

## 第四章

### 緑のカーテンの視覚効果実験

#### 4-1. 本章の研究目的

第一章では、緑のカーテンを設置することによる屋内温熱環境改善効果によって、1.9 %の節電効果が得られた。なお、この算定結果はベランダに面したガラス戸を半分だけ覆った状態での結果であるが、それは実験を実施した集合住宅の所有者である UR 都市機構が、ベランダへの避難路の確保のためにガラス戸の半分は緑のカーテンを覆わないよう指導しているという状況を勘案したものである。また、第一章の実験の際には、窓の全面を覆った居室も設定したが、この場合はベランダへの出入りが不自由となり、実生活では支障が出るのが想定された。このため、ガラス戸を半分覆った居室の実験結果が実生活の実態に近いと判断される。一方で、第三章で実施した浜松市でのアンケート調査からは 4.4 %の節電効果の結果が得られた。これらの結果からは、実験による測定結果よりも、実際の緑のカーテン実践者の生活状況から把握した緑のカーテンの効果の方が大きい傾向が窺える。これについては、Kato et al.<sup>4-1)</sup>による緑のカーテン設置者へのアンケート調査で、自由回答の 25 %が緑のカーテンによる窓辺景観の向上による清涼感を指摘しているため、場合によると、緑のカーテンによる窓辺景観の向上に伴う視覚効果によって、実際の体感温度以上により室温を低く感じ取っている可能性が想定される。このため、本章では、このような緑のカーテンが視覚的に人に与える影響を定量的に把握することを目的として、被験者を募った実験を実施したものである。なお、緑化による視覚効果の既往研究としては、仁科ら<sup>4-2)</sup>による脳波計測に SD 法を組み合わせたものや、奈良<sup>4-3)</sup>による脳波測定とアンケート調査を併用した研究のように、緑化の持つ安らぎ感や癒し感を測定した既往研究は散見される。また、松本ら<sup>4-4)</sup>の研究のように、緑化の知的生産性に及ぼす影響を調べたものなどもある。さらに、緑化が人体の視覚に及ぼす影響によって室温を低く感じ取る効果の測定実験としては、大学校舎にて学生を被験者とした井上<sup>4-5)</sup>らの既往研究があるが、このような緑化による視覚効果のデータの蓄積は未だ十分ではないため、本実験を実施したところである。

#### 4-2. 実験計画

集合住宅の間取りが同じ複数の居室で、ベランダにガラス戸を覆う状態で緑のカーテンを設置した部屋と、何も設置しない部屋を設定し、それぞれエアコン（ダイワラクダ工業株式会社製、型式 ES-11、能力 1 馬力）によって強制的に室温を調整できるようにした。これらの各々の部屋に順次被験者が入り、温冷感などを申告するようにした。この視覚的に感じる室温の結果と、部屋に設置した各種センサーから求められる温熱環境指標 SET\*とを比較してその効果を評価した。SET\*は、気温・湿度・風速・放射熱の温熱 4 要素に加えて、被験者の着衣量や作業量も考慮して算定する温熱環境指標のため、精緻な評価が可能である。

##### 4-2-1. 実験居室の設置方法

実験場所として、東京都足立区花畑4丁目にあるUR都市機構が所有する花畑団地の67号棟（5階建、昭和39年築、RC造、南向き：図4-1）の4居室（203、204、303、304号室）を選定した。この建物は建て替えに伴う撤去が決定しており、実験実施予定時期には居住者がいなかったため、十分な空室が確保できた。また、同じ住棟の住戸は全て間取り（図4-2）が同じであることも実験に適していた。

ツルレイシは、プランター（W 70 cm×D 32 cm×H 28 cm）に植え、支柱はプランターから自立させてネットをかけた。ツルレイシの成長に伴ってネットに蔓が絡み、緑のカーテンが形成された。緑のカーテンの1枚の大きさは、概ね幅85 cm×高さ（プランター含

510	509	508	507	506	505	504	503	502	501
410	409	408	407	406	405	404	403	402	401
310	309	308	307	306	305	<b>304</b> ◎	<b>303</b> ◎	302	301
210	209	208	207	206	205	<b>204</b> ◎	<b>203</b> ◎	202	201
110	109	108	107	106	105	104	103	102	101

図4-1 67号棟における住戸の配置図（◎印が実験住戸）

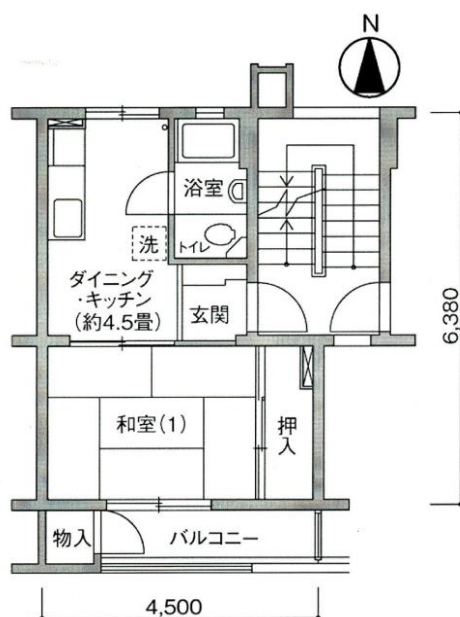


図4-2 間取図（単位:mm）

む) 200 cm である。プランター2 個で、ガラス引戸の開口部 1 か所 (W 169 cm×H 174 cm) をほぼ覆うことができた (写真 4-1 参照)。なお、本研究の主目的は緑のカーテンの設置の有無に伴う室内温熱環境改善効果を検証するものであるため、緑のカーテンの緑量を把握する必要がある。本実験では緑のカーテンでガラス戸を一様に覆った (写真 4-2) ため、単位面積あたりの葉面密度である LAI (葉面積指数) を測定した。測定方法は、実験終了後に緑のカーテンの中央部 (30 cm 四方) の葉を摘んでその総面積から LAI を求めた。LAI の値は 0.93~1.29 の範囲であった。

