

# 衣服内気流の観察方法に関する基礎的研究

山崎和彦\*・鳥山菜穂\*・大久保千穂\*・前田亜紀子\*\*

\* 生活環境学科 生理人類学研究室 \*\* 群馬大学 教育学部

## A Basic study on the observation method of airflow within clothes

Kazuhiko YAMASAKI, Naho TORIYAMA, Chiho OKUBO and Akiko MAEDA

\*Department of Human Environmental Sciences, Jissen Women's University \*\*Faculty of Education Gunma University

Key words : airflow within clothes (衣服内気流), hot wire anemometer (熱線式風速計), tuft method (タフト法), supersonic wave anemometer (超音波風速計), blower (送風機)

### 1. はじめに

衣服内気流あるいは衣服内換気については、エスキモー服における「煙突効果」、スカート着用時における「あんどん効果」、動作に伴う「ポンピング効果」あるいは「ふいご作用」等が知られている（例えば、山崎、1994；薩本ら、2000；薩本ら、2013）。しかし、実際に流速を測定した研究者および報告は限られる（例えば、山田と久米次、2003a；山田と久米次、2003b；山田ら、2005）。

筆者らの研究グループは、風が衣服内気候に及ぼす効果について研究している（例えば、前田ら、2013）。今後、衣服内気流の測定と併せて風の温熱効果について検討を進める予定であり、実験環境を整える必要がある。そこで、我々が検討した基礎的事項、すなわち送風装置の特性、タフト法、各種風速センサの特性について報告する。

### 2. 送風装置の特性

#### 2-1. 概要

風向については、風が人体正面に向かって吹く場合を+X、その逆を-X、右側から吹く場合を+Y、その逆を-Y、下から上に向かって吹く場合を+Z、その逆を-Zと定める。

衣服内気流に関する実験に際しては、無風条件に加え、微風から強風にわたる各種風速条件を設定する必要がある。本学は風洞装置を備えていないため、これに代わる方策が必要とされる。台車の上に測定対象物

を設置して廊下を移動し、その速度を正確に測定することにより、層流の各種風速を与えることができる。電動ファンを使用し、距離を調節することにより、風速が異なる乱流を与えることになる。電動ファンを用いた2種方法の概要について以下に述べる。

なお、風速測定では超音波風速計2種を使用した。ひとつはKaigo製、WA-390（以下、風速計①）、他のひとつはField Pro製、Wind Master II（以下、風速計②）である。風速計①はセンサ部が小型のため細分化された区画の測定に向く。測定可能な風速の上限は10m/sである。風速計②は45m/sまで測定可能である。出力値はデータロガー（日置製、LR8410とLR8510）を用いて5Hzで取り込んだ。

#### 2-2. 弱風用送風装置

4台の送風機（コンボジット製、直径33cm、最大55W）を、高さ143×幅67×奥行22cmの棚に縦に並べ、人工気候室内に設置した。この部屋の内寸は天井高2.55×幅4.91×奥行5.31mであり、ファンを側方から見た中心線と壁との距離を1.22mとした（図1）。

風速分布の測定箇所は、X方向（ファンを側方からみた中心線との距離）については60cm間隔で300cmまで、Y方向についてはファンの回転中心を通る垂線を「中心」とし、さらに左右に15cm離れた箇所とした。Z方向については、床面高30cmから15cm間隔で180cmまでとした。ファンは「強」に設定し、風速計①により評価した。

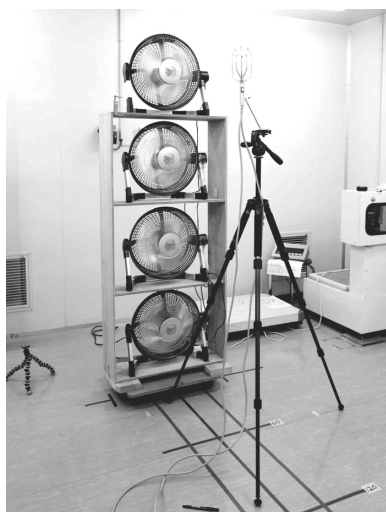


図1 弱風用送風装置

表1に距離240cm地点のX方向における風速分布を示す。全体の平均値は1.06m/sとなった。図2にファンからの距離とX方向の平均風速との関係を示す。距離60cm地点における値を除外した、4カ所に基づく距離（x、cm）と平均風速（y、m/sec）との関係式は次の通りである。

$$y=0.00001x^2-0.0097x+2.76$$

表1 距離240cmにおける風速分布  
(単位：m/sec)

