

平成 29 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境
研究期間：平成 29 年度
課題番号：152005
研究課題名（和文）：自然通風環境における気持ちよさ評価モデルに関する研究
研究課題名（英文）：Study on evaluation model of pleasant sensation under the cross-ventilated environment
研究代表者：森上伸也
交付決定額（当該年度）：350,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用していただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

日本の住宅は伝統的な木造軸組工法の影響を受けており、通風を多く取り入れることが可能である。通風気流環境下における温熱快適性を詳細に調べることで、通風の積極的利用および温熱環境の改善が考えられる。実際の自然通風には心地よい周波数成分とされる「 $1/f$ ゆらぎ」や「風のゆらぎ」と呼ばれる変動特性がある。自然通風環境における温熱快適性のメカニズムは、風のゆらぎや人体の温熱生理反応が複合的に影響するので、未だ解明されていない。

飯野ら¹⁾が行った実測のスペクトル解析結果から、自然通風時の室内気流は、扇風機風やエアコンからの気流よりも低周波数成分の割合が多いことがわかっている。梅宮ら²⁾は温熱快適性と風速のスペクトルについて考察し、自然風が最も「快適さ」を強く感じるとしているが、必ずしも「 $1/f$ ゆらぎ」のみによって生じるものではないと述べている。佐藤ら³⁾は自然通風を模擬した実験室における被験者実験から、変動気流により、暑熱環境においても許容可能な環境を再現できるとしている。多くの既往研究で、変動する気流と温熱快適性について検討がなされており、変動気流による温熱快適性の向上が示唆されている。森上ら⁴⁾は風速がステップ的に増加した場合において気持ちよさが生じることを明らかにし、気持ちよさ評価モデルを提案しているが、自然通風環境への適用性は検討されていない。一方、風速が低下する場合には不快感が生じると考えられる。自然通風の変動特性において、風速は周期的に増減を繰り返しているといえる。

そこで本研究では風速の低下速度を変化させた主観申告実験から不快感を測定し、最も不快感の増加が少ない条件を明らかにすることで、気流の「 $1/f$ ゆらぎ」が温熱快適性に与える影響について考察した。

2. 研究の方法

主観申告実験は被験者を用いて、自然風の乱れによる風速の低下を考慮して、風速の低下パターンを変化させた。表 1 に風速の低下に伴う不快感に関する主観申告実験の環境条件を示す。

気温と相対湿度は既往研究と日本の夏期の気候に基づき、気温を 32°C、相対湿度を 70%とする。風速は 1.0m/s および 2.0m/s から風速 0.1m/s 程度の静穏環境に変化させる。風速の変化に要する時間は 0 分、20 分、40 分の 3 パターンとし、風速の変化時間が主観申告評価に与える影響を調査する。代謝量は住宅における休息時を想定して椅子座とし、着衣量は夏服程度の半袖 T シャツ、半ズボン、下着の 0.4clo とする。図 1 に実験の流れを示す。被験者は指定の衣服に着替えた後、30 分ほど通風環境に順応させた。風速条件は実験開始から 20 分、30 分および 40 分経過後、静穏環境へと変化させた。実験は順応時間を含めて 130 分間で行った。

表 1 風速の低下に伴う不快感に関する主観申告実験の環境条件

ケース	気温 [°C]	相対湿度 [%]	風速 [m/s]	変化開始時間* [分]	変化終了時間 [分]	変化時間 [分]	着衣量 [clo]	代謝量 [met]
1	32	70	1.0 → 静穏	40	40	0	半袖 半ズボン 下着 (0.4)	椅子座 (1.1)
2				30	50	20		
3				20	60	40		
4			2.0 → 静穏	40	40	0		
5				30	50	20		
6				20	60	40		

(*実験開始から経過した時間)

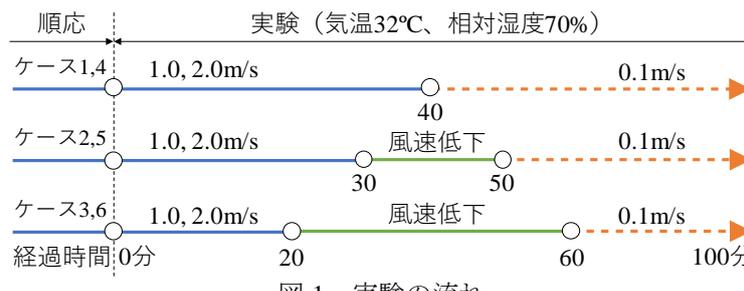


図 1 実験の流れ

図 2 に通風型人工気候室と測定点を示す。実験は 2017 年 9 月 6 日と 7 日に東京工芸大学の通風型人工気候室で行った。被験者は正面から風がくるように 1 名を配置した。気温と相対湿度、グローブ温度および風速は被験者前方で、壁面温度は各壁面に熱電対を貼付して測定した。

