

||||| 特集 2 : 航空機による学生無重力実験コンテスト |||||
(解説)

重力変動に伴う衣服内水分移動挙動と形状変化

小川 芽久美¹・久保 響子¹・倉田 育枝²・成田 千恵²・多屋 淑子¹

The Distribution of Humidity inside of Clothing Environment and the Materials Movement for Clothes in Changing Gravity

Megumi OGAWA¹, Kyoko KUBO¹, Ikue KURATA²,
Chie NARITA² and Yoshiko TAYA¹

Abstract

In the near future, on the assumption that human beings will live in space, it is necessary for us to develop new technologies which make living in space much more comfortable, convenient, and enjoyable. The crews who have some different cultures work together for a long duration in the closed environment in space, so daily clothing has a very powerful effect both physically and mentally for our well being. As clothing has never developed for microgravity in the spacecraft, it could be very useful to develop such daily clothing to life in space for astronauts and space tourists.

In this study, we tried to observe a change of form of clothing materials. In addition, it was measured continually air temperature and humidity inside of clothing environment, skin temperature and heart rate in changing gravity conditions utilizing parabolic flight in the airplane. As a result, it is shown that the materials movement for clothes is related to physical properties of materials. And then, changing the shapes of clothes has an effect on the distribution of humidity inside of clothing environment.

1. はじめに

近い将来、人類が宇宙で生活することを想定すると、国際宇宙ステーション (ISS) を快適な生活空間にするための生活関連の技術開発が必要であると考えられる。宇宙機内は微小重力下の閉鎖空間であり、その中で長期間、異なった文化を持つ人が共同生活することを考えると、心と体の健康維持管理に対して衣服の役割は非常に大きいであろう。これまでスペースシャトルや ISS のミッション中に着用する衣服は、地上での衣服が用いられており、現在、微小重力環境に適した衣服の開発は米国でも行われていないようである。

このような状況下、日本女子大学多屋は、着心地を考慮した新しい機能を持つ衣服の開発の早期必要性から、平成13年度より FS (フィジビリティスタディ)^{注)}を行っている。具体的には、宇宙飛行士への衣服に関する調査を行う

ことにより ISS 内での衣服に対する要求項目を抽出し、平成14・15年度は下着用素材の検討・開発を行い、宇宙飛行士による着用評価を行っている。

本研究をさらに推進するため、航空機のパラボリックフライトによって生じる重力変化を利用した実験を行うことにより、地上実験では不可能である微小重力環境下の衣服材料と衣服デザインの最適化のための基礎データを採取し、主として宇宙飛行士の要求が高かった衣服の温熱的な着心地を検証することを目的として、平成17年3月1日～3月3日、航空機 G-II (ダイヤモンドエアサービス所有) 機内にて、モデル及び被験者を用いた2種類の実験を実施した。

2. 実験方法

2.1 重力変動に伴う衣服素材形状変化の検証 (モデル実験)

(1) 供試試料用素材選定

本実験は、重力変動に伴う衣服材料の変化挙動を検証するために、物性の異なる35種類 (織物29種、編物6種) の

注) 多屋淑子, 利用拡大のための宇宙における衣服の検討—国際宇宙ステーションにおける日常服

1 日本女子大学大学院家政学研究科被服学専攻 〒112-8681 文京区目白台 2-8-1
Division of Clothing, Graduate School of Home Economics, Japan Women's University 2-8-1 Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8681 Japan (E-mail: megumi.ogawa04@gr.jwu.ac.jp)
2 日本女子大学家政学部被服学科 〒112-8681 文京区目白台 2-8-1
Department of CLothing, Faculty of Home Economics, Japan Women's University 2-8-1 Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8681 Japan

Table 1 Physical properties of material samples

		平面重 [g/m ²]	剛軟度 [G]
試料 1	織物	24.3	0.74
試料 2	織物	81.3	1.95
試料 3	編物	193.0	3.36
試料 4	織物	188.3	5.53
試料 5	編物	274.0	4.66
試料 6	織物	305.3	5.44