	左15cm	中心	右15cm	左右平均
180	0.52	0.73	0.75	0.67
165	0.84	0.96	1.01	0.93
150	0.96	1.19	1.02	1.06
135	0.93	1.09	1.35	1.12
床面高				
120	0.65	1.16	1.47	1.09
(cm)				
105	0.66	1.11	1.28	1.02
90	0.66	1.05	1.30	1.00
75	0.71	1.02	1.07	0.94
60	0.84	1.14	0.91	0.97
45	1.20	1.40	1.41	1.34
30	1.28	1.59	1.61	1.49
上下平均	0.84	1.13	1.20	1.06

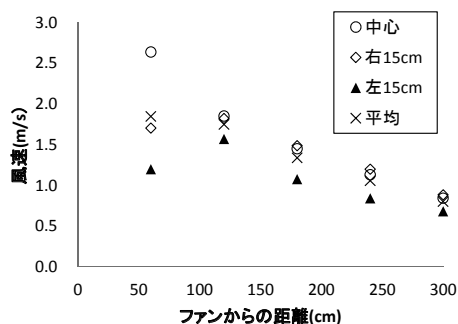


図2 ファンからの距離と平均風速の関係

### 2-3. 強風用送風装置

本学の本館東南棟3階の廊下東端に、送風機（サンキテクノス製、LR-523、5枚翼、直径500mm、三相200V、3.7kW、吐出風速25m/s、風量280m<sup>3</sup>/分）1台を中央部へ向けて設置した（図3）。なおファンの回転軸高は床面に対し0.90m、吐出口前面と廊下端との距離を2.18mとした。東南棟廊下の内寸は高さ2.56×幅1.96×長さ46.5mであり、幅2.75mの中央廊下に接する。その先には、ほぼ同寸の西南棟廊下が東南棟廊下に対し南側に5度折れて接している。両廊下の東西端においては、共に北方向に向け、上下階に連絡する階段が連なる。



図3 廊下に設置した送風機

風速分布の測定箇所は、X方向（送風機の吐出口からの距離）については7、10、12.5、15、20、25、30、35、40、45mとした。Y方向についてはファンの回転中心に相当する垂線を「中心」とし、それから左右

に 20cm 離れた箇所とした。Z 方向については床面高 30、60、90、120、150、180cm とした。なお YZ 面における風速分布について、距離 7 および 10m において風速計①を使用し、また、2 種床面高 (90cm および 120cm) での異なる距離における風速については風速計②を使用した。なお両者の測定は日を変えて実施した。

表 2 に距離 7m および 10m 地点における YZ 面における風速分布を示す。風速は左 20cm および床面高 120cm において最も高くなった。図 4 に送風機からの距離と床面高 90cm および 120cm における 3 軸方向の風速との関係について示す。送風機からの距離 20m までは、風速は距離に応じて低下したが、距離がそれ以上になると、ほぼ一定となった。図 5 に X 方向における記録例 (5 秒間における風速変動) を示す。距離 20m 以上では変動は小さい。

表 2 距離 7m および 10m における風速分布  
(単位: m/sec)

		左20cm	中心	右20cm	左右平均
距離7m	180	4.68	4.62	3.15	4.15
	150	6.94	6.47	3.38	5.60
	120	6.94	6.91	6.20	6.68
	90	6.61	6.35	4.40	5.79
	60	5.03	5.28	3.89	4.73
	30	2.20	2.93	1.70	2.28
上下平均		5.40	5.43	3.79	4.87
距離10m	180	4.13	3.91	2.79	3.61
	150	3.70	3.73	2.76	3.40
	120	4.39	4.43	3.02	3.94
	90	4.03	3.41	2.51	3.32
	60	2.69	2.39	2.13	2.40
	30	1.85	2.22	1.99	2.02
上下平均		3.46	3.35	2.53	3.12

