、植栽、舗装およびその他の個別の要素のデザインならびに配置について、特にゆらぎ照明の効果に着目し計画を作成した。沖縄の地域特性やゆらぎの効果を考慮すると、デザイン要素として水(水面、せせらぎの音)の取り込みは重要と考えられたが、防犯、管理のしやすさといった点で不適切と判断された。最終的なデザイン案は、図-10(写真は本誌グラビア参照)のとおりである。中央にシンボルツリー(ガジュマル)を配置し、緑陰を確保するとともに、車道側の2面に直方体のシンプルなベンチを置き、休息の場を提供する。舗装は、濡れたような質感の茶色を

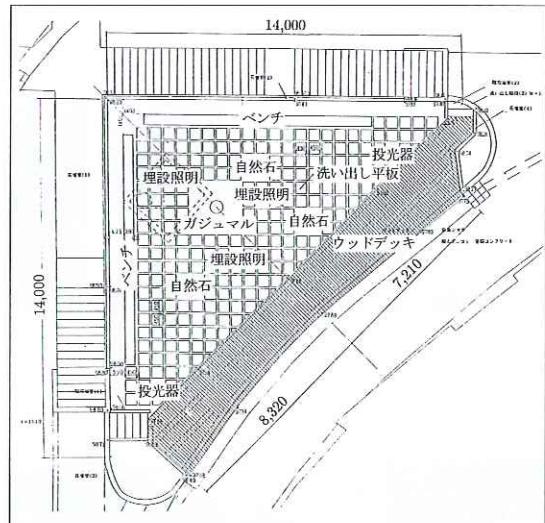


図-10 ポケットパーク平面図

基調とした豆砂利洗い出し平板に芝目地とし、自然な仕上がりと管理のしやすさを両立させた。また、歩道からのアプローチ部分にウッドデッキを設置して、歩道との境界を明確にした。

夜間は、2基のスポットライト様ポール照明と、3基の埋設照明が、いずれも $1/f$ ゆらぎ制御によりガジュマルの樹冠や幹をゆらゆらと照らすとともに、樹木下に置いたスタンディングストーン(地場産材のニービ石)に反射して、和やかでやすらぎのある空間を演出する。さらに、ベンチの正面に張られた金属の反射板が、光の帶を映す仕掛けとなっている。

(3) 国道329号線における照明デザイン(豊見城村真玉橋地区)

① 周辺状況および設計条件

那覇東バイパスは、国道329号線の慢性的な交通渋滞解消対策として計画された延長4.7km、幅員40m(真玉橋地区)の道路である。真玉橋地区は、沖縄初の斜張橋である「とよみ大橋」の橋詰めに位置し、景観に配慮した整備が行われている場所である。また、片側には高校や病院などの施設が立地し、片側は国場川に面する閑静な場所で、夜間には、市民のジョギングコースとして親しまれている(図-11)。そこで、国場川側の歩道照明に $1/f$ ゆらぎ理論を適用し、夜間に市民が散歩やジョギングなどを楽しむ場所として、歩行の安全性を確保しつつやわらかで暖かみのある快適な歩行者空間を創出する。

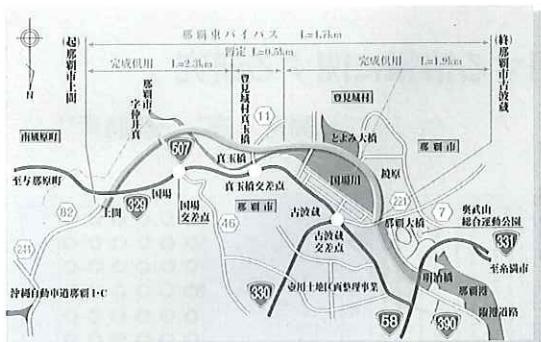


図-11 位置図

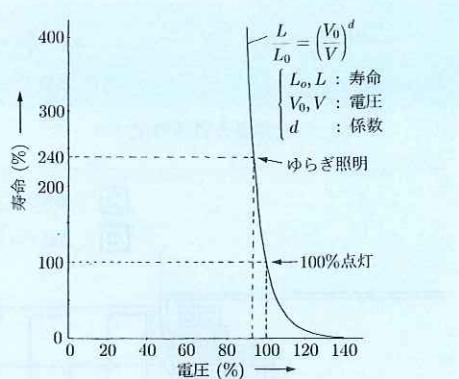


図-12 ゆらぎ照明の寿命曲線(白熱灯)

② デザイン概要

国場川沿いに10m間隔で植樹されているガジュマルの根元に、投光器の入った筒状のゆらぎ照明装置を2基ずつ配置し、樹冠を下から照らすようにした。歩道面は、反射した間接光によって、柔らかく照明される。照明計画にあたっては、道路照明の設置基準を満たすとともに、車道照明の水銀灯がゆらぎ照明の演出効果に与える影響を考慮して整備案を作成した。

ここで使用した電球は、レフレクターランプ(白熱灯)である。現在の調光技術では、白熱灯や蛍光灯はゆらぎ調光が可能であるが、水銀灯のように高輝度の放電灯は、調光の需要が低いこともあってゆらぎ調光を行うことはできない。もっとも、ろうそくの炎のようなゆらぎ照明には、暖かみのある白熱灯の色の方が向いていると言える。

なお、ゆらぎ照明の省エネ効果について検討したところ、一般的な照明(調光なし・100%点灯)に比べて、白熱灯では256段階の調光率において、平均134.05でゆらぎ調光した場合に、消費電力が約75.5%と小さくなり、電球の寿命が2.4倍に長くなることがわかった(図-12)。したがって、ゆらぎ照明では、美しさややすらぎといった心理的な効果のみならず、維持管理費縮減の効果も期待することができる。

5. おわりに

今後、試験施工区間を対象として、CG、模型および現地実験を実施し、 $1/f$ ゆらぎの導入による快適性向上効果の評価を行う予定である。また、舗装、街路樹、照明以外の構成要素への適用可能性や、ゆらぎ要素の空間的な配置のあり方についても検討を進めたいと考えている。それらの結果については、稿を改めて報告したい。最後に、今般の試験施工に際して支援・協力をいただいた沖縄総合事務局および(株)ゆらぎ研究所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 武者利光：ゆらぎの発想,NHK出版,1994.3
- 2) 武者利光：ゆらぎの世界,講談社,1980.10
- 3) 青野文晃、松本直司、瀬田忠之、河野俊樹、武者利光、神谷彰伸：ゆらぎ理論にもとづく街路樹の変化が街路空間の乱雑・整然性および魅力度に与える影響-中心市街地における視覚的乱雑・整然性に関する研究・その11-,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),1997.9
- 4) 長町三生：快適科学,海文堂,1992.3

小栗ひとみ*



建設省土木研究所環境部
環境計画研究室研究員
Hitomi OGURI

寺川 陽**



同 環境計画研究室長
Akira TERAKAWA