

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32618

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25650159

研究課題名(和文)被服内気流の観測方法に関する研究

研究課題名(英文)A study on the observation method of airflow velocity in clothing

研究代表者

山崎 和彦 (Yamasaki, Kazuhiko)

実践女子大学・生活科学部・教授

研究者番号：00145161

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の第一の目的は、被服内気流の観察方法を確立することであった。タフト法、熱線式風速計、超音波風速計、サーモグラフィー等を用いて観測を行った。最終的に、熱線式風速計を、長さ63ミリ、直径30ミリの樹脂製筒内に固定した装置を採用した。

第二の目的は、マネキンや被験者を用いて、被服内気流と被服類、外気流、気温、体表面温、姿勢、動作等の条件との関係について観察することであった。被服内気流は胸部において最も高く、約0.4m/秒となった。また、室温23より18の方が、多くの条件において高くなった。身体動作頻度を漸増させると被服内気流も増大した。

研究成果の概要(英文)：The first purpose of this study was to establish the observation method of the airflow velocity in clothing (hereafter AVC). The AVC was observed using tuft method, hot wire anemometer, supersonic wave anemometer, thermography, etc. Finally, we adopted the hot wire anemometer fixed within resin cylinder of 30 mm inside diameter by 63 mm in length.

The second purpose was to observe the relationships between the AVC and the various conditions such as clothing, surrounding wind velocity, room temperature, body surface temperature, posture, body motion, etc. using the manikin or human subjects. The AVC at the chest area was about 0.4m/sec, it tended to be highest in all areas. The AVC was higher in 18 degrees centigrade condition than in 23 degrees one in most cases. The gradual increase of frequency of the body motion was accompanied by the increase of the AVC.

研究分野：生理人類学

キーワード：被服内気流 熱線式風速計 被服内気候 煙突効果 ポンピング効果

### 1. 研究開始当初の背景

被服内気候の形成に被服内気流あるいは被服内換気が関わっており、煙突効果、あんどん効果、ポンピング効果（ふいご効果）等が知られている（例えば①、②、③、④）。しかしこれらは熱移動に主眼を置くものであり、気流そのものが実測されることはない。また、実際に流速を測定した報告例はわずかである（⑤、⑥、⑦）。なお、これらの研究ではセンサに嵩があるため、日常においてみられる様々な衣服着用条件に適用できるものではない。

人体は発熱体であるから、皮膚表面付近には絶えず上昇気流が生じており、衣服着用、動作、外気流等の影響を受けて、流れの方向や流速は変化している筈である。

被服内気流は被服内気候を構成する要素であるが、これまでもっぱら概念として説明され、数値として捉える試みは僅かであった。したがって本研究は、被服内気候の研究領域における新しい試みである。

### 2. 研究の目的

被服内気候を形成する三大要素は、温度、湿度、気流である。温度と湿度の測定は容易であるが、被服内の微小空間において気流を測定することは困難である。しかし、空気の被服内への取り込み、被服からの流出、被服内での移動といった現象は実際に生じているため、被服内気流を測定することができれば、被服内気候を形成する仕組みの解明に大いに寄与するであろう。

本研究の第一の目的は、被服内気流を観察する方法について確立することである。方法は多様である。可視化技術の導入、タフト法による観察、温度変化や圧変化を通じた間接的観察、風速計による直接的観察等が考えられる。そこで、こうした各種方法の測定精度や特性について評価し、最適の観察方法を確立したい。

第二の目的は、確立された被服内気流の観察方法を、微小空間を模したモデル、マネキン、生体等に適用し、各種の異なる衣類、表面温、室温、外気流、姿勢、動作その他の各種条件を組み合わせたときの被服内気流の様子について観察することであった。

### 3. 研究の方法

#### (1) 被服内気流の観察方法

タフト法、熱線式風速計、超音波風速計、差圧センサ、サーモグラフィー等の多様な装置を、自作したモデル、ビニルで作成した透明な衣服を着用させたマネキン、生体等に適用し、測定精度および使い勝手について検討した。

なお、各種の外気流条件を与えるために、弱風型送風装置、および、強風型送風装置を準備した。実験環境における風速分布特性については、三次元超音波風速計を用いて評価した。

図1は、透明な衣服（ワンピース型）を着用したマネキンの風速測定部位について示したものである。

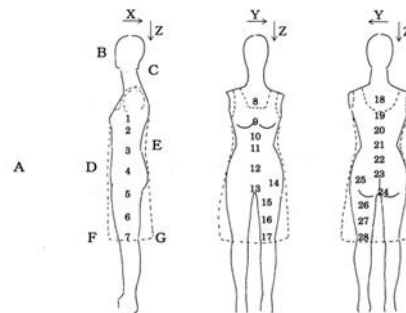


図1 マネキンの風速測定部位  
(A～G：外気流測定部位)

