

# 八重山郡竹富島における集落内部、外周部の屋外温熱環境評価

2009MBB017 中山 翔太

白石研究室

In recent years, global warming and heat island phenomenon become very important problems. The relaxation of outdoor thermal environmental by passive system is also important. Taketomi village has a lot of passive environmental control methods. It has been reported that white sand alleys are superior in the thermal environment compared to the alleys of asphalt and concrete pavement, and also stone walls made of coral are superior to the walls made from reinforced concrete in this thermal environment. However, those effects on the large scale area are not clarified. Therefore, the purpose of this study is preparation of basic material for the city block and the regional passive planning in hot and humid regions. The effects of thermal environmental relaxation are analyzed based on measuring four kinds of elements, temperature, humidity, wind speed, and thermal radiation by moving measurement. The effects on outdoor thermal environment are analyzed based on these village thermal characteristics.

温熱環境 移動実測 パッシブ 竹富島

## 1. はじめに

近年、日本などの夏季に蒸暑となる地域では、地球温暖化やヒートアイランド現象も相俟って、冷房負荷の削減や熱中症等の対策として屋外温熱環境の緩和が喫緊の検討課題となっている。特に、屋外空間においても緑化に代表されるエネルギー消費を伴わないパッシブ的な環境調整手法が見直されつつある。蒸暑地域を対象とした既往の研究では、伝統的な街並み、民家が残る八重山郡竹富集落において珊瑚の石垣及び白砂の路地といった景観の構成要素が、パッシブな環境調整技術として屋外温熱環境の緩和に寄与していることが示されている。しかし、同研究における調査対象地点・エリアは限定的であり、竹富島や集落全体での屋外温熱環境の分布性状の把握には至っていない。

本研究では、蒸暑地域における屋外温熱環境の緩和に資する街区・地域計画の基礎資料の整備を目的として、竹富島及び集落の移動実測を行い、夏季集落内及び外周部の詳細な屋外温熱環境の評価を行う。具体的には温熱環境の6要素のうち、温湿度、風速、放射環境の4要素の分布を移動実測により詳細に測定し、竹富島内の各種パッシブ技術の集積による広域的なクーリング効果を定量的かつ定性的に把握する。また集落毎の特徴を把握し、街区・集落の構成要因が屋外温熱環境に与える影響について明らかにする。

## 2. 実測概要

### 2-1 実測対象

高温多湿地域である琉球地方における、伝統的集落形態を残す八重山郡竹富集落の内部及び外周部を調査対象とした。

### 2-2 実測期間

測定期間は2009年9月8日～9月10日の3日間とした。詳細な測定時刻を表1に示す。集落内においては、日中2回、早朝1回、夜間1回の計4回、集落外周においては、日中1回、早朝1回の計2回の測定を行った。

### 2-3 屋外移動実測

集落内及び集落外周の屋外温熱環境測定のため、自転車

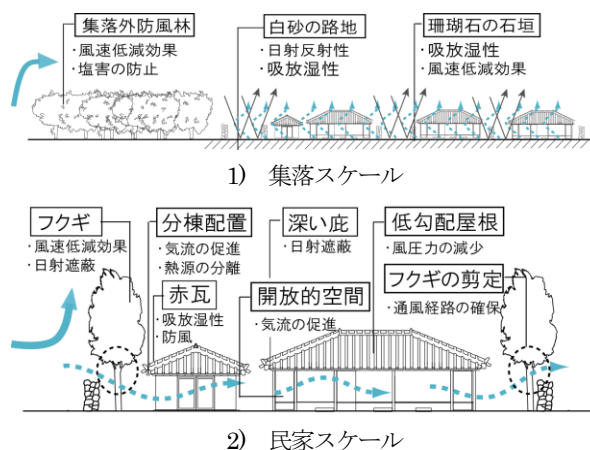


図1 竹富集落におけるパッシブ環境制御手法と効果

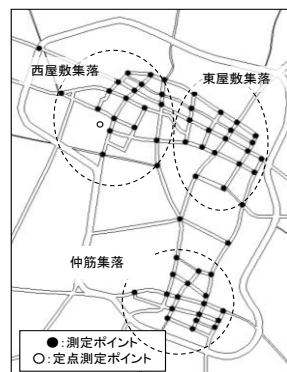


図2 集落内測定ポイント



図3 集落外周測定ポイント

表1 測定時刻

測定日	測定時刻	測定対象
9月8日	11:15~14:15(日中①)	集落内
	19:30~22:33(夜間)	集落内
9月9日	4:34~7:36(早朝)	集落内
	11:30~12:34(日中)	外周
9月10日	5:25~6:28(早朝)	外周
	11:00~14:05(日中②)	集落内

