

R-03-2007

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第18号

プロジェクト研究

「急激な温度変化が人の健康に及ぼす影響に関する研究」

平成18年度

山梨県環境科学研究所

R-03-2007

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第18号

プロジェクト研究

「急激な温度変化が人の健康に及ぼす影響に関する研究」

平成18年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

日本はめざましい高度経済成長による多大な利益と裕福で便利な生活を得ることができたが、それに伴う公害問題や労働環境の悪化などの様々な健康面での環境問題も多く発生した。現在ではこれらの問題の多くは解決され、直接的な健康被害は少なくなっている。しかし、健康であればよかった時代は過ぎ、より快適で充実した生活を送るための環境を構築することが求められており様々な方向からの研究が進められている。

本研究報告書で取り上げている「温熱環境」をみると、高温環境による暑熱障害（熱中症）は、過酷な労働現場などで特に問題となっており、産業衛生分野で労働環境の基準を設けるなどの対策が成されてきた。しかし、近年の地球温暖化現象や異常気象による気温の上昇傾向が、通常の生活を送っている人々においても高温環境にさらされる危険性の増加を招いている。そのため、一般家庭をはじめとしたオフィスなどの屋内環境へ空調設備を導入し、涼しい快適環境を得ることにより熱中症や不快感から逃れている。我々は、このように発達してきた技術を駆使し、健康で快適で便利な生活環境を得ることに成功しているが、人口の集中する都市部では多大な空調設備の稼働による排熱や自動車の普及、都市開発による道路舗装などの近代化による都市の温暖化が引き起こされ、更なる気温上昇の拍車懸念される。それに加えて、本県は地理的に内陸部に位置しており、特に盆地である甲府地域は一日の寒暖差、年間を通しての寒暖差が非常に大きい気象上の特色をもっている。本県で生活を営む人々は気温の変化にさらされやすく全国的に見て、非常に厳しい気象環境であるといえる。

このような状況のなか、高温環境や低温環境などの一定で極端な環境温度による健康問題に加えて、暑い環境と涼しい環境間の移動による環境温度の急激な変化や夏季に快適な環境であるはずの冷房環境に過剰にさらされるなどの温熱環境が原因であろう健康上の問題（冷房病、不定愁訴）がクローズアップされている。

本プロジェクト研究「急激な温度変化が人の健康に及ぼす影響に関する研究」は、実際に県民が夏季にどのような気温と気温変化にさらされ得るのか、そしてそれに伴いどのような健康問題が発生しているのかを実態調査により確認した。また、人工気象室を使用した被験者実験や動物モデルでの研究では温熱環境が人の生体機能や知的作業効率へ与える影響を明らかにしている。本研究は、安全で健康を維持でき心身ともに快適な温熱環境の指標の提示を目指す研究である。これらの研究成果が今後、県民の生活のなかで生かされることが期待される。

平成19年3月

山梨県環境科学研究所

所 長 荒 牧 重 雄

目 次

はじめに

概要編

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間	1
I-2 研究体制	1
I-3 研究目的	1
I-4 研究成果の概要	2
1) サブテーマ1 生活・労働環境の気温変化と健康の実態把握に関する研究	2
2) サブテーマ2 温度環境の変化が自律神経・免疫機能に与える影響に関する研究	3
3) サブテーマ3 動物モデルによる気温変化と健康に関する研究	4
I-5 まとめ	5
I-6 研究資料	6

本編

II 研究成果報告

II-1 はじめに：研究の目的	9
II-2 サブテーマ1 生活・労働環境の気温変化と健康の実態把握に関する研究	11
II-2-1. 研究目的	11
II-2-2. 平成15年夏季温熱環境実態調査	11
II-2-2-1. 研究方法	11
II-2-2-2. 結果と考察	11
II-2-3. 平成16年夏季温熱環境実態調査	17
II-2-3-1. 研究方法	17
II-2-3-2. 結果と考察	17
II-2-4. 平成17年夏季温熱環境実態調査	21
II-2-4-1. 研究方法	21
II-2-4-2. 結果と考察	21
II-2-5. まとめ	24
II-2-6. 引用文献	24
II-3 サブテーマ2 温度環境の変化が自律神経・免疫機能に与える影響に関する研究	25
II-3-1. 研究目的	25
II-3-2. 倫理	25
II-3-3. 実験方法	25
II-3-3-1. 被験者および実験場所	25
II-3-3-2. 知的作業	25

II-3-3-3. 自律神経機能の指標	26
II-3-3-4. 粘膜免疫能の指標	26
II-3-3-5. 脳機能の指標	26
II-3-3-6. 体温	26
II-3-3-7. 疲労感	26
II-3-3-8. 統計手法	26
II-3-4. 研究成果	28
II-3-4-1. 知的作業と温度環境	28
II-3-4-2. 単純反応作業と温度環境	28
II-3-4-3. 認知反応作業と温度環境	30
II-3-5. まとめ	37
II-3-6. 本研究テーマに関わる研修生受け入れ状況	38
II-3-7. 謝辞	38
 II-4 サブテーマ3 動物モデルによる気温変化と健康に関する研究	39
II-4-1. 研究目的	39
II-4-2. 環境温度曝露による体温、体重、餌摂取量に与える影響検討	40
II-4-2-1. 研究の目的	40
II-4-2-2. 研究方法	40
II-4-2-3. 結果と考察	40
II-4-3. コルチコステロンホルモン測定による環境温度曝露によるストレス影響の検討	46
II-4-3-1. 研究の目的	41
II-4-3-2. 研究方法	41
II-4-3-3. 結果と考察	41
II-4-4. 環境温度に起因するストレス状況が免疫機構（発熱反応）へ与える影響	49
II-4-4-1. 研究の目的	49
II-4-4-2. 研究方法	49
II-4-4-3. 結果と考察	50
II-4-5. コルチコステロンホルモンの発熱反応への影響検討	52
II-4-5-1. 研究の目的	52
II-4-5-2. 研究方法	52
II-4-5-3. 結果と考察	52
II-4-6. まとめ	55
II-4-7. 引用文献	55

概要編

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマ及び研究期間

研究テーマ名：
急激な温度変化が人の健康に及ぼす影響に関する研究
研究期間：
平成14年度～17年度（4ヵ年）

I-2 研究体制

研究代表者：山梨県環境科学研究所 生気象学研究室
研 究 員 宇野 忠
共同研究者：山梨県環境科学研究所 生気象学研究室
研 究 員 柴田 政章
助 手 渡邊かおり
環境生理学研究室
特別研究員 永井 正則
研 究 員 大野 洋美
助 手 齋藤 順子

I-3 研究目的

私たちが生活を営んでいる環境は、感じる、感じないに関わらず刻々と変化している。しかし、私たちのからだは、この様々な環境の変化に対し体内の環境を安定した状態に保つ調節機能を備えており、その機能のおかげで正常な生命活動が維持でき、健康でいられるのである。私たちを取り巻く環境要因は様々なものが存在するが、その中で誰もが常に触れており、重要なもののひとつが温熱環境である。住んでいる地域や季節により様々な温度環境下で人類は生活を営んでいるが、私たちのからだの温度、体温はおおよそ36℃前後に体温調節機能により調節されている。

温熱環境が健康へ及ぼす問題として暑熱障害である熱中症が取り上げられる。高温環境曝露によって起こる熱中症は、以前は過酷な労働現場などで特に問題となっており、産業衛生の分野で研究が進められてきた。しかし、産業革命以後、全世界的に二酸化炭素などの排出量が増えたことなどによる地球温暖化現象や異常気象により、日常的に高温環境にさらされる可能性が高くなってきた。そのため人々は暑くなる夏季には、一般家庭を始めとしオフィスなどの屋内環境へエアコンディショナーなどの空調設備を導入し、涼しい快適環境を得ることにより熱中症などの暑熱障害や不快感から逃れている。しかし、この多大な空調設備の稼動や自動車の普及、都市開発によるビル建設、道路舗装などにより人口の集中する都市部では気温上昇現象である都市温暖化が引き起こ

され、屋外のさらなる高温環境の増長が懸念されている。

以上のような状況である最近では、高温環境や低温環境などの一定な極端な環境温度による健康問題だけでなく、暑い環境と涼しい環境の移動による環境温度の変化や暑い夏季に過剰な冷房にさらされるといった温熱環境によるであろう健康上の問題がクローズアップされている。例を上げると「冷房病」と言われる症状で主に暑い夏季に過剰な冷房や急激な気温の変化により起こる身体の不調をいう。冷房病自体は正式な医学用語ではなく、その機序もはっきりとしたものはわかっていない。冷房との関連が疑われる下肢や全身の冷感、倦怠感、易疲労感、胃腸障害、頭痛など多様で非特異的な、いわゆる不定愁訴症状である（三浦、1985）。

さらに、山梨県は地理的に内陸部に位置しており、特に盆地である甲府地域は一日の寒暖差、年間を通しての寒暖差が非常に大きい特色をもっている。また、富士山や八ヶ岳連峰、南アルプスなどの高標高地域では冬季の気温は非常に低くなり、本県で生活を営む人々は気温の変化にさらされやすく全国的に見て、非常に厳しい気象環境であるといえる。

本プロジェクト研究の目的はこのような温熱環境に起因する健康問題を考えるために、実際にどのような環境温度の変化に曝される可能性が実生活で存在するのか、さらにその環境温度の変化にさらされることが人の健康にどのような影響を及ぼすかについて研究を行うことである（図 I-1）。また、このような環境温度の変化が、知的作業効率へ与える影響についても考察を行い、夏期の不定愁訴症状に代表される温熱環境によるであろう体調不良の原因や人々の生活へ及ぼす影響を明らかにし、実態調査の結果を踏まえて、より安全で快適な環境温度の指標を提示するとともに、健康の維持や病気の予防についての提言に繋げることを目指す。

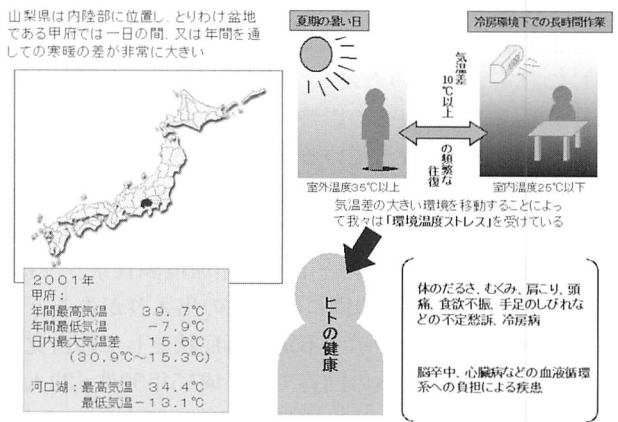


図 I-1. 山梨県は非常に厳しい気象条件であり、環境温度の変化にさらされやすい特徴を持つ

I-4 研究成果の概要

1) サブテーマ1

生活・労働環境の気温変化と健康の実態把握に関する研究

実際に生活、就労を行っている空間の温度、相対湿度の変化、分布を測定し、その環境にさらされている人々に対する温度感覚や温熱的快適感、健康状態などのアンケート調査を行うことにより夏季の生活労働環境の温熱環境と健康状況の関連の実態把握を行うのが、この研究の目的である。

平成15～17年の3年間の夏季（8月）の屋内屋外温熱環境調査として甲府市内の企業の協力を得て同室内複数、同建物内別室、屋外にて温度、相対湿度の長期間連続記録を行い就業時間帯8時30分～17時30分での室内、屋外の平均、最高、最低の気温、湿度の変化の測定により夏季昼間に曝露され得る温度差、温度変化などの温熱環境の実態調査を行った。加えて、温熱環境測定を行っている屋内にて業務する方々にアンケート調査として温度感覚、温熱的快適感、健康状態に関わる「温熱環境調査票」に回答していただき夏季の温熱環境への意識と健康状態の調査を行った。

温熱環境調査期間の室内空調設定は推奨されている28℃であったが、室内平均気温は屋外へ直接通じる扉がない室内では25～27℃、屋外への出入り口がある室内では27～30℃となっており、同建物内においても気温変化にさらされる可能性を示唆している。実際に同時刻での最大気温差4.7℃を記録している。また、同室内においても人が直接影響を受ける100cm以下の測定地点間で最大2.34℃の気温差が記録された。屋内と屋外での気温差は最大で9.8℃を記録しており、今回の結果から夏季の屋内屋外の出入りにおいて非常に大きい気温差に曝露されることに加え、同建物内、同室内においても少なからず気温の変化に日常的にさらされていることが明らかとなった。冷房病と呼ばれる不定愁訴症状は夏季において室温27℃以下から発生が確認され、25℃以下では増加することが報告されており、推奨室温設定である28℃に設定されていたとしても27℃以下の室温となることが確認でき健康への影響が懸念される。

温熱環境測定を行っている室内で業務に携わっている延べ109名（男性59名、女性50名、平均年齢38.2歳、回収率72.7%）に対して行った温度感覚、温熱的快適感、健康状態に関するアンケート「温熱環境調査票」では、76～87%の人が2時間の間に室内外の出入りがあると回答している。図I-2で示す不定愁訴症状としての自覚のある諸症状についてへの回答では平成15年50件（22人）、平成16年54件（25人）、平成17年72件（25人）となり、夏季の平均気温が高かった平成17年が最も多くなっている。平成17年には体の状態が「やや悪い」と答えた2

名が原因として「空調」を挙げていた。

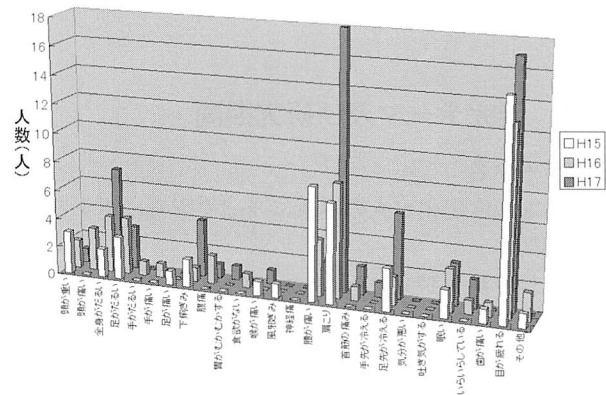


図 I-2. 自覚のある諸症状についての回答（H17 年）

図I-3で示した「全身的な快適さをどう感じるか」では男性は快適であると感じ、女性は不快であると感じる率が高い傾向がはっきりとみられ、図I-4に示した全身的な温度感覚をどう感じているかでは平成16年と比べ「暑い」と感じる人が減り、「涼しい」「寒い」と感じる人が増加し、特に男性で「暑い」「暖かい」「やや暖かい」と感じる人が29%いる一方、女性の26%が感じている「涼しい」感覚は男性では非常に少なかった。これらの結果から、同じ設定室温である建物内においても男女間を始め個人でかなり異なる快適感、温度感覚を感じていることが明らかとなった。また体の部位別温度感覚に女性で足部に寒さを感じる回答が夏季の外気温が高い年に顕著に見られる傾向にあった。

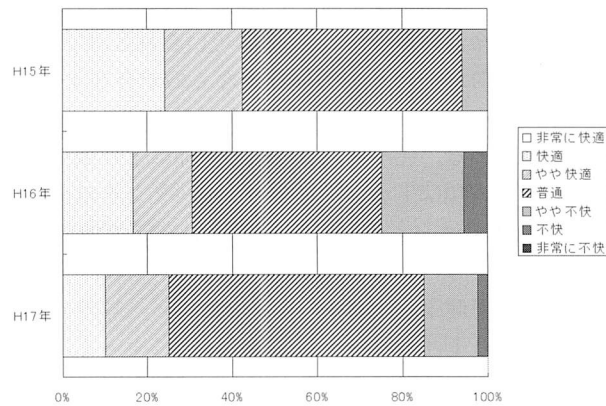


図 I-3. 全身的な快適さをどう感じるか？についての回答

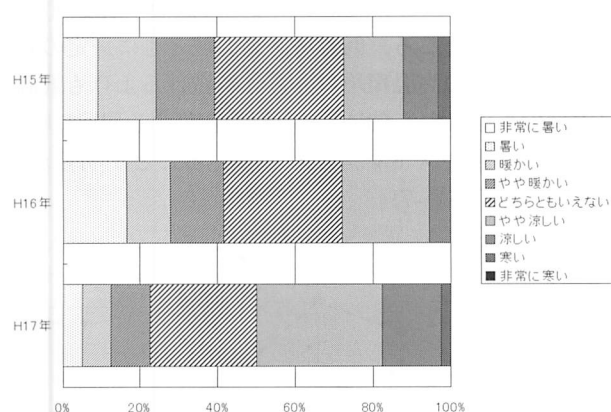


図 I -4. 全身的な温度感覚をどう感じるか？についての回答

このように、性別を含め様々な要因によって温度感覚、温熱的快適感に違いが発生し、至適温度にズレが発生するため常識的な空調設定にしていたとしても外気温の推移や立地条件、配置による室内温度分布の偏りによって生じる気温差によって暑さ寒さを感じ、体調不良を招く原因の一つと成りえる可能性があることが今回の調査結果からあきらかとなった。同一空間を共用する全ての人にとっての健康な生活環境温度の設定には、各個人の温度感覚、温熱的快適感に違いが発生することを前提とし、各温度感覚に対する意見を尊重することが求められる。また、環境温度に対する至適温度の違いは被服量の調節を行い個人、性別による環境温度による影響差を吸収し、実測による温度の確認に基づいたこまめな空調設定の見直しを行うことが重要であると考えられる。