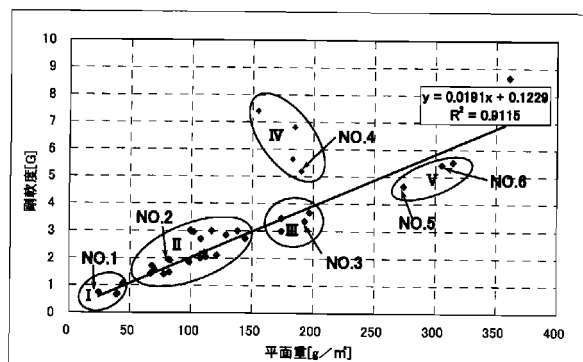


Fig. 1 Relationship between weight and hardness of samples.

衣服素材に関する剛軟度及び平面重の測定値より、相関を示す6種類（織物4種、編物2種）を抽出し、供試試料とした（Table 1, Fig. 1参照）。

(2) 供試試料の作製

JIS規格による織物（編物）の外観特性試験ドレープ法（JIS1096）に準拠し、供試試料の直径を20cmとした。試料は、両面を直径10cmの目盛表示のある工作用紙で挟み、固定には両面テープを用いた。

(3) 実験方法

実験ラック内に設置した供試試料設置台に試料を取り付け、CCDカメラを用いて垂直下方向より撮影した。供試試料は1フライトにつき2種類とし、全3回のフライトにて計6種類の試料についての変形挙動映像を取得した。

2.2 重力変動に伴う衣服内環境水分移動挙動の検証（被験者実験）

(1) 実験条件

航空機のパラボリックフライトによる特殊環境下において、重力場が異なる非定常状態での衣服内の水分移動挙動を分析することを目的とした。航空機内平均温度23℃、平均湿度10%RHの環境下にて、健康な女子学生2名を被験者として実験を行った。

(2) 測定項目

被験者の生体情報として、衣服内温湿度、皮膚温、直腸温、心拍数の測定を行った。衣服内温湿度は、被験者の上腹部1点を測定位置とし、デジタル温湿度センサ（SENSIRON社製）を用いて5秒間隔にて測定し、皮膚温は

Hardy-Duboisの7点法¹⁾に基づき、前額、上腹、前腕、手背、大腿前面、下腿前面、足背においてサーミスタを用いて1秒間隔にて記録した。また、心拍はアクティブトレーサ（アームエレクトロニクス社製）を用いて1秒間隔にて記録を行った。

生体情報計測時の被験者の着衣は、両被験者ともシャツ（綿56.8%、ポリエステル43.2%）、ウインドブレーカー（ナイロン86%、ポリウレタン14%）、パンツ（ナイロン88%、ポリウレタン12%）、下着、靴下とした。靴を除く着衣総重量は、795g（0.78 clo）であった。

(3) 実験手順

被験者は、離陸前より着陸時まで座席に着座しシートベルトを装着し、椅座位安静状態を維持した。計測は離陸直後から着陸までの約2時間45分とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 衣服材料形状変化挙動

本実験にて取得した重力変動に伴う衣服材料の変形挙動映像から静止画像を抽出し、各供試試料のドレープ形状面積の算出を行った。このとき、DVD静止画像用ソフト（DVD2AVI_1.77.3, aviutl99, mcp301）、及び画像処理解析ソフト（NIH image）を使用した。

重力変動に伴う供試試料の変形挙動について、ドレープ性試験用素材の端部が変形して面積を算出できなかった試料3以外についての検討を行ったところ、重力の影響を受けにくいフラット型（試料1, 4）と、重力の影響を受けやすい変化型（試料2, 5, 6）の2種に大別でき、2Gから0Gに重力が変化したとき、ドレープ形状面積では、フラット型の試料で最大6.1%、変化型の試料では、最大25.6%の面積変化が観察された（Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5参照）。