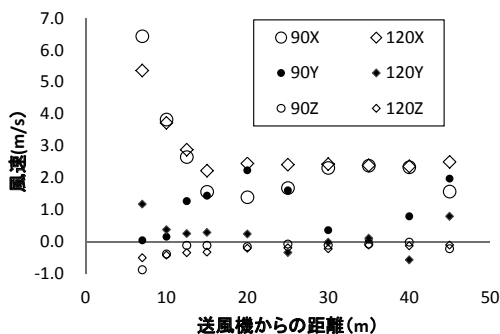


図 4 送風機からの距離と風速の関係

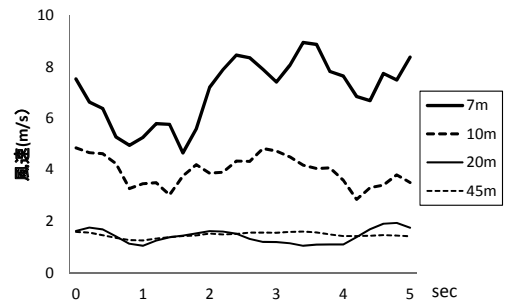


図 5 異なる距離における風速の変動

### 3. タフト法

#### 3-1. タフトの製作

一边が 80mm の正三角形を形成するよう、合板の周囲にピンを固定し、ポリエステル製の細手の縫い糸を二重に交叉させて張り巡らした。次に、押しピンの針を上向きにして交点に配置し、ピンの根元部と糸を接着剤で留め、交点の中央部で切断し、長さ 40mm の 12 本の糸が周囲に広がるピンを多数得た (図 6)。

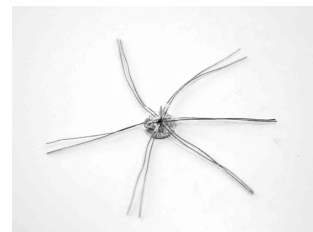
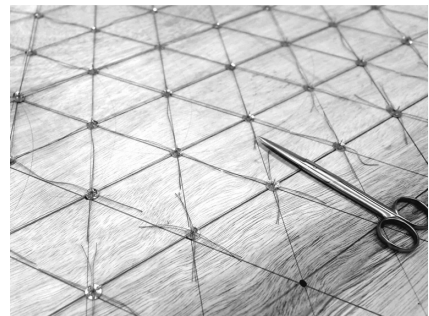


図 6 タフトの制作過程 (上) および完成品 (下)

#### 3-2. タフト法による観察

マネキン (三菱レーヨン製、女性 9 号) に、塩化ビニル (厚さ 0.2mm) を用いて制作したワンピース型衣

類を着用させ、マネキン各所に上記のピンを留めた。廊下に設置した送風機により各種の風速条件下に暴露し、タフトの動きを観察した（図7）。タフトの動きから、風向を知ることができた。

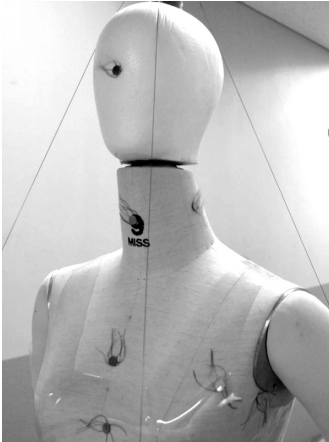


図7 タフト法による観察例

#### 4. 各種風速センサの特性

##### 4-1. 概要

小型の熱線式風速センサ3種すなわち① Degree 製、UAS1000、② Degree 製、AVS1000、③ Beatrix 製、BS-02S を使用した。①は無方向型、②と③は双方向型である。これらのセンサを樹脂製の円筒（内径30mm、長さ64mm）の内部に組み込んだ。なお、台車に乗せて廊下を移動する方法により、円筒内にセンサを組み込んだ状態とむき出しの状態を比較した結果、両者の特性は同様であった。

##### 4-2. センサの較正

熱線式風速センサは、気流の向き、すなわち鉛直方向と水平方向では特性が異なる。そこで誤差を減らすため、センサを組み込んだ円筒に標識を付け、上下移動や水平移動に際し、円筒の向きを固定した。