による移動実測を行った。自転車に測定機器を設置し、気温、湿度、短波日射量、地表面温度を測定した。温湿度センサーにおいては日射の影響を受けないように、ラディエーションシールドを取り付けた。小型日射計においては水準器を用い水平を保った。測定ポイントを、集落内と集落外周との2パターンとし、図2、図3に示すとおり、集落内が60ポイント、集落外は15ポイントを測定した。また、各測定ポイントにおいて測定機器の応答時間を考慮し、2分間程度留まった。集落内測定においては3時間程度、集落外周測定においては1時間半程度要した。

### 2-4 屋外定点実測

集落内の図2に示した1点において、定点における屋外温熱環境把握のため、温度、湿度、風向、風速を測定した。サンプリング間隔は、屋外移動実測への利用を考慮にいれ30秒とした。

### 2-5 気温・相対湿度の補正処理

移動実測においては、集落内で約3時間、集落外周で約1時間を要するため、温熱環境が時間とともに変化する。そのため、水野ら<sup>3)</sup>の方法を参考に以下の式を用いて気温と湿度の補正を行った。

$$T_i = t_i + (t_j - t_k) \quad (1)$$

$T_i$ : 補正後の気温(°C)

$t_i$ : 移動実測における*i*点の温度

$t_j$ : 定点実測における測定時間内の平均気温(°C)

$t_k$ : 定点実測における*i*点測定時刻の温度(°C)

$$R_i = r_i + (r_j - r_k) \quad (2)$$

$r_i$ : 補正後の湿度(%)

$r_i$ : 移動実測における*i*点の湿度

$r_j$ : 定点実測における測定時間内の平均湿度(%)

$r_k$ : 定点実測における*i*点測定時刻の湿度(%)

### 2-6 平均放射温度の算出方法

路地空間における平均放射温度の算出は、Olesenら<sup>4)</sup>によって提案されている微小立方体の各面(6面)に入射する放射量を重み係数(等価形態係数)を用いて平均化する方法を用いる。算出方法の詳細は以下に示す。

6方向の短波長放射量(直達日射+拡散日射)を $I_{net,i}$  [W/m<sup>2</sup>]とすると、等価形態係数 $F_{b,i}$ を用いて算出した短波長放射量の平均値 $I_{net}$ は、(3)式より評価する。長波長放射量の平均値 $L$  [W/m<sup>2</sup>]も同様に(4)式より評価する。

$$I_{net} = \sum_{i=1}^6 F_{b,i} \times I_{net,i} \quad (3) \quad L = \sum_{i=1}^6 F_{b,i} \times L_i \quad (4)$$

$i$ : 6方向に対応(1:上面, 2:下面, 3~6:前後左右)

$F_{b,1} = F_{b,2} = 0.06, F_{b,3-6} = 0.22$ (立位を想定)

(3)式及び(4)式に示す人体へ入射する平均的な放射量を用いて、平均放射温度は以下のように定義される。

$$\sigma(MRT + 273.15)^4 = \underbrace{\varepsilon L}_{\text{長波長}} + \underbrace{a I_{net}}_{\text{短波長}} \\ \therefore MRT = \left( \frac{\varepsilon L + a I_{net}}{\sigma} \right)^{1/4} - 273.15 \quad (5)$$

$MRT$ : 平均放射温度[°C],  $\varepsilon$ : 人体表面の放射率(=1.0)[],  $a$ : 日射吸収率

表2 測定項目及び測定機器

	測定項目	測定機器
屋外移動実測	温度・湿度	小型温度・湿度センサー
	日射量	小型日射計
	地表面温度	非接触赤外線表面温度計
屋外定点実測	温度・湿度	小型温度・湿度センサー
	風向・風速	2軸型超音波風速計

