

参考資料 1 暑熱対策の効果に関する基礎調査と CO₂ 排出量削減メカニズムの検討

1. 暑熱対策の効果に関する基礎調査

検証事業対象地に暑熱対策を施した際の人々の行動の変化を想定するため、熱環境と人の行動についての既往の研究を収集した。それぞれの結果をまとめると、以下のように整理できる。

- ・ SET*と人の利用状況（利用人数・利用時間）や快適感・受容域には、関係性があり、SET*が高いほど利用人数が減るなどの傾向がある。
- ・ 空調空間か非空調空間かどうかにより、人の受容域・快適域に違いがある。
- ・ 室内移動前の屋外暑熱環境により、室内での温熱感が異なる可能性がある。

1) 屋外熱環境の違いによる利用状況の違い

安藤ら(2012)¹の調査では、東京駅周辺の大丸有地区の屋外アメニティ空間を対象として、夏季と秋季に熱環境測定及び利用人数の調査、利用者アンケート調査を行った。その結果、下記のようなことがわかった。

- ・ 屋外アメニティ空間では、33℃以上の高い SET*を示す地点（図1）では、SET*と利用人数に負の相関の傾向が確認できる。
- ・ 夏季と秋季を比べると、利用時間が最も長い SET*の値は夏季のほうが高く、夏季のほうが暑さに馴化したことで許容できる範囲が広がったためと考えられる。（図2）
- ・ 利用時間と SET*にも負の相関が確認できる。（図2）
- ・ 利用者アンケートで、最も利用時間の長いサンプルに注目すると、快適>やや快適>普通>やや不快の順に利用時間が短くなっており利用時間が SET*に左右されることが示唆される。（図3）

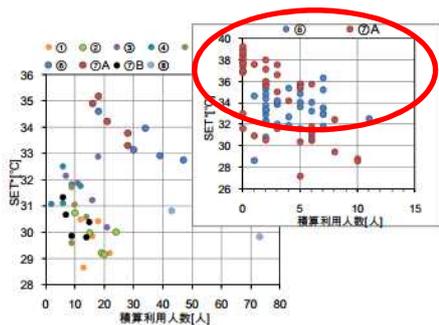


図10 SET*と利用人数の関係

図1 SET*と利用人数の関係

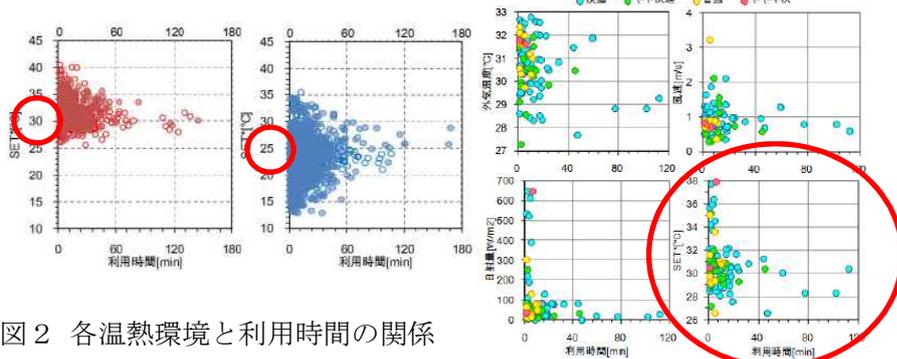


図2 各温熱環境と利用時間の関係

図3 アンケート評価別の各パラメータと利用人数の関係

¹ 安藤ほか, 人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その3 屋外アメニティ空間の利用状況に関する考察と秋季温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012

また、安藤ほか（2013）²の調査でも、同様に都内オフィスビル屋外アメニティ空間で、温熱環境と利用状況について調査が行われている。その結果、下記のようなことがわかった。

