

# 博 士 学 位 論 文

内容の要旨及び審査結果の要旨

(平成 25 年 3 月授与関係分)

第 18 号

神 戸 女 子 大 学

# は し が き

本誌は、学位規則（平成3年6月3日文部省令第27号）第8条による公表を目的として、平成25年3月18日、本学において博士の学位を授与した者の論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

# 目 次

## 課程修了によるもの（課程博士）

（学位記番号）	（氏名）	（論文題目）	（ページ）
家博甲第 8 号	田原 彩	Application of Cellulose Granule as Food Materials in Bread-Making、and Its New Health-Promoting Functions （製パンへのセルロース粒の利用と新しい機能導入の可能性）	1

## 論文提出によるもの（論文博士）

（学位記番号）	（氏名）	（論文題目）	（ページ）
家博乙第 7 号	石井 与子	環境温・湿度変化から見た吸湿性の異なる肌着着用時の温熱生理反応と衣服気候に関する研究	7

氏名(本籍)	田原 彩(島根県)
学位の種類	博士(食物栄養学)
学位記番号	家博甲第8号
学位授与の年月日	平成25年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 家政学研究科 食物栄養学専攻
論文題目	Application of Cellulose Granules as Food Materials in Bread-Making, and Its New Health-Promoting Functions (製パンへのセルロース粒の利用と新しい機能導入の可能性)
論文審査委員	主査 教授 後藤 昌弘 副査 教授 上田 充夫 副査 教授 置村 康彦

## 論文内容の要旨

### 【背景・目的】

$\beta$ -1,4 結合のセルロースは体内で消化吸収されず、低カロリー食品材料として、あるいは食物繊維源として食品に用いられることが期待される。しかし、単にセルロースを小麦粉にブレンドしても、好ましい製パン性(パン高(mm)、比容積( $\text{cm}^3/\text{g}$ ))を得ることはできず、好ましい製パン性を得るためには、セルロースの形状、サイズと製パン性との関係を検討することが必要であると考えられた。さらに、このセルロースに機能性を与え体内で有効利用できないかと考えた。例えば、セルロース入りのパンを摂取したとき、セルロースが消化管を通過しながら体内の有害物質を吸着し、そのまま体外へ排出する可能性である。セルロースにこのような機能を与えることができるならば、食物繊維源や低カロリー食品材料と同時に人の健康を守る食品材料として、セルロースの利用は大きく広がるであろう。

そこで、セルロースを製パンに利用し、健康に役立つような機能を見出すことを目的に以下のような検討を行った。それは、1) 様々なセルロース粒の形状、サイズと製パン性との関係、2) 炭化セルロース粒の調製とそのカラム法を用いた食用タール色素の吸着、3) 体に悪影響を及ぼすとされるキサンテン系色素(Erythrosine, Phloxine, Rose bengal)の吸着メカニズム、4) 炭化セルロース粒による製パン性の可能性、5) 糞便中と同じ pH6.0~7.0 でのキサンテン系色素の炭化セルロース粒への吸着、である。

## 【方法】

1) 粒子サイズの異なるセルロース粒 (粒径 6-650  $\mu\text{m}$ ) を小麦粉に 10、20%ブレンドして製パン試験を行い、パン高、重量、比容積等からパンを評価する。ミキソグラフ、光学顕微鏡観察、ファーモグラフからパンドウの物性やグルテンマトリックスの評価を行う。2) セルロース粒を 250°C、0~120 分間炭化処理する。炭化セルロース粒表面は SEM (Scanning electron microscope)、FT-IR (Fourier transform infrared)、ESCA (Electron spectroscopy for chemical analysis) により解析する。カラム法により炭化セルロース粒への 12 種類の食用タール色素の吸着試験を行う。色素吸着は SEM-EPMA (Scanning electron microscopy - electron probe micro analysis) で確認する。3) 炭化セルロース粒へのキサントレン系色素の吸着メカニズムは、イオン性 (NaOH, NaCl, KOH, KCl, and sodium dodecyl sulfate (SDS))、非イオン性 (glucose, sucrose, and ethanol)、両親媒性 (SFAE = Sucrose fatty acid ester) 物質の各水溶液に炭化セルロース粒を浸漬後、キサントレン系色素の吸着試験から検討する。4) 炭化セルロース粒の製パン試験は方法 1) と同様に行う。クラスト、クラム中の炭化セルロース粒へのキサントレン系色素吸着は、SEM-EPMA で確認する。5) pH の異なる溶液中での色素吸着を測定する。