フラット型に分類された試料1・4は三原組織の中で最も強度に富む平織であり、変化型試料はそれぞれ、試料2（5枚3飛び朱子織）、試料5（よこメリアス）、試料6（1/2斜文織）であった。変化型試料の材料構造は、いずれも平織と比較して糸浮きが大きく、一般的に強度が小さい組織であるため、重力変動に伴う衣服材料のドレープ形状変化挙動には、少なからず素材の構造上の特徴が関係していることが示唆された。

また、各供試試料における衣服材料の伸張度は、フラット型平均39.1%、変化型平均180%であり、伸張度の増大に伴い、面積変化率が上昇する傾向が観察された。このことから、重力変動の際に生じる加速度に伴う引張力の素材挙動への影響が推測され、面積変化率と素材の伸張性の関係が示唆される。しかしながら、面積変化率が完全に素材の伸張性に依存しているわけではなく、糸や素材の構造特性、加工条件等にも影響を受けると考えられる。本実験結果に関しては、今後更なる検討が必要であると考える。

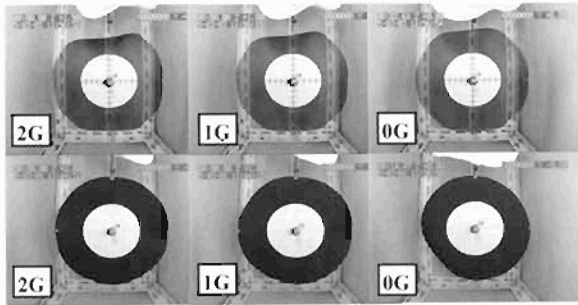


Fig. 2 CCD view of sample (Flat type).

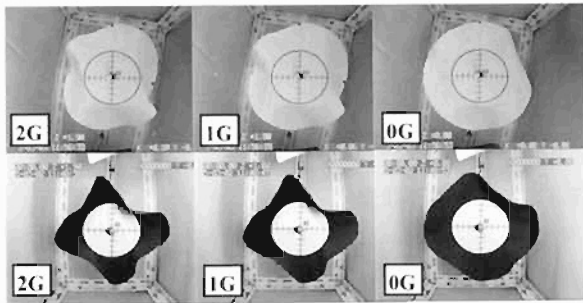


Fig. 3 CCD view of sample (Variance type).

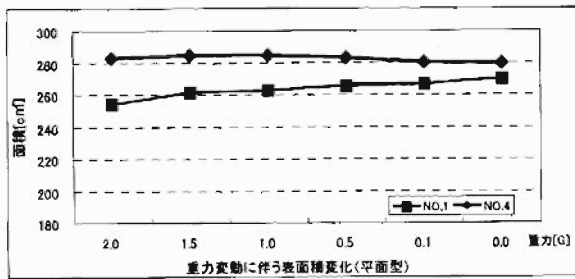


Fig. 4 Changes in surface area of materials (Flat type).

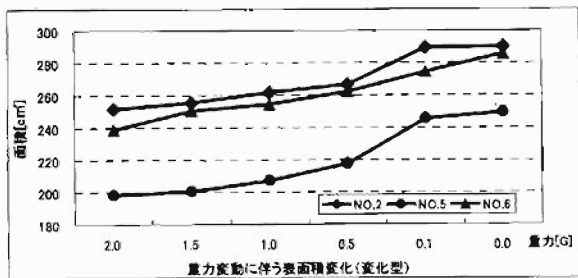


Fig. 5 Changes in surface area of materials (Variance type).

