

## 蒸暑地域の集合住宅における温熱環境の実態データと改善手法

主査 須永 修通\*<sup>1</sup>

委員 小野寺 宏子\*<sup>2</sup>, 熊倉 永子\*<sup>3</sup>, 荻野 司\*<sup>4</sup>

現在、集合住宅はわが国の都市居住形態の中心をなす存在となっているが、その室内温熱環境に関する研究例は戸建住宅に比べて少なく、さらに、蒸暑地域（気候区分7、8地域）における調査例はごく僅かである。一方、筆者等の研究で東京多摩地域の集合住宅において熱中症の危険度が高いことが明らかになり、東京以西の集合住宅における危険性が危惧された。本研究では、高知、沖縄の集合住宅を対象として調査を行い、夏季冬季の室内温熱環境の実態データ（室内温湿度や居住者の意識・温熱感覚など）を得、既往研究のデータも合わせてその特徴や熱中症の危険性について明らかにした。また、各地域の気候に適した改善手法について検討・提案した。

キーワード：1) 蒸暑地域、2) 集合住宅、3) 室内温熱環境、4) 温熱満足度、5) 熱中症危険度  
6) 生活スタイル、7) 通風、8) 日射遮蔽、9) 建物方位、10) 冷房

### ACTUAL STATE DATA AND METHODS FOR IMPROVING THE INDOOR THERMAL ENVIRONMENT OF APARTMENT HOUSES IN THE HOT-HUMID REGIONS OF JAPAN

Ch. Nobuyuki Sunaga

Mem. Hiroko Onodera, Eiko Kumakura and Tsukasa Ogino

Currently, apartment houses are one of the main residential forms in Japan; however, the indoor thermal environment of these houses in the hot-humid regions is yet to be elucidated. Additionally the risk of heatstroke are concerned. Consequently, we investigated the indoor thermal environment of apartment houses in Kochi Prefecture and Okinawa Prefecture, hot-humid region in Japan, and clarified their characteristics respectively with considering the data reported in previous research. Furthermore, we examined and proposed methods for improving the indoor thermal environment of apartment houses in each prefectures.

#### 1. はじめに

現在、集合住宅は全国に1930万戸以上あり、わが国の都市居住形態の中心をなす存在となっている。ところが、国内の集合住宅の室内温熱環境に関する研究例は戸建住宅に比べてかなり少なく、特に、省エネルギー基準の地域区分7、8地域（旧地域区分V・VI地域）の研究例は、図1-1のようにほとんど無いことが明らかになった<sup>文1)</sup>。

一方、6地域の東京多摩地域にある集合住宅では、外断熱改修された性能の良い集合住宅においてさえも、熱中症の危険性の高いことが明らかになり、データの無い7、8地域の集合住宅における熱中症の危険性が危惧された<sup>文2) 文3)</sup>。ヒートアイランド化、地球温暖化による都市部の気温上昇に伴い、集合住宅における熱中症の危険性は今後さらに高まると考えられる。その上、建築の熱性能が低い集合住宅が老朽化しており、その熱性能や省エネ性能の改修・改善方法を早急に明らかにする必要がある。

そこで申請者らは、これまでに研究事例があまりない日本の東京以西、さらに東南アジア各都市の集合住宅に

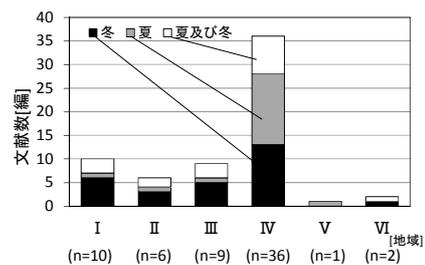


図 1-1 集合住宅の室内温熱環境に関する文献数 (横軸は旧地域区分)

における室内温熱環境の実態を明らかにし、室内温熱環境の建築的手法および住まい方による改善方法を提案することを目的とした研究<sup>文4)~文6)</sup>を行ってきた。その一環として、本研究では日本の気候区分7、8地域に建つ集合住宅の室内温熱環境の実態データ（室内温湿度、居住者の意識や温熱感覚など）をなるべく多く取得し、既往研究のデータも合わせてその特徴や熱中症危険性について明らかにすること、また、各地域の気候に適した改善手法について検討・提案することを目的とした。

\*<sup>1</sup> 首都大学東京 教授・博士(工学) \*<sup>2</sup> 首都大学東京 特任研究員 \*<sup>3</sup> 首都大学東京 助教・博士(工学) \*<sup>4</sup> 合同会社ゼロワン研究所 代表社員・博士(工学)

## 2. 調査概要

### 2.1 対象地域の気候

図2-1に、拡張アメダス2010年版標準年データ<sup>文7)</sup>より、対象地域（高知、沖縄）と本研究で比較対象とした地域（八王子、東京）<sup>注1)</sup>の月平均外気温湿度をクリモグラフで示す。外気温は、最も高い8月（那覇は7月）の月平均値が高知27.9℃、那覇29.0℃、八王子26.2℃、東京28.0℃で、時刻別最高気温平均値は30～31℃とほぼ同じである。最寒月の1月の平均外気温は高知6.8℃、那覇17.1℃、八王子2.7℃、東京6.1℃と地域による差が大きい。高知は7地域に分類されているが、冬季は平均外気温が6.8℃と、6地域の東京と同じくらい低い温度である。那覇は1年を通して暖かく、日較差も少ないこと、また、図2-2に示す月別平均風速より、1年を通して他の地域より風速が大きいことが分かる。

### 2.2 調査対象建物

今回調査した建物の概要を表2-1と表2-2、建物Aの外観を図2-3に示す。7地域の集合住宅として高知県の公営住宅であるAとC、民間の賃貸住宅であるB、8地域では、2016年夏季に測定した沖縄県の公営住宅Kに加え、民間の分譲、賃貸住宅であるD～Jの7住戸の協力を得て

実測・アンケート調査を行った。なお、2015～2016年に調査した那覇市の公営住宅Lの概要も合わせて示した。Aの壁、屋根、床にはポリスチレンフォームB類2種が25mm、Kの最上階屋根裏には押出法ポリスチレンフォーム3種b40mmが使われており、その他の建物には断熱材は使われていない。高知県のA、B、Cの居間は全て南向きだが、沖縄県のD～Lの居間の向きは北東～南東、南、南西など様々で、東向きが多い。Cは夏季調査後に木造であることが判明したため、住まい方などのデータは参考とし、冬季の実測はしないこととした。

表 2-1 高知県の対象建物概要

	A		B	C
	I棟	II棟		
所在	高知市		高知市	南国市
構造	RC造		RC造	W造
最上階	4階		14階	2階
間取り	2LDK		1LDK	3DK
居間の向き	南		南	南
敷地面積	4760㎡		2720㎡	-
住戸床面積	87㎡		43.35㎡	69㎡
竣工年	1995		2015	1991
実測軒数	2017夏:5軒 2018冬:5軒	2017夏:5軒 2018冬:3軒	2017夏:1軒 2018冬:1軒	2017夏:1軒 -
世帯属性	平均2.8人/戸, 世帯主年代		30代:4.40代:2.60代:1	