## 【結果】

1) 粒径 154  $\mu\text{m}$  以上のセルロース粒を小麦粉に 10%ブレンドしたパンは、小麦粉のみのパン同様の好ましい製パン性を示した。このとき、パンドウ中のグルテンマトリックスに連続性が見られたが、粒径 154  $\mu\text{m}$  以下ではみられなかった。また、ファーモグラフの結果から粒径 154  $\mu\text{m}$  以下ではガス漏洩量が大きかった。これらのことから、好ましい製パン性を得るためには、小麦粉にブレンドするセルロースはその粒径が 154  $\mu\text{m}$  以上必要であることがわかった。

2) カラム法より、250°C、120 分間処理をした炭化セルロース粒表面に 3 種類のキサントレン系色素 (Erythrosine, Rose bengal, Phloxine) の吸着が認められた。ESCA から炭化セルロース粒表面にアミノ基の存在が確認されたことから、この吸着には色素中の陰イオンとの間にイオン性結合が、さらに炭化セルロース粒に SFAE の脂肪酸部位が吸着することから色素中のハロゲン元素との間に疎水性相互作用の関与が推察された。

3) 炭化した場合でも粒径 270  $\mu\text{m}$  以上のセルロース粒は、小麦粉のみのパン同様の好ましい製パン性を与えた。クラスト、クラム中の炭化セルロース粒の色素吸着試験、SEM-EPMA 観察から、パン組織中でもキサントレン系色素の吸着が示唆され、さらに健康な人の糞便と同程度の pH である約 6.6 で本色素の吸着が確認された。

## 【結論】

セルロースを粒子状にし、これを炭化することで好ましい製パン性を有する食物繊維の多い、カロリーの低いパンの製造ができること、同時に人の健康に影響を及ぼす食用タール色素の除去という健康保持に貢献する機能をもつパン製造のできる可能性が見い出された。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、セルロース粒径のちがいが製パン性へおよぼす影響と炭化セルロースによる食用色素吸着作用とそのメカニズム、さらに炭化セルロースが製パン性におよぼす影響と製パン後の色素吸着機能に関する研究を6章に渡って述べたものである。

第1章では、本研究の背景や目的とその成果の可能性に関して説明している。セルロースは非消化性である $\beta$ -1,4結合でつながった純粋なグルコースポリマーであり、エネルギー源にならない食物繊維であることから、低カロリー材料、あるいは食物繊維源として食品に用いられることが期待されていること。一方、セルロースをブレンドしたパンの開発もなされてきたが、単にセルロースを小麦粉にブレンドしても、好ましい製パン性(パン高(mm)、比容積( $\text{cm}^3/\text{g}$ ))を得ることはできなかったこと。セルロースを用いて好ましい製パン性を得ることができれば、食物繊維源として、また食事のエネルギー制限が必要な人々にとって役に立つと考えられること。また、パンとして摂取し体内に入ったセルロースの有効利用として消化管を通過しながら体内の有害物質を吸着し、そのまま体外へ排出する可能性やセルロースにこのような機能を与えることができた場合に、食物繊維源や低カロリー食品材料と同時に人の健康を守る食品材料として利用でき、健康に対して有用な可能性が大きく広がることなどを述べている。