3.2 重力変動に伴う衣服内環境水分移動挙動 (被験者実験)

本実験により、微小重力環境下での衣服材料と衣服デザインの最適化のための基礎データとなる、重力変化に伴う生体情報(衣服内湿度、皮膚温、心拍数)について2名分の有効なデータを取得することができた。

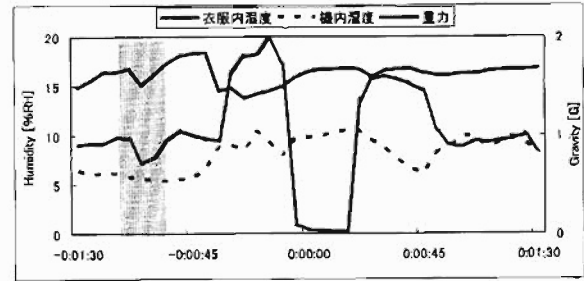
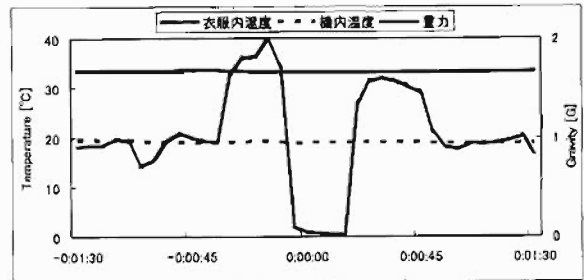


Fig. 6 Air temperature and humidity inside of clothing environment change in changing gravity conditions.

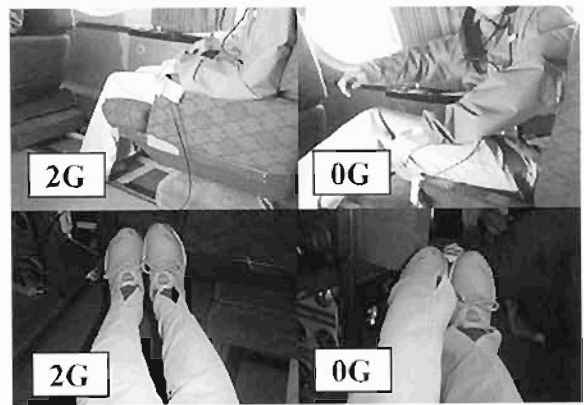


Fig. 7 Transformation of clothing (left: 2 G, right: 0 G).

(1) 衣服内水分移動挙動

実験期間を通じて、被験者の衣服内環境は機内環境とは全く異なる挙動を示しており、両者の間に相関性は見られなかった。そのため、衣服内湿度は外環境の影響をほとんど受けていないと考え、重力変動との検討を行った。

2Gに入る直前の1Gから0.6Gに変化する付近では、衣服内湿度が一時的に低下する現象が両被験者に共通して見られた (Fig. 6 参照)。この時、被験者の衣服内環境では以下のような水分の移動が生じたことが推測できる。

- ①重力低下が生じ、
- ②衣服内水分が上方向にシフトする。(すなわち、衣服内では水分がネックライン付近に集中し、計測部位では湿度が下がる)。
- ③過Gに伴い、ネックライン付近に集中していた水分が元に戻る過程において、計測部位である上腹部では一時的に湿度が上昇する。同時に、被験者の上衣には重力低下に伴う空隙量の増加が観察されたことから、衣服の形状変化に伴う上衣空隙量の増加

による水分分布の変動が、衣服内湿度の低下に関与している可能性が示唆された。

(2) 重力変化に伴う供試衣服挙動

前項では、重力変化に伴う衣服内水分分布の変化の要因として両被験者の着衣形状の変化が影響することが示唆された。Fig. 7に、重力変動に伴う被験者着衣の形状変化を示す。

0Gになると被験者の着衣は、空隙量の上方移動に伴い、衣服全体が反重力方向にシフトし、衣服形状が急激に変化した。特に上衣では、肩部、胸部、背部の空隙量の増加が当初の予想より大きく、0G環境下では被験者の頸部を確認することができなかった。これに関連し、被験者から着衣状態の快適性について「空隙量の増加により衣服形状が変化したことで、眼下の視野が妨げられ、作業がしにくかった」との申告がなされており、衣服の過度なゆとり量は作業効率の低下に繋がり、微小重力環境下には適さないことと考えられた。また、背部空隙量は胸部と比較してその増加量が大きく、これは微小重力環境曝露により被験者の姿勢が前傾に移行したことが原因であると考えられる。以上より、微小重力環境下での安全性、心理的快適性、作業性、また衣服の審美性を考慮すると、微小重力環境に適した衣服には適度な「フィット性」の付与が求められ、また、デザインに関しては、上腕部及び頸部に衣服の上部方向へのシフトを抑える工夫が必要であると考えられる。