- ・ オフィスビル屋外アメニティ空間では、 $SET^*=35^{\circ}C$ が屋外利用の限界値であることが示唆された。
- ・ 夏季は微風が形成され、日射量が $200W/m^2$ 程度以下に遮られる範囲を利用者が好むことがわかった。

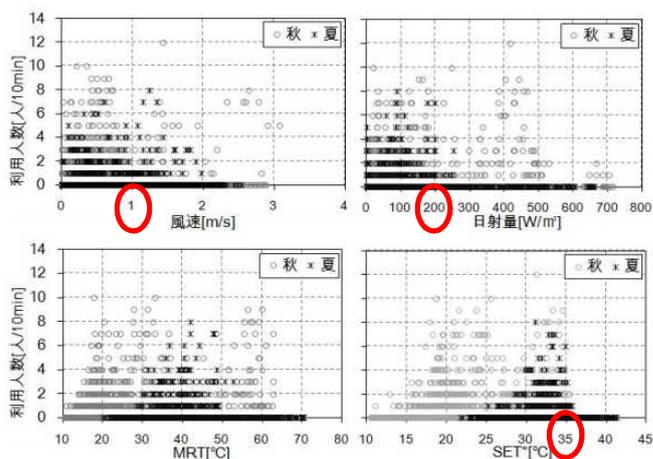


図4 各温熱環境パラメータと利用人数の関係

2) 熱的快適域と受容域（非空調駅）

中野ら（2014）³の調査では、空調が導入された駅と非空調駅で、利用者の熱的快適域・熱的受容域の分析を行っているが、中でも非空調駅においては以下の結果が得られている。

- ・ 非空調駅における熱的快適域（不快申告が20%以下）は $SET^*19\sim29^{\circ}C$ であった。（図5）
- ・ 一方同じ非空調駅における熱的受容域（非受容申告（「受け入れられない」かつ暖/涼要望）が20%以下）は $SET^*19\sim32^{\circ}C$ であった。（図6）

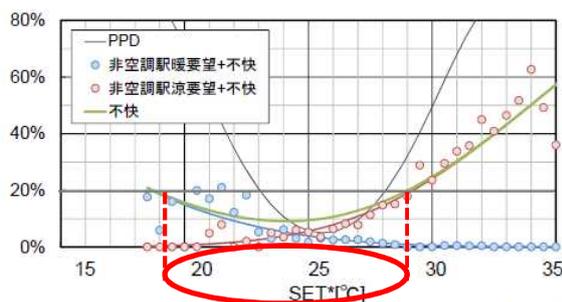


図5 「暖/涼要望・不快」申告者率の回帰曲線

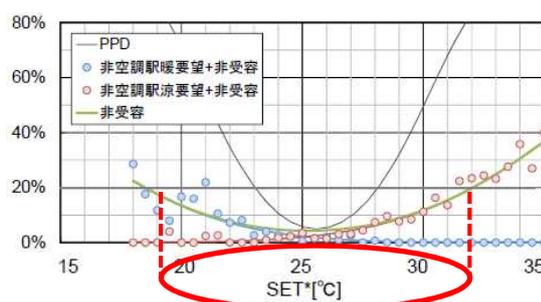


図6 「暖/涼要望・非受容」申告者率の回帰曲線

² 安藤ほか，人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究その4 都内オフィスビルの屋外アメニティ空間における調査，日本建築学会大会(北海道)学術講演会・建築デザイン発表会，2013

³ 中野ほか，環境適応研究の半屋外空間温熱環境計画への展開—鉄道駅舎における熱的快適行きと熱的受容域，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），2014

3) 温熱環境適応 (Thermal Adaptation)

de Dear ら (1998) は、温熱環境適応は行動適応、生理的適応、心理的慣れや期待に起因し⁴、人の行動的・心理的適応により、自然換気オフィスの熱的快適条件が全館空調オフィスと異なる⁵と述べている。