各実験居室の条件設定を表 4-1 に、実験居室内の設営状況を図 4-3、写真 4-3 に示す。この図にあるように、被験者の座る机や椅子を避ける形で、測定機器を部屋のほぼ中央に配置した。また、エアコンの吹出口からの風が直接に被験者に当たらぬように、風除板を設置した (写真 4-4)。測定センサーは、図 4-3 に記した測定位置に設置したポールに取り付け、設置高さは 110 cm の位置としたが、熱電対は、熱ムラを確認するために、各部屋それぞれに 3 種類の高さのところに据え付けた。実験の測定項目、測定機器及び測定場所を表 4-2、表 4-3 に示す。



写真 4-1 実験に用いた住棟



写真 4-2 室内から見たツルレイシの設置状況

各部屋は点灯せず自然光のみとし、緑のカーテンのある部屋の実験時間帯における平均照度は 155.0 lx、緑のカーテンの無い部屋は 560.5 lx だった。

表 4-1 各住戸の条件設定

室番号	設置内容	日射遮蔽箇所
203 号室	何も無し	遮蔽せず
204 号室	ツルレイシプランター2 個	引戸を全部遮蔽
303 号室	ツルレイシプランター2 個	引戸を全部遮蔽
304 号室	何も無し	遮蔽せず

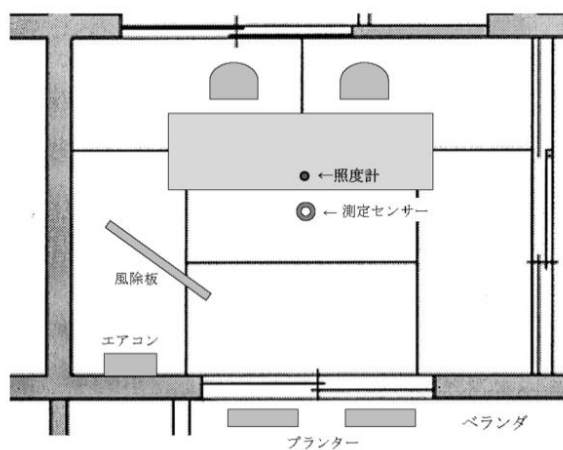
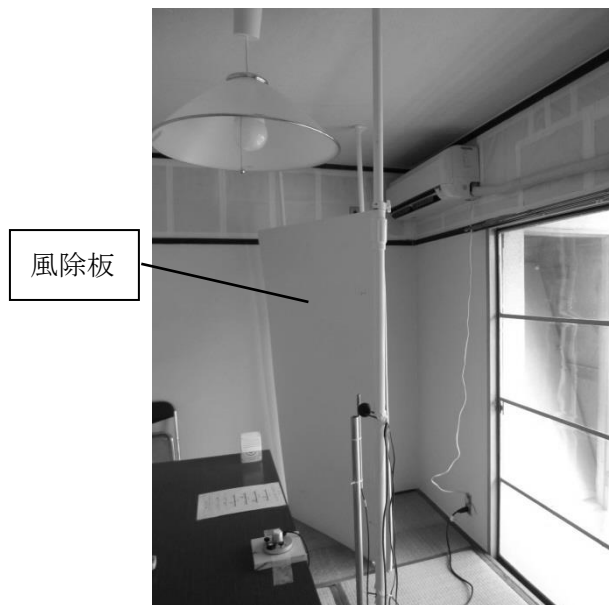


図 4-3 実験室内の設営図



写真 4-3 実験室内の設営状況



風除板

写真 4-4 実験室内の設営状況（エアコン付近）

表 4-2 測定項目と使用機器

測定項目	使用機器	測定場所
室温	熱電対(二宮電線工業製 Type T)	全4戸
湿度	湿度センサー(TDK製 CHS-UPS)	全4戸
グローブ温度	ミニ黒球プローブ(メック社製 MTP-35B-001 直径4cm)	全4戸
風速	風速プローブ(シュミット社製 SS20.250)	全4戸
ロガー	グラフテック製 midi LOGGER GL220	全4戸
外気温	熱電対(二宮電線工業製 Type T)遮光カバー付	304号室ベランダ
日射	日射計(英弘精機製 ML-020VM)	〃
照度	照度計(プリード社製 PCL-01)	全4戸

表 4-3 センサーの設置高さ

測定項目	設置場所	測定高さ
室温	部屋中央	10 cm、60 cm、110 cm
湿度	〃	110 cm
グローブ温度	〃	110 cm
風速	〃	110 cm
外気温・湿度	ベランダ上部	200 cm
日射	ベランダ手摺	120 cm
照度	机上	70 cm