2) サブテーマ2

温度環境の変化が自律神経・免疫機能に与える影響に関する研究

温度環境が人の知的作業効率と自律神経機能、免疫機能に与える影響を明らかにすることにより、快適かつ健康的な知的作業環境や生活環境を実現するための基礎資料を提供することを研究の目的とする。われわれの研究室で行った先行研究により、快適な香り環境は、コンピューター作業などの知的作業を長時間続けた時の作業効率の低下を防ぐことが分かっている（山梨県環境科学研究所研究報告書第1号、2000；和田ほか、Aroma Research 14: 26-30, 2003）。今回の研究では、温度環境に注目した。近年、地球温暖化防止の観点から、消費電力を減らし二酸化炭素の排出を削減する目的で、軽作業を中心とする事務室等の室温を夏場は28℃、冬場は14℃に設定することが政府により推奨されている。しかし、われわれが行った予備実験では、夏場に室温28℃で知的作業を長時間行うことは、Tシャツに短パンのような軽装でない限り、作業効率の低下を招来しやすいことがわかった。また、冬場の室温14℃では、作業の進

行につれ手足に冷感を伴うことが多くなり、それによって作業効率が低下しやすいこともわかった。一方、人が気づかない程度のわずかな環境の変化が、人の知的作業効率や自律神経機能に影響を与えることが近年になってわかってきた。例えば、室内の香り環境と作業効率を検討した先行研究では（永井、生活工学研究1：50?55、1999；大野ほか、Aroma Research:2007,印刷中）、室内の人に気づかれない程度の香りの負荷が作業効率の低下を防ぐことが報告されている。同様に、低濃度で認知されることのない香りが、睡眠中の人の心機能に影響することもわかっている（大野・永井、自律神経、2007；投稿中）。われわれが行った予備実験では、10分間に室温が2℃程度上昇または下降しても、人はそれに気づかないことを観察した。そこで、推奨されている室温を中心として±2℃の範囲で変動する室内温度環境が、知的作業効率および自律神経機能、免疫機能に及ぼす影響を検討し、一定温度に保たれた室温環境の場合と比較した。

得られた結果の概要を図 I-5に示す。30℃または18℃に保たれた環境でコンピュータを使った知的作業を45分間続けた場合、24℃の環境と比べて反応時間が長くなったり、誤答率が大きくなったりして、全体の作業効率が大きく低下した。これは、中性温度より高い温度環境または低い温度環境が、作業によるストレスに曝されている被験者に、さらに温度ストレスを負荷することがもたらした結果であると解釈できる。30℃および18℃の環境では、作業の前後で体温に変動があることから温度ストレスの存在が確認できる。

高温環境でも低温環境でも、作業による疲労感の内容として「ぼーっとする」という明晰感の低下があげられているが、低温環境ではさらに「だるさ」が疲労感の成因となっていることがわかった。夏場に過度の冷房により引き起こされるといわれる「冷房病」では、「だるさ」が主訴となることが多い。高温環境と低温環境では、主観的疲労感の成因に違いのあることが興味深い。高温環境での知的作業では、副交感神経活動の低下と血圧上昇が観察され、低温環境では副交感神経活動の低下に加え交感神経活動の亢進が見られ、心拍数が上昇した。

以上に述べたように、30℃および18℃の温度環境は知的作業効率を低下させ、作業遂行中の生理機能にも影響を与える。一方、30℃および18℃を中心に±2℃の周期変動を伴う温度環境では、知的作業効率の低下は起こらず、知的作業を続けることに伴う生理機能の変化も見られなかった。10分間に±2℃の温度変化は人に気づかれることはない。しかし、このような周期的温度変動が知的作業の効率を維持し、さらに自律神経機能に現れるストレス反応を軽減したことは、実験者らの作業仮説を支持するとともに、夏期および冬期の作業空間の温度調節の在り方に新たな展望をもたらすこととなった。今後、経済性も考慮した上で、周期的変動を伴う室温調節シス

テムが開発されることを期待する。同時に、通風や流水などの自然環境を最大限活用して、作業空間に温度変動をもたらすようなシステムの開発が望まれる。

知的作業と温度環境

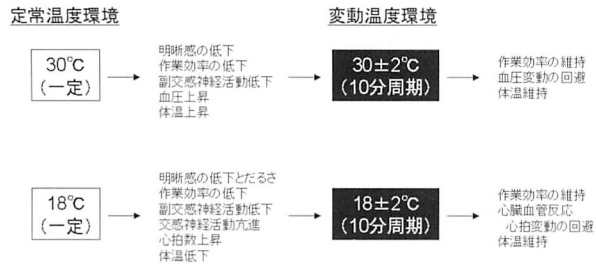


図 I - 5. 知的作業と温度環境

3) サブテーマ3
動物モデルによる気温変化と健康に関する研究

環境温度、またはその変化にさらされたときに起こる問題を考え、解決していくために、環境温度により、からだがどのような影響を受けうるのかを検討した。そのために、ストレスを引き起こすストレッサーとしての「環境温度条件」の検討を行った。さらに、環境温度曝露により引き起こされたストレス状況が、健康を保つために重要な働きをする生理学的反応にどのような影響を与えるのか検討するため動物モデルを使用し、発熱反応を観察することにより生体防御を司る免疫機構への影響を明らかにした。動物モデルを使用した実験を行うことにより、人では行えない実験条件が可能であり、様々な外的要因を取り除き生体反応のより詳細な機構の解明に繋げることが可能である。

実験動物としてラットを使用し、内部温度を変化させることができるチャンバー内で飼育し環境温度変化曝露の動物モデルとした。曝露する環境温度条件は①通常の中温環境（飼育温度と同じ25℃）、②低温環境（4℃）、③低温域繰り返し変化環境（4℃と27℃を1時間ずつ繰り返す）、④高温環境（34℃）、⑤高温域繰り返し変化環境（18℃と34℃を1時間ずつ繰り返す）であり、1日～10日間の曝露を行った。

予め体内に電波発信式の体温センサーをラットの体内に埋め込み環境温度変化曝露時の深部体温、行動量（覚醒時、無拘束、自由行動下）測定を行い、ストレスを受けたときに血中に分泌される糖質コルチコイドホルモンの一種でありストレス強度の指標として用いられているコルチコステロン濃度を測定することにより生体への影響、負担の比較検討を行った。その他、体重の変化や各環境温度変化に曝露された後の実験的発熱反応への影響、その影響へのコルチコステロンホルモンの関与の解明などを行った。

各環境温度条件によってからだが受けるストレス強度

の違いをコルチコステロンホルモンの血液中濃度測定により検討したところ、低温域、高温域ともに一定の4℃の低温や34℃の高温環境にさらされ続けるよりも低温、高温環境を緩和する方向へ繰り返し変化する環境に曝露される方が強いストレスとなっていることが明らかとなった（図 I - 6、- 7）。

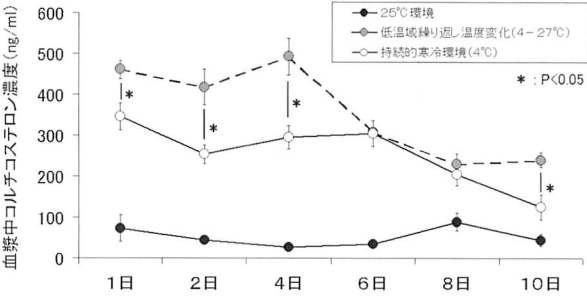


図 I - 6. 4℃と27℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、4℃の持続的な低温環境、25℃の一定環境に曝露した時の血漿中コルチコステロン濃度の変化

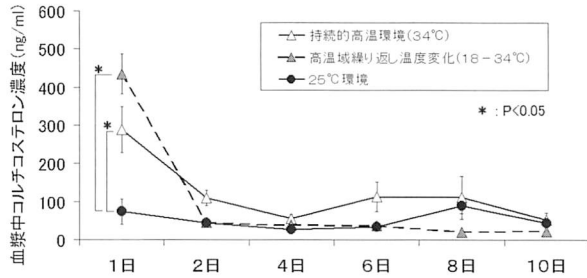


図 I - 7. 34℃と18℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、34℃の持続的な高温環境、25℃の一定環境に曝露した時の血漿中コルチコステロン濃度の変化

一般的にストレス状況下では体重が減少することが知られているが、体重の変化を示した図 I - 8では低温及び、高温環境ともに体重の減少が見られるが、低温域と高温域繰り返し変化環境では体重の減少は見られなかった。

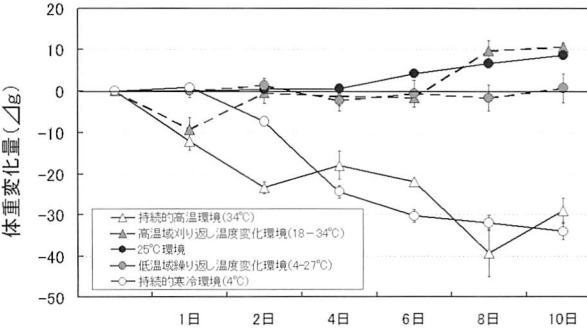


図 I - 8. 34℃と18℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、34℃の持続的な寒冷環境、25℃の一定環境、4℃と27℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、4℃の持続的な寒冷環境、25℃の一定環境に曝露した時の体重変化量

この体重変化の結果はこれまで低温や高温環境は生体に多大なストレスとなるのに対し、繰り返し温度変化はあまりストレスが強いという認識と合致するが、コルチコステロンホルモンの実験結果からみたストレス判定では、低温域繰り返し変化環境が最も生体への負担になっていることが示されており、健康に影響を与え得る環境であることが明らかとなった。

このときの深部体温、行動量の測定から、低温域繰り返し変化環境では体温を調節する同じ反応を頻繁に発現させ続けることによって低温環境より高い体温を維持できているが、異なった体温調節反応を頻繁に発現し続けなければならない状況が、生体に多大なストレスを与えている可能性が示唆された。

また、これら環境温度条件によって受けるストレスが、生体防御反応を司る免疫機能へ与える影響をみるために、実験的に引き起こした発熱反応を観察したところ図 I-9、-10で示したように25℃環境よりも低温環境、さらに低温域繰り返し変化環境と、ストレス強度が強くなる環境条件ほど発熱反応が増強される結果が得られた。この環境温度ストレスによる発熱反応の悪化現象が増加した血液中コルチコステロンホルモンによるものかを検討するため、環境温度ストレス曝露後に室温でコルチコステロン濃度が定常状態へ戻った時の発熱反応を観察したが、さらなる発熱反応の悪化がおり、コルチコステロンホルモンによるものではなく、これまでのコルチコステロンがサイトカイン合成などの免疫機能を抑制することに加えて、発熱反応に対しても抑制的に働くことが明らかとなった。

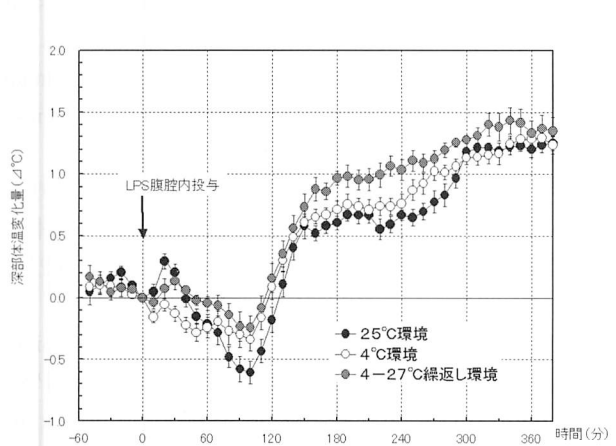


図 I -9. 25℃環境、4℃環境、4 と 27℃繰返し環境での 2 日間曝露後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による発熱反応の変化

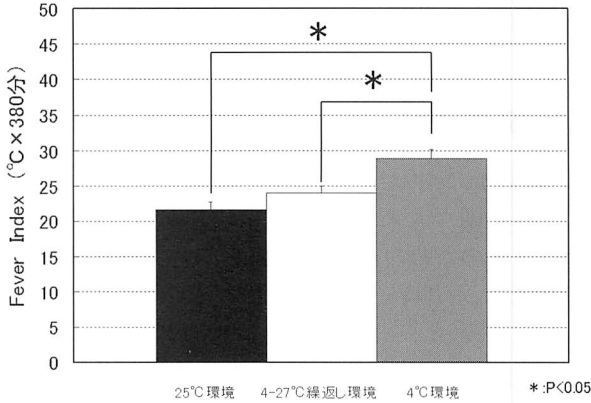


図 I -10. 25℃環境、4℃環境、4 と 27℃繰返し環境での 2 日間曝露後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による Fever Index（発熱量）の比較

これら研究成果から環境温度変化に伴うストレスが発熱機構（免疫機能）に対して影響を与えていることが明らかとなり、これは細胞性免疫反応時の血液中に放出されるサイトカインの種類やその量が変化し、これによりその他の生体内恒常性を維持する反応へ影響が及びうる可能性を示唆している。この現象が環境温度に伴うストレスによるだけでなく、その他の物理的、精神的ストレスによっても引き起こされるならば、このメカニズムをあきらかにすることにより「不定愁訴」の解明につながると我々は考えており、引き続きそのメカニズムの解明を進めて行く。

I-5 まとめ

以上の3つのアプローチによる研究によって、実際に夏季に空調の効いた屋内間や屋外との移動によって頻繁に温度変化に曝されること、また不定愁訴症状の訴えや温熱感覚の男女、個人による違いがあることなどの実態が明らかとなった。また、このような実態調査を行ったオフィスでのデスクワークに代表される知的作業効率への温熱環境の影響として、高温、低温環境にさらされる場合でも、狭い範囲内での認知できない温度の周期的な変化を与えることが知的作業効率の低下や疲労を抑える効果があることが明らかとなった。動物モデル研究により極端な高温や低温環境、さらに温度差の大きい環境温度変化は生体にとって大きい負担となり、生体防御反応を司る免疫機能へ影響を与えている可能性が示唆された。このように温熱環境が生体にとってストレスと成り得、その条件や強度によって体に対して良くも悪くも働いていることが今回の研究により一部ではあるが、明らかとなり、より良い温熱環境条件の提示ができたと考えるが、今後さらにこのような知見の積み重ねを広く行っていき、より具体的な実生活での快適であると同時に身