また、前述の中野ら (2014) の調査では、一般室内の快適域が PPD (予測不快者率) 予測値では SET*23~28℃であるのに対して、非空調駅の快適域が SET*19~29℃であることから、非空調駅では一般室内より広範囲で快適であることがわかっている。

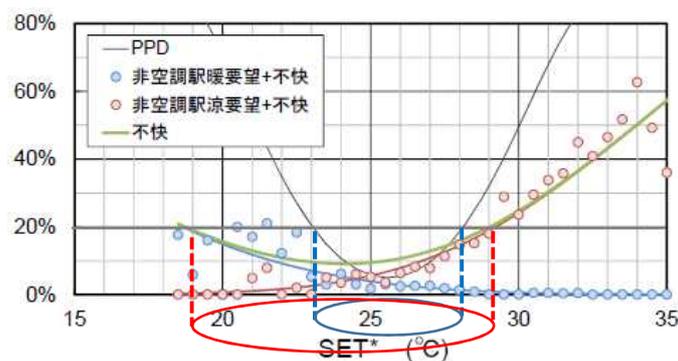


図7 SET*に対する非適温かつ不快の申告率 (図5に加筆)

4) 受熱環境の違いによる空調空間移動後の温熱感の違い

杉岡ら (1999) ⁶の調査では、30分間人工舗装面のある日向の屋外を歩行した後、空調室に入りその後の温冷間隔の申告調査を行っている。外気温約 28.5℃ (8月 18日) と約 33℃ (8月 20日) の日に被験者が屋外から冷房室 (25℃) に移った際の温熱感覚の経時変化では、空調機から冷風が一回目に出た時は「寒い」の申告が外気温約 28.5℃の日では見られ、外気温約 33℃の日では見られなかった。冷風が二回目に出た時は両日共に「寒い」の申告がみられた。このことから、涼しい屋外環境を経て入室すると、入室直後の設定温度を過度に低くしなくても、十分に涼しさを得られる可能性があることがわかっている。

⁴ de Dear et al., Thermal Adaptation in the Built Environment: a Literature Review, Energy and Buildings Vol 27 No.1 pp. 83-96, 1998

⁵ de Dear et al., Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, Vol. 104(1), 1998

⁶ 杉岡ほか, 暑さへの対処方法が個人の温冷感覚と行動に与える影響に関する研究その2 入室に至るまでの屋外熱環境と着衣の影響, 1999, 建築学会学術講演梗概集

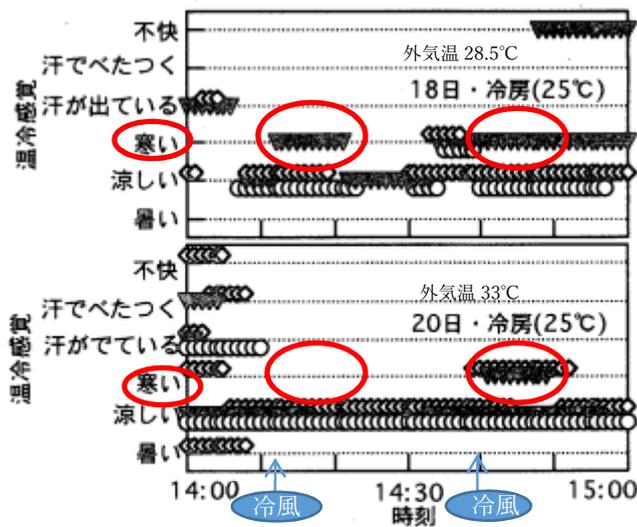


図8 18日と20日の冷房室（25℃）における温冷感覚の経時変化

一方、34℃または37℃から22～31℃への2室への移動実験では、高温条件（37℃）からの空調室内へ移動直後には30℃以上でも熱的に中立と感ずるという結果もある⁷。厳しい暑熱環境からの移動の場合にはオーバーシュートして高い室温でも涼しく感じていると考えられる。