#### 4-2-2. 実験方法

実験の被験者は、花畑団地の他の住棟に居住する住民と団地内の工事関係者で、あらかじめ実験概要を説明して協力の了解が得られた者を募った。参加した被験者の内訳を図4-4に示す。実験の事前説明では、緑のカーテンの有無による効果の実験であるという先入観を被験者に与えないために、条件を変えた複数の居室内で温冷感等を申告する実験であることを説明したが、居室の設定条件に緑のカーテンの設置が含まれていることには触れなかった。なお、被験者への負担を考慮して食事制限は設定しなかったが、自宅から実験場所への移動・受付・実験説明・前室での待機などを経るため、少なくとも食事摂取後30分以上は経過しているものとみなした。実験実施日は、2012年7月31日～8月1日の2日間であり、被験者を時間帯で割り振って参集時間を指定した。

なお、本実験では、部屋の中央に置いた各種センサーの測定値から温熱環境指標であるSET\*を求めることとしたが、SET\*の算定には着衣量の把握が必要である。このため、受付時において担当者が被験者の服装状況を記載し（写真4-5）、そのデータから文献<sup>4,6)</sup>の原単位を用いて、着衣量の指標であるclo値を求めた。本実験ではclo値の平均値は0.50（男性平均値0.51、女性平均値0.48）だった。また、作業量は椅子に座った状態とした。

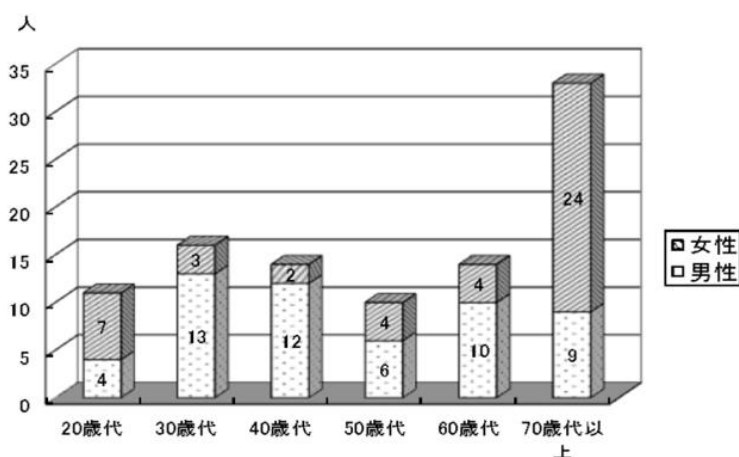


図 4-4 被験者の構成



写真 4-5 被験者の受付風景

実験実施日は盛夏時で外気温が高い（7月31日は快晴、8月1日は午前晴・午後曇り）ため、最初に被験者を前室（203号室）に誘導し、体温を室温に慣らさせた。前室は環境履歴の影響をなくす目的で設置した部屋のため、暑くも寒くもない熱的中立条件の熱環境を維持するよう努めた。志村ら<sup>4,7)</sup>の研究では、26℃は比較的広範囲な湿度環境条件下で熱的中立域に含まれていることから、26℃を熱的中立の条件とした。また、寒い側を23℃に、暑い側を29℃に設定し、その間を1℃刻みでの303号室と304号室の目標室温を設定した。加えて、204号室については熱的中立条件を保って他室と比較することとした。（表4-4参照）。測定した室内の放射温度と外気温の変化を図4-5、図4-6に示す。

表 4-4 エアコンの設定目標室温

時刻(7月31日)	203号室	204号室	303号室	304号室
10～12時	26℃	26	23	29
12～13時	26	26	24	28
13～14時	26	26	28	24
14～16時	26	26	29	23

時刻(8月1日)	203号室	204号室	303号室	304号室
10～12時	26℃	26	28	24
12～13時	26	26	27	25
13～14時	26	26	25	27
14～16時	26	26	24	28