体の活性化に繋げられる総合的な温熱環境条件の提言のための研究を進めて行きたい。

I-6 研究資料

(A) 出版物

1. 永井正則、入来正躬 (2002) 情動と自律機能. 「セラピストのための基礎研究論文集4 人間行動と皮下機能」、永井洋一編、pp. 267--294、協同医書出版、東京。
2. 永井正則、入来正躬 (2002) 体温調節. 「生物学データ大百科事典 下」、石原、金井、河野、能村他編、pp. 1666--1678、朝倉書店、東京。
3. Nagai M, Wada M, Kobayashi Y and Togawa S (2003) Effects of lumbar skin warming on gastric motility and blood pressure in humans. *Jpn. J. Physiol.* 53: 45--51.
4. 永井正則 (2003) 皮膚加温による胃腸運動促進のメカニズム. *自律神経* 40: 219--221.
5. 永井正則、大野洋美、齋藤順子、和田万紀 (2004) ストレスと分泌型免疫グロブリンA. *自律神経* 41: 347--349.
6. 永井正則 (2005) なぜ体温は37℃か? ---恒温性をめぐって. 「体温のバイオロジー」、山陰道明監修、pp. 17--25、メディカル・サイエンス・インターナショナル社、東京。
7. 大野洋美、齋藤順子、和田万紀、永井正則 (2007) グレープフルーツの香りの吸入が課題遂行に伴う集中力低下を防ぐ. *Aroma Research*.
8. 大野洋美、永井正則 (2007) 香りと睡眠---ラベンダーの香りが睡眠中の自律神経活動に及ぼす影響---. *自律神経*
9. Shibata, M., Uno, T., Riedel, W., Nishimaki, M., Watanabe, K. (2005) Transiently enhanced LPS-induced fever following hyperthermic stress in rabbits. *International Journal of Biometeorology*, 50:67-74.
10. 永井正則、佐藤昭子、小林由美恵、外川忍、和田万紀 (2002) 局所皮膚温度刺激が胃腸運動と循環系に及ぼす効果. 科学研究費基盤研究 (A)(2)「人間-熱環境系快適性シミュレータの開発」平成13年度班会議、東京、2002年3月。
11. 永井正則、小林由美恵、外川忍 (2002) 腰背部皮膚加温の胃腸運動への効果. 第79回日本生理学会大会、広島、2002年3月。
12. 小栗尚子、渡邊佳代子、永井正則 (2002) 足部に与える温熱、指圧刺激の生理的、心理的効果. 第14回日本看護学校協議会学会、京都、2002年7月。(学会長賞受賞)
13. Nagai M, Wada M, Kobayashi Y and Togawa S (2002) Lumbar skin warming increases gastric motility. The 10th International Conference on Environmental Ergonomics, Fukuoka, September 2002.
14. 永井正則 (2002) 腰背部加温による胃運動の亢進. 第55回日本自律神経学会総会、さいたま、2002年11月。
15. 永井正則、大野洋美、齋藤順子、堀内真澄美、小栗尚子 (2002) 眼窩部皮膚温度刺激が循環系に及ぼす効果. 科学研究費基盤研究 (A) (2)「人間-熱環境系快適性シミュレータの開発」平成14年度班会議、東京、2002年12月。
16. 宇野 忠、柴田政章 (2003) 急激な温度変化の繰り返しラットのストレスに与える影響 第42回日本生気象学会大会、神戸、抄録：日本生気象学会雑誌40巻、ページS49.
17. Ohno H, Saitoh J and Nagai M (2003) Effects of thermal stimulation of the orbital regions on cardiovascular indices in humans. The 80th Annual Meeting of Japanese Society of Physiology, Fukuoka, March, 2003.
18. 永井正則、和田万紀 (2003) 腰背部皮膚加温が気分と胃腸運動に与える効果. 第21回日本生理心理学会大会、つくば、2003年5月。
19. 小栗尚子、福田園子、永井正則 (2003) 香りを用いた足浴がもたらす生理的・心理的効果. 日本アロマケア学会2003年度学術総会、東京、2003年7月
20. Uno, T. and M. Shibata. (2004) Influences of repeated environmental temperature changes on plasma levels of corticosterone in rats. 81th Annual Meeting of Japanese Physiological Society, Japanese Journal of Physiology, Sapporo, 54(Suppl.):S228.
21. 宇野忠、柴田政章 (2004) 環境温度変化の繰り返しラット体内恒常性に与える影響 第43回日本生気象学会大会、山梨、抄録：日本生気象学会誌41巻2号、ページS39.
22. Uno, T. and M. Shibata. (2005) Effects of ambient temperature changes on the lipopolysaccharide(LPS)-induced fever in rat. 82th Annual Meeting of Japanese Physiological Society, Japanese Journal of Physiology, Sendai, 55(Suppl.):S219.
23. 永井正則 (2004) 腰背部皮膚加温が腹腔動脈血流と胃運動に与える効果. 第15回体温研究会総会・産業衛生学会温熱環境研究会総会、東京、2004年(平成16年)8月20日。
24. 永井正則、大野洋美 (2004) 腰背部皮膚加温が腹腔動脈血流と胃運動に与える効果. 第57回日本自律神経学会総会、長崎、2004年(平成16年)10月28、

29日.

16. 宇野忠、柴田政章 (2005) 環境温度の変化がラットのLPS発熱反応に与える影響 第52回中部日本生理学会、名古屋、抄録：第52回中部日本生理学会予稿集ページ47.
17. 宇野忠、柴田政章 (2005) ラットのLPS発熱反応への環境温度ストレスが与える影響 第44回日本生気象学会大会、出雲、抄録：日本生気象学会誌42巻3号、ページS40.
19. Nagai M., Wada W. and Ohno H. (2005) Effects of lumbar skin warming on gastric motility and coeliac blood flow in humans. The 4th International Symposium of Autonomic Neuroscience, Marseille, France, July 12--16, 2005.

(C) 研究成果を発表した国際学会と国際シンポジウム

1. Nagai M, Ohno H, Saitoh J and Asakawa K (2004) Effects of the lumbar skin warming on gastric motility and diameters of the coeliac artery in humans. The 81st Meeting of Japanese Society of Physiology, Sapporo, June, 2004. the International Society of Olfaction and Taste, Kyoto, July, 2004.
2. Ohno H, Saitoh J, Wada M and Nagai M (2004) Psychophysiological effects of inhaling grapefruit in humans during cognitive task. The 2004 Meeting of the International Society of Olfaction and Taste, Kyoto, July, 2004.
3. Nagai M., Wada W. and Ohno H. (2005) Effects of lumbar skin warming on gastric motility and coeliac blood flow in humans. The 4th International Symposium of Autonomic Neuroscience, Marseille, France, July 12--16, 2005.

本 編

Ⅱ 研究成果報告

Ⅱ-1 はじめに：研究の目的

私たちが生活を営んでいる環境は、感じる、感じないに関わらず刻々と変化している。しかし、私たちのからだは、この様々な環境の変化に対し体内の環境を安定した状態に保つ調節機能を備えており、その機能のおかげで正常な生命活動が維持でき、健康でいられるのである。私たちを取り巻く環境要因は様々なものが存在するが、その中で誰もが常に触れており、重要なもののひとつが温熱環境である。住んでいる地域や季節により様々な温度環境下で人類は生活を営んでいるが、私たちのからだの温度、体温はおおよそ36.5～37℃に体温調節機能により調節されている。しかし、夏季の炎天下や温室作業などの高温環境曝露による脱水、けいれん、意識混濁、死に至る可能性のある暑熱障害（熱中症）が問題となっており、我々はこれまで高温環境曝露による熱中症状態が生体防御機構を司る免疫機能に与える影響について明らかにしてきた（M. Shibata et al., 2005.）；（柴田ほか、2001）。

高温環境による健康障害である熱中症は、以前は過酷な労働現場などで特に問題となっており、産業衛生の分野で研究が進められてきた。しかし、産業革命以後、全世界的に二酸化炭素などの排出量が増えたことによると考えられている地球温暖化現象や異常気象により、日常的に高温環境にさらされる可能性が高くなってきた。そのため人々は暑くなる夏季には、一般家庭を始めとしオフィスなどの屋内環境へエアコンディショナーなどの空調設備を導入し、涼しい快適環境を得ることにより熱中症などの暑熱障害や不快感から逃れている。しかし、この多大な空調設備の稼働や自動車の普及、都市開発によるビル建設、道路舗装などにより人口の集中する都市部では都市部の気温上昇現象である都市温暖化、ヒートアイランド現象が引き起こされ、屋外のさらなる高温環境の増長が懸念されている。

以上のような状況である最近では、高温環境や低温環境などの一定で極端な環境温度による健康問題だけでなく、暑い環境と涼しい環境の移動による環境温度の変化や暑い夏季に過剰な冷房にさらされるといった温熱環境によるであろう健康上の問題がクローズアップされている。例を上げると「冷房病」と言われる症状で、主に暑い夏季に過剰な冷房に伴い起こる身体の不調をいう。冷房病自体は正式な医学用語ではなく、症状が定義されておらず、その機序もはっきりとしたものはわかっていない。冷房との関連が疑われる下肢や全身の冷感、倦怠感、易疲労感、胃腸障害、頭痛など多様で非特異的な、いわゆる不定愁訴症状である（三浦、1985）。

山梨県は地理的に内陸部に位置しており、特に盆地である甲府地域は一日の寒暖差、年間を通しての寒暖差が非常に大きい特色をもっている。また、富士山や八ヶ岳連峰、南アルプスなどの高標高地域では冬季の気温は非常に低くなり、本県で生活を営む人々は気温の変化にさらされやすく全国的に見て、非常に厳しい気象環境であるといえる。

これらの背景から寒暖差が激しいときに生じる問題を考えてみると、夏場では40℃近い温度の屋外環境と非常に冷房の効いた室内環境（25℃前後）との頻繁な往復や、冷房環境での長時間曝露、冬季での大幅に零度を下回る屋外環境と温暖な室内環境、ビニールハウス等の作業環境との間の頻繁な往復による健康や作業効率への影響といったものが考えられる。本研究はこのような問題を解決するために急激な気温変化が人の健康に及ぼす影響について研究を行うことである。また、これらの急激な温度変化による環境温度ストレスが、知的作業効率へ与える影響についても考察を行った。

研究を進めるにあたり、それぞれサブテーマを設け3方面からのアプローチをとる。

- (1) 現状の実態把握を行う。実際の現場での室内、屋外の気温、湿度変動を観測する。そこで行動する人々へのアンケートにより健康状態、意識の調査を行う。
- (2) 環境温度を実験的に変化させた時、人の体内でどのような変化が起こっているのか、環境温度ストレスの人の健康や作業効率への影響を考える。
- (3) 動物モデルを使用し、人では行えない実験手法を用い、実際に体調不良につながるような生体内反応の分析を行う。

これらの研究アプローチにより、夏期の不定愁訴に代表される環境温度の変化によるであろう体調不良の原因や健康、知的作業効率への影響を明らかにし、実態調査の結果を踏まえて、より安全で快適な環境温度の指標を提示するとともに、健康の維持や病気の予防についての提言をおこなう。

引用文献

- Shibata, M., Uno, T., Riedel, W., Nishimaki, M., Watanabe, K. Transiently enhanced LPS-induced fever following hyperthermic stress in rabbits. *International Journal of Biometeorology*, (2005) 50:67-74.
- 柴田政章、宇野忠、梶原通代、吉永秀、大河原進、高体温（熱中症）の生体の抵抗力（免疫機能）に与える影響の研究、2001.
- 三浦豊彦、夏の暑さと健康、労働科学研究所出版部、1985

Ⅱ-2 サブテーマ1

生活・労働環境の気温変化と健康の実態把握に関する研究

宇野忠、柴田政章、渡邊かおり（生気象学研究室）

Ⅱ-2-1. 研究目的

地球規模での二酸化炭素排出量増加などによる「地球温暖化」や人口集中による高層建築物や舗装路面への整備などの都市開発に伴う「都市温暖化」が近年問題となってきた（原沢、2006）（西沢、1992）。これにより海面上昇や異常気象といった様々な問題が生じてくると思われるが、私たちが最も身近で問題となるのが、生活環境温度の上昇である。この気温の上昇は年間を通じて起こってゆくものであると思われるが、特に夏季の気温の上昇による健康への影響が懸念されており、暑熱障害である「熱中症」が問題として上げられる（入来ら、2006）。それと平行し、夏季の快適環境を求めるため一般家庭をはじめオフィス、公共施設など屋内環境へのルームエアコン導入といった空調設備の整備が進められてきた（三浦、1975）。これらの快適な環境の恩恵に加え、高温環境曝露による暑熱障害（熱中症）などの発生、健康影響の解明、その予防処置の啓蒙により、高温環境による健康問題は、その問題解決に向けてのこころみが進んでいる。

しかし、これらの快適な環境を求めることにより、新たな問題が発生している。それは、本来暑い環境である夏季において過剰な冷房環境に曝露されたり、屋外の暑い環境と涼しい屋内環境の出入りといった環境温度の変化にさらされるなどの環境温度要因により生じていると考えられる「冷房病」と呼ばれている身体の不調症状（不定愁訴症状）である（三浦、1985）。

本研究では、夏季の気温が全国的に見て高い傾向にある甲府盆地地域内において、実際に生活、就業をおこなっているときに曝されている屋外、屋内などの環境温度、またはその変化である温熱環境を計測機器の設置による温度と相対湿度の多点測定により把握することを目的とする。さらに、観測した温熱環境にさらされている人々に対する温度感覚や温熱的快適感、健康状態などのアンケート調査を行うことにより夏季の温熱環境と健康問題の実態把握を行う。

Ⅱ-2-2. 平成15年夏季温熱環境実態調査

Ⅱ-2-2-1. 研究方法

平成15年8月8日～31日の期間、甲府市丸の内の企業の協力を得て夏季温熱環境の実態調査として企業ビルでの室内、屋外の温度と相対湿度の変化をデータロガー付きサーミスター式温度湿度計の設置による長期間連続の記録を行った。また、室内にて業務に携わっている33名（男性21名女性12名）に対してアンケート調査として「温熱環境調査票」に対して回答してもらい温度感覚や温熱的快不快感、倦怠感や不定愁訴症状などの健康面についての実態調査をおこなった。

温度、相対湿度の変化はデータロガー付きサーミスター式温度湿度計（TASCO社TMS-70UR）により1分毎に22日間の記録を行った。記録を行った部屋は約10m×約13m、高さ約2.5mあり、空調口の位置を配慮し4ポイント（図Ⅱ-2-1 A、B、C、D）の測定地点を設定し、1ポイントにつき高さを変えた3ヶ所、高（天井下50cm）中（床上100cm）低（床上20cm）をA、Bに中、低の2ヶ所をC、Dに設置し記録した。同時に直射日光が当たらず、空調設備の排気などの人工的な要因の影響のない風通しのよい屋外にもデータロガーを設置し、屋外の気温、相対湿度変化をモニターした。就業中の室内の空調設備が必ず運転している時間帯（8時30分～17時30分）での室内、屋外の平均、最高、最低の気温、湿度の変化を比較検討した。

Ⅱ-2-2-2. 結果と考察

測定期間の室内、屋外における平均気温、最高気温、最低気温、平均湿度の推移を図Ⅱ-2-2、-3、-4、-5に示す。この期間の室内空調の温度設定は28℃となっており、室内における環境温度管理は推奨されている設定である。実際に記録された室内平均気温は25℃～27℃を示しており、設定温度の28℃より低い気温を示している。冷房病と呼ばれる不定愁訴症状は室温27℃以下から発生が認められ、25℃以下になると増加する傾向があることが報告されており、今回の観測結果から、空調設定が推奨28℃であっても室内での温度分布に偏りが生じ、健康へ影響する室温になる可能性が示唆された。気温の垂直分布は、暖かい空気ほど上部へ冷たい空気

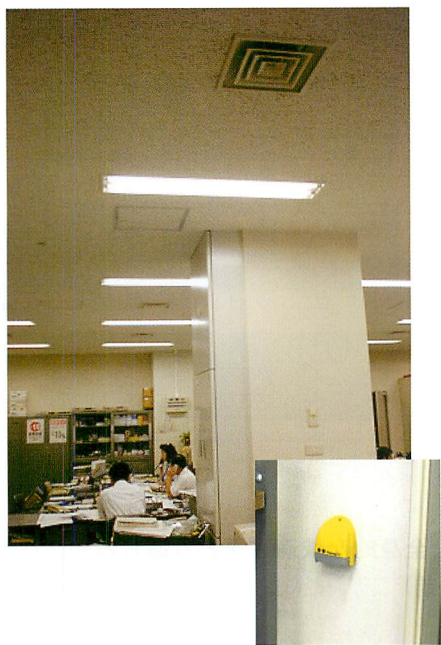
ほど下部に分布する傾向がある。空調機器のセンサーが概ね床から1m以上に設置されていることから、下部の足元付近の気温が低くなる可能性が考えられる（山寺、2004）。今回得られた環境温度の比較により室内と屋外において同日内の平均気温には最大6.68℃の温度差、同室内の異なる測定ポイント間では2.34℃の温度差が観察された。また、同時刻での瞬間的な最大気温差は屋内外では9.8℃、同室内では4.2℃が測定された（比較する屋内の温度データは人がさらされる可能性のある高さが低、中ポイント）。これは室内と屋外間の移動時に10℃近い非常に大きい環境温度の変化にさらされることを示しており、また同室内での移動においても環境温度変化にさらされ、位置する場所によりさらされる環境温度が違い温度への異なる感覚が生じる可能性を示している。