実験室の天井高は3.60mである。そこでこの長さの角材に10cm間隔でシールを貼り、垂直または水平に設置した。メトロノーム音（60拍/分）に合わせ、手動により一定速度となるようセンサを移動して気流を与えた。なお視認性を高めるため、20～60cm間隔で色彩およびサイズが異なるシールを貼った。上下移

動に際しては、センサを組み込んだ円筒が常に垂直を保持するように工夫し、竿の先に取り付けた（図8）。

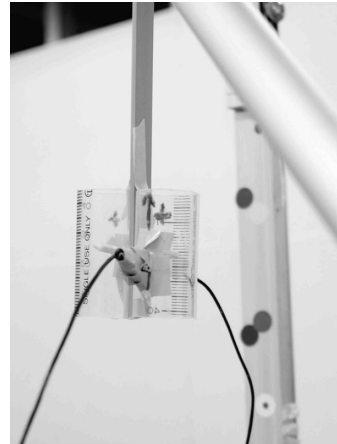


図8 較正の様子（垂直に移動）

図9に較正した結果の一例を示す。これは双方向型のセンサ③のひとつを上下に移動させた結果であり、風向は出力値が正なら+Z、負なら-Zであることを示している。

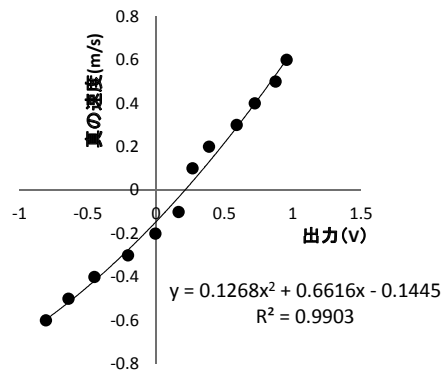


図9 双方向型センサ③の上下移動による較正の例

##### 4-3. 指向特性

風速センサを円筒内に組み込むことによりセンサには指向性が生じる。そこで台車の先端部に角材を水平に設置し、これにセンサを取り付けて移動することによりその評価を行った。なお、円筒の長軸方向が進行方向と同じであるときを0度とし、90度まで15度ずつ変化させた7条件について測定した。

結果の一例を図 10 に示す。これは無方向型であるセンサ①について測定したものである。円筒の長軸方向に対し 45 度以内であれば、ほぼ同一の感度となることが分かる。なお双方向センサ②および③においても同様の結果となった。

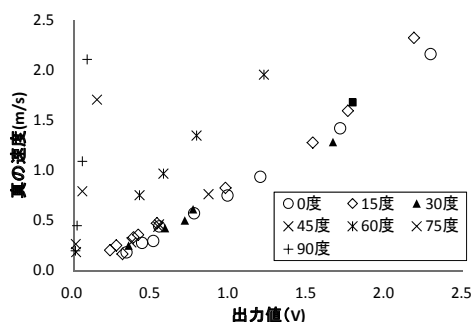


図 10 風速センサ①の指向特性

#### 4-4. マネキンに適用した結果の紹介

マネキン（三菱製、女性 9 号）に対し、センサを組み込んである円筒の長軸方向が体軸に沿うように設置した。そして上述の送風装置 2 種を用いて、マネキン正面に対し各種の風速を与えた。

マネキンには 7 種の衣類を着用させた。略号と衣服の組み合わせは以下の通りである。軽装：ショーツ、Tシャツ、短パン。スカート A：前条件+冬用スカート、ワークシャツ。スカート B：前条件+フリースジャケット。スカート C：前条件+ダウンコート、帽子。ズボン A：軽装+長ズボン、ワークシャツ。ズボン B：前条件+フリースジャケット。ズボン C：前条件+ダウンコート、帽子。

図 11 に結果の一部を示す。これはセンサ②で測定した胸部および鼠径部における風速を示す。縦軸はマイナス値としてあり、気流が上から下に向かっていったことを意味する。

外気風速が高まるにつれ、衣服内気流も増加した。当然ながら軽装において、また、鼠径部より胸部の方が外気の影響を受け易いことが分かる。胸部において、外気風速が 2.5m/s 以下であるとき、衣服内気流は外気の風速に比例するように増大するが、それ以上になると、両者の関係が乱れる。