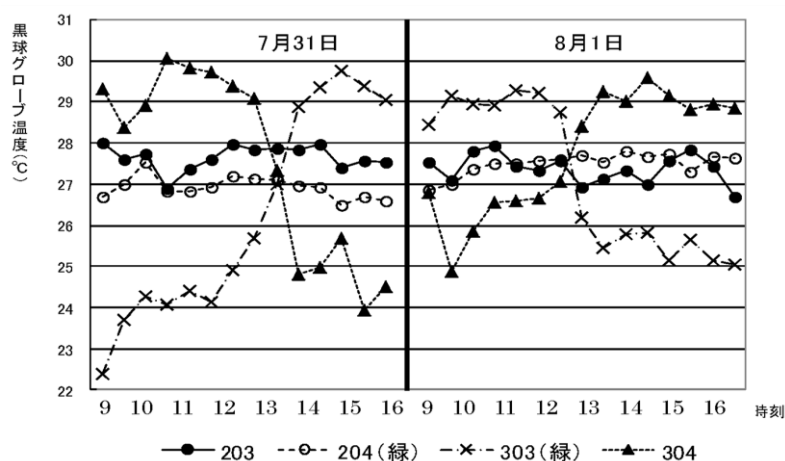


図 4-5 室内の放射温度の経過



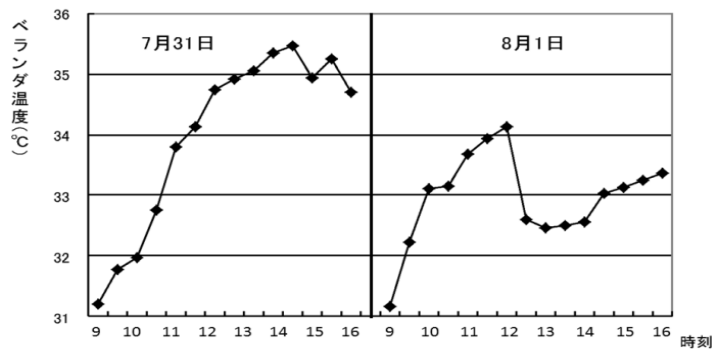


図 4-6 外気温の変化

被験者は 203 号室を出た後に別の部屋に誘導するが、被験者の順路が全員同じでは特定の部屋に人数が集中してしまうため、図 4-7 にあるように順路は A、B、C の 3 コースを設定して被験者を誘導した。なお、各実験居室に滞在した後に、必ず前室である 203 号室に戻るよう誘導した。

また、被験者は各実験居室で申告アンケート票に記入する（写真 4-6 参照）が、その内容は部屋の中の温冷感を尋ねる質問である。具体的回答欄は、堀越ら<sup>4)8)</sup>の研究を参考に、図 4-8 のような数値評定尺度と直線評定尺度を用いた。被験者は各居室に入るたびに、図 4-8 の申告アンケート票一枚ずつに記載した。

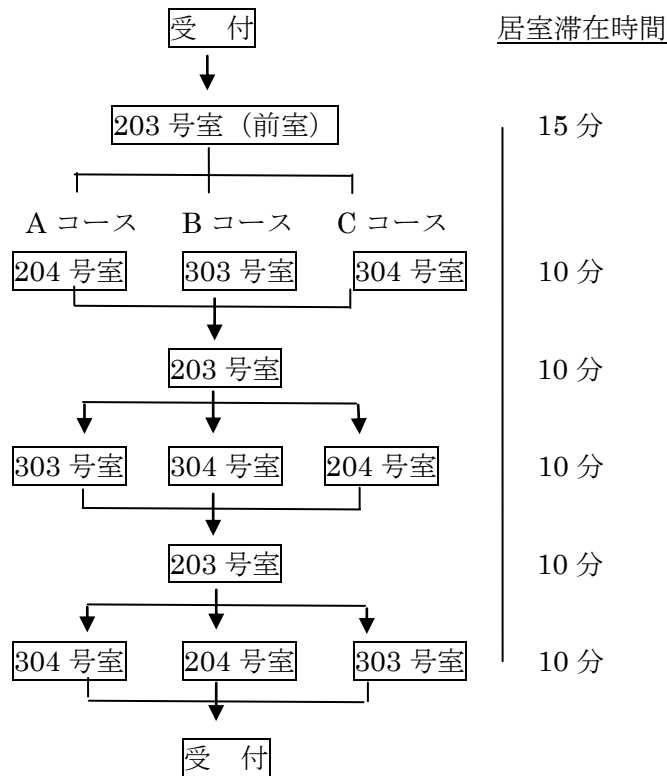


図 4-7 被験者の誘導順路



写真 4-6 実験実施風景

問4 次のそれぞれの感覚について、現在あなたが全身で感じる度合いを、直線には縦線で、数字には○で印を付けてください。

**温 冷 感**

←寒い 暑い→

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

**暖 涼 感**

←涼しい 暖かい→

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

**乾 湿 感**

←乾いている 湿っている→

1 2 3 4

**快 適 感**

←快適 不快→

1 2 3 4

問5 あなたはこの部屋の環境について、熱的に満足ですか？  
満足である      不満足である

問6 あなたはこの部屋の環境について、熱的に受け入れられますか？  
受け入れられる      受け入れられない

部屋を出る時刻をお知らせしますので、ご記入ください。

\_\_\_時 \_\_\_分 \_\_\_秒

5

図 4-8 申告アンケート票

記載方法は、図 4-9 のように 7 段階評価の数値を選択すると同時に、その数値の上に設けられている直線評価尺度に印を記載するものである。この直線評価尺度は 10 cm の長さのため、記した印の箇所をミリ単位で計測すれば、温冷感を 100 目盛として数値化することができる。

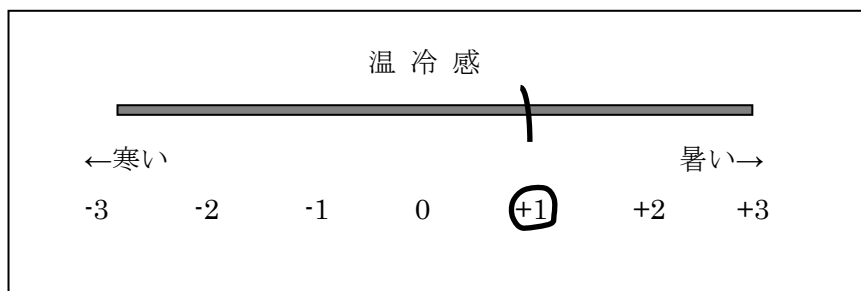


図 4-9 被験者による申告アンケート票の記載例 (抜粋)