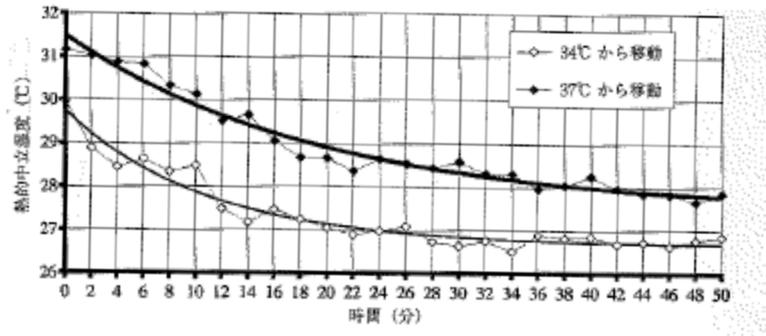


図9 空調室移動後の熱的中立程度の経時変化

⁷ Nagano et al., 2005, Effects of ambient temperature steps on thermal comfort requirements, Int J Biometeorol 50(1).

2. 暑熱対策による CO₂ 排出量削減メカニズムの検討

2.1 CO₂ 排出量削減効果メカニズムの想定

1. の調査結果を踏まえ、暑熱対策技術の導入が、CO₂ 排出量の削減につながるメカニズムを検討した。まずは、CO₂ 排出量削減効果のメカニズムを下記の3通り想定した。

1) 屋外利用促進型

1. 1) で述べたように、屋外利用人数や利用時間は熱環境によって変化し、厳しい暑熱環境では利用が減少することが明らかである。そこで、オフィスビルなどに隣接する屋外休憩スペースで、現状では暑熱対策が施されていない箇所に暑熱対策技術を施すことで、熱環境が改善されると、屋外の利用が増加することが見込まれる。オフィスビルなどの室内滞在者が、屋外を利用することで、オフィスビルの空調負荷や照明などの電力消費量が削減すると考え、CO₂ 排出量削減につながる と考える。

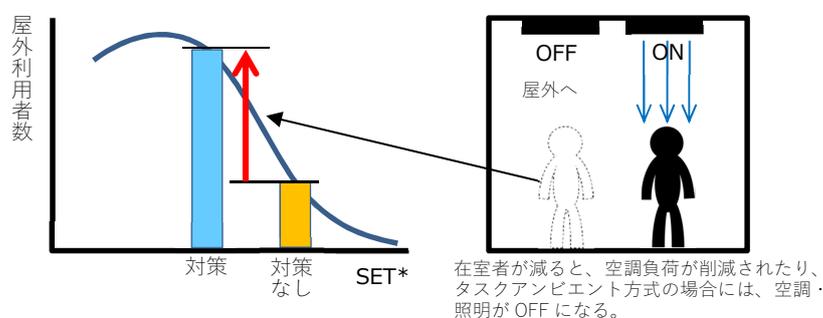


図 10 屋外利用促進型の考え方

2) 空調利用代替型

バスや電車の待合場所など、ある程度の時間滞在を要する場所において空調室の導入が進められている。しかし、一方で、電力消費による CO₂ 排出量の増大が懸念される。そこで、パッシブな暑熱対策技術を施し、空調機器の代替することで CO₂ 排出量の増加を回避できると考える。