図 2-3 A 建物の北側外観

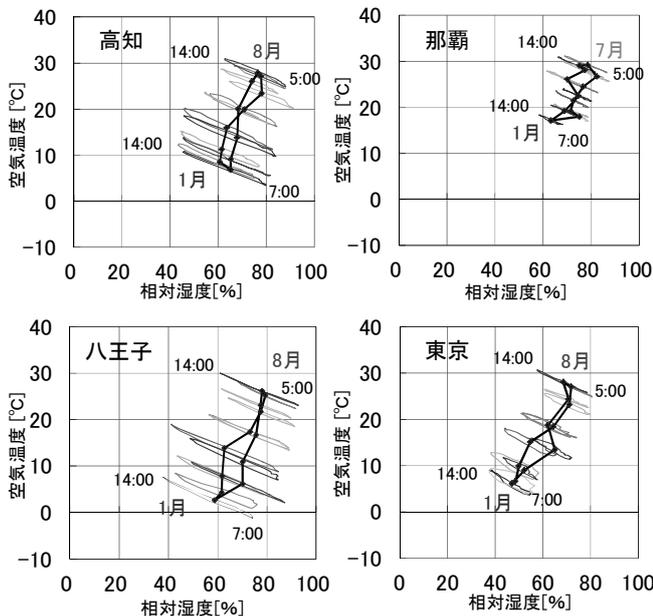


図 2-1 時刻別クリモグラフ

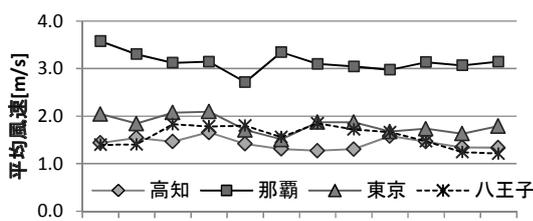


図 2-2 月別平均風速（高知、那覇、八王子、東京）

表 2-2 沖縄県の対象建物概要

	D	E	F	G	H
所在	沖縄市	沖縄市	中城村	南風原町	那覇市
構造	RC造	RC造	RC造	RC造	SRC造
最上階	4階	14階	9階	7階	11階
間取り	2LDK	4LDK	2LDK	2LDK	1LDK
居間の向き	南東	北東	東	南西	東
敷地面積	928㎡	1,875㎡	1,050㎡	1,810㎡	590㎡
住戸床面積	51.3㎡	140.7㎡	41.3㎡	44㎡	61.1㎡
竣工年	2011	2017	2005	2017	1982
実測軒数	2017夏、2018冬:各1軒ずつ				
世帯属性	D～J:平均3.3人/戸, 世帯主年代 30代:6.40代:5.50代:1				

	I	J	K	L
所在	那覇市	那覇市	浦添市	那覇市
構造	RC造	RC造	RC造	SRC造
最上階	10階	12階	10階	2～12階
間取り	3LDK	3LDK	2LDK/3LDK	2LDK/3LDK
居間の向き	南	東	東	東、南
敷地面積	980㎡	13,772㎡	12,750㎡	13,772.64㎡
住戸床面積	70.5㎡	70.5㎡	46.29～66.36㎡	64.56㎡
竣工年	2003	2013	2015	1985
実測軒数	2017夏:1軒 2018冬:1軒	2017夏:1軒 -	2016夏:10軒 2018冬:6軒	2015夏:10軒 2016冬:10軒
世帯人数	平均3.3人/戸			
世帯主年代	世帯主年代不明(30代～60代)			

### 2.3 実測概要

2017年夏季には、高知県（7地域）A, B, Cで7/24～8/4、沖縄県（8地域）D～Jで7/17～7/28の約2週間、温湿度測定を行った。2018年冬季（1月）には、2017年夏季に実測した住戸と2016年夏季に実測を行ったKのうち協力可能だった住戸を対象として温湿度測定を行った。測定期間は、高知県1/14～1/27、沖縄県1/7～1/20であった。

温湿度測定にはメモリー付温湿度計を用い、全住戸で居間、寝室、非空調室の空気温湿度3点を測定した。同意を得た一部の住戸では、床・壁・天井などの表面温度および外気温湿度も測定した。使用した機器を表2-3に、測定位置の例を図2-4と図2-5に示す。また、全ての住戸でサーモカメラにより室内表面温度を測定した。



図2-5 測定機器設置位置の写真（A建物）

### 2.4 アンケート概要

2017年夏季および2018年冬季の温湿度測定機器を設置または撤去する際に、世帯主または配偶者（もしくは両者）にアンケート用紙をもとに聞き取り、もしくは記入してもらった。室内温熱環境満足度や各部屋の温冷感、住まい方などを調査したが、表2-4にアンケート項目、図2-6にアンケート用紙の抜粋を示す。在室及び空調使用スケジュールは、一般的な平日（調査票では「いつもの平日」と表記）の様子を記入してもらった。また、夏季調査では、住民の熱中症に対する意識を検討すべく、図2-7に抜粋を示すアンケート用紙を用いて、1日に2回程度（期間中10回まで）熱中症危険度がどの程度であると思うかを回答してもらった。

表2-4 アンケート項目

質問項目	・居住者属性(住戸位置, 居住者人数, 年代など)
	・住戸内温熱満足度とその理由
	・各部屋の温冷感, 風通しの良さ
	・実測期間中の生活状況 ("いつもの平日"の暖冷房使用状況, 通風, 在宅の時間帯, 扉の開閉状況など, 図2-6参照)
	・夏季, 冬季の1ヶ月あたりの電気料金
	・着衣量
	・結露, カビの有無

## 3. 冬季調査結果

### 3.1 気象条件

図3-1に、実測期間中の高知と沖縄の気象台データより、外気温湿度と外部風速（10分ごとの平均風速）を箱

表2-3 測定機器

使用機器	温湿度 データロガー	表面温度 データロガー
製造会社	株式会社テスト	T&D Corporation
製品名	Testo 174H ミニ温湿度データロガー	Thermo Recorder TR-52i
測定間隔	10分	10分

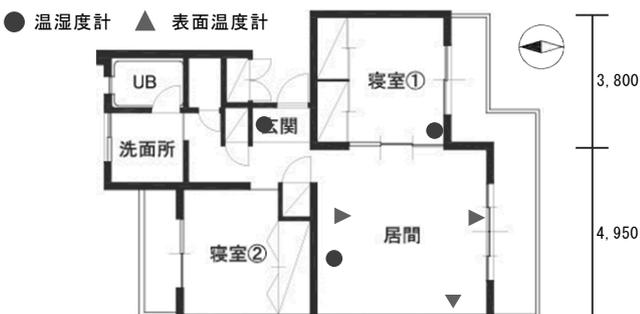


図2-4 測定機器設置位置例（A建物）

図2-6 夏季のアンケート用紙（抜粋）

図2-7 熱中症危険度に関するアンケート用紙（抜粋）

ひげ図で示す。平均外気温度は、沖縄は平均 17.1℃、高知は平均 6.3℃と高知の方が寒く、最高と最低の温度差も大きい。また、この期間の沖縄は冬季の外部風速が大きく、平均 6.1m/s であった。

### 3.2 冬の住まい方

アンケート調査による、冬季の高知における一般的な平日の空調使用状況を図 3-2 に、着衣量を図 3-3 に示す。

高知では、日中不在で朝と晩に暖房を使用する住戸が多く、朝から晩まで連続使用するのは 1 住戸のみであった。夜間に連続使用する住戸は無い。また、エアコンの他に補助暖房器具を使用している住戸が多く、A2・A5・A7 はホットカーペット、A4 はこたつ、A9 は石油ファンヒーターを併用している。A8 ではエアコンは使用せずホットカーペットと遠赤外線ヒーターを使用している。

沖縄では、ほとんどの住戸で冬季は暖房不使用とのことで、暖房をよく使用している住戸は 1 住戸（居間で朝 3 時間、夜 4 時間、寝室で夜間 5 時間程度）、たまに使用する住戸が 2 住戸（一冬に数回使用する住戸と、室内が 20℃以下のときに使用するという住戸）であった。

着衣量は、調査時の普段の着衣の状況を筆者等が用意した一覧から選択して回答してもらい、住戸別に算出した。全体的に高知より沖縄の方が薄着であり、平均値は高知が 0.94（厚手を含む長袖 3 枚と長ズボン程度）、沖縄が 0.53（長袖長ズボン程度）であった。沖縄では半袖半ズボンという人もいて、中央値は 0.41 と冬でも半袖で過ごす人の多いことが分かった。

### 3.3 室内温湿度

図 3-4、図 3-5 に、冬季の実測期間における居間の空気温湿度を示す。高知は外気温度の平均値が 6.3℃、居間の平均温度は 18.3℃、平均湿度は 48.6% であり、沖縄は外気温度の平均値が 17.1℃、居間の平均温度は 20.9℃、平均湿度は 63.9% であった。高知では朝晩に空調を使用している住戸が多いが、平均室温は沖縄より低い。

### 3.4 室内表面温度

図 3-6 に、高知 A4 の居間と玄関のサーモカメラによる熱画像を示す。居間ではエアコンを使用していたが、壁面温度は 14.4℃、窓表面温度は 9.7℃ であり、玄関扉の隅部は 5.6℃ であった。その他の住戸でも同様の傾向で、居間壁面は 15~18℃、窓ガラスは 9~12℃、玄関ドアは 3~7℃ 程度であった。北の部屋では床近傍の窓ガラス温度が 3℃ という住戸もあった。室温に対して表面温度が低いため、体感温度も低いと考えられる。