データロガー付き温湿度計にて測定を行っている部屋において業務を行っている方々に対しアンケート調査を行った。温度感覚、温熱的快適感、健康状態に関わる46セクションの設問から成る「温熱環境調査票」に対して夏季後半の晴天であった8月22日に業務を行っている男性21名、女性12名の合計33名に回答していただいた。アンケート当日の業務時間での屋内外の平均気温差は6.7℃、瞬間的には9.8℃を14時25分に記録している。回答者の平均年齢は全体で42.4歳、男性46.2歳、女性35.8歳であった。始業後3時間（午前）に行ったアンケート結果では、全体の85%の方が室内外の出入りがあると回答している。体の状態が「やや悪い」と回答した方が4名（男性2名、女性2名）見られ、原因として「けだるさ」、「疲れの残り」が挙げられている。その他、健康状態が悪いと判断するに至らない体の訴えとしての自覚している諸症状への回答（複数回答可）では図Ⅱ-2-6に示した項目への回答が見られた。疲れについては54%の半数以上の方々が疲れを感じている（「やや疲れている」、「疲れている」）と回答している。次に全身的な快適さをどう感じるか、の設問に対する回答を図Ⅱ-2-7に示した。男性では不快と感じた人は見られなかったのに対し、女性では17%（2名）が「やや不快」とであると回答している。図Ⅱ-2-8に示した全身的な温度感覚をどう感じているか、では男性の19%（4名）が涼しい（「やや涼しい」：2名、「涼しい」：2名）と回答しているのに対して、女性では42%（5名、「やや涼しい」：2名、「涼しい」：2名、寒い：1名）が涼しいと感じており、暑さを感じている回答も含め、女性より男性の方が同室内においても暑く感じている傾向が見られる。暑いと感じる人が見られる一方、同じ室内で寒いと感じる人が存在することは興味深い結果である。湿度に関しては女性の50%がやや乾いていると回答し、乾燥に対して敏感な傾向を示した（図Ⅱ-2-9）。体の各部位での温度感覚に関する回答（図Ⅱ-2-10、-11、-12）では全体で顔部において暖かく、足部では涼しく感じる傾向があり、女性が手部、腰

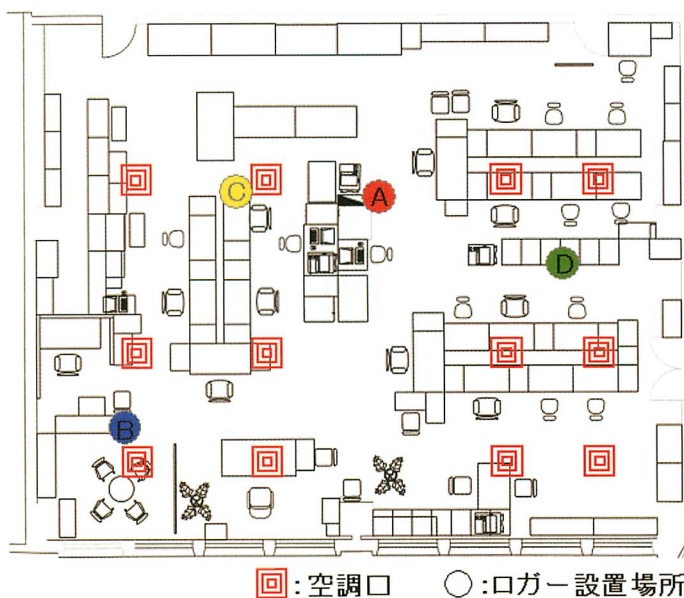
部、足部において「涼しい」、「寒い」、「非常に寒い」と強く感じる傾向が見られた。これは比較的足部において風を感じる傾向と関連がある可能性が考えられる（図Ⅱ-2-13）。身につけている被服量については男性、女性において一定の傾向はなく、それぞれ個人で調整を行っているのが見受けられた。

午後の就業開始後2時間（午後）で行ったアンケート結果では、全体の87%が室内外の出入りをしており、自覚している諸症状の訴えが57件と午前中の54件から増加している（図Ⅱ-2-14）。疲れを感じている人は63%と午前の54%を上回っていた。全身的な快適感を示す図Ⅱ-2-15でも男性19%、女性50%にて「やや不快」「不快」と回答しており、午前より不快と感じる傾向にあった。全身的な温度感覚（図Ⅱ-2-16）では「暑い」「暖かい」「やや暖かい」が男性で午前午後であまり変化がなかったのに対し、女性では午前24%から58%と午前にあまり暑さ感じていない傾向にあった。体温には概日リズムがあり明け方最も低く、午後高くなる。午前中は人間の活動が始まり、代謝の増加に伴って体温が上昇してゆく時間帯であるが、朝食の未摂取や冷え症といった女性に多い条件による代謝が低いことが関係している可能性が考えられる。湿度においては午前と同様に乾燥に対して女性の41%の方が感じている（図Ⅱ-2-17）。からだの各部の温度感覚では男性において上半身を中心として「暑い」、「暖かい」と感じている一方、女性では下半身に涼しいと感じている方が多い傾向が見られた（図Ⅱ-2-18、-19、-20）。午後においては風はほとんど感じないとの回答が得られた（図Ⅱ-2-21）。

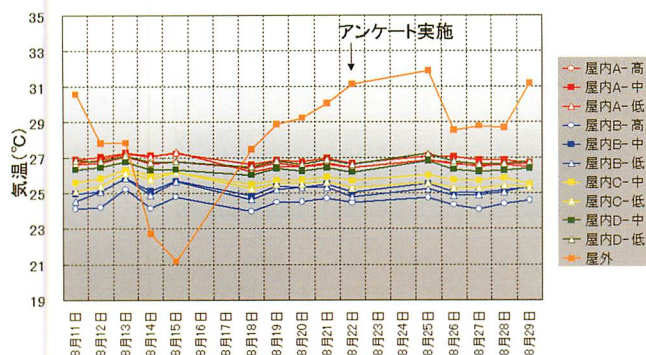
今回、データロガー付き温湿度計の設置による計測により空調が機能している室内においても場所による環境温度の違いが確認され、屋外との移動も含めて、温度の変化にさらされる可能性や位置による環境温度の違いがあることが明らかとなった。また、アンケート調査では温度感覚、温熱的快適感の感じ方において個人によってかなりの差があることが確認でき、同じ室内でも環境温度に差がある状態とあわせて考えると、感じる温度感覚はさらに大きなものと成りうる可能性が考えられる。これらの問題にうまく衣服などでの調整により対応を行っている人も見受けられたが、対処しきれずに非常に暑い、非常に寒いと訴える人も見られた。



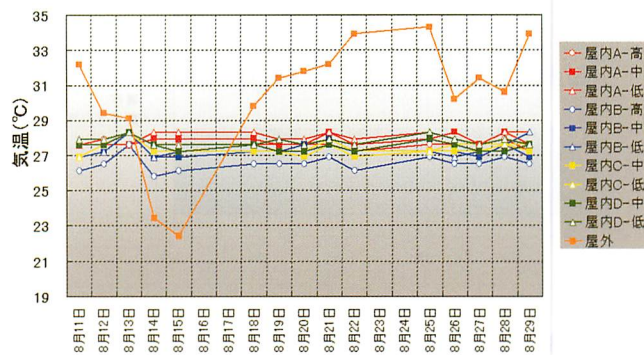
サーミスター式
温湿度測定用データロガー



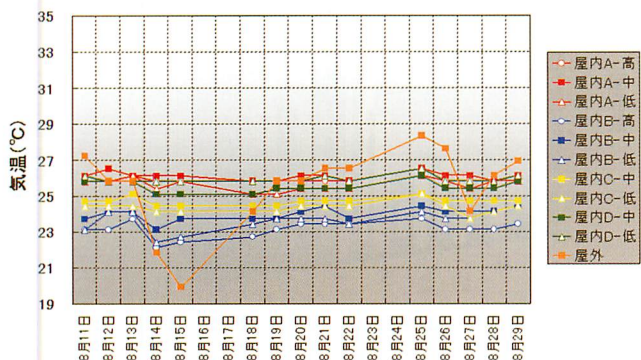
図Ⅱ-2-1. データロガー設置による夏季長期間の温度、相対湿度の測定



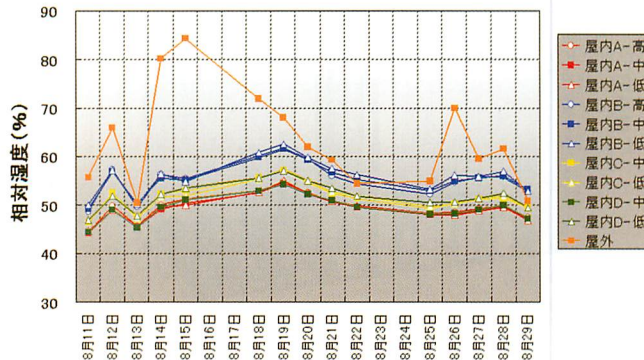
図Ⅱ-2-2. 平成 15 年 8 月 11 ～ 29 日就業時間 (8:30 ～ 17:30) 平均気温推移。屋内 4 ヲ所 (高、中、低の高さ別含む)、屋外 1 ヲ所の計 11 ヲ所とアンケート実施日



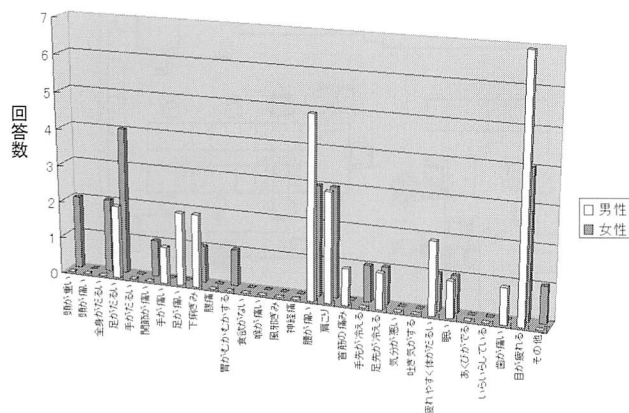
図Ⅱ-2-3. 平成 15 年 8 月 11 ～ 29 日就業時間 (8:30 ～ 17:30) 最高気温推移。屋内 4 ヲ所 (高、中、低の高さ別含む)、屋外 1 ヲ所の計 11 ヲ所図



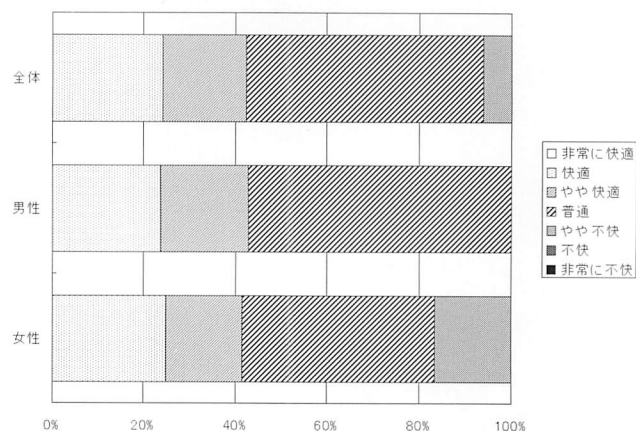
Ⅱ-2-4. 2003 年 8 月 11 ～ 29 日就業時間 (8:30 ～ 17:30) 最低気温推移。屋内 4 ヲ所 (高、中、低の高さ別含む)、屋外 1 ヲ所の計 11 ヲ所。



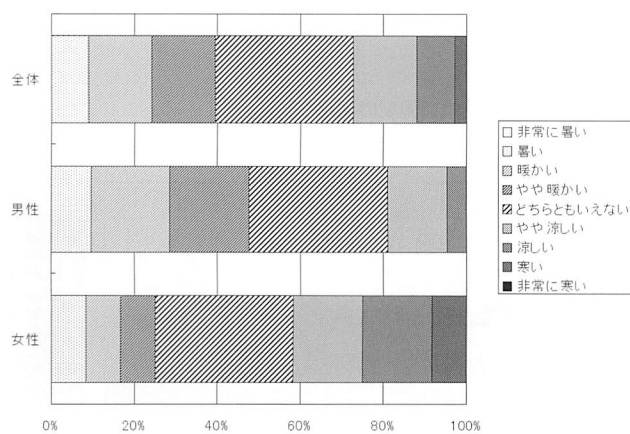
図Ⅱ-2-5. 平成 15 年 8 月 11 ～ 29 日就業時間 (8:30 ～ 17:30) 平均相対湿度推移。屋内 4 ヲ所 (高、中、低の高さ別含む)、屋外 1 ヲ所の計 11 ヲ所。



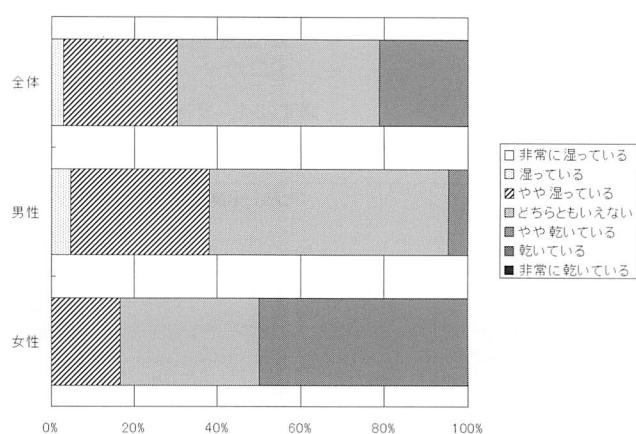
図Ⅱ-2-6. 自覚のある諸症状についての回答（午前）



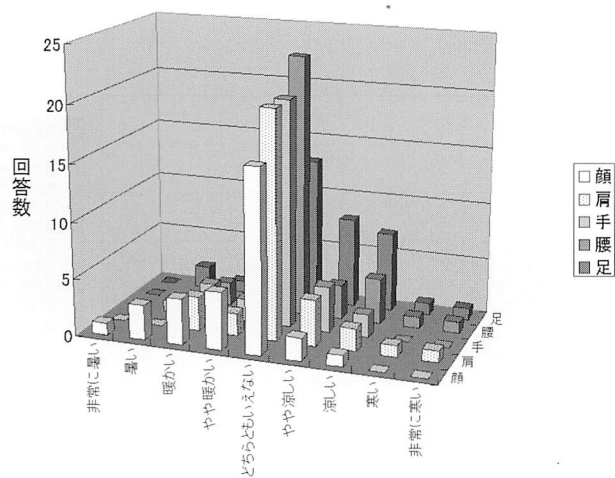
図Ⅱ-2-7. 全身的な快適さをどう感じるか？についての回答（午前）



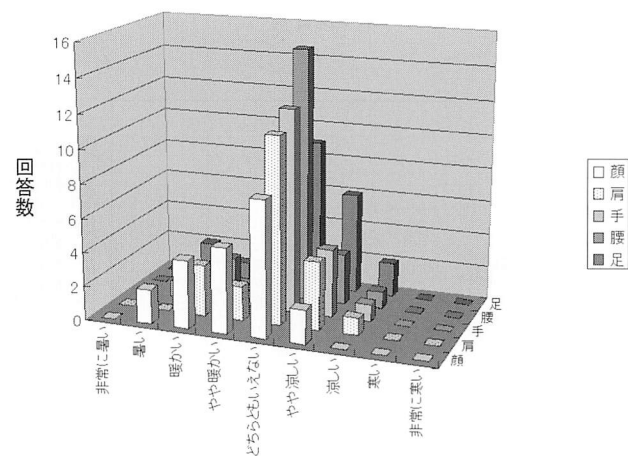
図Ⅱ-2-8. 全身的な温度感覚をどう感じるか？について
の回答（午前）



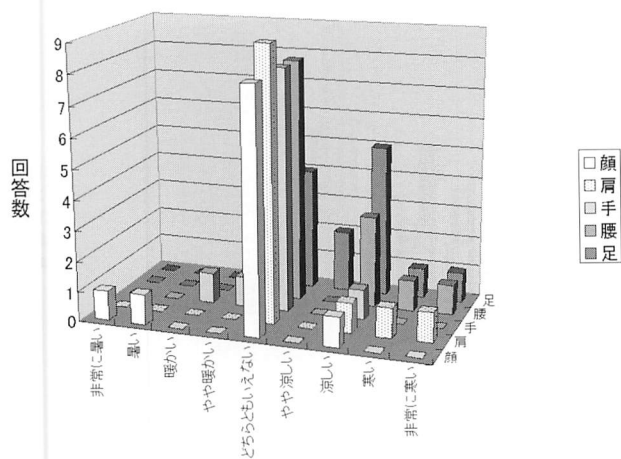
図Ⅱ-2-9. 湿度の感じは？についての回答（午前）



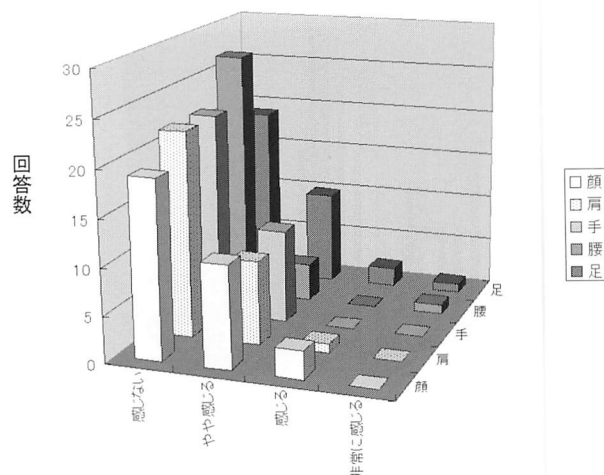
図Ⅱ-2-10. からだ各部位の温度感覚は？についての回答
(全体、午前)