第2章では、セルロースが製パン性に及ぼす影響について、7種類のセルロース粒(6~650 $\mu\text{m}$ )を用いて調査し、製パン試験より、セルロース粒径が154 $\mu\text{m}$ 以上の場合、小麦粉だけのものとほぼ同様の製パン性の得られることを確認している。また、セルロース粒径と製パン性の関係を明らかにするため、650 $\mu\text{m}$ のセルロース粒子を機械的に粉碎し、製パン試験を行い、粉碎時間が長くなるにつれ製パン性の低下することを明らかにした。さらに、セルロース粒子がパン生地であるドウに及ぼす影響をミキソグラフと顕微鏡を用いて検討し、粒径が154 $\mu\text{m}$ 以下のものは、グルテンマトリックスの連続性を阻害していることを明らかにしている。このメカニズムを発酵中に発生するガスを保持できず、結果的に製パン性の低下に繋がったことと推察し、それを証明するため、発酵中にドウから漏れたガス量の測定を行い、粒径154 $\mu\text{m}$ 以上ではドウからのガス漏洩量はほぼ一定値を示したが、154 $\mu\text{m}$ より小さくなるに伴ってガス漏洩量の増加することを確認している。また、このガス漏洩量の結果とパンの比容積の結果は高い相関性のあることを明らかにしている。

以上のことから、セルロース粒径のちがいが製パン性におよぼす影響とそのメカニズムに関して154 $\mu\text{m}$ より小さくなると、セルロース粒がグルテンマトリックスの連続性を阻害し、ガス漏洩量が増加し、結果的に製パン性の低下に繋がったと結論づけている。

第3章では、パンに用いたセルロース粒をさらに有効利用するために、健康に役立つような機能の可能性について検討している。セルロースの非消化性に着目し、体内に入った健康に影響を及ぼすような物質を体外へ排除するために、吸着剤として利用しようとしたものである。

吸着させる物質は見た目に分かりやすいことから食用色素を選択し、特に健康に影響を及ぼすとの報告の多い食用タール色素の吸着試験を行っている。その結果、セルロース粒のままでは色素吸着ができないが、セルロース粒を炭化処理すると3種類の食用タール色素(赤色3号(エリスロシン)、104号(フロキシシン)、105号(ローズベンガル))を吸着することを確認した。また、吸着色素の試薬を用いた場合も、炭化セルロース粒に吸着することを明らかにした。この炭化セルロース粒への色素の吸着は、SEM-EPMA(Scanning electron microscopy-electron probe micro analysis)を用いた分析からも証明している。炭化セルロース粒に色素が吸着した原因を調べるため、ESCA(Electron spectroscopy for chemical analysis)を用いた表面分析を行ったところ、炭化セルロース粒表面にアミノ基のピークを示す吸収が確認され、吸着色素はその構造式から、イオン性とハロゲンを持つキサントレン色素であることから、色素の持つイオン性と、炭化セルロース粒表面のアミノ基とが引き合ったため吸着の起こったことを推察している。

第4章では、炭化セルロース粒へのキサントレン色素吸着のメカニズムについて検討している。第3章で吸着にはイオン性結合の関与を推察したが、吸着しなかった色素の中にはイオン性を持つものもあったことから、イオン性結合以外の関与も考えられ、その結合の可能性として、疎水性相互作用の関与を推察した。これは、吸着色素が共通して持っているハロゲンが疎水性を強める効果を持っているためである。そこで、この吸着メカニズムを明らかにするため、炭化セルロース粒を予めイオン性物質、非イオン性物質、両親媒性物質(ショ糖脂肪酸エステル(SFAE))の各水溶液に浸漬した後、色素吸着試験を行い、その結果、炭化セルロース粒をイオン性物質と両親媒性物質へ浸漬した場合、色素はほとんど炭化セルロース粒に吸着しなかったが、非イオン性物質の場合は炭化セルロース粒への色素吸着が認められている。また、炭化セルロース粒表面の疎水性を確認するため、SFAEを用いた吸着試験を行い、炭化セルロース粒表面の疎水基へのSFAEの吸着が推察され、炭化セルロース粒表面の疎水性を確認している。さらにアシッドレッドのようなハロゲンを持たないキサントレン色素は炭化セルロース粒表面には吸着しないことを明らかにし、ハロゲンを持つエリスロシン、フロキシシン、ローズベンガルのキサントレン色素と炭化セルロース粒に示された疎水基との間の疎水性相互作用が関与することを推察している。以上の結果より、炭化セルロース粒へのキサントレン系色素の吸着のメカニズムは、イオン結合と疎水結合の両結合によることを明らかにしている。