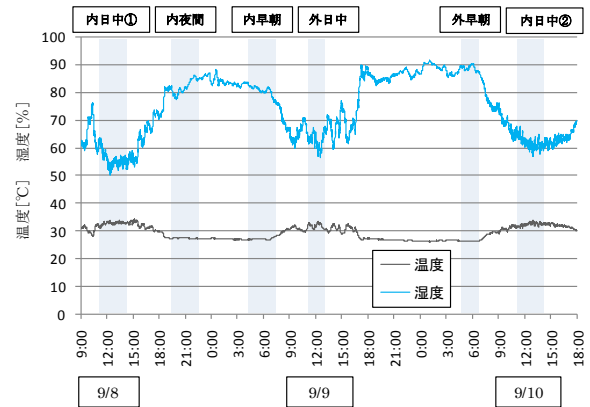


図4 実測期間中の温度・湿度

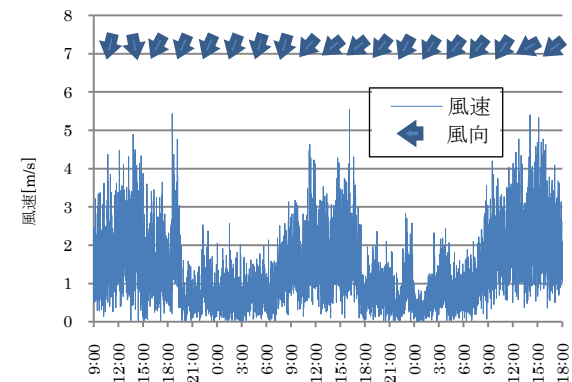


図5 実測期間中の風向・風速

表3 街区における地表面被覆率

	白砂による被覆	コンクリートによる被覆
西屋敷集落	79%	21%
東屋敷集落	74%	26%
仲筋集落	91%	9%

表4 集落における住居造

	木造	RC造
西屋敷集落	18	7
東屋敷集落	13	10
仲筋集落	18	5

(=0.66)[],  $\sigma$ : Stefan-Boltzmann 定数(=5.67×10<sup>-8</sup>) [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

また MRT、SET\*算出時において、風速、日射量は測定時間内の平均値を算出し、使用している。

## 3. 実測結果

### 3-1 屋外温熱環境

測定期間内の定点実測における温度、湿度、風向、風速、を図4、図5に示す。期間中の最高気温は34.2°C、最低気温は26.1度で日中は常に30°Cを超えていた。湿度は、夜間から早朝にかけて高く、90%を越す時間帯もあった。主風向は、北及び北東で、風速は、朝(9:00)~夕方(18:00)

にかけて2~5m/sとなり、夜間は0~2m/sへと低下している。9/8、9/10において天候は概ね晴天であったが、9/9の測定中は曇ることが多かった。

### 3-2 屋外移動実測(集落内測定結果)

集落内移動実測による結果を以下に述べる。SET\*の算出に際しては着衣量0.5clo、代謝量1.5metとした。なお集落全体の温熱環境の分布を把握するため、GISを利用して分布マップを作製した。温度においては、日中1回目の

測定時において東屋敷集落において34.9~35.3℃と他点と比較して高温なポイントが連続した。これらのポイントは他点の地表面の多くが白砂なのに対してコンクリートで被覆されており、仲筋集落と比較してコンクリートによる被覆率は17%高い。このため仲筋集落との平均気温差が0.8℃程度になったものと推察される。また仲筋集落において気温の低いポイントが多い他の理由としては、木造民家が約8割を占め他集落と比較して約2割多いことも要因と



図6 集落内における実測結果の分布図



して考えられる。早朝、夜間においては最高気温と最低気温の差が 0.7℃とポイントによる大きな差や分布はみられなかった。湿度においては、日中では温度との相関がみられた。早朝と夜間においては温度と同様にあまり分布はみられなかった。MRT に関しては、日中では他集落と比較して東屋敷集落において高い値を示した。これはコンクリートによる地表面の被覆率が仲筋集落と比較して 17%程度高くまたRC造建物も仲筋集落と比較し 2 割高いことによる影響が大きいと考えられる。この点は、気温と同様の理由であると考えられる。早朝と夜間においては温度、湿度と同様にあまり分布はみられなかった。SET\*に関しては、日中において温度、MRT と同様に東屋敷集落が高く、仲筋集落が低いという結果になった。このことより、白砂の地表面や、珊瑚の石垣が温熱環境の緩和に寄与していることが確認できる。

### 3-3 屋外移動実測(集落外周測定結果)

集落外周においても同様に分布マップを作製した。SET\*の算出方法は集落内と同様である。気温においては、日中に島西側沿岸部に高温ポイントが集中した。これはコンクリート被覆の道路の道幅が狭く、また防風林の防風効果が他点と比較して大きいためと考えられる。湿度においては、集落内と同様に気温との相関がみられた。MRT においては、日中に東屋敷集落周辺道路で高い値を示している。これはコンクリート舗装され島内で最も道幅の広い 8 m程度の道路による影響と推察される。同エリアから東屋敷集落内の温熱環境への影響が懸念される。SET\*に関しても同様の傾向がみられた。以上より、外周部における日中の屋外温熱環境は、表面のコンクリートによる被覆率と周辺の防風林の有無による影響が大きい可能性が示唆された。