#### (2) 樹脂製マネキンによる実験

空洞となった樹脂製のマネキンを利用し、その内部に異なる温度の水を満たすことによりマネキンの表面温度を変化させ、衣類着用時および非着用時における、体表面付近の空気の流速について観察した。

#### (3) 衣服製作用マネキンによる実験

衣服製作用のマネキンに各種の衣類を着用させ、異なる外気流に暴露した時の衣服内各部の流速について測定した。衣類着用条件は、軽装（ショーツ、Tシャツ、短パン）を基準とし、スカートAは基準+冬用スカート、ワークシャツ、スカートBは前条件+フリースジャケット、スカートCは前条件+ダウンコート、帽子、ズボンAは軽装+長ズボン、ワークシャツ、ズボンBは前条件+フリースジャケット、ズボンCは前条件+ダウンコート、帽子とした。

#### (4) 人体による実験その1

成人女子4名を被験者とした。各種の衣類を着用させ、安静と作業、および外気流の有無といった条件を組み合わせた時の、被服内気流および被服内気候の推移について観察した。

#### (5) 人体による実験その2

成人女子8名を被験者とした。薄手のニット素材によるシャツおよびスパッツを着用した状態を皮膚面とみなし、身体各部に風速センサを固定し、さらに雨衣を着用させ、座位や立位での静止状態の保持、あるいは作業頻度が漸増する律動的動作を行わせた。

### 4. 研究成果

#### (1) 被服内気流の観察方法

タフト法は気流の方向を捉える上で有効であるが、静電気の影響を受けやすく、これの利用には制約があった。各種方法について比較した結果、超小型の熱線式風速計を利用することにした。なお、3種の風速計（米国製の単方向型および双方向型、国産の双方向

型) の特性について把握し、いずれも、長さ 63 ミリ、直径 30 ミリの樹脂製筒内に固定して使用することとした(図2)。

表1に、透明な衣服を着用したマネキンにおける被服内気流の測定結果の一例を示す。正面方向から吹く、風速 4.4m/秒の外気流に暴露したとき、被服内の一部には 1m/秒を越える気流が生じていることが分かる。



図2 米国製単方向型風速計を樹脂製円筒内に組み込んだ様子

表1 マネキンによる被服内気流の例

	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
A	4.40	0.28	-0.47	1	0.61	1.50	8	-1.50	1.26
B	3.77	-0.47	-2.04	2	-0.09	-0.31	9	0.46	-0.13
C	2.14	0.75	0.02	3	-1.12	1.02	10	0.11	-0.36
D	1.75	-2.06	-1.82	4	0.27	0.30	11	-0.09	-0.35
E	-0.24	0.39	0.23	5	-0.11	1.08	12	-0.11	-0.41
F	4.74	-2.86	-0.54	6	0.04	0.38	13	-0.05	0.07
G	-0.43	-0.10	1.79	7	-0.13	0.90	14	0.27	0.09
							15	0.11	-0.42
							16	-0.02	-0.94
							17	-0.54	-1.12

### (2) 樹脂製マネキンによる実験

図3に主な結果を示す。表面温が高いほど流速も高くなった。また、胸部および背部共に、条件「衣」の方が条件「裸」より流速が高くなった。これは衣類による隔壁効果の為であろう。人体においては体表面温度は平均すると 31℃ほどであるから、0.1~0.2m/s ほどの上昇気流が生じていることになる。

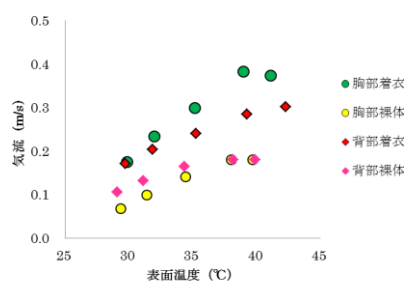


図3 マネキン表面温度と流速の関係

### (3) 衣服製作用マネキンによる実験

図4に胸部および鼠径部における測定結果を示す。共にマイナス側に値が集中しており、身体上部から下部へ向かう衣服内気流が生じたことを意味する。

外気流速が高まるにつれ、被服内気流も増加した。ただし外気流速 3m/s を越えると低下した。これは風圧により衣服素材がマネキン身体に密着し、被服内気流の経路が狭まったためと推察する。このことより、我々が強風下で寒さを感じる時、それは衣服内気流