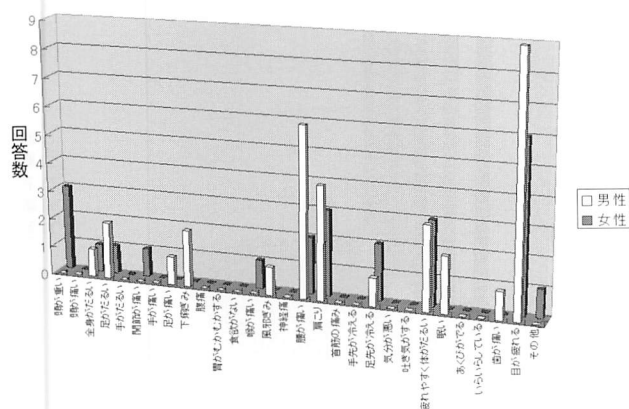
図Ⅱ-2-11. からだ各部位の温度感覚は？についての回答
(男性、午前)



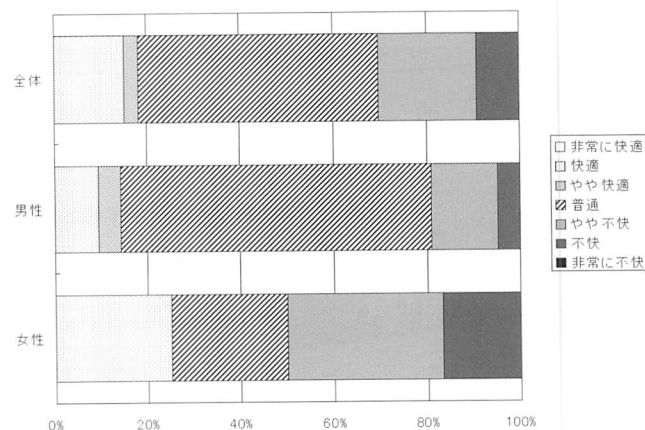
図Ⅱ-2-12. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (女性、午前)



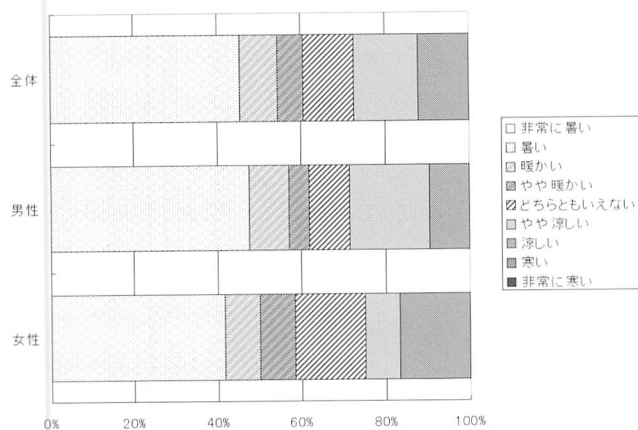
図Ⅱ-2-13. からだ各部位で感じる風（気流）は？についての回答 (午前)



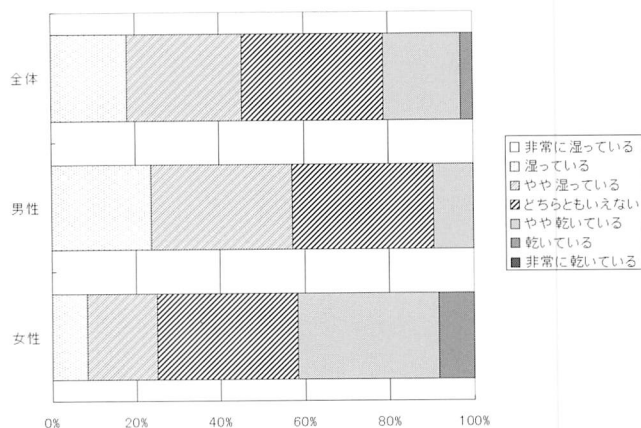
図Ⅱ-2-14. 自覚のある諸症状についての回答 (午後)



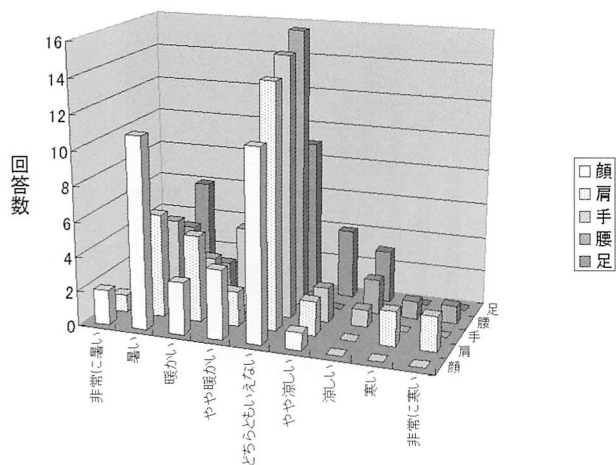
図Ⅱ-2-15. 全身的な快適さをどう感じるか？についての回答 (午後)



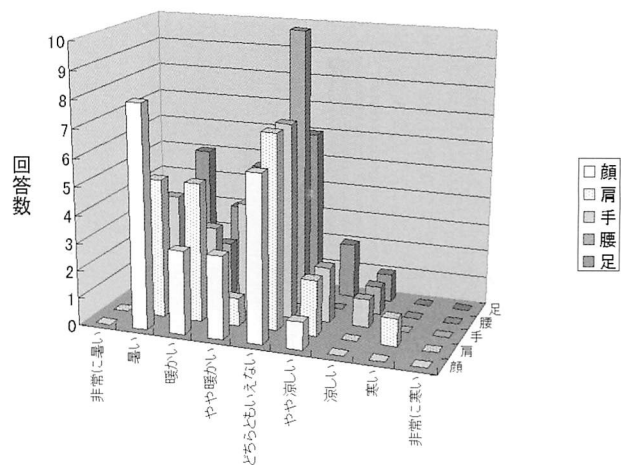
図Ⅱ-2-16. 全身的な温度感覚をどう感じるか？についての回答 (午後)



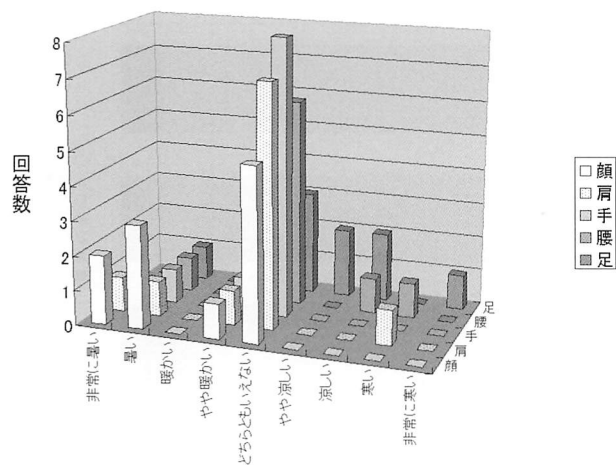
図Ⅱ-2-17. 湿度の感じは？についての回答 (午後)



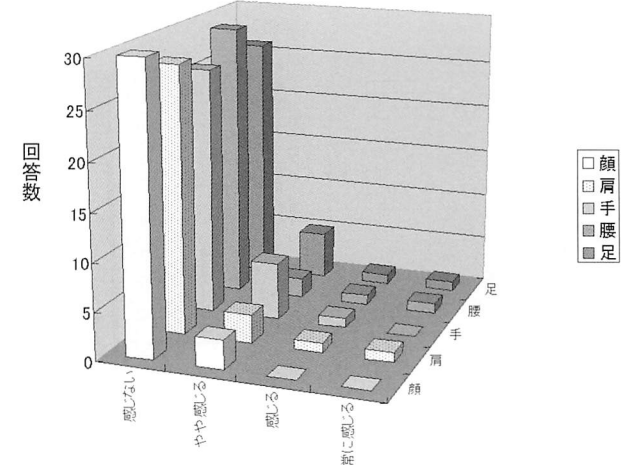
図Ⅱ -2-18. からだ各部位の温度感覚は？についての回答
(全体、午後)



図Ⅱ -2-19. からだ各部位の温度感覚は？についての回答
(男性、午後)



図Ⅱ -2-20. からだ各部位の温度感覚は？についての回答
(女性、午後)



図Ⅱ -2-21. からだ各部位で感じる風（気流）は？についての回答（午後）

Ⅱ-2-3. 平成16年夏季温熱環境実態調査

Ⅱ-2-3-1. 研究方法

平成16年8月2日～29日の期間、平成15年と同様の甲府市丸の内の企業の協力を得て夏季温熱環境の実態調査として企業ビルでの室内、屋外の温度と相対湿度の変化をデータロガー付きサーミスター式温度湿度計の設置による長期間連続の記録を行った。また、室内にて業務に携わっている36名（男性17名女性19名）に対してアンケート調査として温度感覚、温熱的快適感、健康状態に関わる23セクションの設問から成る「温熱環境調査票」に対して回答してもらった。温度、相対湿度の変化はデータロガー付きサーミスター温度湿度計（TASCO社TMS-70UR）により5分毎に27日間の記録を行った。記録を行った部屋は平成15年と同じ総務業務をおこなう建物内部の部屋と同建物内の来客者に対応するため屋外への直接出入口がある営業業務をおこなうフロアである。それぞれ座位、立位ともに体幹部への影響が大きい床上100cmのポイントにデータロガーを設置した。同時に直射日光が当たらず、空調設備の排気などの人工的な要因の影響のない風通しのよい屋外にもデータロガー付き温湿度計を設置し、屋外の気温、相対湿度の変化をモニターした。室内の空調設備が運転している時間帯（8時30分～17時30分）での室内、屋外の平均、最高、最低の気温、相対湿度の変化を比較検討した。

Ⅱ-2-3-2. 結果と考察

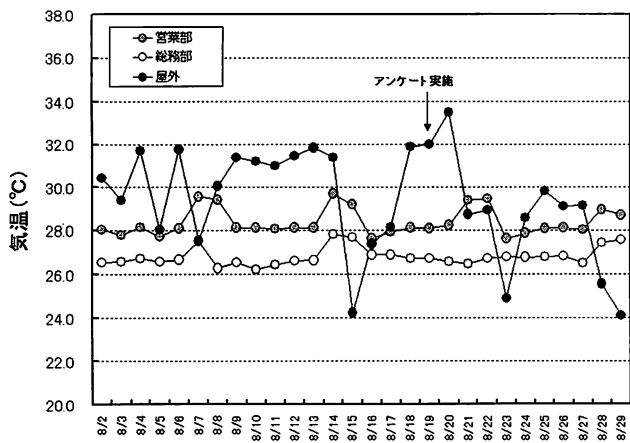
測定期間の室内、屋外における平均気温、最高気温、最低気温、相対湿度の推移を図Ⅱ-2-22、-23、-24、-25に示す。屋外の気温推移をみると、平成16年夏季は冷夏であった平成15年に比べ気温の高い日が多い傾向にあった。この期間の室内空調機の温度設定は28℃となっており、室内における環境温度管理として推奨されている設定である。実際に記録された室内平均気温は総務部では25～27℃、営業部では27～30℃を示しており、総務部と比べると営業部では2～3℃高い室温が記録された。これは頻繁な来客のために出入り口が開き、外気が流入することが原因であると思われる。今回の結果では室内である総務部と屋外において、同時刻の気温に最大9℃の瞬間的な温度差が見られた。また、室内においても総務部と営業部間で最大4.7℃の温度差が観察された。これは室内、屋外間の移動時に大きな環境温度の変化にさらされることを示しており、また建物内での移動においても少なからず環境温度の変化にさらされる可能性を示している。

次に、データロガー付き温湿度計にて測定を行っている部屋において業務を行っている方々に対しアンケート調査を行った。温度感覚、温熱的快適感、健康状態などに関わる23セクションの設問から成る「温熱環境調査

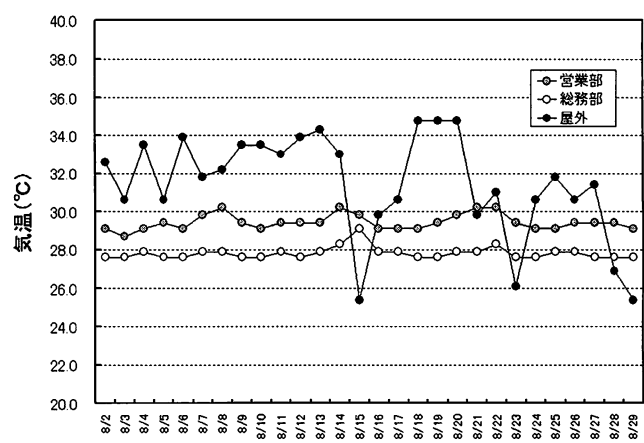
票」に対して晴れであった8月18日に業務を行っている男性17名、女性19名の合計36名に回答していただいた。平成16年は平成15年において午前、午後行った結果から疲労度が高く、不定愁訴症状の増加や温度感覚の傾向がより強くでる午後の就業開始後2時間においてのみアンケートを行った。アンケート当日の業務時間内での屋内外平均気温差は5.2℃、瞬間最大気温差は9℃、同建物内にある営業部と総務部では2.9℃であった。回答者の平均年齢は全体で37.4歳、男性48.7、女性28.4歳であった。全体の76%の方が室内外の出入りがあると回答している。体の状態が「やや悪い」と回答した方が女性に2名見られ、原因として「頭痛」、「生理」が挙げられている。その他、健康状態が悪いと判断するに至らない体の訴えとしての自覚のある症状には図Ⅱ-2-26に示した項目への回答（複数回答可）が見られ、平成15年の延べ50件に比べ54件と若干増加の傾向が見られた（質問項目の変更に伴い平成16年の回答項目に対応する平成15年の回答項目を抜粋した件数とした）。疲れについては66%の半数以上の方が疲れを感じている（「やや疲れている」、「疲れている」）と回答している。次に全身的な快適さをどう感じるか、の設問に対する回答を図Ⅱ-2-27に示す。全体では「快適」「やや快適」と回答した率が平成15年の42%から31%と減少し、「やや不快」「不快」は6%から25%と増加している。男性と女性では女性是不快であると感じ、男性は快適であると感じる率が高い傾向がみられた。図Ⅱ-2-28に示した全身的な温度感覚をどう感じているかでは平成15年と比べ「暑い」と感じる人が増え、「涼しい」「寒い」と感じる人が減少した。特に女性で「暑い」と感じる人が21%いる一方、男性の12%が感じている「涼しい」感覚は女性ではみられなかった。これらの結果から、同じ環境温度設定をしている建物内の部屋においても異なる温度感覚を感じており、女性が暑いことによる不快を感じていると考えられる。湿度の感じ方では男性でやや湿っぽく感じる一方、女性ではやや乾燥して感じる傾向がある（図Ⅱ-2-29）。図Ⅱ-2-30、-31、-32に示す体の各部位での温度感覚に関する回答では腰、足において「涼しい」、「寒い」と感じる傾向がある一方、足で「暑い」と感じると回答した方々も多くみられた。その他に顔で「暖かさ」を感じている人も多くみられた。風（気流）は顔部でやや感じているのに加え、足部では少数ではあるが非常に強い風を感じている回答が得られた（図Ⅱ-2-33）。