### 4-3. 結果と考察

#### 4-3-1. 温冷感の評価

各部屋の SET\*は風速、放射温度、湿度及び室温をもとに算定専用ソフト (Ashrae transactions vol.92, part 2B) 4<sup>9)</sup> を用いて算定した。なお、室温については表 4-3 に示した 3 か所の高さ位置の測定値の平均を用いた。こうして求めた各部屋の SET\*と、直線評価尺度から求めた被験者の温冷感の申告値との関係を、図 4-10、図 4-11、図 4-12、図 4-13 に示した。これらの図からは、303 号室と 304 号室は、SET\*と被験者の温冷感の申告値との間に弱い相関関係があることが分かる。それに比べて、203 号室と 204 号室にはほとんど相関関係が見られない。303 号室と 304 号室は、室温を暑い領域と寒い領域の双方に設定し、203 号室と 204 号室はなるべく適温を維持するよう努めたが、SET\*が適温付近を示す場合には、申告値も適温付近を示すはずなので、はっきりとした相関関係が現れな

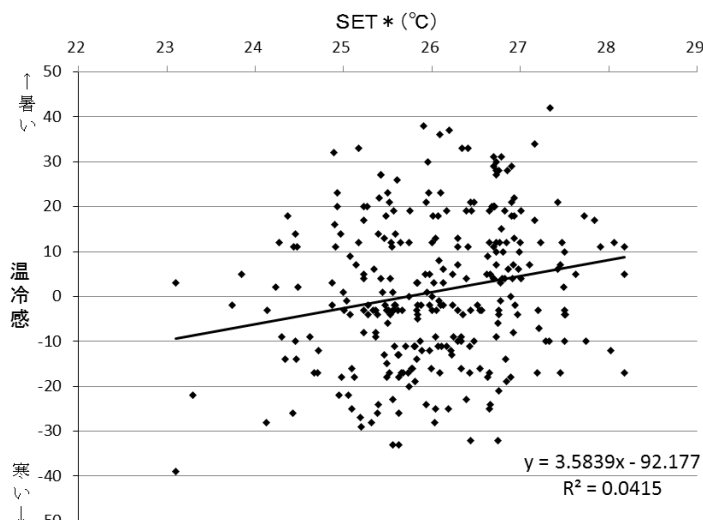


図 4-10 203 号室の SET\*と申告値 (温冷感)

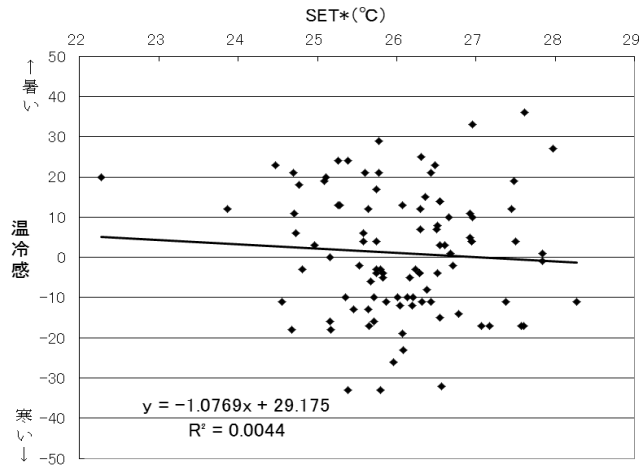


図 4-11 204 号室の SET\* と申告値 (温冷感)

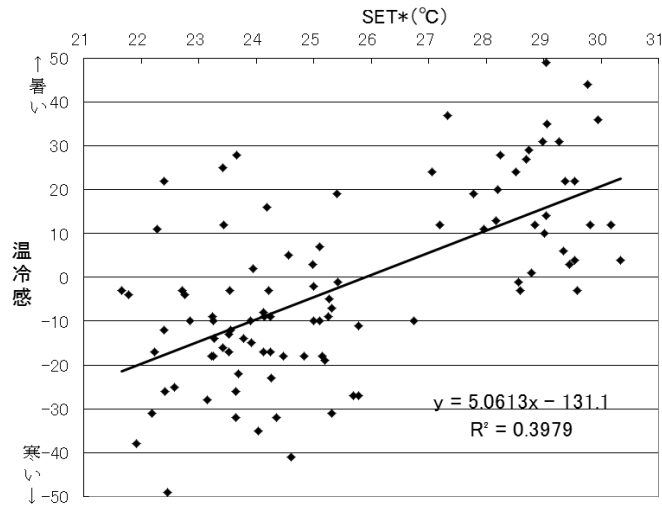


図 4-12 303 号室の SET\* と申告値 (温冷感)

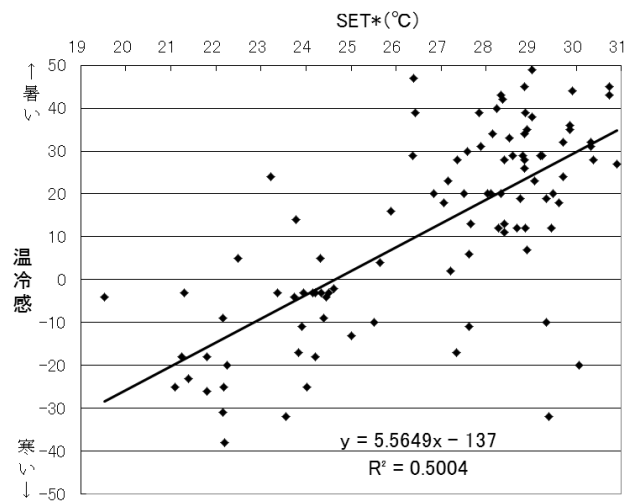


図 4-13 304 号室の SET\* と申告値 (温冷感)