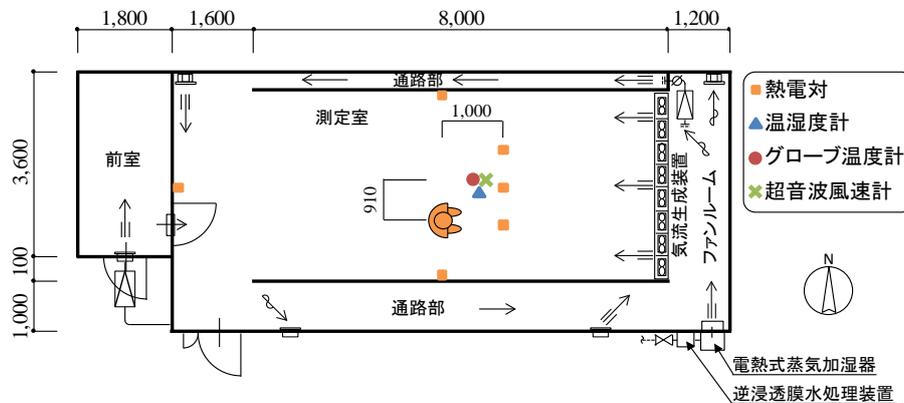


図 2 通風型人工気候室と測定点

図3に被験者実験の様子を示す。被験者は気流に正対する方向で体重計の上に設置した椅子に座り安静を保った。読書や会話程度の活動は許容した。



図3 被験者実験の様子

表2に測定項目を示す。室内物理量は温熱四要素である気温、湿度、風速、壁面温度を被験者前方または周辺で測定した。壁面温度は被験者の側方と後方の壁面の高さ方向に4か所および床と天井面の3か所にT型熱電対を貼付して測定した。心理量は小型のスライド抵抗器で作成した申告装置のレバーを被験者に操作してもらい、1秒間隔で電圧を記録した。被験者には全身の心理量について任意の時刻で申告させた。図4に主観申告スケールを示す。寒暑感、涼暖感、快適感、気持ちは空気調和・衛生工学会が提案⁹⁾する7段階スケールを参考にした。本報における気持ちよさ評価はこれまでの4段階スケールに気持ち悪い側を追加した7段階を目安として被験者に無段階で申告させた。

表2 測定項目と測定機器

分類	測定項目	測定機器	メーカー等	記録間隔	測定位置
物理量	室内温湿度	温度：サーミスタ 湿度：高分子膜抵抗 (おんどとり)	T&D	1分	被験者前方の床上 100, 600, 1100, 1800 [mm]
	壁面温度	T型熱電対	江藤電機	1秒	壁12点、床3点、天井3点、計18点
	グローブ温度	ベルノフ式 グローブ球150mm	柴田科学	1秒	被験者前方 床上1100 [mm]
	風速	超音波式 三次元風速計	カイジヨウ	1秒	被験者前方 床上1100 [mm]
生理量	熱流量	人体熱流センサー MF-180	英弘精機	1秒	7点 〔前額、胸、背中、前腕、 手の甲、大腿、足の甲〕
	皮膚温	T型熱電対	日本電計	1秒	11点 〔前額、胸上、胸下、背中上、背中下、 上腕、前腕、手の甲、大腿、脛、足の甲〕
	発汗量	マイクロ発汗計 TPL3520	テクノ サイエンス	1秒	2点 (前腕、胸部)
	体重減少量	マルチ台秤	ザルトリウス	1秒	全身
心理量	温冷感	主観申告装置 (スライド抵抗器)	自作	1秒	全身
	涼暖感				
	快適感				
	気持ちよさ評価				
	気流感				