今回においても、データロガー付き温度湿度計の設置による計測により同建物内の異なる部屋において空調設定が同じであっても環境温度の違いが確認され、屋外との移動も含めて、温度の変化にさらされる可能性があることが明らかとなった。また、アンケート調査では温度感覚、快適感の感じ方において個人によってかなりの差があり、さらにアンケートを行う年の夏季の暑さやそれ

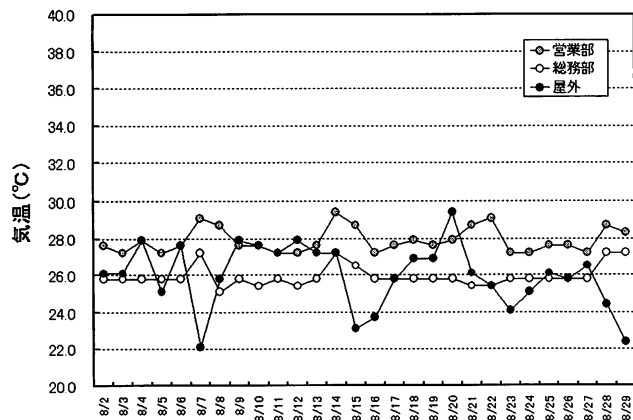
までの天気、気温の推移など様々な要因により温熱環境への感じ方が異なるものと思われ、同じ室内でも環境温度に差がある状態とあわせて考えると、感じる温度感覚の違いはさらに大きなものと成りうる可能性があると考えられる。



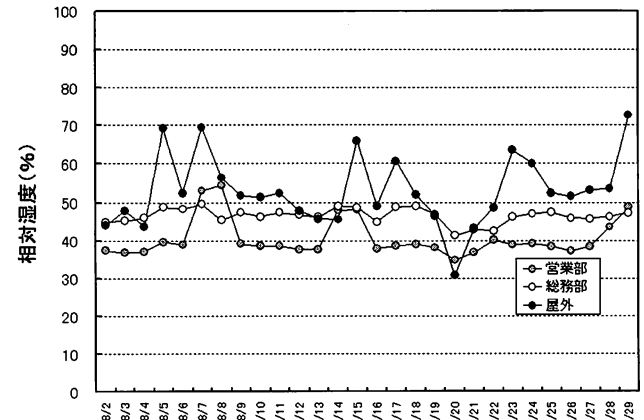
図Ⅱ-2-22. 平成16年8月 8:30～17:30の営業部、総務部、屋外における平均気温推移とアンケート実施日



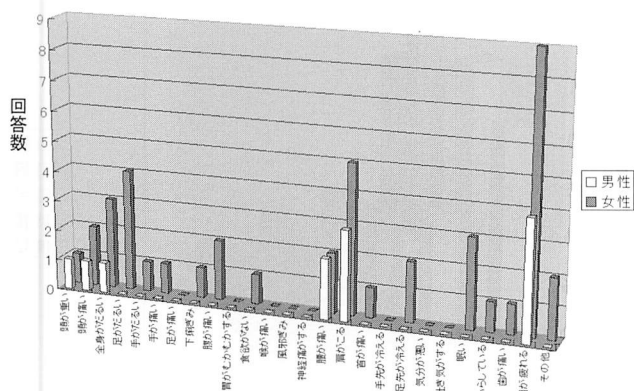
図Ⅱ-2-23. 平成16年8月 8:30～17:30の営業部、総務部、屋外における最高気温推移



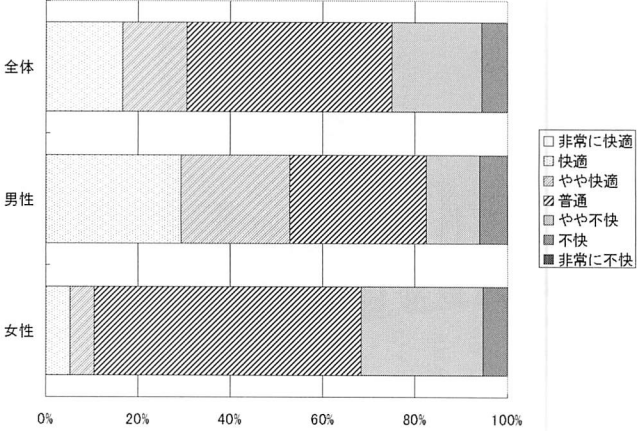
図Ⅱ-2-24. 平成16年8月 8:30～17:30の営業部、総務部、屋外における最低気温推移



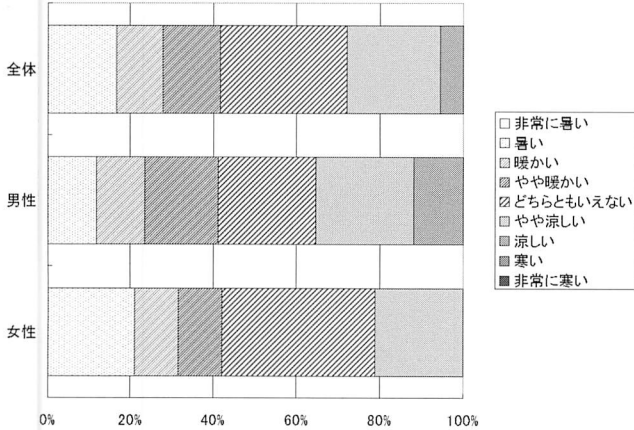
図Ⅱ-2-25. 平成16年8月 8:30～17:30の営業部、総務部、屋外における平均相対湿度推移



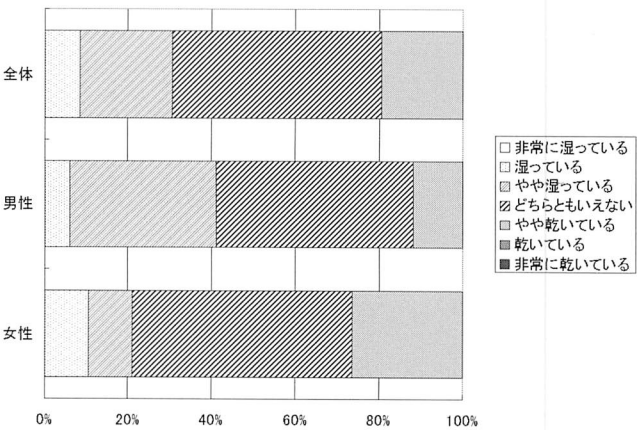
図Ⅱ -2-26. 自覚のある諸症状についての回答



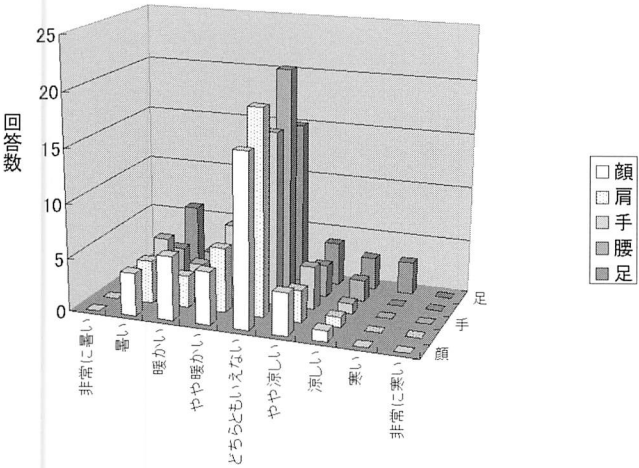
図Ⅱ -2-27. 全身的な快適さをどう感じるか？についての回答



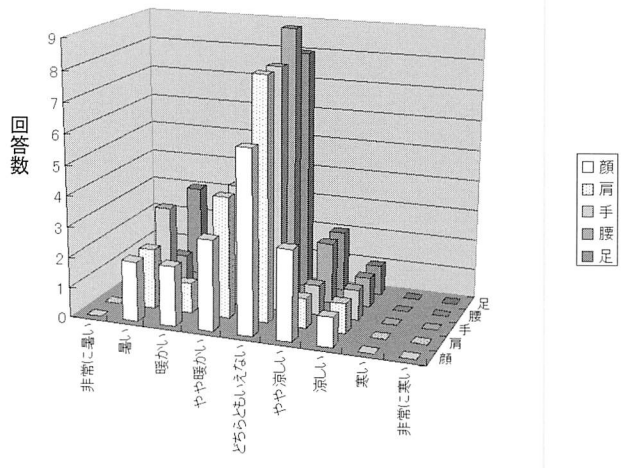
図Ⅱ -2-28. 全身的な温度感覚をどう感じるか？についての回答



図Ⅱ -2-29. 湿度の感じは？についての回答



図Ⅱ -2-30. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (全体)



図Ⅱ -2-31. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (男性)

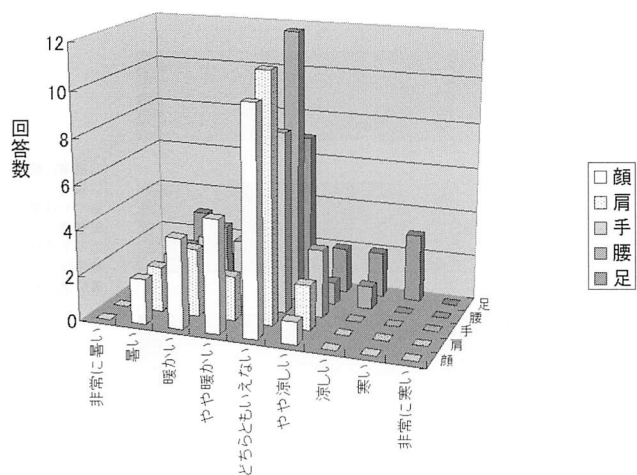


図 II -2-32. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (女性)

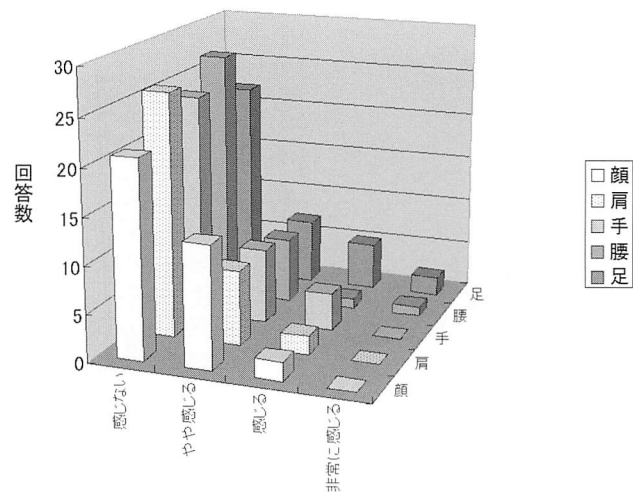


図 II -2-33. からだ各部位で感じる風 (気流) は？についての回答

Ⅱ-2-4. 平成17年夏季温熱環境実態調査

Ⅱ-2-4-1. 研究方法

平成17年8月1日～31日の期間、平成15年、平成16年と同じ方法により甲府市丸の内の企業の協力を得て夏季温熱環境の実態調査として企業ビルでの室内、屋外の温度と相対湿度の変化の記録を行った。記録期間は6分毎に31日間であった。また、アンケート調査に関しても同様に温度感覚、温熱的快適感、健康状態に関わる「温熱環境調査票」へ40名に回答してもらった。室内の空調設備が運転している時間帯（8時30分～17時30分）での室内、屋外の平均、最高、最低の気温、湿度の変化を比較検討した。

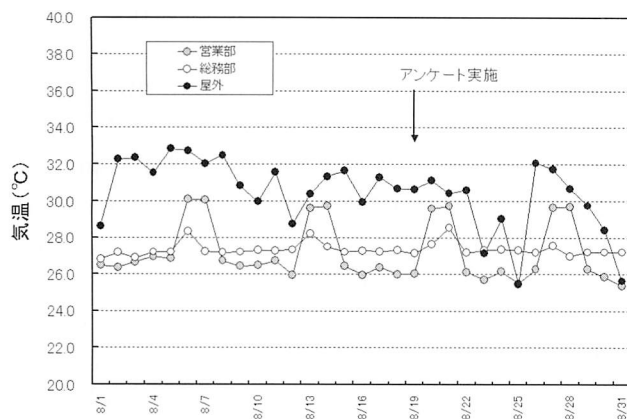
Ⅱ-2-4-2. 結果と考察

測定期間の室内、屋外における平均気温、最高気温、最低気温、平均相対湿度の推移を図Ⅱ-2-34、-35、-36、-37に示す。屋外の平均気温の推移をみると、断続的に暑い日があった平成16年に比べ平成17年8月は全体的に気温の高い日が多かった。この期間の室内空調機の温度設定は28℃となっており、室内における環境温度管理として推奨されている設定である。室内平均気温は総務部では26.8～27.4℃、営業部では25.4～26.9℃を示しており、営業部の平均気温が低い傾向がみられる。今回の結果では室内である総務部、営業部と屋外において、同時刻の気温に瞬間的に最大8.3℃の温度差がみられた。また、室内においても総務部と営業部間で最大4.4℃の温度差が観察された。これは室内、屋外間の移動時に大きな環境温度の変化にさらされる可能性を示しており、また建物内での移動においても少なからず環境温度の変化にさらされる可能性を示している。

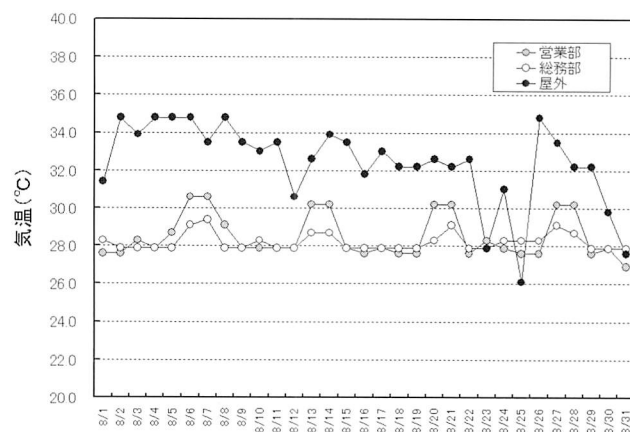
次に、データロガーにて測定を行っている部屋にて業務を行っている方々に対しアンケート調査を行った。温度感覚、温熱的快適感、健康状態などに関わる23セクションの設問からなる「温熱環境調査票」に対して晴れであった8月19日に業務を行っている男性21名、女性19名の合計40名に回答していただいた。アンケート当日の業務時間内での屋内外平均気温差は4.6℃、瞬間最大気温差は6.1℃、同建物内にある営業部と総務部では2.2℃であった。回答者の平均年齢は全体で34.8歳、男性36.7、女性32.6歳であった。全体の87%の方が室内外の入出りがあると回答している。体の状態が「やや悪い」と回答した方が2名見られ、原因として「空調（冷房）」が挙げられている。その他、健康状態が悪いと判断するに至らない体の訴えとして図Ⅱ-2-38に示した項目への回答（複数回答可）が見られ、平成15年50件、平成16年54件と比べ70件と増加の傾向が見られた。疲れについては65%の半数以上の方々が疲れを感じている（「やや疲れている」、「疲れている」）と回答している。次に