図 3-7 に、高知 A2（最下階中間住戸）と高知 A9（最上階中間住戸）の居間室温と、壁および床の表面温度を示す。暖房時には壁表面温度（床上 160~180cm 程度）は室

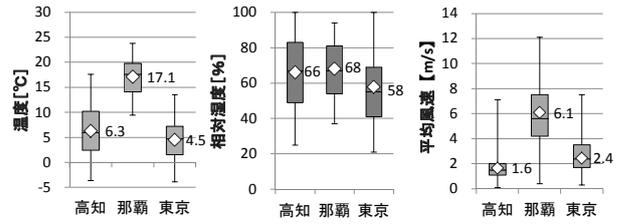


図 3-1 測定期間中の外気温湿度と風速

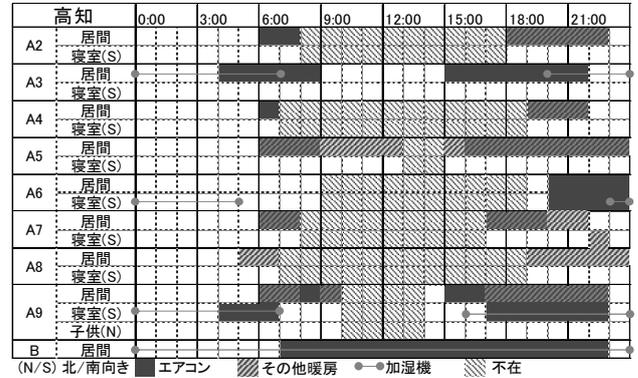


図 3-2 平日の空調使用状況（高知）

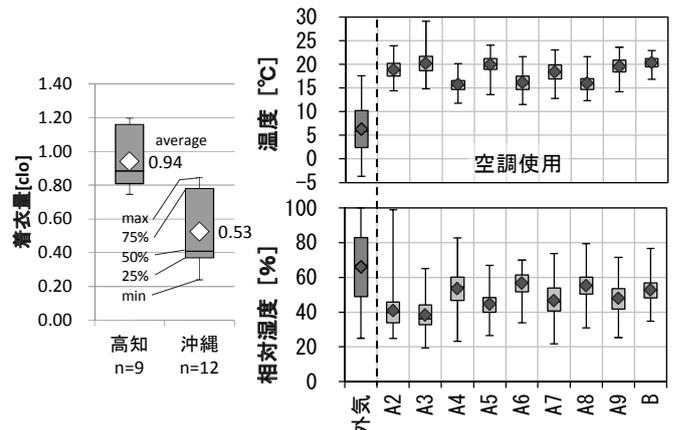


図 3-3 冬の着衣量

図 3-4 実測期間中における居間の空気温湿度（高知）

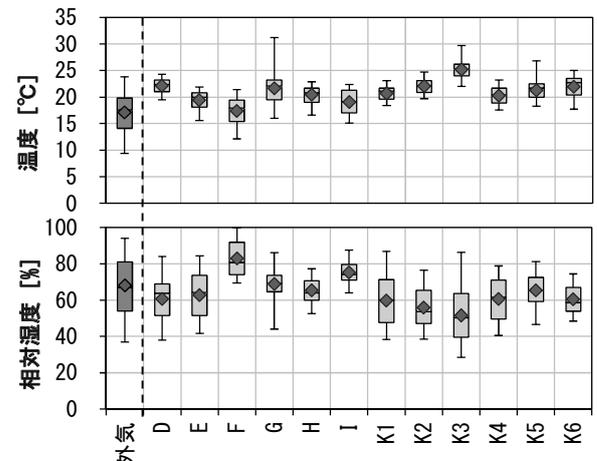


図 3-5 実測期間中における居間の空気温湿度（沖縄）

温に近い温度まで上がっているが、床表面温度はあまり上がっておらず、室温より 2~6℃ 低い。建物の断熱・気密性能があまり高くないため、窓からの冷気などによ

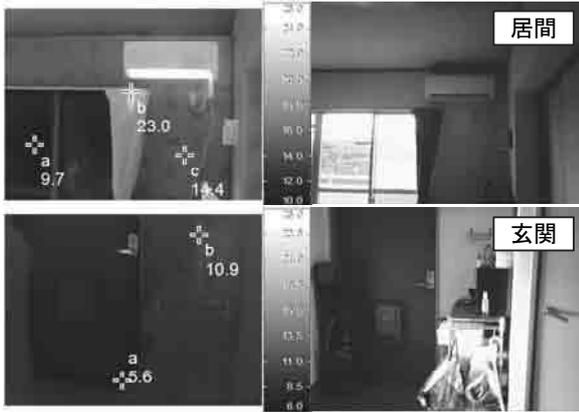


図 3-6 居間と玄関の熱画像と可視画像（高知 A4 住戸）

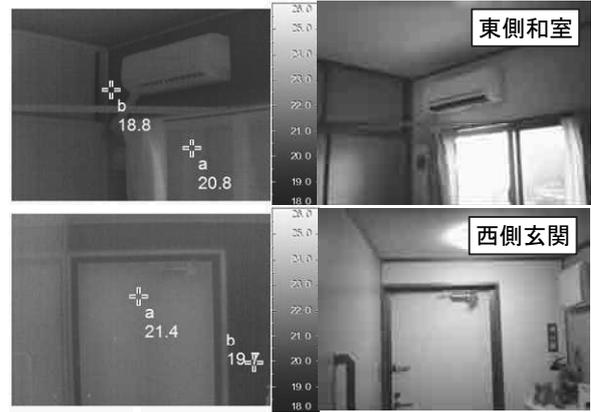


図 3-8 東側和室と西側玄関の熱画像と可視画像（沖縄 K4 住戸）

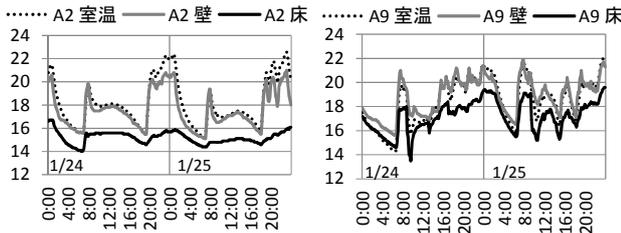


図 3-7 壁と床の表面温度（左：最下階，右：最上階）

り上下温度差ができると考えられる。床が冷たくて体感温度が低いいためか、エアコンの他に、A2はホットカーペット、A9は石油ファンヒーターを併用している。

図 3-8 に、沖縄 K4 の東側和室と西側玄関の熱画像を示す。エアコンは使用していなかったが、壁の表面温度は 18.8°C、窓表面温度は 20.8°C、玄関ドアの表面温度は 21.4°C と、室内温度（約 21°C）と大きな差はない。その他の住戸でも同様の傾向で、日射が当たる面は 23~25°C になる所もあった。聞き取り調査では「冬でも日差しを暑いと感じることがある」という人や、「西日の当たる玄関ドアを暑いと感じる」という人もいた。冬季の沖縄では、エアコンを使用しなくても日射取得や、暑い日には通風などにより、ある程度快適な温熱環境を作ることができると考えられる。

### 3.5 住宅全体の温熱環境満足度

図 3-9 に、冬季の高知と沖縄の温熱環境満足度を示す。高知では 56%、沖縄では 59% が満足側の回答をしており、住宅全体の温熱環境については、満足側の回答をする住戸が多かった。

### 3.6 室ごとの温冷感

図 3-10 に、冬季における室ごとの温冷感を示す。LDK に比べ、寝室、トイレ、浴室は寒い側の申告が多く、特に高知の浴室では「かなり寒い」が 67% であった。本調査で浴室の温湿度は測定していないが、高知の A は浴室の窓がガラスルーバー窓であり、断熱・気密性能が低い