第5章では、炭化セルロース粒を用いても良好な製パン性が得られるか、またパン中に入った炭化セルロース粒も色素は吸着するかについて検討している。第1章と同様に、粒径の異なる炭化セルロース粒(6~650 $\mu\text{m}$ )を用いて製パン試験を行い、炭化セルロース粒のサイズが270 $\mu\text{m}$ 以上の場合、小麦粉だけのパンとほぼ同様の製パン性の得られることを明らかにした。また、炭化セルロース粒をブレンドしたドウを顕微鏡観察したところ、粒径が小さい場合、グルテンマトリックスの連続性の弱くなっていることを観察している。

これらのことから、未炭化セルロース粒を小麦粉にブレンドした場合と同様の傾向を示し、

直径 270  $\mu\text{m}$  以上の炭化セルロース粒を用いることで良好な製パン性の得られることを明らかにしている。

さらに、パン中の炭化セルロース粒へのキサントフェン色素吸着試験を行い、実験に用いた 3 種いずれの色素もパン中の炭化セルロース粒に吸着することを確認している。また、エリスロシン色素を用いて健康なヒトの大便中の pH と同程度の pH6.5 付近での吸着試験を行い、pH6.5 付近で炭化セルロース粒に吸着することを確認し、エリスロシンの吸着は健康なヒトの大便でも起こる可能性を示しているとしている。

第 6 章では、本研究の結論を述べている。セルロース粒を用いてパンを製造する場合、154  $\mu\text{m}$  以上のセルロース粒子を用いることで、良好な製パン性の得られること、また、セルロース粒を炭化することで、その表面に 3 種類のキサントフェン色素が吸着することを明らかにしたこと、さらに、パンに用いても炭化セルロース粒の色素吸着能は保持されることを確認したこと、ならびに炭化セルロース粒は大便中でも色素の吸着されている可能性が示唆されたことを述べている。これらのことから、セルロース粒を用いることで、小麦粉のみのコントロールよりも低カロリーで、食物繊維源となり、同時に食用タール色素の除去という健康保持に貢献する機能をもつパン製造のできる可能性を明らかにした。本研究では色素の吸着に留まったが、健康に影響を及ぼすような他の物質の吸着試験を行うことで、セルロースを用いた健康パンの可能性は広がるものと考えられるとしている。

以上のように本論文は、テーマの設定が学位に対して妥当なものであり、論文作成にあたっての背景と研究方法が明確に示されていること、研究に際して、具体的な実験と考察がなされており、学術論文として完成していること、先行研究や資料が適切に取り扱われており、当該研究分野における研究水準に十分到達しており、セルロース粒径が製パン性におよぼす影響とそのメカニズムについて明らかにしていること、さらにセルロースの炭化処理で色素吸着機能が付与されること並びにそのメカニズムについても明らかにするなど当該研究分野の論理的見地ならびに実証的見地からみて、新規性、創造性が認められ、博士（食物栄養学）の学位に相当する論文であると判断される。

### 試験の結果又は学力の確認の要旨

2 月 18 日午後 1 時より、審査委員会主査、副査 2 名計 3 名により、論文内容および関連領域の知識に関する口頭試問による学力確認を行った。質問に関する的確な回答がなされ、博士としての学力は十分であると判断された。