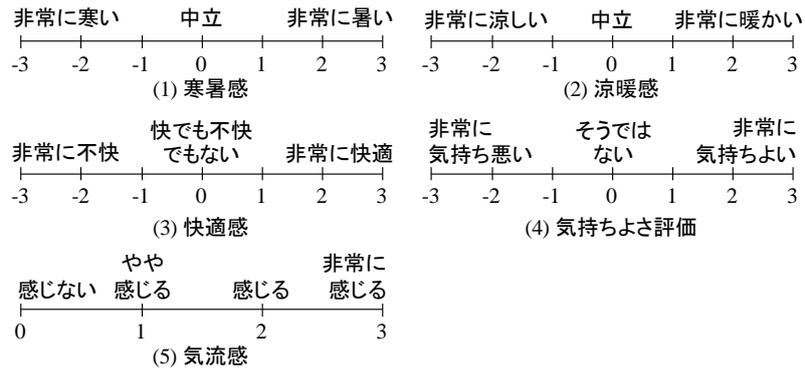


図4 主観申告スケール

表3に被験者の概要を示す。被験者は性別や年齢による影響を無視するため、20代の男子学生とした。被験者はBMI指数が16.7kg/m²から24.4kg/m²で、健康的な20代男子学生5名であった。被験者Cのみケース3と6を実施した。

表3 測定項目と測定機器

被験者	年齢層	性別	身長[m]	体重[kg]	BMI指数[kg/m ²]	被験ケース
A	20代学生	男性	1.59	45	17.8	1
B			1.73	50	16.7	2
C			1.50	53	23.6	3, 6
D			1.68	69	24.4	4
E			1.79	63	19.7	5

3. 研究成果

3.1 気温と風速の時刻歴波形

図5にケース1からケース3の気温と風速の時刻歴波形を示す。100分間の平均気温は両ケースともに31.7°Cであった。風速の100分間平均値はケース1が0.48m/s、ケース3が0.46m/sであった。概ね実験条件である風速の急激な、または緩やかな低下を再現できており、100分間平均値から環境条件の差は小さいといえる。

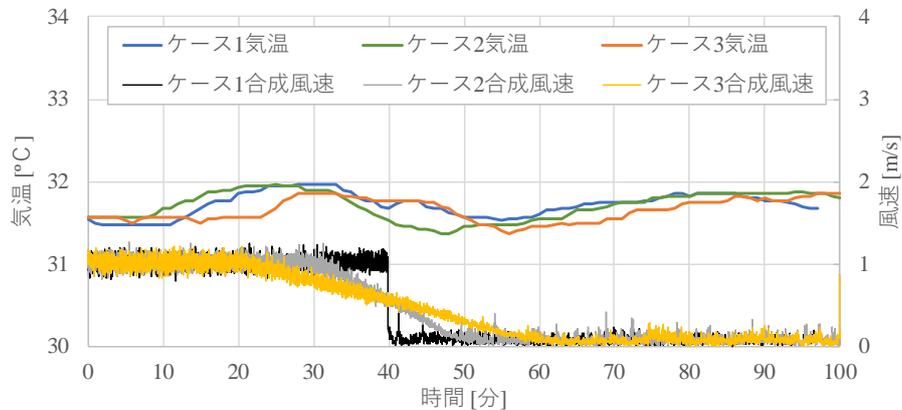


図5 ケース1からケース3の気温と風速の時刻歴波形

3.2 皮膚温の時刻歴波形

図6にケース1における皮膚温の時刻歴波形を示す。皮膚温は風速をステップ的に低下させた直後2分間で前額が0.7°C、すねが0.2°C上昇した。平均皮膚温は実験開始から40分経過するまでにおいて概ね一定であった。風速をステップ的に低下させた直後の2分で0.4°C上昇した。