かった可能性が高いと考えられる。一方、室温を暑い領域と寒い領域の双方に設定した 303 号室と 304 号室では、暑さと寒さをはっきりと感じ取ることができるので、温冷感の申告値もはっきりとした傾向が現れる可能性があり、このため SET\*と被験者の温冷感の申告値との関係は、203 号室や 204 号室よりも強い相関関係が認められたと考えられる。

ここで、緑のカーテンを設置した部屋と設置しなかった部屋の SET\*と、被験者の温冷感の申告値を比較してみる。203 号室は前室なので、比較対象からは除外し、緑のカーテンを設置した部屋として 204 号室と 303 号室を合わせたデータを、緑のカーテンを設置しない部屋として 304 号室のデータを用いて、SET\*と温冷感の関係（回帰式）を求めて比較することとした。回帰直線と、95%信頼区間をプロットしたものを図 4-14 に示した。

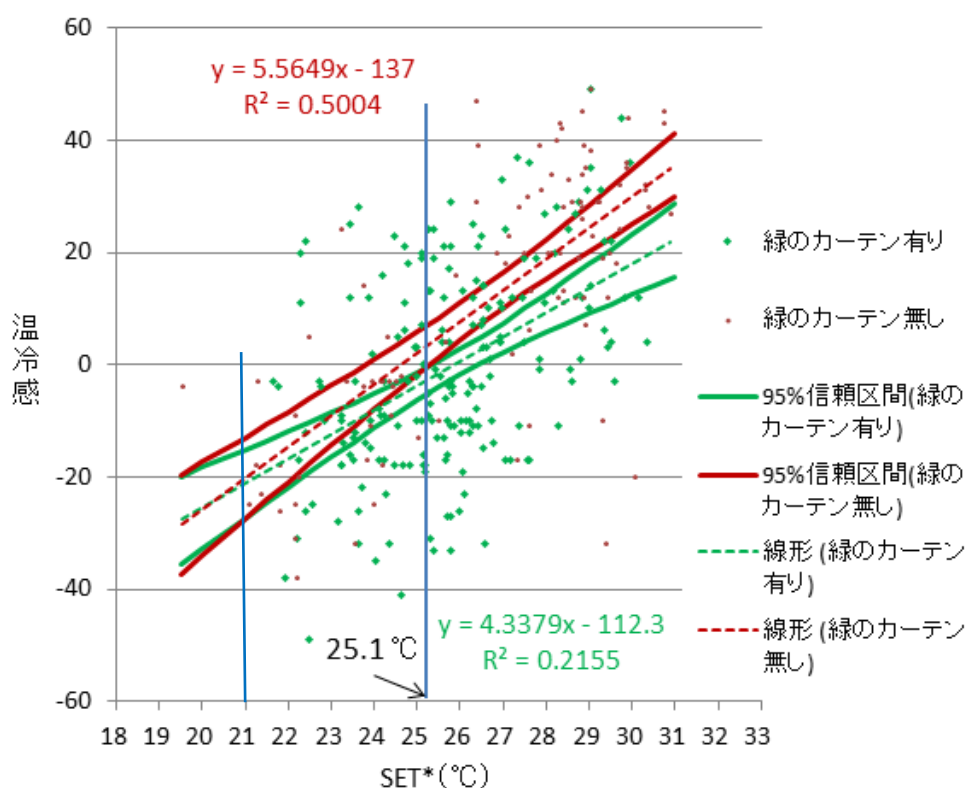


図 4-14 緑のカーテンのある部屋と無い部屋の温冷感の違い

緑のカーテンがある部屋の回帰直線を緑色で示し、緑のカーテンが無い部屋の回帰直線を赤色で示している。また、それぞれの回帰直線の上下に 95%信頼区間を示している（信頼区間は回帰直線と同じ色とした）。なお、本分析では予測区間ではなく信頼区間で評価を実施しているが、それは回帰直線の比較を行うことが目的のためである。なお、本書 P96 に記した既発表論文（第四章の根拠論文 4、5）においても、同じく信頼区間を用いた評価を実施している。図 4-14 では、SET\*が概ね 21 °C以上の範囲で緑のカーテンのある部屋における温冷感の申告値が、緑のカーテンの無い部屋の申告値よりも低くなる傾向が見られる。さらに、概ね 25 °C以上の範囲では、緑のカーテンのある部屋の回帰直線の 95%信頼

区間の上限が、緑のカーテンの無い部屋の回帰直線の 95%信頼区間の下限より低くなっている。つまり、緑のカーテンがある場合の方が無い場合に比べて視覚的に感じる室温（温冷感）は低くなっていることを示している。

#### 4-3-2. 暖涼感・乾湿感・快適感の評価

次に、求めた各部屋の SET\*と、直線評定尺度から求めた被験者の各種の他指標（暖涼感・乾湿感・快適感）の申告値との関係を、図 4-15、図 4-16、図 4-17 に示した。用いたデータは、緑のカーテンを設置した部屋として 204 号室と 303 号室を合わせたデータを、緑のカーテンを設置しない部屋として 304 号室のデータを用いた。203 号室は前室なので、比較対象からは除外している。緑のカーテンがある部屋の回帰線を緑色の破線で示し、緑のカーテンが無い部屋の回帰線を赤色破線で示している。また、それぞれの回帰線の上下に 95%信頼区間を各々の色の実線で示している。SET\*の適温域は、既往文献<sup>4-9)</sup>には 22.2～25.6℃と示されているので、その温度域を図 4-17 に矢印で示した。