全身的な快適さをどう感じるか、の設問に対する回答を図Ⅱ-2-39に示す。全体では「快適」「やや快適」と回答した率が平成16年の31%から25%と減少し、「やや不快」「不快」も25%から16%と減少している。男性と女性では男性は快適であると感じ、女性は不快であると感じる率が高い傾向がはっきりとみられた。図Ⅱ-2-40に示した全身的な温度感覚をどう感じているかでは平成16年と比べ「暑い」と感じる人が減り、「涼しい」「寒い」と感じる人が増加した。特に男性で「暑い」「暖かい」「やや暖かい」と感じる人が29%いる一方、女性の26%が感じている「涼しい」感覚は男性では非常に少なかった。これらの結果は同じ建物内においても異なる温度感覚を感じていることを示している。湿度の感じ方では過去2年と同傾向の女性が乾燥に関して敏感であることを示している（図Ⅱ-2-41）。図Ⅱ-2-42、-43、-44に示す体の各部位での温度感覚に関する回答では体の部位のどこかで「寒い」と感じた人数は6人。そして6人全員が「足」に「寒い」と感じていると回答している。平成16年の結果では「暖かい」「やや暖かい」といった暖かく感じる回答が多かったのに対し「涼しい」、「やや涼しい」との回答が多く見られた。からだの各部位での風（気流）の感じに対する回答を図Ⅱ-2-45に示す。

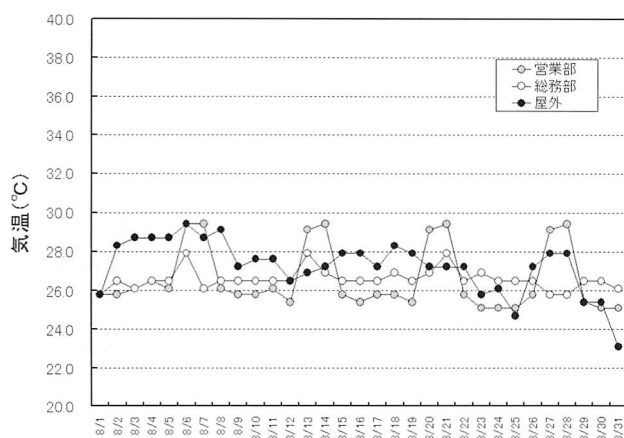
平成17年の8月期の外気温は平成15、16年と比較し、安定して高く推移していた、それに対し空調設定の基準は同じ28℃であったが、就業期間中の平均室内気温は26.8℃と平成16年の27.3℃と比較し低い値であった。特にアンケートを行った週の平均気温は平成16年：室外30.6℃、室内27.4℃に対し平成17年：室外30.8℃、室内26.7℃と平均気温の室内外差に0.9℃の違いがみられた。さらに、来客対応を行う営業部では平成16年の28℃に対し26.3℃と1.7℃の差がみられた。アンケート結果との関連性をみると、以上のように平成17年は3年間おこなってきた中で室内外の気温差が最も大きかった年であり、過去2年のアンケート調査との比較において涼しい、寒いと感じる、特に足元の寒さを訴える人が多くみられたことに結びついていると考えられる。そしてこのような状況が体調の不良の原因に「空調」をあげることや自覚のある諸症状の増加を引き起こしているのではないだろうか。



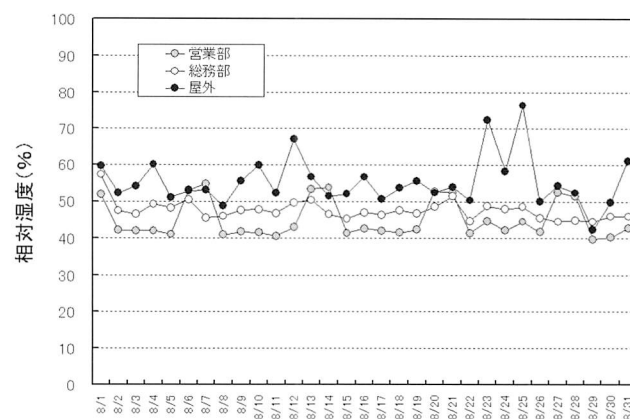
図Ⅱ-2-34. 平成17年8月 8:30～17:30の営業部、
総務部、屋外における平均気温推移とアンケート実施日



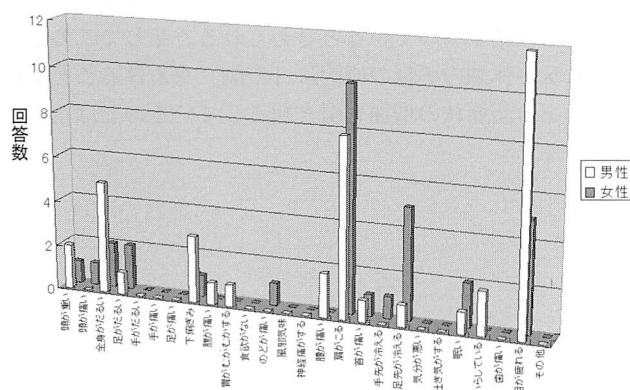
図Ⅱ-2-35. 平成17年8月 8:30～17:30の営業部、
総務部、屋外における最高気温推移



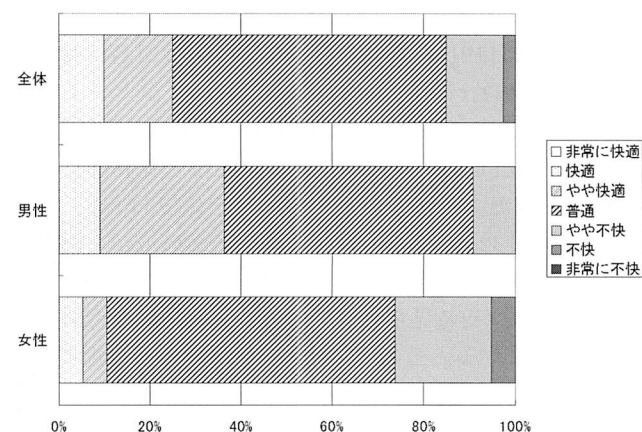
図Ⅱ-2-36. 平成17年8月 8:30～17:30の営業部、
総務部、屋外における最低気温推移



図Ⅱ-2-37. 平成17年8月 8:30～17:30の営業部、
総務部、屋外における平均相対湿度推移



図Ⅱ-2-38. 自覚のある諸症状についての回答



図Ⅱ-2-39. 全身的な快適さをどう感じるか？についての回答

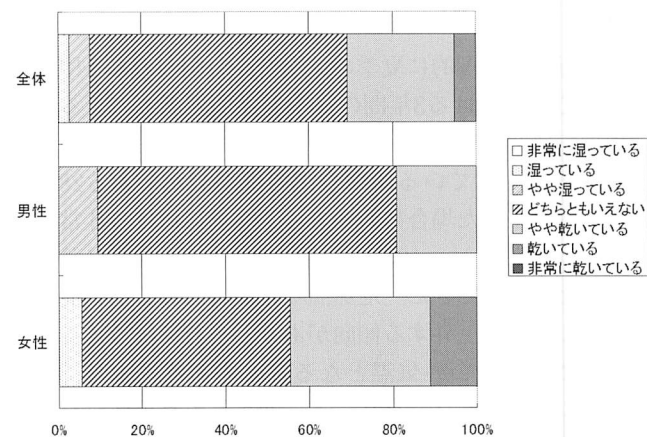
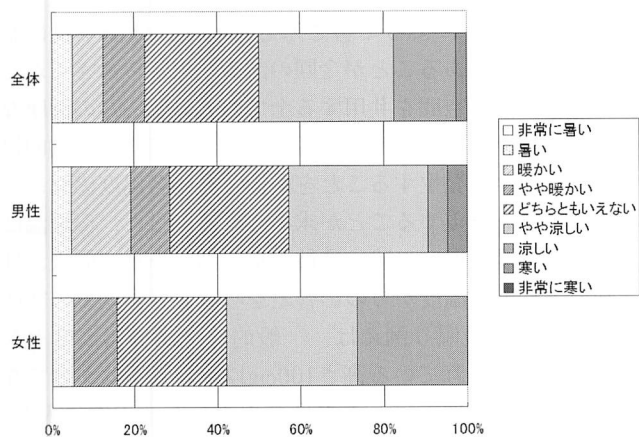


図 II -2-40. 全身的な温度感覚をどう感じるか？についての回答

図 II -2-41. 湿度の感じは？についての回答

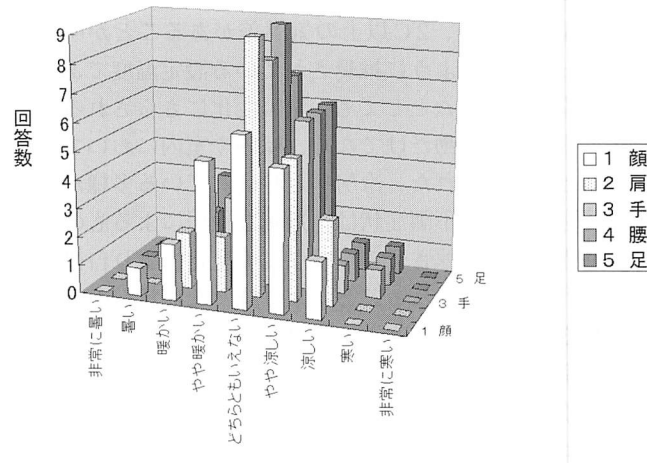
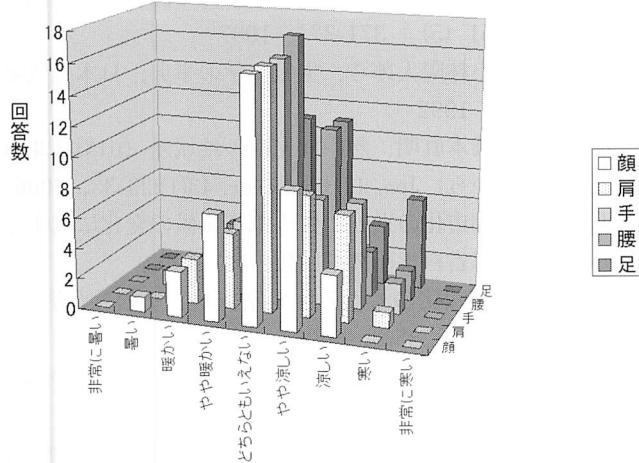


図 II -2-42. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (全体)

図 II -2-43. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (男性)

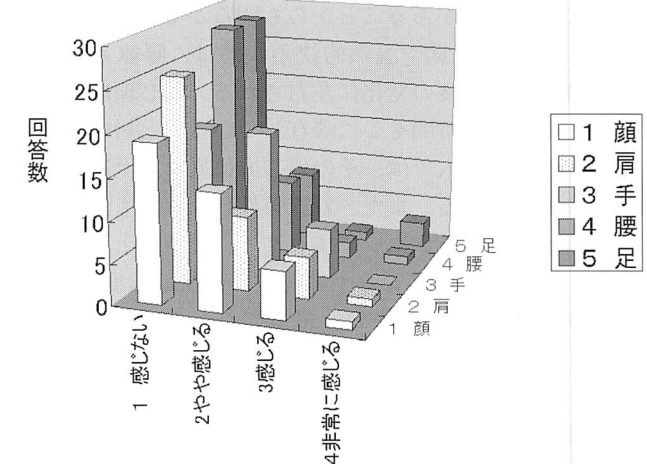
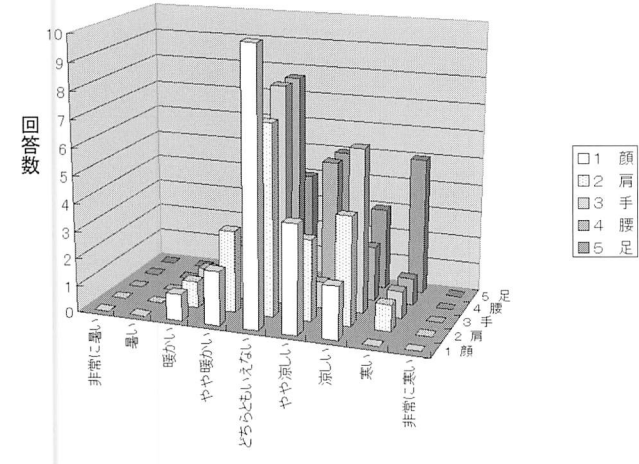


図 II -2-44. からだ各部位の温度感覚は？についての回答 (女性)

図 II -2-45. からだ各部位で感じる風（気流）は？についての回答

II-2-5. まとめ

今回行った全国的に夏季の気温が高い傾向のある甲府盆地中心地における3年間の夏季温熱環境調査による実態把握の研究結果では、現在の主にエネルギー問題の観点から推奨されている屋内空調の気温設定である28℃に設定されていた場合においても、夏季に於ける非常に高温となる日には、10℃近い屋内外での気温差が発生することが確認できた。地球温暖化が叫ばれる中、最近の夏季の気温は上昇する傾向があり、一昔では考えられなかった40℃近い外気温となることもある。また、アスファルト舗装やコンクリートに囲まれた都市部においては輻射熱の影響が大きく、部分的に更に高い気温となることも考えられる。このような場合、屋内と屋外の気温差は今以上に大きくなる可能性を含んでいる。

さらに、同じ空調温度設定を行っているにもかかわらず、部屋の用途の違いや立地条件により5℃近い気温差が発生していること、加えて同じ室内においても気温分布に偏りがあり、2℃以上の気温差があることが明らかとなった。このように推奨されている設定温度である28℃に設定していたとしても、気温変化にさらされる可能性が屋内外の移動だけでなく、屋内や室内においてもあることが示唆された。冷房病と呼ばれている多様かつ非特異的な身体の不調症状は、過剰な冷房によるものに加え短時間に繰り返される環境温度の変化により自律神経系のバランスが崩れることにより様々な症状が引き起こされ则认为られており（入来ら、1992）、その発生状況は室温が27℃以下の職場で確認され始め、25℃以下になると件数が増加する報告がある（山寺、2004）。今回のように28℃の設定としていた場合においても、実際は25～27℃の室温となる場所が確認できたことから、部屋の立地条件や窓、入口の有無によっては、健康への影響はないとは言いきれない。このことは、アンケート調査による健康状態への回答に対し、自覚のある諸症状について複数回答があることから明らかである。

温度に対する感覚や温熱的快不快感は、曝露されている時間や環境温度の変化に左右される。同じ環境温度だったとしても長時間そこに滞在している人と暑い環境から移動してきた人では、その感じ方は異なり至適温度は違ったものとなる。また、着衣条件によっても温度への感覚は異なりワイシャツにネクタイ、夏背広上下の正装に対し、半そで開襟シャツの軽装では快適温度に3℃の違いが有り（青山、1987）、最近のクールビズを推し進めることは室温設定を下げる必要が少なくなり、省エネルギーの観点に加えて低温側への感受性が高い人々にとって健康面でも有益であると思われる。

このように、性別を含め様々な要因によって温度感覚、温熱的快適感に違いが発生し、至適温度にズレが発生するため常識的な空調設定にしていたとしても外気温の推

移や立地条件、配置による室内温度分布の偏りによって生じる気温差によって暑さ寒さを感じ、体調不良に繋がる可能性があることが今回の調査結果からあきらかとなった。同一空間を共用する全ての人にとっての健康な生活環境温度の設定には、各個人の温度感覚、温熱的快適感に違いが発生することを前提とし、各温度感覚に対する意見を尊重することが求められる。また、環境温度に対する至適温度の違いは被服量の調節を行い個人、性別による環境温度からの影響差を吸収し、室内での空間的温度分布の偏り例えば、一般的に空調機器温度センサーが設置されている高さ100cm以上の気温ばかりでなく、足元の温度といった温度の垂直分布を考慮に入れ、実測した温度の確認に基づいたこまめな空調設定の見直しを行うことが重要であると考えられる。

II-2-6. 参考文献

- 青山光子、冷房の快適温度と着衣条件の関係、空気調和衛生工学61（5）：371-374、1987
- 入来正躬、小林陽太郎ら、生気象学の事典、日本生気象学会編集、1992
- 入来正躬、橋本眞明、熱中症発症の地域差（山梨と北海道の比較から）Jpn. J. Biometeor. 43(1):23-33、2006
- 西沢利栄、都市化の進展に伴う都市気候の変化に関する研究、文部省科学研究補助報告書、1992
- 原沢英夫、温暖化のもたらす異常気象とその社会影響、環境情報科学 35-3、2006
- 三浦豊彦、夏の暑さと健康、労働科学研究所出版部、1985
- 三浦豊彦、オフィスと工場の夏季冷房の諸問題、労働科学51巻1号、1975
- 山寺 慎一、冷房病、Journal of Integrated Medicine vol.14 no.7 2004