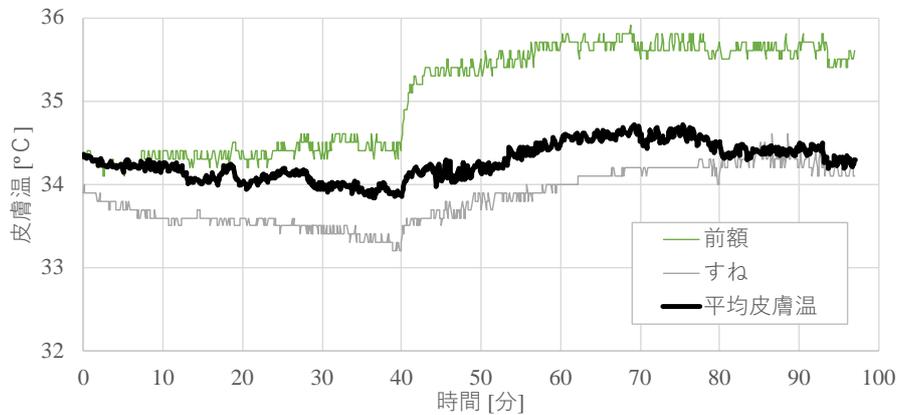


図6 ケース1における皮膚温の時刻歴波形

3.3 主観申告の時刻歴波形と平均値

図7にケース1からケース3における気持ちよさ評価の時刻歴波形を示す。ケース1における気持ちよさ評価は風速の低下に合わせてステップ的に低下した。ケース2では15分ほどかけて低下し、ケース3では35分ほどかけて緩やかに低下した。気持ちよさ評価は風速の低下パターンによらず、皮膚温の上昇に伴い低下する傾向を示した。

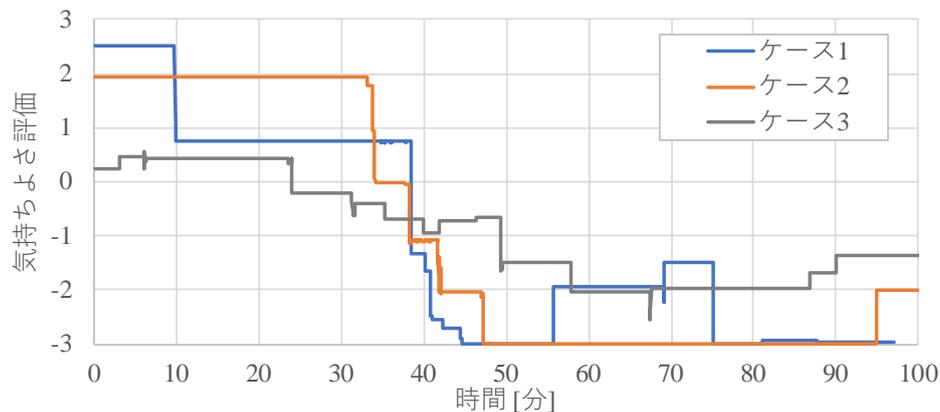


図7 ケース1からケース3における気持ちよさ評価の時刻歴波形

図8に全てのケースにおける快適感と気持ちよさ評価の平均値を示す。ケース5とケース6の環境条件は、100分間平均の物理量で算出したSET*が29.2°Cで、ケース1から3におけるSET*の30.6°Cよりもやや涼しい側であるが、快適感および気持ちよさ評価の平均値はケース5とケース6の方が低い結果となった。ケース4の快適感および気持ちよさ評価が高かった原因は被験者が実験を通して高い申告をしていたためであると考えられる。

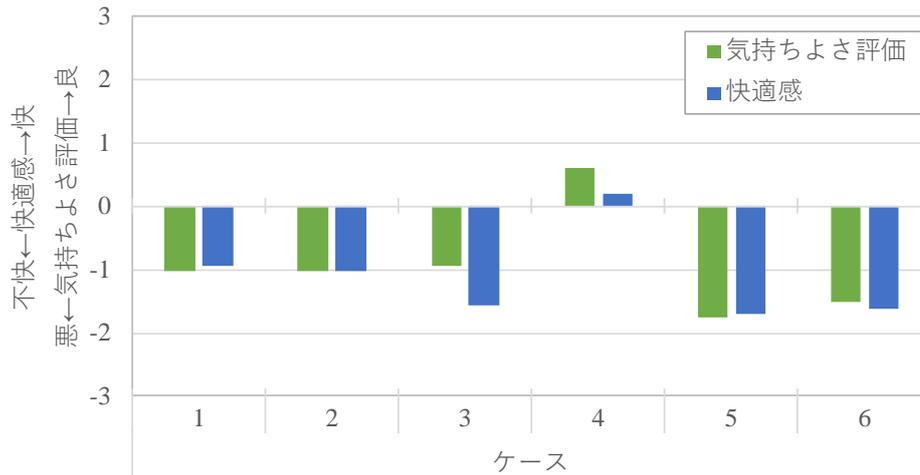


図8 全てのケースにおける快適感と気持ちよさ評価の平均値

以上の結果から、風速の低下パターンを変化させた主観申告実験を行い、次の知見が得られた。

- (1) ケース1の皮膚温は風速をステップ的に低下させた直後2分間で前額が0.7℃、すねが0.2℃上昇した。
- (2) 風速の低下パターンによらず、気持よさ評価は風速の低下および皮膚温の上昇があれば低下する傾向を示した。
- (3) 本研究の実験条件では、100分間平均値の物理量が涼しい側の環境条件であっても、快適感および気持ちよさ評価は低くなることがわかった。