が増えるためではなく、手や顔をはじめとする露出部における冷却効果が高まるためといえる。

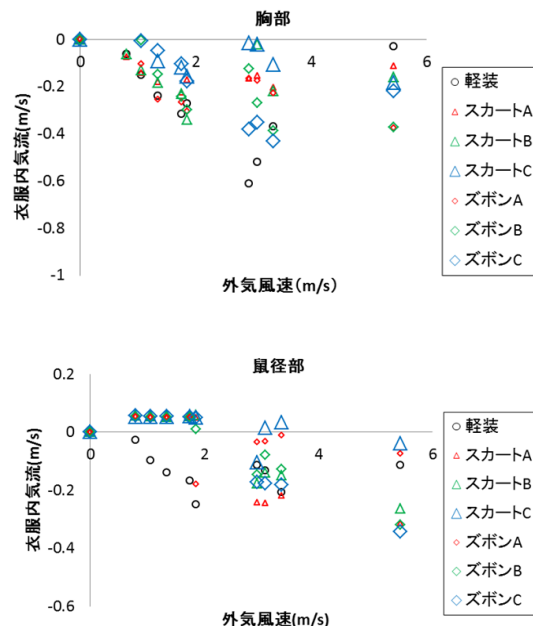


図4 異なる外気流に暴露した時の被服内気流 (上: 胸部、下: 鼠径部)

### (4) 人体による実験その1

図5に主な結果を示す。人工気候室は気温 20℃、相対湿度 30%に制御した。外気流は 1.85m/s であった。条件の流れは、無風にて座位安静 (5分)、有風にて立位安静・コート閉鎖 (5分)、有風にて立位安静・コート開放 (4分)、無風にて座位安静 (7分)、有風にて立位作業・コート開放 (5分)、有風にて

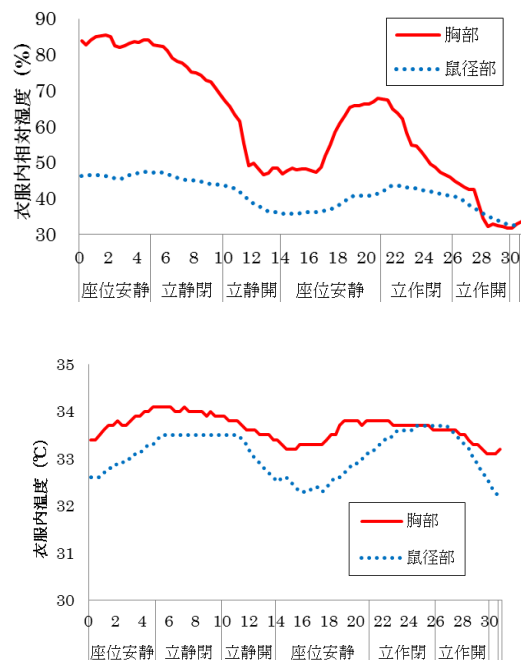


図5 外気流の衣服内気候への影響 (上: 相対湿度、下: 気温)

立位作業・コート閉鎖（5分）とした。

胸部は鼠径部に比べ、相対湿度の水準および変化度が大きい。有風条件により、鼠径部より胸部において、低湿の空気が多く流入したことが分かる。被服内気流は外気流の影響を受け難く、0.1~0.2m/秒であった。衣服内気候の形成に外気の流入が関わっていることは事実であるが、ニット素材が主体となる服装では、生地面を通過する成分が大きく、皮膚面付近における流速値は二義的といえるようである。

#### (5) 人体による実験その2

人工気候室は相対湿度50%一定とし、気温は18℃および23℃とした。条件の流れは、CE→OE1→E10→E15→E23→E30→OE2→CS→OS1→S20→S30→S46→S60→OS2とした。記号等の意味は次の通りである。C:雨衣の開口部を閉鎖、O:雨衣の開口部を開放、E:自転車エルゴメータ上での静止または回転作業であり10~30は、1分当たりのペダル回転数、S:平面での立位あるいは足踏み作業であり、S20~S60は、1分当たりのステップ数、OE1とOE2:自転車エルゴメータ作業の前と後(腰掛けた状態、雨衣開放)、OS1とOS2:その場足踏み作業の前と後(立位状態、雨衣開放)。なお、個々の条件の長さは2分とした。

図6は胸部被服内気流について比較したものである。ここでは作業を伴わないので煙突効果のみ比較することができる。気温18℃の方が23℃より有意に大となった(危険率5%および1%未満)。