## 4. まとめ

竹富島における集落内及び集落外周の移動実測を行い以下の知見が得られた。

- 1) 地表面や建物に多くのコンクリートが使用されている集落北東部と比較して、集落南部では、日中の気温、放射環境が緩和されている。伝統的な珊瑚の石垣や白砂の路地が集落南部の暑熱環境の緩和に広域的に効果を発揮していることが確認できた。
- 2) 実測調査に基づき、集落毎の特徴をまとめ比較を行った結果、集落の構成要素として屋外温熱環境に影響を与える主な要因は、地表面被覆、緑地面積、道路幅であることが示唆された。

今後の検討課題としては、CFD 解析によるポイント毎の風環境の考慮、及び蒸暑地域に適した温冷感指標の検討等が考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 北九州学術研究都市の環境共生的まちづくり支援のための屋外温熱環境調査(その3)短期移動実測の結果,日本建築学会九州支部研究報告,第44号,pp365-368,2005
- 2) 豊住朝子:都市における生活空間を対象とした移動実測による温熱環境調査,関東支部研究報告集,68号,pp.205-208,

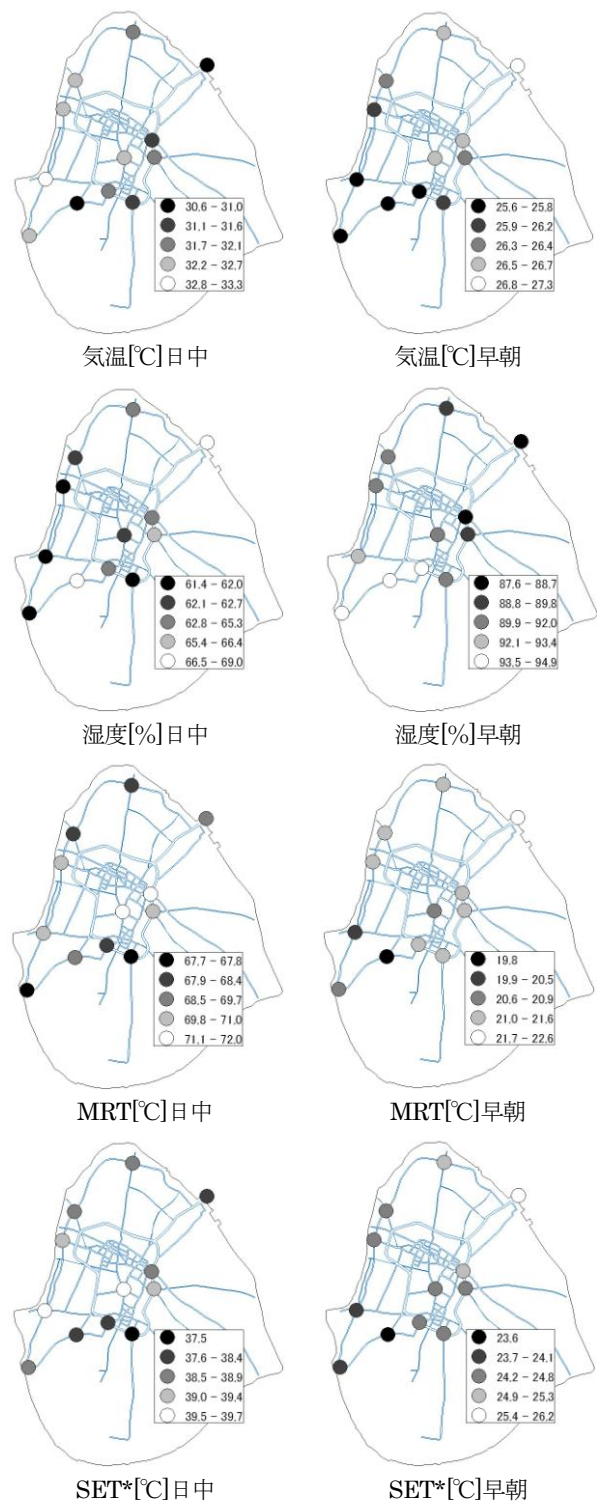


図7 集落外周における実測結果の分布図

1997

- 3) 水野雅士他:GPSを用いた移動観測,その6堀江地区の気温水平分布の夏季調査,日本建築学会,学術講演梗概集(中国)pp.867-868 2008年9月
- 4) B.W.Olesen, et al. : Method for Measuring and Evaluating the Thermal Radiation in a Room, ASHRAE Transaction, Vol.95(1),pp.1028-1044,1989. pp.29-35, 1987.6