図 4-15 から、暖涼感は、概ね適温域の上限である 25℃台以上において、緑のカーテンを設置した部屋はそうでない部屋に比べて 95%信頼区間が常に低い値を示している。つまり、概ね適温域より暑い状態ではより室温を低い方に感じ取っているということであり、夏季における住環境改善に視覚効果が役立っていることが分かる。この傾向は温冷感とほぼ同様の傾向を示している。

乾湿感については、図 4-16 のように全ての温度域において信頼区間が重なっており、緑のカーテンの有無による差は確認できなかった。つまり、緑のカーテンの視覚効果の乾

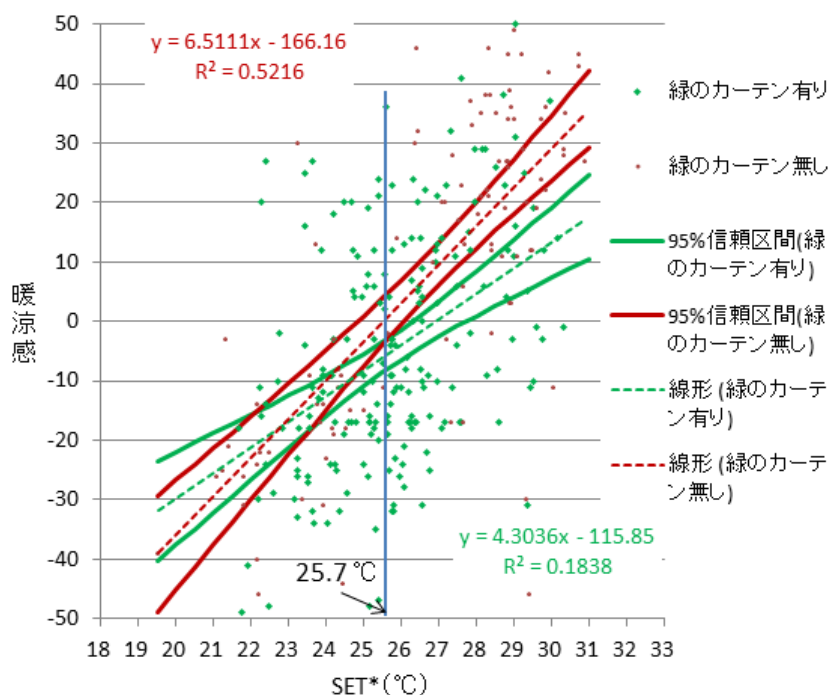


図 4-15 緑のカーテンのある部屋と無い部屋の暖涼感の違い

湿感への影響は確認できなかった。

また、図 4-17 の快適感については、緑のカーテンがある・無いに係らず、おおむね適温域 (22.2~25.6 °C) で最大値を示しているのですが、妥当な結果だと言える。また、信頼区間に差がみられる範囲は 25.4~28.5 °Cで、SET\*で「やや暖かい」と感じる温度域 (25.6