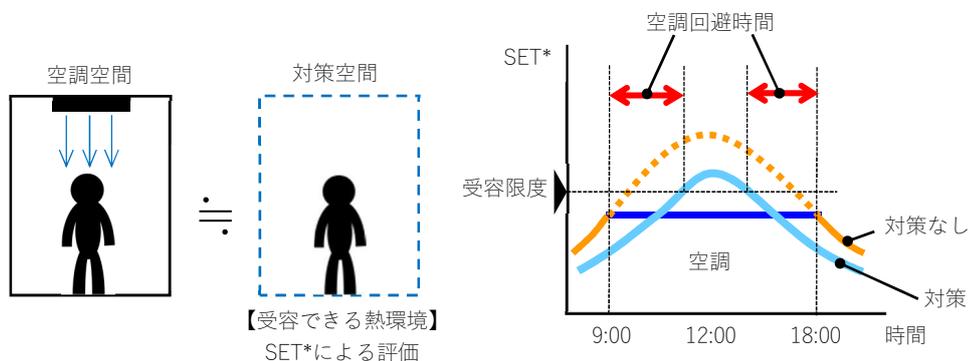


図 11 空調利用代替型の考え方

3) 省エネ促進型

バスや電車の待合場所の暑熱環境を改善すると、人の受熱量が減り、体温調節反応（発汗量の増大や心拍数の上昇）が抑制される（暑熱ストレスが軽減する）と考えられ、1. 4) で述べたように、室内の設定温度を過度に低くしなくても、十分に涼しさを得られる可能性がある。すると、バス停や電停から乗り込む車両の冷房設定温度を現状より高めても、車両内における温熱的な中立性や通常の温熱生理の状態を確保しやすくなることが想定される。このメカニズムが成立すると、車内の設定温度を上げた分の電力消費が節約され、CO₂排出量削減に寄与すると考える。

ただし、車両の設定温度を上げるためには、運行経路のほぼすべての待合所の暑熱ストレスが軽減されている必要がある。

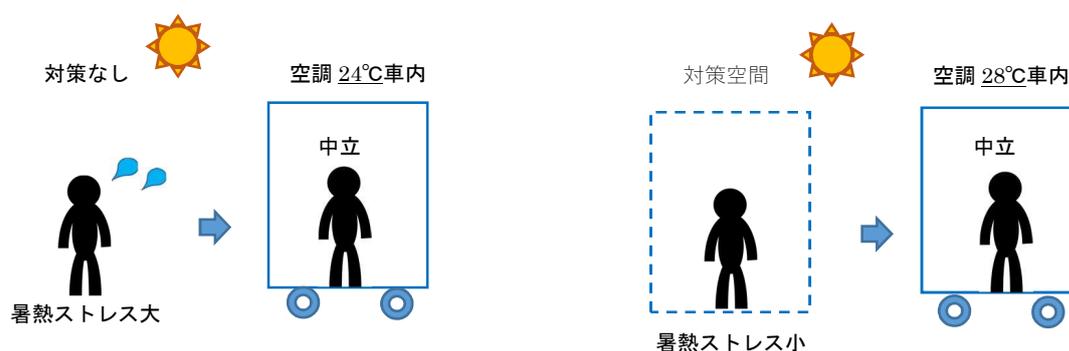


図 12 省エネ促進型の考え方

2.2 想定メカニズムの予備的検証

「空調利用代替型」及び「省エネ促進型」のメカニズムの検証のため、平成 27 年 8 月 3 日～8 月 6 日に被験者 8 名を対象とした生理・心理実験を行った。

室内安静ののち、日向を歩行、その後熱環境の異なる 4 パターンのベンチに着座、さらにその後空調室内に移動し着座というスケジュールで実施し、移動後の室内温度条件を 28°C と 24°C の 2 パターン設定して実施した。実験中、生理反応指標として心拍数を測定、心理反応測定として 5～10 分毎に温冷感等を申告させた。

実験結果からは、「暑熱対策を施した屋外の着座環境では、生理状態が空調室内とほぼ変わらない状態となる」ことがわかり、「空調利用代替型」が成立することが裏付けられた。一方、屋外から空調室内に移動後の生理反応については条件の違いによる差がみられず、心理反応においても、「暑熱対策を施した屋外の着座環境から室内に移動すると空調設定温度が高くて許容できる（または快適感を感じるなど）」という結果は得られず、本実験では「省エネ促進型」の成立を裏付けることはできなかった。よって、本事業では、「屋外利用促進型」と「空調利用促進型」を暑熱対策による CO₂ 排出量削減のメカニズムと想定することとした。