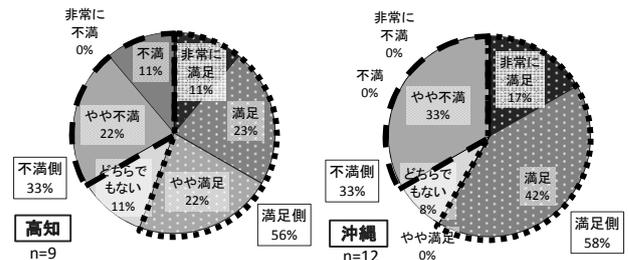


図 3-9 住宅全体の冬季温熱環境満足度

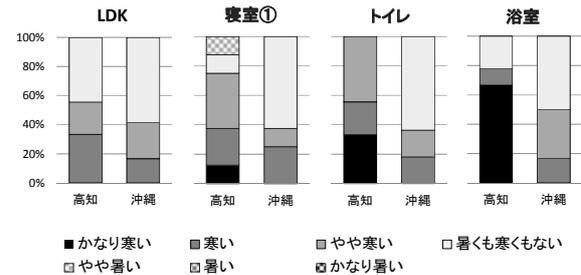


図 3-10 室ごとの温冷感

ため外気温度に近い温度まで浴室の温度が低下している可能性がある。ガラスルーバー窓は、温暖地域において換気を重視する空間に使われる傾向があり、沖縄の F でも浴室に使われている。しかし、7 地域である高知では冬季に外気温度が氷点下となることもあるため、浴室の窓に断熱・気密性能の低い窓を使用すると入浴時のヒートショックを招く恐れがあり、改善する必要があると考えられる。

図 3-11 に、高知の測定期間中における居間と非空調室（非暖房居室や玄関）との温度差を示す。室間温度差の平均値は、暖房をあまり使用しなかった A4 を除くと、3.5~4.6°C（平均 3.9°C）であった。室間温度差を抑えるためには、暖房室の室温を上げ過ぎないようにし、足元が寒い場合はホットカーペット、ハロゲンヒーターなどで部分的に暖める住まい方も有効と考えられる。

沖縄では暖房を使用する住戸が少ないため、温度差はほとんどなく、室間温度差の平均値は -1.0°C~1.7°C（平均 0.6°C）であった。

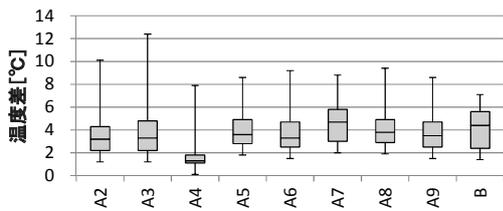


図 3-11 居間と非空調室の温度差 (高知)

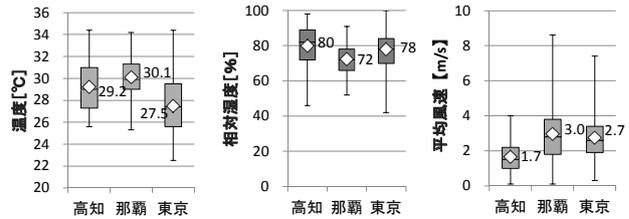


図 4-1 測定期間中の外気温湿度と風速

#### 4. 夏季調査結果

##### 4.1 気象条件

図 4-1 に、測定期間中の外気温湿度と外部風速（10 分ごとの平均風速による）を箱ひげ図で示す。平均外気温度は沖縄 30.1℃で、高知の 29.2℃よりも約 1℃高く、平均相対湿度は、標準年と異なり高知が 80%と沖縄の 72%より高かった。外部風速は沖縄の方が強く、平均 3.0m/s であった。

##### 4.2 夏の住まい方と光熱費

アンケート調査による「夏のいつもの平日」の空調使用状況を図 4-2、図 4-3 に、着衣量を図 4-4、光熱費を図 4-5 に示す。

高知では、夕方以降の居間では 1 住戸を除いてエアコンを使用しており、朝は通風とエアコン使用が半分ずつである。日中に在宅している 6 住戸中 5 住戸では、昼間の在宅時間帯にもエアコンを使用している。夜間の寝室では、12 住戸中 9 住戸が寝室または隣接する居間のエアコンで冷房しており、エアコンを使用していない 3 住戸のうち 1 住戸は通風、1 住戸は扇風機を使用しており、1 住戸は特に何も使用していない。

沖縄では、日中在宅している 2 住戸を含め普段エアコンを使用している住戸はなく、夕方以降の居間でエアコンを使用しているのは 7 住戸中 4 住戸である。夜間の寝室では 7 住戸中 6 住戸でエアコンを使用しており、既往研究<sup>文4)</sup>同様、日中は通風、夜間にエアコンを使用するという生活習慣の住戸が多いことが分かった。なお、H住戸では、洗面所で終日除湿器を使用していた。

図 4-5 の着衣量は、高知より沖縄の方が薄着の傾向があり、平均値は高知が 0.37（半袖長ズボン程度）、沖縄が 0.31（半袖半ズボン程度）であった。

図 4-5 の光熱費は、夏季と冬季それぞれで最も光熱費がかかる月の金額（自己申告値）である。沖縄の方が平均気温が高いにもかかわらず、夏季の電気代は沖縄（平均 3.5 人/戸）よりも高知（同 2.8 人/戸）の方が高くなっている。これには空調の使い方（使用時間等）が影響していると考えられる。なお、沖縄では冬季に暖房をあまり使用しないため、夏季の方が電気代が高くなっており、冬季にエネルギー使用のピークがある東京など温暖地域以北とは異なるエネルギー使用パターンとなった。

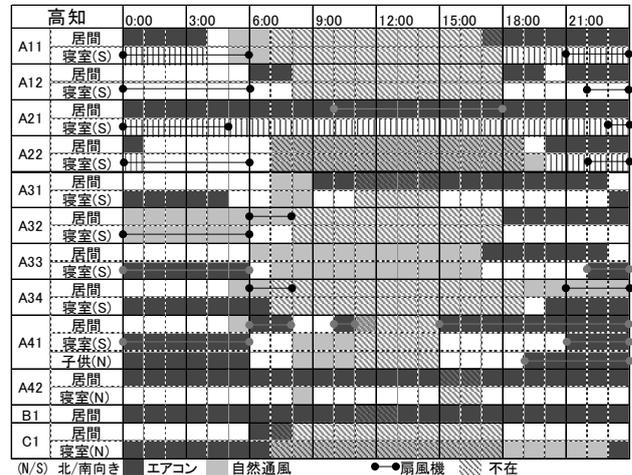


図 4-2 “いつもの平日”における空調使用状況 (高知)

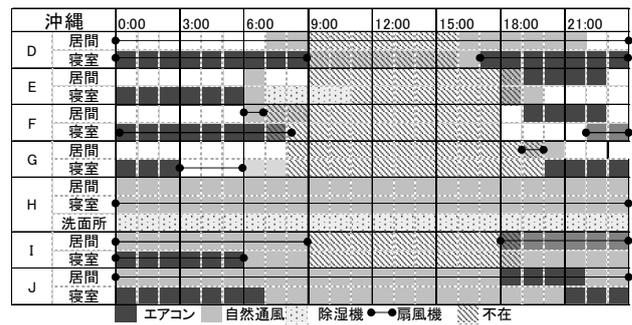


図 4-3 “いつもの平日”における空調使用状況 (沖縄)

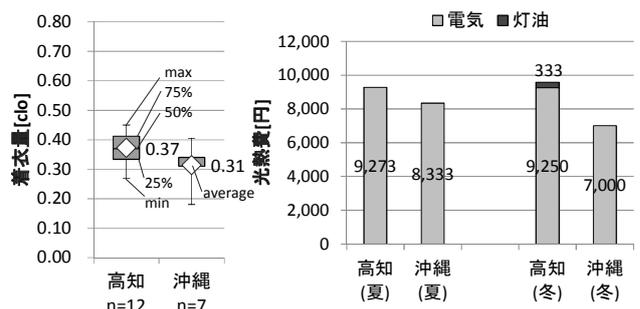


図 4-4 夏の着衣量

図 4-5 光熱費 (電気+灯油)

##### 4.3 室内温湿度

実測期間中における居間の空気温湿度を図 4-6、図 4-7 に示す。前述のように、外気平均温度は高知が約 29℃、沖縄が約 30℃と沖縄が 1℃ほど高かったが、居間の平均温度は、高知では 26~30℃で、自然通風している住戸 A8 のみ 30℃を超えている。沖縄では 29.9~33℃と、7 住戸中 6 住戸が 30℃を超えている。室内湿度は、高知では外