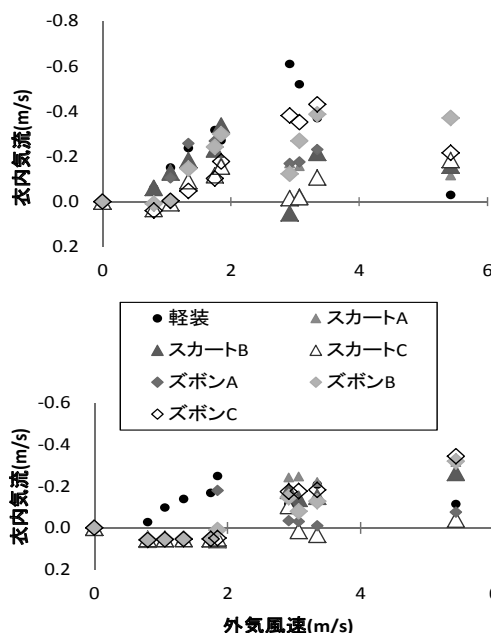


図 11 外気風速と衣服内気流の関係  
(上：胸部、下：鼠径部)

#### 5. まとめ

風の人体影響について実験を行うには、大型の風洞装置を使用することが望ましい。しかしこれの設置や借用が容易ではない場合、各種の送風装置を利用して風を発生させることとなり、併せて装置の性能や特性等について把握する必要がある。

本学廊下に送風機を設置した際、送風機からの距離 10m までの風の様子については既に報告しているが（山崎ら、2013）、今回、距離を延長して検討した。距離 15m では 20m より風速が低く、また距離 20m での 90cm 高では強い Y 方向成分が認め、また 20m 以上において風速は一定化した（図 4）。これらのことから、送風機がもたらす風は距離に応じて減衰するのではなく、廊下の構造と送風機の特性と組み合わせにより、特異的な現象が生じ得ることが推察される。

層流と乱流では気流感、温熱効果、衣服内気流等における効果が異なる。また風速分布は均一であることが望ましい。しかし送風装置を設置しただけの構造では、こうした要素を制御することは困難である。したがって今後、実験条件ごとに風速、その分布、乱流度

等について把握する必要がある。

タフト法は気流の方向について容易に把握できるが、次の問題がある。すなわち、①衣服内について観察するにはファイバースコープの類が必要とされる。②人体にはピン留めではない方式が必要とされる。③風速の測定は困難である。④微弱な気流に対する感度が悪い。⑤タフトの動きは静電気による影響を受け易い。これらの問題が解決されると、光学的技術のみで衣服内気流について評価する道が拓かれる。今後しばらく検討を続けたい。

我々は風速センサを内径 30mm の樹脂製の円筒内に組み込んだ。衣服着用の際、これほどの間隙を有する部位は希であるから、こうしたセンサを装着することにより本来の衣服着用様式が乱されることになる。従って、さらなる小型化と共に、適切な装着部位について併せて検討して行きたい。

## 謝辞

本研究は科研費（挑戦的萌芽研究2565059）による。

## 引用文献

---

- 前田亜紀子ら（2013）：風雨の体温調節に及ぼす影響、日本生理人類学会第 69 回大会要旨集、76-77
- 薩本弥生ら（2000）：Bellows action（ふいご作用）の着衣の放熱性能への影響 第 1 報 衣服下間隙寸法と通気性の効果、繊維学会誌、56（11）、524-536
- 薩本弥生ら（2013）：着衣の熱移動性や換気性能に素材の物性やデザインがおよぼす効果、第 37 回人間環境系シンポジウム要旨集、101-104
- 山田晃也と久次米正宏（2003a）：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）、49-55
- 山田晃也と久次米正弘（2003b）：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）、58-65
- 山田晃ら（2005）：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）、328-334
- 山崎和彦（1994）：衣服科学、37-38、朝倉書店
- 山崎和彦ら（2013）：風の効果について実験するための送風機特性、実践女子大学生活科学部紀要、第 50 号、187-190