### 公開博士論文討論発表会の結果

田原 彩氏の公開博士論文討論発表会は、平成 25 年 2 月 25 日に本学須磨キャンパス C 館 318 号教室で午後 1 時から行われた。家政学研究科教員、院生などの出席のもと、パワーポイントを用いて論文内容を説明する発表が約 45 分間行われた。発表は大きく二つに分かれ、第



一には、セルロース粒径が製パン性におよぼす影響について、第二ではセルロースの色素吸着機能、炭化セルロースの色素吸着能とそのメカニズム、炭化セルロースの粒径のちがいによる製パン性、炭化セルロースを加えて焼成したパン中の炭化セルロースの色素吸着能などについて、明快な説明がなされた。

その後、30分にわたって主査、副査を含む教員からの質疑と応答があった。

「ミキソグラフの結果のグラフで粒径の大きいセルロース粒でピンの外れる時間が早くなっていることの意味」、「炭化セルロース粒表面の XPS 分析でピークをアミノ基として判断した理由」、「セルロースパンの官能評価」、「野菜粉末などではなくセルロースを選んだ理由」、「セルロースを利用した場合のコスト」など 17 の研究や実験の細部に関する質問の他、英文の表現についてのコメントもあった。質問に関しては口頭での回答に加え、3月1日に提出された口頭試問の回答書において補足され適切な回答が得られている。

これらの点から、当該領域の博士に必要な知識とプレゼンテーション能力があることが確認された。

## 総合結果

平成 25 年 3 月 4 日、主査、副査 2 名による論文審査委員会を開催した。学位論文の審査結果、試験の結果、および公開博士論文討論発表会の結果を総合して審議したところ、全員一致で提出された論文は博士（食物栄養学）の学位に相当するものと判断した。

<b>氏名（本籍）</b>	石井 与子（大阪府）
<b>学位の種類</b>	博士（生活造形学）
<b>学位記番号</b>	家博乙第7号
<b>学位授与の年月日</b>	平成25年3月18日
<b>学位授与の要件</b>	学位規則第4条第2項該当 家政学研究科 生活造形学
<b>論文題目</b>	環境温・湿度変化から見た吸湿性の異なる肌着着用時の温熱生理反応と衣服気候に関する研究
<b>論文審査委員</b>	主査 教授 山根 千弘 副査 教授 上野 勝代 副査 文化学園大学大学院 教授 田村 照子 副査 教授 平田 耕造

## 論文内容の要旨

### 【背景・目的】

吸湿性の高い衣服着用による収着熱発生が温熱生理反応や衣服気候に及ぼす影響を比較している研究では、吸湿性の差異が小さい場合や、高湿環境下で行われている例は少ない。さらに不感蒸散から発汗へと変化する過程での詳細な検討は行われておらず、吸湿に伴う収着熱による影響に及ぼす発汗レベルの違いについては十分な議論がなされていない。

そこで本研究では、被験者実験により吸湿性の異なる肌着着用が発汗開始前後の温熱生理反応と衣服気候に及ぼす影響を明らかにすること、およびその影響に対する高湿環境による修飾作用も明らかにすること、加えて発汗開始後の温熱生理反応に及ぼす発汗レベルの違いによる影響を明らかにすることを目的とした。

### 【方法】

7名の被験者が2種類の衣服と2種類の環境湿度をそれぞれ組み合わせ、計4条件の実験を行った。被験者は吸湿率の2%異なる肌着 {ポリエステル (P)、キュプラポリエステル (C)} を着用し、座位安静を保った。環境条件は、240分間で室温を26°C～20°C～35°Cへと変化させた。相対湿度 (RH) は50%と70%の2条件とし、気流は0.2 m・sec<sup>-1</sup>一定とした。この間の温熱生理反応と衣服気候の測定を行った。