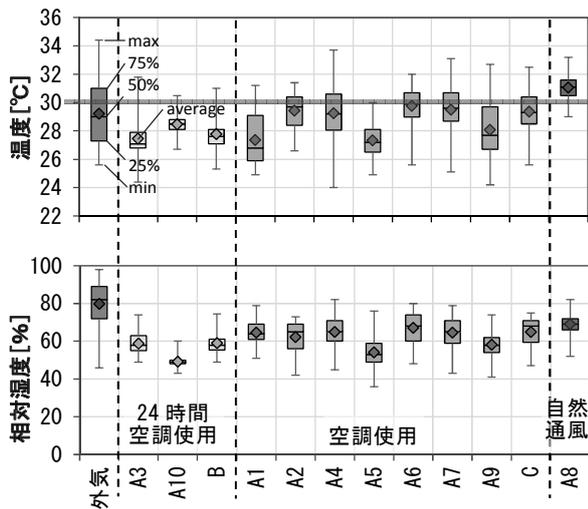


図 4-6 実測期間中における居間の空気温湿度（高知）

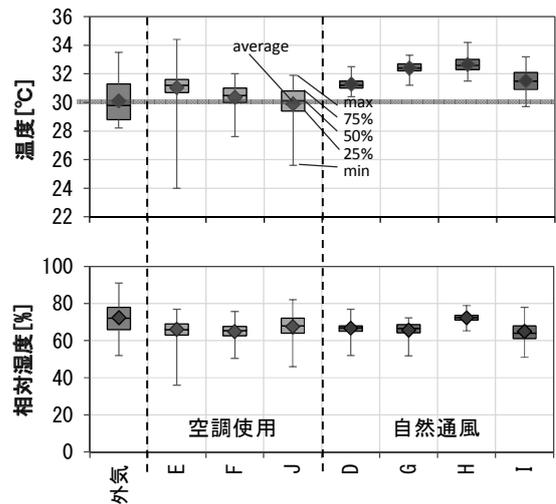


図 4-7 実測期間中における居間の空気温湿度（沖縄）

気湿度が高かったが冷房を長時間行っているため、箱ひげ図の四分位範囲（25～75%の範囲）が 50～70%に抑えられている。24 時間除湿冷房をしている住戸 A10 は 50%を下回っている。沖縄では同 65～73%で、空調を使用している時間が少ないため湿度も高知より高い時間が多い。全体的に沖縄では各住戸とも温湿度の変動幅が小さく、これは外気の日較差が小さいことと、住まい方（日中居間では通風、夜間のみ寝室で空調を使用する）によるものと考えられる。

図4-8に、既往研究<sup>4)</sup>より、沖縄で2016年8/7～8/27に測定したK団地と、2015年8/21から9月の1週目に測定したL団地の居間温湿度を示す(図中の住戸名は既往研究のものである)。測定時期が違いため、外気温度に2℃ほど差があるが、どちらも室内温度は外気温度に近く、温度変動の小さい住戸が多い。今年度測定した住戸と同様、日中は通風、夕方以降にエアコンを使用するという住まい方が多いためと考えられる。

就寝時間帯における寝室の温度を図 4-9 に示す。就寝時間帯の外気平均温度は、高知で約 27℃、沖縄で約 29℃と沖縄が 2℃ほど高い。寝室の温度は、高知が 26～29℃（空調使用）、29～30℃（空調不使用：通風していたかは不明）で、沖縄では 27～29℃（空調使用）、30～32℃（自然通風）であり、空調を使用する寝室の温度は両地域で同程度だった。

#### 4.4 空調使用と自然通風

自然通風およびエアコンを使用していた住戸の室温変動の例（高知と沖縄で日中の外気温湿度が同程度であった2日間）を図 4-10 に示す。高知では、夜間寝室のみ冷房のA8の居間室温は終日除湿冷房のA10より昼間3℃ほど高いが、寝室温度はA8がA10より3℃ほど低い。沖縄では、終日通風のHでは一日を通して32～33℃だったが、居間と寝室でエアコンを使用しているJでは、エア

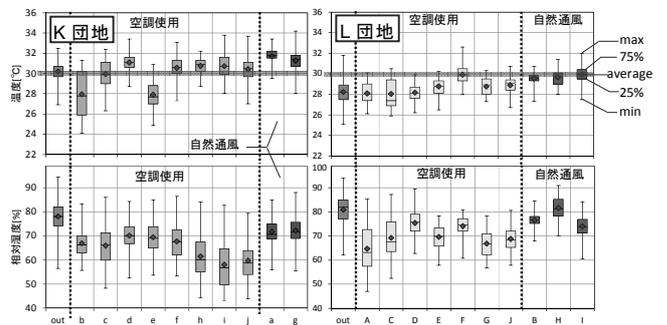


図 4-8 居間の空気温湿度（左：沖縄 K, 右：沖縄 L）

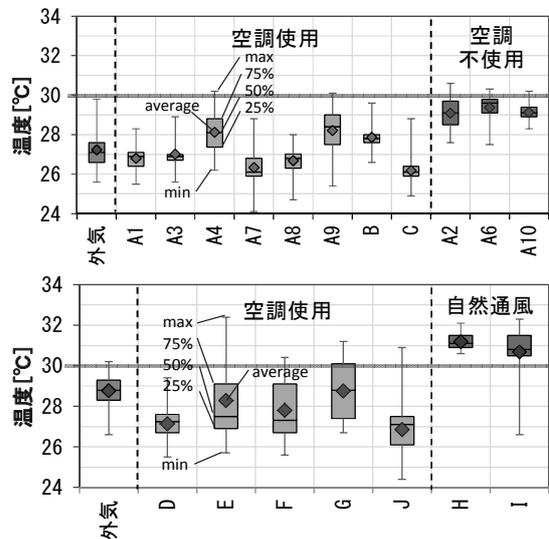


図 4-9 就寝時間帯の寝室温度（上：高知，下：沖縄）

コン使用時には居間が 28℃、寝室が 26℃くらいまで下がっている。エアコンを止めると 30～32℃まで上がり、エアコンのオンオフを繰り返していた様子がわかる。高知でも沖縄でも、エアコンを止めた後の温度上昇が早く、断熱・気密性能はあまり良くないと言える。

また、沖縄では風通しを重視するためか、D～Jの7住戸中の3住戸、公営住宅であるKとLの全住戸が、玄関からリビングまで間仕切り扉なしのオープンな間取りと

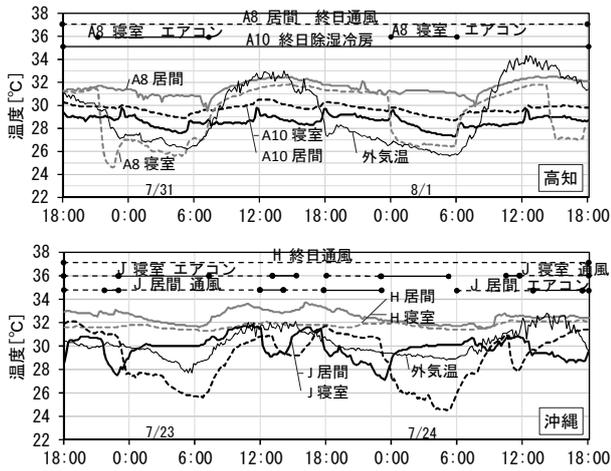


図 4-10 自然通風と空調利用の住戸の室温変動状況

なっている。断熱、気密性能の高くない住宅では、オープンな間取りだと冷房の効きが悪いため、一時的に断熱カーテン等で居間と廊下を仕切るなど、冷房範囲をしぼる工夫をすることも有効と考えられる。

#### 4.5 居間の熱中症危険度と快適率

実測期間中の居間におけるWBGT<sup>(注2)</sup>が熱中症危険度<sup>(文8)</sup>の「嚴重警戒」または「危険」となる時間の割合と快適率<sup>(PMV<sup>(注3)</sup>)</sup>が±0.5以内の割合)を図4-11、4-12に示す。沖縄の7住戸中6住戸でWBGT嚴重警戒以上の割合が50%を超えており、また快適率は低く、特に自然通風住戸では全て0%である。自然通風の住戸Hは「危険」域が95%であるが、図4-12(下の図右軸)のように風通しが悪い。また、24時間空調を使用している高知の3住戸はWBGTの嚴重警戒以上が10%以下となっており、WBGTは湿度の影響を大きく受けることから、エアコン使用により温度とともに湿度も下がった3住戸はWBGTが低くなったと思われる。エアコンにより湿度を下げることは、熱中症対策として有効であるといえる。