図7はポンピング効果について比較したものである。作業頻度が増すにつれ、開口部へ向けて衣服内気流が流出した。

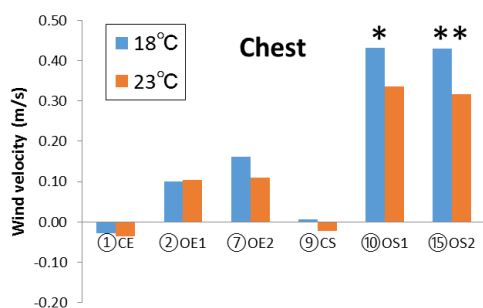


図6 胸部における煙突効果の比較

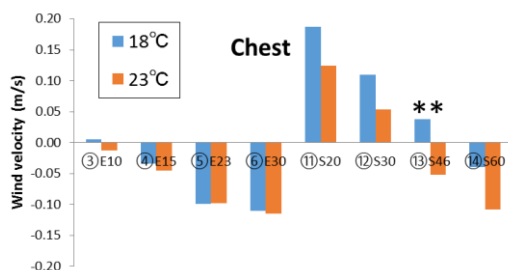


図7 胸部におけるポンピング効果の比較

#### <引用文献>

①久慈るみ子、吉野博、Larry G. Berglund、小林仁、衣服内空気流動の測定法に関する研究、サーマルマネキンを用いた衣服内換気量のトレーサーガスによる測定、日本建築学会東北支部研究会要旨集、2000、313-316。

②薩本 弥生ら、Bellows action (ふいご作用)の着衣の放熱性能への影響 第一報 衣服下間隙寸法と通気性の効果、繊維学会誌、56(11)、2000、524-536

③薩本 弥生ら、着衣の熱移動性や換気性能に素材の物性やデザイン性がおよぼす効果、第37回人間環境系シンポジウム要旨集、2013、101-104

④上田 博之、レインウェア背部ベンチレーションが部位別衣服換気量に及ぼす影響、大阪信愛女学院短期大学紀要、第38号、2004、43-49

⑤山田 晃也、九次米 正弘、身体各部位における衣服内気流の速度の相違、繊維機械学会誌、56(6)、2003、49-55

⑥山田 晃也、九次米 正弘、衣服内空気層断面における気流の速度分布、繊維機械学会誌、56(8)、2003、58-65

⑦山田晃也ら、衣服内気流の様相、直立安静時の発生状況、繊維機械学会誌、58(9)、2005、328-334

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①山崎 和彦、鳥山 菜穂、大久保 千穂、前田 亜紀子、実践女子大学生生活科学部紀要、第52号、2015、109-114

[学会発表] (計6件)

①鳥山 菜穂、永倉 由貴、前田 亜紀子、山崎和彦、衣服内気流に及ぼす煙突効果とポンピング効果、平成27年度日本生理人類学会研究奨励発表会、2015年12月19日、千葉工業大学(千葉市)

②Kazuhiko YAMASAKI、Naho TORIYAMA、Yuki NAGAKURA、Akiko MAEDA、The Influences of Chimney Effect and Pumping Effect on the Airflow Velocity in Clothing, 12th International Congress of Physiological Anthropology, 29 October 2015, Tokyo Bay Makuhari (Chiba)

③鳥山 菜穂、酒井 絵里佳、大久保 千穂、前田 亜紀子、山崎 和彦、衣服内気流と煙

突効果、2014年11月1日、日本生理人類学会第71回大会、神戸大学(神戸市)

④鳥山 菜穂、加古 愛莉、酒井 絵里佳、廣澤 夏実、大久保 千穂、前田 亜紀子、山崎 和彦、風が衣服内の気候および気流に及ぼす影響、2014年6月21日、日本生理人類学会第70回大会、九州大学(福岡市)

⑤山崎 和彦、小笠原 寧、三上 祐里瑛、大久保 千穂、前田 亜紀子、衣服内気流に関する基礎的研究、2013年10月27日、日本生理人類学会第69回大会、金沢大学(金沢市)

⑥ Yamasaki, K., Asai, Y., Okubo, C., Maeda, A. A study on the observation method of airflow within clothes, 11th International Congress of Physiological Anthropology, 9 August 2013, The Banff Centre, Alberta(Canada)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎和彦 (YAMASAKI, Kazuhiko)  
実践女子大学・生活科学部・教授  
研究者番号：00145161

### (2) 研究分担者

前田 亜紀子 (MAEDA, Akiko)  
群馬大学・教育学部・准教授  
研究者番号：00266692