## 【結果】

50%RHでは、発汗開始前の不感蒸散期の平均皮膚温 ( $\bar{T}_{sk}$ ) は、CがPよりも有意に低値を示して有意に「やや涼しい」側を、発汗開始後は逆に Cの方が高値を示して有意に「暑い」側を申告した ( $p < 0.05$ )。皮膚血流量 (SkBF) と平均衣服内温度 ( $\bar{T}_{mc}$ ) においても発汗開始前はCがPよりも有意に低値を、開始後はCの方が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。したがって、発汗開始前では吸湿性の高いCの肌着着用により皮膚からの蒸発が促進されたが、発汗開始後はそれを上回る肌着からの高い収着熱により  $\bar{T}_{sk}$  上昇、SkBF増加および  $\bar{T}_{mc}$  上昇を引き起こしたことが示された。70%RHでは50%RHと同様に発汗開始前はCの  $\bar{T}_{sk}$  と  $\bar{T}_{mc}$  は有意に低値を示したが

( $p < 0.05$ )、開始後は50%RHで得られた変化は観察されなかった。これらの結果から、発汗開始前の不感蒸散期では50%RHと70%RHのいずれの湿度環境においても吸湿性の違いによる影響は観察されたが、発汗開始後の収着熱による影響は70%RHでは観察されないことが判明した。

本研究と選択基準を満たした他の8つの研究の比較検討から、吸湿性の高い衣服着用に伴う  $\bar{T}_{sk}$  上昇を示した研究における発汗レベルは、総発汗量では  $0.12 \sim 0.15 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 、前腕発汗量では  $0.07 \sim 0.13 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  の範囲であった。したがって、吸湿に伴う収着熱発生による  $\bar{T}_{sk}$  上昇の効果は、ある範囲の発汗レベルに限定されることが示された。

## 【結論】

以上の研究結果から次のことが判明した。吸湿性の高い肌着着用は、発汗開始前の不感蒸散期には皮膚からの気化を促進する効果が両湿度条件で認められた。一方、発汗開始後の吸湿による温熱生理反応を増大させる収着熱の効果は、低湿環境では認められたが高湿環境では認められなかった。この効果は発汗レベルが比較的少量である場合に限定されることも明らかになった。したがって吸湿性の異なる肌着着用時の快適性には、環境湿度と発汗の有無および発汗レベルが温熱生理反応と衣服気候に影響を及ぼす重要な因子であることが判明した。

## 論文審査結果の要旨

近年、数多くの研究が衣服の快適性において重要な役割を果たしている吸湿性に焦点を当ててきた。吸湿性の異なる衣服の着用が収着熱発生による温熱生理反応や衣服気候に及ぼす影響を比較している研究は、吸湿性の違いが大きい衣服着用時のものが多く、吸湿性の違いが小さいものは少ない。これらの研究において、皮膚から生じる水分が不感蒸散から発汗へと変化する過程の詳細な検討は行われていない。さらに、これらの研究が行われている環境湿度は相対湿度 (RH) が 50% から 60% の条件下で行われているものが多く、70%RH 以上の高湿条件下で行われているものは少ない。そのため、高湿環境がこれらの研究に及ぼす影響を明らかにす

る必要がある。また、収着熱発生に影響を及ぼす発汗レベルは重要な要因の一つと考えられる。しかし、発汗レベルの違いが吸湿性に伴う収着熱によって生じる影響については、十分な議論がなされていない。

このような背景に基づき、吸湿性の異なる肌着着用時の不感蒸散から発汗にいたる過程の温熱生理反応と衣服気候を明らかにし、快適な繊維製品の開発に寄与することが本論文の最終的な目的であり、そのための科学的基盤を構築するのが、本論文の目標である。本論文は6章から構成されている。第1章では本論文に関わる研究の学術的背景を歴史的観点から捉えるとともに、関連する国内外の研究動向及び位置づけを明確にしたうえで、本研究の学術的な特色・独創的な点及び意義について述べている。同時に本論文の目的・目標を明確に述べ、目標達成の方法論を論文の構成というかたちで記載している。すなわち、先行研究や資料が適切に取り扱われており、さらに研究テーマの設定が学位に対して妥当なものであり、論文作成にあたっての問題意識と研究方法が明確に示されている。