図4-13に、既往研究<sup>(文4)</sup>より、2016年実測のK団地、2015年実測のL団地の熱中症危険度「嚴重警戒」以上の割合を示す。(図中の住戸名は既往研究のものである。) L団地の測定期間は平均外気温が28℃程度だったので「嚴重警戒」以上の割合は低かったが、K団地の自然通風の住宅では、今回の実測同様、居間の「嚴重警戒」の割合が70~90%と高かった。

#### 4.6 住宅全体の温熱環境満足度

図 4-14 に、2017 年夏季の温熱環境満足度を示す。沖縄の方が室内の平均室温が高く、WBGT 嚴重警戒以上の割合も高いにもかかわらず、満足側の回答割合が 57%と半数を超えており、不満側の回答割合は 29%であった。一方、高知は満足側の回答は 33%、不満側の回答は 50%であり、非常に不満と回答した割合も 17%あった。沖縄

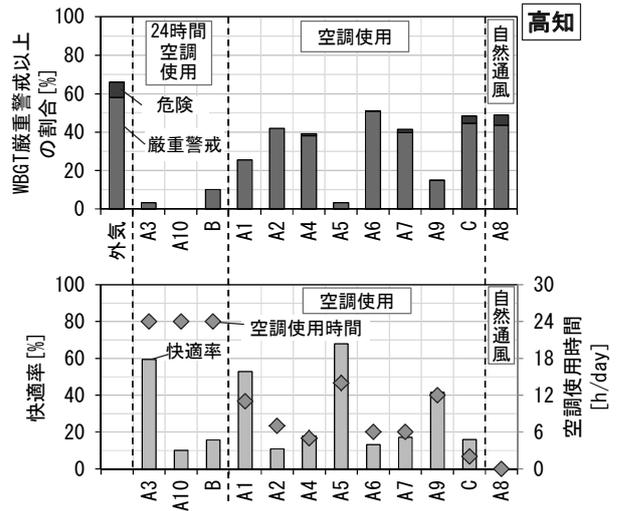


図 4-11 居間の WBGT と快適率 (高知)

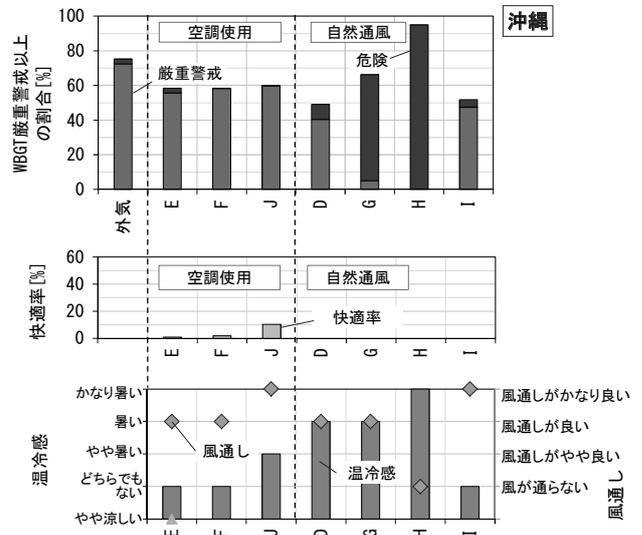


図 4-12 居間の WBGT, 快適率と温冷感 (沖縄)

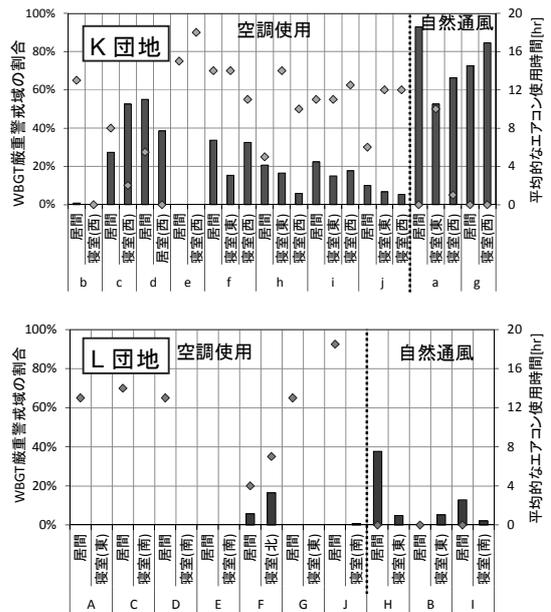


図 4-13 K 団地 (2016 年), L 団地 (2015 年) の熱中症危険度

の満足度が高い理由としては、暑熱順化して身体が暑さに慣れていること、温度変動が少ないこと、風通しが良いこと、などが考えられる。また、高知ではエアコン使用時と不使用時の温度差が大きく、「暑い」と感じるが多かったと考えられる。

図4-15に、既往研究<sup>文4)</sup>より、沖縄の2016年夏のK団地、2015年夏のL団地の各住戸の満足度の図を示す(図中の住戸名は既往研究のものである)。満足度は「3. とても満足」～「-3. とても不満」の7段階である。K団地では8住戸(80%)が不満側の回答であり、L団地では4住戸(40%)が不満側の回答であった。建て替えられたK団地では、「建て替え前の方が風が通った」「午前中は東からの日差しが強くてカーテンが開けられない」等のコメントがあった。K団地は建て替えによって南向き(東西に長い)4層から南北に長い高層棟となったため、東西からの日射の影響が強まったことや通風量が減ったことにより居住者の満足度が低下したと考えられる。

そこで、図4-16に方位別の日射量を示す。高知、沖縄とも夏季は東西面の日射量が南面より多く、特に那覇の7月は2倍近くあることが分かる。従って7月の那覇では、南北軸の住棟は東と西からの日射を受けるため、東西軸の住棟(南と北の日射)の2倍の日射熱量を受けることになる。また、東西面は太陽高度が低いため、窓面から室内に日射が入り込む。このような日射の受熱量と入射角の違いが上述のような満足度の違いの原因となったと考えられる。これらのことより、沖縄ではなるべく南北軸(居間が東向きや西向き)の住戸配置は避けるべきと言える。また、東向き、西向きの窓には外付けの日除け、ガラリ戸や雨戸を設置するなど日射遮蔽の工夫が必要である。

一方、図4-15のL団地ではF住戸やI住戸が「-3. 非常に不満」「-2. 不満」と回答しているが、両住戸とも最上階であり、天井面温度が他の住戸より高いことが確認されている。夏季は図4-16に示すように水平面日射量が多いため、屋根を二重屋根にする、屋上植栽をする、もしくは断熱強化をするなどの対策が必要である。

#### 4.7 居間の風通しと温冷感

図4-17に、アンケートによる居間の風通しの良さや温冷感の回答についての相関を示す。高知、沖縄ともに、風通しが悪い住戸は温冷感が暑い側の回答をしている。

今回の実測では、風速の測定は実施していないため室内風速は明らかにできなかったが、図2-2に示すように、沖縄は高知や東京に比べて外部風速が大きいいため、通風を確保しやすい。そのため、沖縄では日中は通風で過ごす住戸が多いと考えられる。しかし、K団地では「玄関扉を開けておけば風が通るけれど、営業の人が勧誘をしに来るので開けたくない」という住戸もあった。防犯上