また、過重力の状態では、衣服の空隙量の下方移動に伴い衣服全体の重力方向へのシフトが観察され、特に下衣に特に顕著に見られた。モデル実験結果にて最も重力の影響を受けた試料5が下衣の素材として用いられていたことが、衣服の形状変化が顕著に現れた要因ではないかと予測される。以上のことから、重力変動を受けやすい素材は、過重力の影響により、衣服の審美性を損なう原因になり、また衣服重量によっては身体の圧迫にもつながりうるため、過重力環境下(ex:打ち上げ及び帰還時)に着用する衣服素材としては適さないといえよう。

4. まとめ

本研究では、地上実験では不可能である微小重力環境下での衣服材料と衣服デザインの最適化のための基礎データを採取することを目的とし、衣服材料の形状変化挙動の撮影、ならびに衣服の着心地を決定する要因である、衣服内環境、皮膚温、心拍数について、航空機によるパラボリックフライトによって生じる重力変化を利用した実験にて検証した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 衣服材料は、材料の持つ構造特性や物性により重力変動に伴う変化挙動が異なる。
- (2) 重力変化に伴う皮膚温、衣服内温度の大きな変動は観察されなかった。
- (3) 衣服内湿度は、重力変化に伴う被験者の着衣形状の変化(衣服内空気層の体積変化)により変動した。
- (4) 実験中に撮影された被験者の顔面と着用衣服の画像撮影結果より、重力変化時にこれらの形状変化が顕著に観察され、特に着用衣服の重力変化時の形状変化は貴重な情報となった。

以上のことから、微小重力環境に適した衣服設計の際に考慮されるべき要素として、以下の項目が考えられる。

- (1) 重力による生体の変化
- (2) 重力による衣服形状の変化
- (3) 衣服材料の構造特性・物性

これらを検討することにより、微小重力環境での衣服の着心地向上につながる可能性が示された。

また、将来、宇宙空間(μ G)や月面(0.3G)等が生活の場に加わることを想定すると、快適な衣生活支援のために、生活の場や衣服の用途に応じた衣服素材選定が必要になる。本研究テーマは、今後も引き続き検討していきたい。

謝辞

本実験は宇宙航空研究開発機構、日本宇宙フォーラムの援助を受け「第2回航空機を利用した無重力実験コンテスト」の一環として実施されました。航空機実験の実施にあたり、多大なご協力を賜ったダイヤモンドエアサービス株式会社の皆様に深く感謝致します。また、実験に際し、衣服材料や着用衣服を提供くださいました、東レ(株)、(株)ゴールドウィン、CCDカメラを貸与頂きました(株)宇宙航空研究開発機構 宇宙環境利用センターおよび有人宇宙システム(株)に深謝致します。

参考文献

- 1) 大野静枝, 多屋淑子: 被服衛生学, 日本女子大学通信教育課程, (1998).
- 2) 中山昭雄(編): 温熱生理学, 理工学社, (1981).
- 3) 島崎恒蔵(編): 衣服材料の科学, 建帛社, (1999).
- 4) 関口千春: 宇宙医学・生理学, 社会保険出版社, (1998).
- 5) 狼 嘉彰, 中須賀真一, 松永三郎: 宇宙ステーション入門, 東京大学出版社, (2002).
- 6) Ernst Messerschmid, Reinhold Bertrand: Space Stations-System and Utilization-, Springer, (1999).

(2005年12月12日受理)