なお、2018年2月25日に「とよた ecoful town」にて「自然通風環境における気持ちよさ評価モデルに関する研究集会」を開催し、本研究の成果報告を行った。この研究集会では、自然通風による温熱快適性について活発な議論がなされた。

【参考文献】

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

1. 森上伸也、水谷国男、飯野由香利、西室優作：通風環境における気持ちよさ評価に関する実験的研究 その2 風速の低下に伴う不快感および気持ち悪さについて、日本建築学会学術講演会大会(東北)(2018年9月発表予定)

〔図書〕(計 0 件)

〔その他、産業財産権、ホームページ等〕

1. 建築知識 2018年1月号(担当:監修, 範囲:1章 環境要素 「新常識! 気温32℃でも自然通風で心地よい家に」(p.44-45))出版: 株式会社エクスナレッジ 2018年1月
2. 自然通風環境における気持ちよさ評価モデルに関する研究集会(2018年2月25日)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

森上伸也：豊田工業高等専門学校 建築学科 准教授

(2)研究分担者

1. 大場正昭：東京工芸大学 名誉教授
2. 水谷国男：東京工芸大学 工学部 建築学科 教授
3. 後藤伴延：東北大学 大学院 工学研究科 都市建築学専攻 准教授
4. 塚本健二：佐藤工業株式会社 技術研究所 建築研究部 研究員
5. 飯野由香利：新潟大学 人文社会・教育科学系 教授
6. 村瀬太基：新潟大学 教育学部 3年生
7. 西室優作：豊田工業高等専門学校 建設工学専攻 1年生
8. 児玉壮：豊田工業高等専門学校 建築学科 5年生
9. 松岡理美：豊田工業高等専門学校 建築学科 5年生

6. 要約(Abstract)

研究課題名：自然通風環境における気持ちよさ評価モデルに関する研究
研究代表者名：森上伸也(豊田工業高等専門学校 建築学科)
要約(700文字以内)・図

本研究では風速の低下パターンを変化させた主観申告実験から不快感を測定し、最も不快感の増加が少ない条件を明らかにすることで、気流の「 $1/f$ ゆらぎ」が温熱快適性に与える影響について考察した。

- (1) 風速をステップ的に低下させたケースにおける皮膚温は低下させた直後2分間で前額が 0.7°C 、すねが 0.2°C 上昇した。(図1)
- (2) 風速の低下パターンによらず、風速の低下および皮膚温の上昇があれば気持ちよさ評価は低下する傾向を示した。(図2)
- (3) 本研究の実験条件では、100分間平均値の物理量が涼しい側の環境条件であっても、快適感および気持ちよさ評価は低くなることがわかった。(図3)

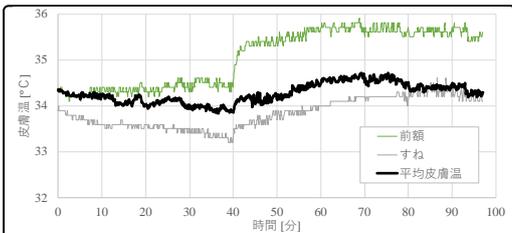


図1 皮膚温の時刻歴波形

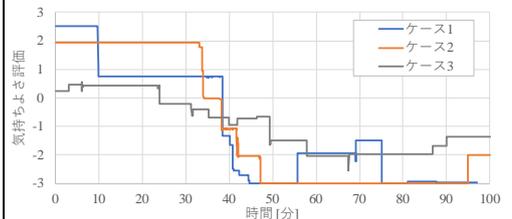


図2 気持ちよさ評価の時刻歴波形

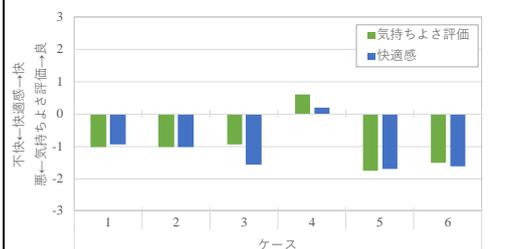


図3 気持ちよさ評価の100分間平均値