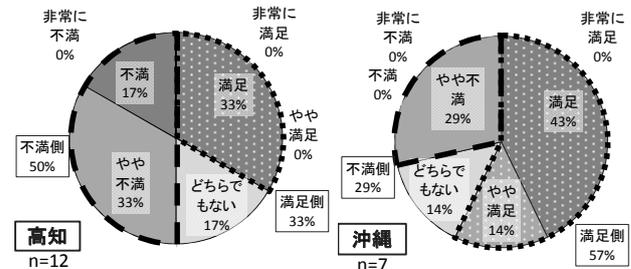


図4-14 住宅全体の夏季温熱環境満足度

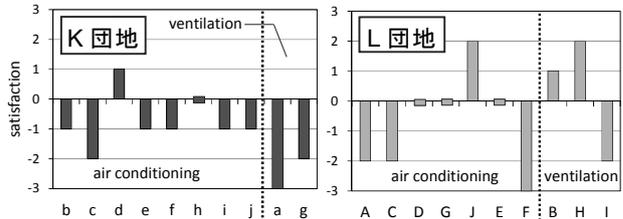


図4-15 各住宅の夏季温熱環境満足度<sup>4)</sup>

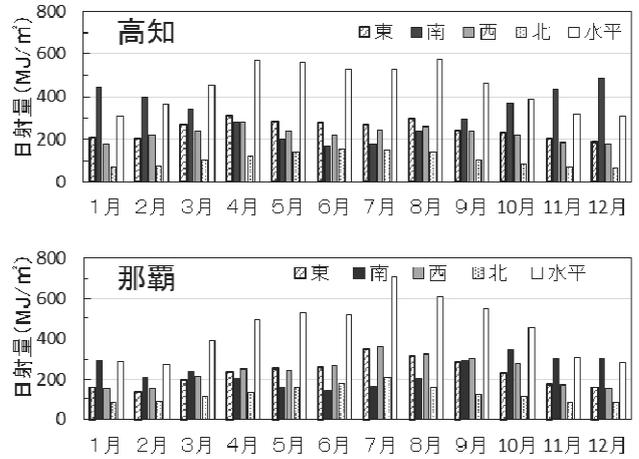


図4-16 東・南・西・北鉛直面、水平面日射量

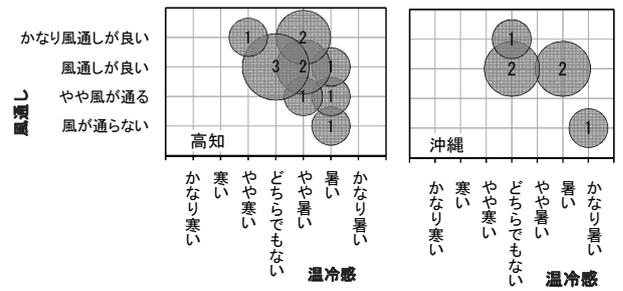


図4-17 風通しと温冷感

問題のない格子付きの玄関扉や窓、視線もカットできる高窓などで通風経路が確保できると、留守中にも風を通すことができ、より住まいやすくなると考えられる。

#### 4.8 熱中症危険度の認識

近年、夏季における気温の上昇などから、熱中症の救急搬送者数が増加しており<sup>文9)</sup>、H30年度の速報値では過去最多の9万5千人超となった<sup>文10)</sup>。また、H29年度に救急搬送された熱中症患者の発症場所は住居内が37%を占めており<sup>文11)</sup>、住居内での熱中症対策が重要となっている。

住居内での熱中症発生の理由として、居住者が温湿度の高い状況においてもその環境を問題だと認識していないことが大きな原因の一つと考えられる。そこで筆者らは、高知、沖縄、東京多摩地域において、居住者の温熱感覚・熱中症危険度認識と実際の温湿度・熱中症危険度との差について調査を行った<sup>文12)</sup>。回答者数は、高知22名、沖縄13名、東京多摩26名であり、期間中に複数回(1日2回、最大10回/人)の回答を得た。回答者のうち、多摩の14名は65歳以上、その他は30~60代(65歳未満)である。

図4-18に、居住者が想像した熱中症危険度と、実際の温湿度からWBGTを算出した熱中症危険度との相関を示す。どの地域でも、熱中症危険度を実際より低く認識している居住者が多く、熱中症危険度を正確に認識するのは難しいことが分かる。特に沖縄では、実際の熱中症危険度が「4. 嚴重警戒」である時に「1. 問題なし」と回答した人がのべ10人いる。沖縄では暑熱順化して暑さに体が慣れていているとはいえ、2017年度の人口10万人当たりの住居で発症した熱中症搬送者数<sup>文11)</sup>は、沖縄が全国5位(30.3人)、高知が6位(29.0人)であることから、WBGTが危険となるような環境では、エアコンを使用して除湿するなどの対策が必要であると考えられる。なお、人口10万人当たりの屋外を含む全熱中症搬送者数は、沖縄が全国1位(90.3人)、高知が6位(74.0人)であった。また、人口10万人当たりの熱中症搬送者数は北海道(21.9人)が最も少なく、次いで神奈川県(23.6人)、東京(24.8人)であった。

## 5. まとめ

本研究では、高知、沖縄の集合住宅における夏季・冬季の室内温熱環境および住まい方などの実態データを得るとともに、室内温熱環境を向上させる手法について検討・提案した。

一般に、住居内に入らせてもらう本研究のような調査は協力者を得ることが難しいが、本研究では、高知県で夏季12住戸、冬季9住戸、沖縄県で夏季7住戸、冬季12住戸のデータを得ることができた。これに沖縄での既調査データの夏季20住戸、冬季10住戸のデータを合わせて解析した。また、居住者の熱中症危険度に対する意識については、東京多摩地域を合わせて、計61名のデータを使用した。

以下に、その主な成果を示す。

### 5.1 室内温熱環境・住まい方等の実態

#### (1) 冬季の室内温熱環境について

##### 1) 高知

- ・冬季測定中の外気温度は平均6.3℃、最低-3.7℃、最高17.6℃と関東地方と同じか少し高い程度であった。居間室温の平均値は16~20℃であるが、壁、窓ガラス、

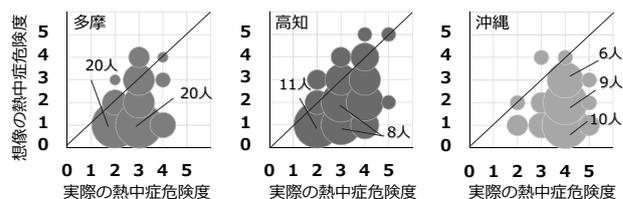


図4-18 熱中症危険度(左:多摩, 中:高知, 右:沖縄)

床の表面温度は室温よりも低いことから、体感温度は低いと考えられる。

- ・対象住戸の窓はアルミサッシ、シングルガラスであるため、表面温度が低く、結露の心配も高い。
  - ・着衣量の平均値は0.94clo(厚手を含む長袖3枚と長ズボン程度)であり、すべての住戸で暖房、および約4割の住戸で加湿器が使用されていた。
  - ・補助暖房器具を使用している住戸が多く、エアコンを使用している8住戸のうち、ホットカーペットを併用している住戸が3住戸、こたつ、石油ファンヒーターを併用している住戸が1住戸ずつあった。
  - ・浴室を「かなり寒い」と回答した住戸が多く、その原因の一つとしてガラスルーバー窓があげられた。外壁を含めて断熱性・気密性を高くすることが望まれる。
- #### 2) 沖縄
- ・測定期間中の外気温度は平均18.7℃、最低9.4℃、最高約23.8℃であり、居間室温の平均値は約17~25℃であった。壁、窓、床の表面温度も20℃程度であり、おおむね問題のない温熱環境であった。
  - ・着衣量の平均値が0.53(長袖長ズボン程度)、中央値は0.41と冬でも半袖で過ごす人が多い。
  - ・暖房を使用する住戸は少なく、12住戸のうち暖房をよく使用している住戸は1住戸、たまに使用する住戸が2住戸であった。
  - ・冬季の沖縄では、エアコンを使用しなくても日射取得や通風などにより、ある程度快適な温熱環境を作ることができると考えられる。
- #### (2) 夏季の室内温熱環境について
- ##### 1) 高知
- ・測定期間中の外気温度は平均29.2℃、最低25.6℃、最高34.4℃であったが、居間の平均室温は冷房により27~30℃で、自然通風している住戸A8のみ30℃を超えていた。
  - ・期間中の外気湿度は高かったが、冷房を長時間行っているため、居間相対湿度の箱ひげ図の四分位範囲(25~75%の範囲)は50~70%であった。
  - ・着衣量の平均値は0.37(半袖半ズボン~半袖長ズボン)であった。
  - ・高知、沖縄とも風通しの良い住戸は、温冷感の申告値が低くなる傾向がある。