第2章では、吸湿性の異なる肌着着用が、発汗開始に至る室温( $T_a$ )変化の過程で50%RHの湿度条件下において人体の温熱生理反応と主観的申告に及ぼす影響を検討した。吸湿性の高いC肌着では、発汗開始前は皮膚からの気化促進が、開始後ではそれを上回る肌着からの高い収着熱がそれぞれ生体に影響した。すなわち、皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )、局所Tsk、皮膚血流量(SkBF)は、発汗開始前ではキュプラ(C)がポリエステル(P)よりも有意に低い値を示して「やや涼しい」側を申告したが、開始後ではCの方が有意に高い値を示して「暑い」側の申告となった。したがって、吸湿性の異なる肌着着用時の温熱生理反応は発汗開始前後で異なることが判明した。

第3章では、被験者実験において50%と70%RHの湿度条件下で吸湿性の異なる肌着を着用させ、 $\bar{T}_{sk}$ 変化に及ぼす影響を明らかにした。50%RHでは、発汗開始前の $\bar{T}_{sk}$ はPとCの差が大きく、開始後はCで収着熱の影響が認められたため素材差は小さくなった。しかし70%RHでは、発汗開始前と開始後のいずれにおいても両肌着の $\bar{T}_{sk}$ の差は小さく、開始後のCは収着熱による影響は認められなかった。肌着に吸湿させる衣服実験では、異なる初期環境の湿度条件からほぼ同一の速度で高湿環境に曝した場合、衣服表面温度( $T_{cs}$ )変化はP・Cともに初期湿度が高くなるほど上昇分が有意に小さくなった。このことから、被験者実験の70%RHにおけるCで発汗開始後に収着熱の影響が見られなかったのは、環境湿度が高かったことにより、収着熱発生が減弱したことに起因することが示された。したがって、吸湿性の異なる肌着着用時の $\bar{T}_{sk}$ 変化は、環境湿度が50%RHから20%上昇することにより消失することが判明した。

第4章では、被験者実験において吸湿性が異なる肌着着用時に環境湿度の違いが衣服内温度

(Tmc)と Tcs に及ぼす影響を比較検討した。発汗開始前は、湿度条件に関わらず Tmc と Tcs はいずれも C が P よりも低い値を示した。開始後は 50%RH では C の方が有意に高くなったが、70%RH では素材差は見られなかった。さらに衣服実験では、被験者実験と同一の Ta 変化が肌着の Tcs に及ぼす影響を観察したところ、50%RH においては C が P より有意に低い値を示したが、70%RH では素材差は見られなかった。したがって、50%RH での被験者実験において発汗開始後に吸湿性の高い肌着の衣服気候が高値を示したのは、汗の吸湿による収着熱発生の影響であることが示された。

第5章では、吸湿性の異なる肌着着用が発汗開始後の $\bar{T}_{sk}$  変化に及ぼす発汗レベルの影響を被験者実験と文献による比較検討から明らかにした。50%RH の湿度条件下における発汗開始後の $\bar{T}_{sk}$  上昇は C が P よりも有意に大きく、汗の吸湿による収着熱の影響が認められた。本研究と他の8つの研究結果の比較検討から、本研究と同様に吸湿性の高い衣服着用の方がより高い $\bar{T}_{sk}$  上昇を示した研究の発汗レベルは、総発汗量では  $0.12\sim 0.15 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 、前腕発汗量では  $0.07\sim 0.13 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$  の範囲であることが示された。いずれの発汗量においても、これらの範囲以外のレベルであれば、吸湿性の高い素材における $\bar{T}_{sk}$  は高値を示さなかった。すなわち、発汗レベルは吸湿性の高い肌着着用時の収着熱発生による $\bar{T}_{sk}$  上昇に影響する重要な因子であることが判明した。