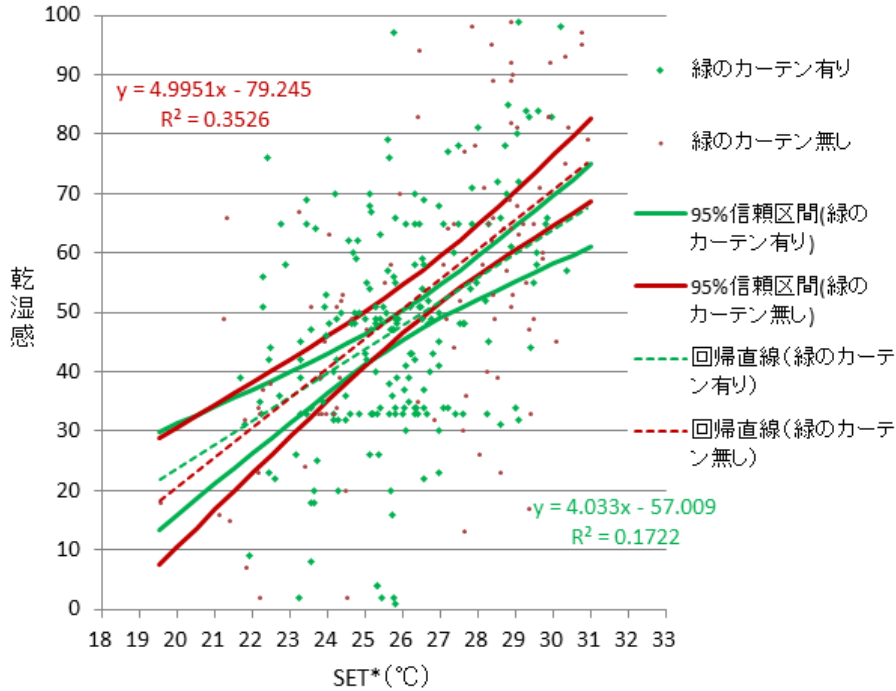


図 4-16 緑のカーテンのある部屋と無い部屋の乾湿感の違い

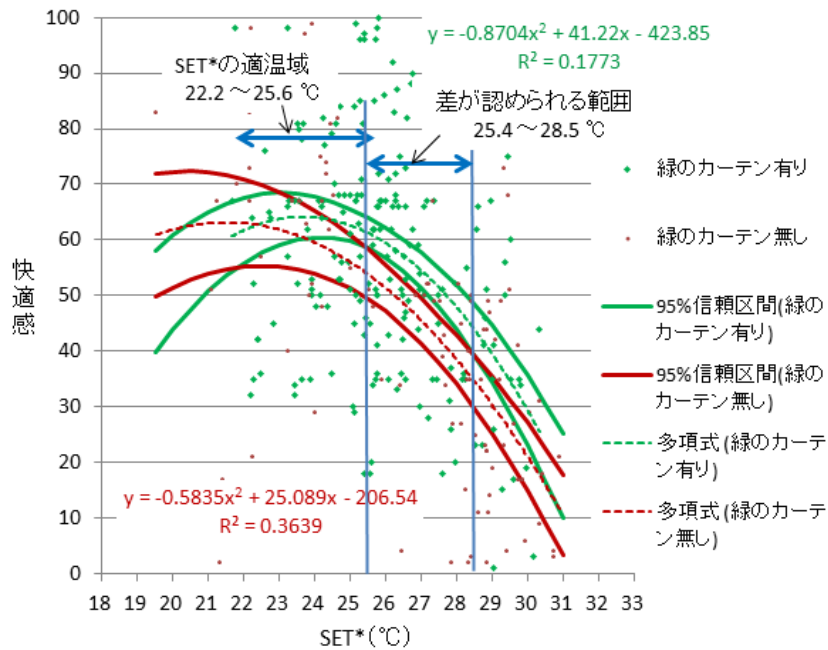


図 4-17 緑のカーテンのある部屋と無い部屋の快適感の違い

～30.0℃：既往文献<sup>4)9)</sup>）にほぼ収まっている。つまり適温域よりやや高い温度域で視覚効果が室温の快適性の向上につながっているということであり、このことは緑のカーテンの利用方法に活用できる知見であると言える。

以上の結果から、緑のカーテンの設置によって屋内から見える窓辺景観が向上し、その視覚効果によって屋内環境を適温域よりも暑い範囲において室温をより冷たくかつ涼しく感じ取ることが分かった。また、SET\*が25.4～28.5℃の温度域において緑のカーテンによる快適性の向上が確認されたので、今後の緑のカーテンの利用はその温度域において利用が図られるように配慮することが、効果的な利用につながると考える。

#### 4-5. 第四章のまとめ

屋内の温熱環境については、物理的指標のみでなく、その環境を感じる居住者の環境のとらえ方が重要になる。そうした環境の感じ方を捉える手法として、本研究で用いた4つの感覚指標による評価を実施したところである。緑のカーテンについては、多くの既往研究が屋内の物理的体感温度の低下を示しているが、本研究によって、視覚効果の影響で適温よりも暑い温度域で室温をより低い方向に感じとっていることが明らかになった。加えて、快適性については温冷感と暖涼感と比べると限られた範囲ではあるものの、適温域よりやや高い温度域において効果が現れることが確認できた。これらの結果からは、盛夏期の屋内温熱環境改善手法として、緑のカーテンの設置に際しては、単に日のあたる箇所のみでなく、なるべく窓辺景観が向上する位置に設置することも重要であることが導ける。また、やや暖かい温度域において快適性向上効果が現出することから、緑のカーテンの利用にあたっては、その温度域の調整に配慮した活用が望ましいことが導ける。さらに、緑化による窓辺景観の向上については、緑のカーテン以外の方法でも可能なため、今後はこうした観点からの窓辺付近の緑化デザインの検討の余地があると考えられる。



#### 第四章の参考文献

- 4-1) Kato, M., Iwata, T., Ishii, N., Hino, K., Tsutsumi, J., Nakamatsu, R., Nishime, Y., Miyagi, K., Suzuki, M., (2011) Effects of green curtains to improve the living environment, The proceedings of international conference 2011 on spatial planning and sustainable development, B31-10, 1-9
- 4-2) 仁科弘重・中本有美 (1998) 観葉植物,花,香りが人間に及ぼす整理・心理的効果の脳波およびSD法による解析、日本建築学会計画系論文集第509号、71-75
- 4-3) 奈良松範 (2001) 観葉植物の生活環境に対する影響評価、空気調和・衛生工学会論文集、No.80、1-10
- 4-4) 松本博・平尾圭吾・土井幸太 (2009) 観葉植物が居住者の整理・心理反応及び知的生産性に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1045-1046
- 4-5) 井上彩香・東実千代・磯田憲生 (2007) 窓際植生の暑熱緩和効果 (その6) —西向き室の温熱環境—、日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)、59-60
- 4-6) 快適な温熱環境のメカニズム (1997) 社団法人空気調和・衛生工学会、114-117
- 4-7) 志村 欣一・堀越 哲美・山岸 明浩 (1996) 日本人を対象とした室内温湿度条件の至適域に関する実験研究：夏季至適域の提案、日本建築学会計画系論文集 (480)、15-24
- 4-8) 堀越哲美・磯田憲生・小林陽太郎 (1974) 風洞内温熱条件の人体に及ぼす影響に関する実験的研究 (男子裸体) その2、夏季—平均皮膚温と温冷感申告、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 1974、27-30
- 4-9) A.P.Gagge, A.P.Fobelets, L.G.Berglund(1986)A standard predictive index of human response to the thermal environment, symposium papers presented at the 1986 annual meeting in portland,oregon of the American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, inc., 709-731