## 2) 沖縄

- ・夏季測定期間の外気温度は平均 30.1℃、最低 25.3℃、最高 34.2℃であり、居間の平均室温は 29.9～33℃と、7 住戸中 6 住戸が 30℃を超えていた。
- ・居間相対湿度は、24 時間除湿冷房をしている住戸 A10 のみ 50%を下回っているが、他の住戸では箱ひげ図の四分位範囲が 65～73%で、空調を使用している時間が少ないため湿度も高知より高い。
- ・着衣量は 0.31 (半袖半ズボン程度) と、沖縄は高知より薄着であった。
- ・夏季の沖縄では、日中は通風、夜間の寝室ではエアコンを使用するという生活習慣の住戸が多い。これは、平均風速が約 3m/s と本州の 2～3 倍ほどあること、また、夜間に温湿度が下がらないことを反映していると考えられる。
- ・全体的に各住戸とも温湿度の変動幅が小さく、これは外気温湿度の日較差が小さいことと、住まい方 (日中居間では通風、夜間のみ寝室で空調を使用する) によるものと考えられる。
- ・高知と沖縄では、沖縄の方が平均温湿度が高く、WBGT 厳重警戒以上の割合も高いが、夏季の温熱環境についての満足側の回答割合は沖縄の方が高かった。
- ・沖縄の満足度が高い理由として、暑熱順化して身体が暑さに慣れていること、温度変動が少ないこと、風通しが良いこと、などが考えられる
- ・リビングが東向きの住戸で「暑い」と回答する住戸が多く、朝から日射が室内に入ってくるのが原因と考えられる。

### (3) 熱中症危険度について

- ・沖縄の一般集合住宅 7 住戸中 6 住戸で WBGT「厳重警戒」以上の割合が 50%を超えており、自然通風の住戸 H は「危険」域が 95%であった。
- ・2016 年に実測した K 団地の通風利用の住宅でも、居間の「厳重警戒」以上の割合が 70～90%と高かった。
- ・沖縄では暑熱順化しているとはいえ、2017 年度に人口 10 万人当たりの室内で熱中症を発症して搬送された人数は全国 5 位であり、WBGT が危険となるようなときにはエアコンを使用するなどの対策が必要である。
- ・24 時間空調を使用している高知の 3 住戸は WBGT の「厳重警戒」以上が 10%以下となった。WBGT は湿度の影響を大きく受けることから、エアコン使用により湿度が下がった 3 住戸は WBGT が低くなったと思われる。
- ・高知、沖縄、および東京多摩地域において、居住者の温熱感覚と実際の危険度との差について調査を行った結果、どの地域でも、熱中症危険度を実際より低く認識している居住者が多かった。
- ・通風などにより涼しいと感じていても、温度湿度ともに高いときは熱中症対策のためエアコンを用いて湿

度を下げる必要があることを、一般居住者に理解してもらう必要がある。

## 5.2 室内温熱環境を向上させる手法

以下に、検討した手法を列挙する。

- ・夏季は南面よりも東西面からの日射量の方が多く、特に沖縄の 7 月では 2 倍近くになる。また、東西面の日射は太陽高度が低く、室内に入射する日射量が多い。従って、南北軸の住棟 (東向き、西向きの住戸) は、特に沖縄においては避ける。
- ・また、東向き、西向きの窓には外付けの日除け、ガラリ戸や雨戸を設置するなど日射遮蔽の工夫をする。
- ・夏季は、特に沖縄では、水平面日射量が多いため、屋根は二重屋根や屋上植栽等、あるいは太陽光発電パネルで日除けをする。また、屋根もしくは天井断熱を強化する。
- ・また、沖縄では外壁に断熱材が入っていないことが多いが、妻側など直射が当たる部分は断熱する。
- ・沖縄のバルコニーや庇はある程度の深さがあるが、方位を考慮し、適切な形態とする。
- ・通風を促進するためには、防犯上問題のない格子付き玄関扉や窓、視線のカットが出来る高窓の設置、あるいはフライングコリドーを検討する。これにより留守中も風を通すことができ、住まいやすくなる。これは全国共通に言えることである。
- ・高知では、冬季は関東地方と同じ気候になるので、充分な断熱と気密対策を行う。特に、窓や玄関戸、北側の壁などには結露対策のためにも必要である。
- ・沖縄では、玄関から居間まで間仕切り扉なしのオープンな間取りとなっている住戸が多くみられる。そのような間取りの、断熱気密性能の高くない住戸の居間で冷房使用をする際は、一時的に断熱カーテン等で居間と廊下を仕切るなど、冷房範囲を限定する工夫も有効と考えられる。

以上、多くの知見を得たが、蒸暑地域に建つ集合住宅の室内温熱環境に影響する大きな要素としては、①各方位の鉛直面および水平面の日射受熱量、②日射遮蔽・断熱の程度、③湿気・通風と住まい方 (エアコンによる除湿、エアコンの稼働時間等) があげられた。ここで、地域差について考えてみると、夏季については、外気温湿度の 6 地域東京、7 地域高知、8 地域那覇での差は小さく、日射量は緯度が低い沖縄が他の地域と異なる傾向にあった。しかしながら、上記の①～③に対する対策の考え方は同じであり、東京以西の各地にも応用できると考えられる。冬季については、8 地域の沖縄は暖房なしで過ごしている人が多いが、7 地域の高知は東京と同程度の気候であり、しっかりとした断熱・気密化が必要であ

り、これは、東京以西の6、7地域の都市にも当てはまると言える。

#### <注>

- 1) 本研究では東京都八王子市に建つ集合住宅を比較対象としているが、気象庁の八王子での測定データに限られるため、東京管区気象台（千代田区大手町。ただし、観測点は2014年12月より同区北の丸公園に移動。）での測定データも参考とした。なお、時刻別クリモグラフは深澤たまき氏作成のソフトを用いて作成した。
- 2) WBGTは、温湿度の測定値より、日本生気象学会が作成した「WBGTと気温、相対湿度との関係」の表<sup>文8)</sup>を用いて算出した。また、そのWBGTの値を用いて「日常生活に関する指針」<sup>文8)</sup>より熱中症危険度を示した。
- 3) PMVは、温度・湿度・MRTは実測値（表面温度を測定していない住戸では表面温度=室温と仮定）、着衣量は申告値、風速は0.15 [m/s]、代謝量は1.1 [met]として算出した。

#### <参考文献>

- 1) 倉持黎, 須永修通, 熊倉永子: 地域・年代に着目した集合住宅における室内温熱環境の実態に関する研究—文献調査及び実測調査からの考察—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp. 453-454, 2015.9
- 2) 中島風, 須永修通, 岡島えみこ: 多摩ニュータウンの集合住宅における住戸位置別の断熱改修効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp. 549-550, 2014.9
- 3) 中島風, 須永修通: 多摩ニュータウンの集合住宅における断熱改修と熱中症発生リスクの関係性, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp. 101-104, 2014.11
- 4) 倉持黎, 須永修通, 熊倉永子: 蒸暑地域の集合住宅における夏季の内温熱環境実態と断熱性能に関する研究—竣工年の異なる2棟の比較考察—, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp. 149-152, 2016.11
- 5) Meinan Wang, Nobuyuki Sunaga, Eiko Kumakura et al., : Study on the Indoor Thermal Environment of Multi-unit Residences in Asia, Proc. of the 31th PLEA International Conference, Paper\_0412, Sep. 2015
- 6) Meinan WANG and Nobuyuki SUNAGA : The Effects of Building Performance and Air-conditioning Setting Temperature on Energy Consumption and Thermal Comfort in Multi-residential Buildings in China (中国における集合住宅の建物の熱性能と暖冷房設定温度がエネルギー消費量と温熱快適性に及ぼす影響), 日本建築学会環境系論文集, 第82巻, 第734号, 掲載決定, 2017.4
- 7) 株式会社 気象データシステム: 標準年拡張アメダス気象データ 2010年版
- 8) 日本生気象学会: 日常生活における熱中症予防指針 Ver. 3, 2013

- 9) 環境省: 熱中症環境保健マニュアル 2018, 3. 熱中症はどれくらい起こっているのか, 2018.3
- 10) 総務省消防庁: 熱中症情報平成30年度の状況, (2018.10.22参照)  
[http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9\\_2.html](http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html)
- 11) 総務省消防庁: 平成29年(5月から9月)の熱中症による救急搬送状況, 2017.10.18 (2018.8.30参照)  
[http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h29/10/291018\\_houdou\\_3.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h29/10/291018_houdou_3.pdf)
- 12) 田中佑一郎, 須永修通, 小野寺宏子: 居住者の温熱感覚と熱中症危険度の認識に関する研究-夏季の集合住宅を対象として-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp. 223-224, 2018.9

#### <研究協力者>

- 許 端娥 首都大学東京 建築都市コース学生 (2017年度)  
田中佑一郎 首都大学東京 建築都市コース学生 (2017年度)

#### <謝辞>

測定にご協力いただいた各住戸の皆様, 高知県庁, 沖縄県庁の担当者の皆様に, 厚く御礼申し上げます。