第6章では、本研究の結論が述べられている。吸湿性の異なる肌着着用が発汗開始前後の温熱生理反応と衣服気候に及ぼす影響は、環境湿度と発汗レベルが重要な因子であることが判明した。すなわち吸湿性の高い肌着をより快適に着用するためには、低湿環境であることと、発汗レベルが多量でも少量でもない特定の範囲内であることの2つの条件が明らかになった。この他にも、着装条件等（被覆面積、重ね着および開口部等）のいくつかの因子が影響していると考えられるため、それら因子を順次明らかにすることが今後の研究課題として必要である。しかし、吸湿性の高い衣服をより快適に着用するための条件が明らかにされていない現在では、未知の条件を解析する第一段階として本研究で得られた結果は不可欠であり、今後の研究においてもその重要性は変わらないと考えられる。今後、吸湿性の異なる衣服着用時の温熱生理反応と衣服気候に関する研究において、本論文の成果が1つの指針となることを期待する。

以上のように、本論文の目標である、不感蒸散から発汗過程において吸湿性の異なる肌着着用時の温熱生理反応と衣服気候の詳細を明らかにすることは十分に達成されていると考える。さらに、前述したように、研究テーマの設定が学位に対して妥当なものであり、論文作成にあたっての問題意識と研究方法が明確に示されていること、研究に際して、具体的な分析・考察が

為されており、学術論文として完成していること、先行研究や資料が適切に取り扱われており、当該研究分野における研究の水準に到達していること、当該研究領域の理論的見地または実証的見地から見て、創造性が認められること、などから、本論文は博士（生活造形学）の学位論文に相当するものと判断する。

### **試験の結果又は学力の確認の要旨**

学位申請者の石井与子は、本学大学院家政学研究科生活造形学専攻博士後期課程の学生として、さらに退学後は研究生として当該分野の研究を継続してきた研究者である。英語の学力については、平成 22 年度論文博士論文審査の学力試験（英語）を受験し、既に合格している（平成 26 年 3 月 10 日まで有効、受験番号:セ 22001）。この度の学位論文審査願（乙）に基づき、家政学研究科博士論文の審査に関する内規により論文博士となるため、平成 25 年 2 月 12 日、公開博士論文討論発表会終了後に論文審査委員会により、口頭試験を実施した。そして、博士論文に関する十分な知識と背景となる基礎的、理論的な応答を確認したので合格と判定した。

### **公開博士論文討論発表会の結果**

平成 25 年 2 月 12 日、論文審査委員会の主催により学位論文の発表会を B 館 210 教室において公開にて開催した。多数の出席の下に 1 時間以上にわたり、論文内容の発表（40 分）とそれに対する口頭試問（50 分）を行った。試問は次のようなものであった。(1) キュプラ繊維のステープルまたはフィラメントについて、(2) 中衣として綿素材の上下を使用したことによる影響について、(3) 実験の被験者数と解析における個別対応について、(4) 吸湿率差異の小さい実験着の選択について、(5) ヒト研究倫理委員会への申請について、(6) 被験者の個体差（特に肥満とやせの観点から）について、(7) 実験室の温度変化と制御性能および人体の反応について、(8) 実際の生活現場からみた被験者のばらつきについて、(9) 被験者の暑熱順化による影響について、などである。このように幅広く、また本質的な試問が為されたが、口頭での回答に加え、別紙の文章でも補足して適切な回答が得られ、当該領域における博士としての十分な知識を修得し、適切なプレゼンテーション能力を有していることが確認された。

### **総合結果**

平成 25 年 2 月 12 日、主査 1 名、副査 3 名による論文審査委員会を開催した。学位論文の審査結果、試験の結果、および公開博士論文討論発表会の結果を総合して審議したところ、提出された論文は博士（生活造形学）の学位に相当するものと判断した。