Ⅱ-3 サブテーマ2

温度環境の変化が人の自律神経機能、免疫機能に与える影響の研究

永井正則、大野洋美、齋藤順子（環境生理学研究室）

Ⅱ-3-1. 研究目的

温度環境が人の知的作業効率と自律神経機能、免疫機能に与える影響を明らかにすることにより、快適かつ健康的な知的作業環境や生活環境を実現するための基礎資料を提供することを研究の目的とする。われわれの研究室で行った先行研究により、快適な香り環境は、コンピューター作業などの知的作業を長時間続けた時の作業効率の低下を防ぐことが分かっている（山梨県環境科学研究所研究報告書第1号, 2000；和田ほか, *Aroma Research* 14: 26-30, 2003）。今回の研究では、温度環境に注目した。近年、地球温暖化防止の観点から、消費電力を減らし二酸化炭素の排出を削減する目的で、軽作業を中心とする事務室等の室温を夏場は28℃、冬場は14℃に設定することが政府により推奨されている。しかし、われわれが行った予備実験では、夏場に室温28℃で知的作業を長時間行うことは、Tシャツに短パンのような軽装でない限り、作業効率の低下を招来しやすいことがわかった。また、冬場の室温14℃では、作業の進行につれ手足に冷感を伴うことが多くなり、それによって作業効率が低下しやすいこともわかった。一方、人が気づかない程度のわずかな環境の変化が、人の知的作業効率や自律神経機能に影響を与えることが近年になってわかってきた。例えば、室内の香り環境と作業効率を検討した先行研究では（永井, *生活工学研究*1：50-55, 1999；大野ほか, *Aroma Research* 2007, 印刷中）、室内の人に気づかれない程度の香りの負荷が作業効率の低下を防ぐことが報告されている。同様に、低濃度で認知されることのない香りが、睡眠中の人の心機能に影響することもわかっている（大野・永井, 自律神経, 2007, 投稿中）。われわれが行った予備実験では、10分間に室温が2℃程度上昇または下降しても、人はそれに気づかないことを観察した。そこで、推奨されている室温を中心として±2℃の範囲で変動する室内温度環境が、知的作業効率および自律神経機能、免疫機能に及ぼす影響を検討し、一定温度に保たれた室温環境の場合と比較した。

Ⅱ-3-2. 倫理

本研究は、山梨県環境科学研究所倫理委員会の審査と承認を受けて行った。実験の実施にあたり、すべての被験者のインフォームドコンセントを書面にて確認した。

Ⅱ-3-3. 実験方法

Ⅱ-3-3-1. 被験者および実験場所

実験は、山梨大学、山梨英和大学、山梨県立看護大学短期大学部の健康な男女大学生を被験者とし、山梨県環境科学研究所人工気象室を用いて行った。人工気象室 (TBR-4.5SA2GX, タバイエスベック)の温度変換特性は、20℃から45℃上昇時間10分、20℃から-10℃下降時間22分であり、10分間に±2℃の温度変動を与えるという今回の実験の目的に十分適う性能であった。

Ⅱ-3-3-2. 知的作業

コンピューターを用いた知的作業として、図Ⅱ-3-1に示すタイムスケジュールで4種類の作業課題が被験者に負荷された。最初の記憶課題では、15の単語とそれらを主語とする文章が8秒間呈示される。例えば、「クジラ」は空を飛ぶという文章がコンピューターの画面上に呈示される。被験者は、「クジラ」という単語を記憶すると同時に、呈示された文章の意味を判定し、その適否を手許のスイッチを押して応えることが求められる。

記憶課題に次ぐオドボール課題は、単純刺激反応課題であり、画面上に○または×として呈示される刺激に対し、できるかぎり素早く応答して手許のスイッチを押すことが被験者に求められる。オドボール課題遂行中には、刺激呈示からスイッチを押すまでの時間を反応時間として記録すると同時に、脳波上より刺激の呈示を起点とした事象関連電位を抽出・記録した。特に、刺激呈示後おおよそ300ミリ秒後に、事象関連電位中に陽性方向に現れる成分 (P300)に注目した。P300の振幅は刺激に対する被験者の注意力の集中度を表し、刺激呈示からP300が出現するまでの時間 (P300潜時)は脳が呈示された刺激を評価するために費やした時間(脳内消費時間)を反映している。オドボール課題は、間にストループ課題による認知反応作業を挟んで2度行った。

ストループ課題による認知反応作業では、コンピューター画面上に、緑、赤、青の3種の色で「緑」、「赤」、「青」という漢字が呈示される。漢字につけられた色が、実際に漢字が示す色と合致しているか否かを被験者が手許のスイッチを押して答えることが求められる。今回の実験では、この作業を350回繰り返した。

最後の記憶再生・再認課題では、記憶課題時に呈示した15の単語を紙に書き出し、さらにこれら15の単語を含む30個の単語をコンピューター画面上に呈示し、記憶している単語と合致しているかどうかをスイッチを押して答えることが求められる。最初と最後の記憶課題に挟まれたオドボール課題とストループ課題は記憶の定着過程に対する妨害作業として捉えることができる。妨害作業の強度が、作業を行う温度環境によって増強されたり、減弱されたりすれば、記憶再生・再認過程への影響が現れるであろうと予想した。

これらの知的作業の効率は、刺激が呈示されてからスイッチを押して回答するまでの反応時間と正誤率とから判定した。

II-3-3-3. 自律神経機能の指標

知的作業遂行中の自律神経機能を解析するため、連続血圧計（日本コーリン、JENTOW 7700）を用いて上腕の血圧を持続的に測定した。測定した血圧波形から、収縮期血圧、弛緩期血圧、平均血圧、拍動間隔を記録した。さらに、拍動間隔を高速フーリエ変換法（FFT: Fast Fourier's Transform Analysis）を用いて周波数分析することにより、高周波成分と低周波成分のパワー値を求めた（HFとLF）。高周波成分のパワー値（HF）は心臓副交感神経の活動を反映し、低周波成分のパワー値（LF）および両者のパワー値の比（LF/HF）は心臓交感神経の活動を反映している。

II-3-3-4. 粘膜免疫能の指標

知的作業が粘膜免疫能に与える影響を知るための指標として、唾液中に分泌される分泌型免疫グロブリンA（sIgA）の濃度と分泌速度を測定した。分泌型免疫グロブリンA（sIgA）は、咽喉の粘膜を感染から守る働きがあり、人が慢性的にストレスを受けると分泌が低下し、急性のストレスを受けると分泌が促進されることが知られている（永井ほか、自律神経41：347-349, 2004）。

被験者の唾液は、4 cm×4 cmの脱脂綿を被験者の舌下に5分間留置することで採取した。その後、脱脂綿を1200回転で3分間遠心分離し、分離した唾液は-28℃で保存した。解凍後、試料を坑ヒトsIgA分泌因子、ペロキシデース標識坑ヒトsIgA抗体、オルソフェニルジアミンからなる分泌型免疫グロブリンA（sIgA）濃度測定用蛍光抗体キット（EIA kit for sIgA, Medical & Biological Laboratories, Nagoya）により順次反応させ、最終産物の

2-2'-ジアミノアゾベンゾールの蛍光強度を紫外線分光計（測定波長 492 nm）を用いて測定した。

II-3-3-5. 脳機能の指標

前述したように、オドボール課題による単純反応課題遂行中の脳波から、刺激呈示に同期する事象関連電位を抽出し、電位成分P300の振幅と発現潜時を測定することで、課題への被験者の集中度と脳内消費時間の指標とした。

II-3-3-6. 体温

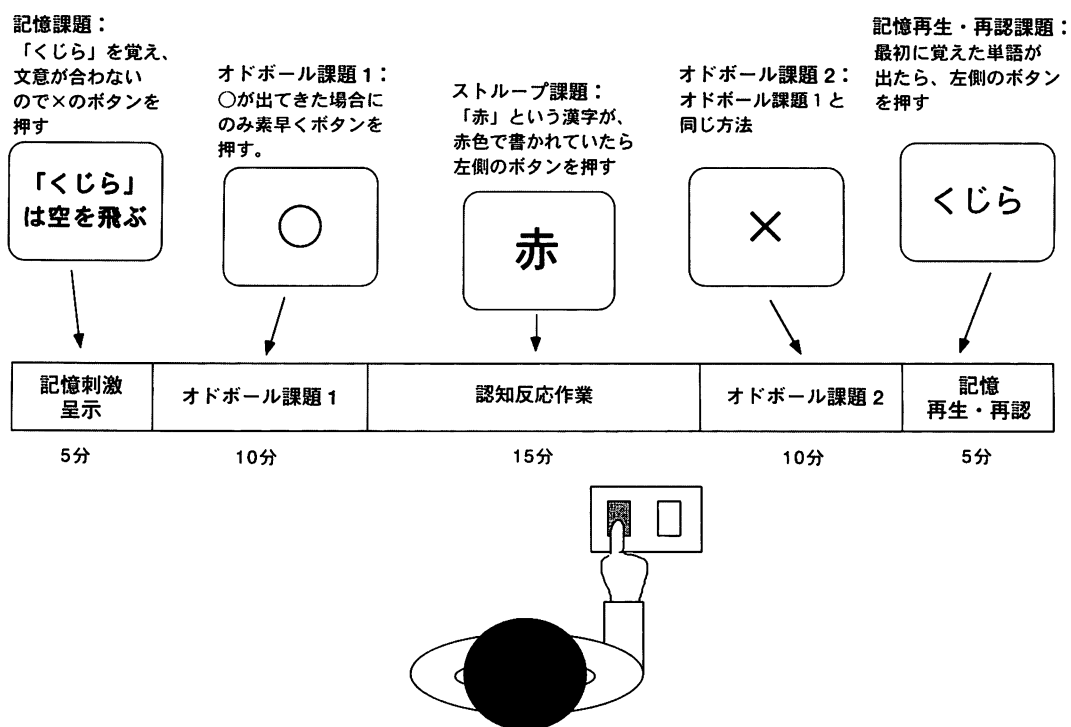
実験の前後で、被験者の腋窩温を測定した。

II-3-3-7. 疲労感

実験の前後で、被験者の疲労感を「疲労の自覚症しらべ」（産業疲労研究会）を用いて調査した。この調査用紙により全体的な疲労感と、疲労感の内容を眠気、不安感、不快感、だるさ、ぼやけの5項目に分けたそれぞれについての主観的感覚を調べることができる。

II-3-3-8. 統計手法

実験群間の測定値の統計的有意差は、ANOVAによって検定した。ANOVAにより有意差が認められたものにつき、さらにフィッシャー・テストを用いて平均値の差の検定を行った。いずれの場合も、危険率 $p < 0.05$ をもって有意差ありとした。



図Ⅱ -3-1. 知的作業課題

被験者はモニターに向かって座り、目の前に設置されたボタンボックスを押すことによって各課題を遂行していく。

II-3-4. 研究成果

II-3-4-1. 知的作業と温度環境

図II-3-1に示した一連の知的作業の前後で、唾液中の免疫グロブリンA (sIgA)濃度を比較した(図II-3-2)。定常高温環境(30℃)で、30分間の知的作業を続けることで唾液中の免疫グロブリンA (sIgA)濃度は有意に増加した。一方、30℃を中心に10分周期で±2℃(28℃～32℃、20分)の温度変化を与えた変動高温環境(30±2℃)では、免疫グロブリンA (sIgA)濃度の増加は観察されなかった。定常中性温度環境(24℃)および定常低温環境(18℃)では、免疫グロブリンA (sIgA)濃度は上昇傾向を示したが、統計的な有意差は認められなかった。変動低温環境(18±2℃)では、知的作業の前後で免疫グロブリンA (sIgA)濃度の変化は観察されなかった。急性のストレスは一般的に、唾液中への免疫グロブリンA (sIgA)の分泌に影響すると言われている。急性ストレスの性質によってその影響が異なり、ストレスに能動的対処が可能な場合には分泌が増加し、受動的対処が求められる場合には分泌が低下することが報告されている(永井ほか, 自律神経41 : 347-349, 2004)。今回被験者に負荷した知的作業は、能動的対処が可能なストレス(能動ストレス)と見なすことができるが、唾液中への免疫グロブリンA (sIgA)分泌に能動ストレスの影響が現れたのは、定常高温環境(30℃)下での知的作業の場合のみであった。平均気温は30℃であっても、周期的温度変動を伴う環境下では、粘膜免疫に及ぼすストレスの影響が緩和されることがわかった。

腋窩で測定した体温は、定常高温環境(30℃)での作業後に0.3℃上昇し、定常低温環境(18℃)では0.3℃低下していた(図II-3-3)。定常中性温度環境(24℃)および変動高温環境(30±2℃)、変動低温環境(18±2℃)では知的作業の前後で体温の変化は見られなかった。30℃および18℃という定常温度環境は、体温調節機能に影響を与え体温を変動させるが、30±2℃や18±2℃で周期的に変動する温度環境は人に認知されないばかりでなく、体温変動も起こさないことがわかった。

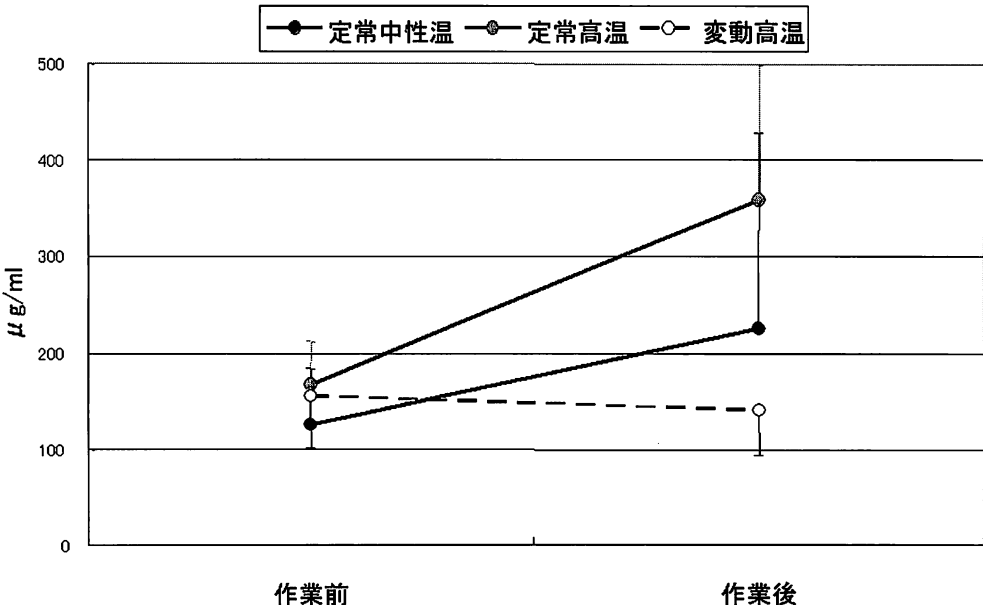
知的作業前後の疲労度

を比較すると、すべての温度環境下で全般的疲労感が10ポイント以上増加していた(図II-3-4)。疲労感の内容を見ると、不安感や不快感は中温、低温領域でともに増加しているのに対し、低温環境下ではこれら二つの項目の変化は小さかった。だるさ感やぼやけ感は、低温環境下で最も大きく増加していた。高温環境下ではぼやけ感が最も大きく増加していた。高温環境下では"ぼーっとなる"ことが、低温環境下では"ぼーっとなる"ことに加え"だるさ"が、疲労感の訴えの主因となることがわかった。

一連の知的作業の最初と最後に設定した記憶課題の結果から、記憶再生・再認過程に対する他の2種類の知的作業と、それらを遂行する温度環境の影響について分析した。その結果、人の記憶再生・再認の過程に、今回設定した作業や30℃から18℃までの温度環境は影響を与えないことがわかった。今回の実験結果からは、以上の結論が得られた。しかし、実験の被験者が加齢による記憶機能の低下が問題にならない大学生であったことから、今回の実験結果を実際の作業現場に外挿する場合には、中高年の被験者についても同様の実験系での検討が必要であると考えられる。

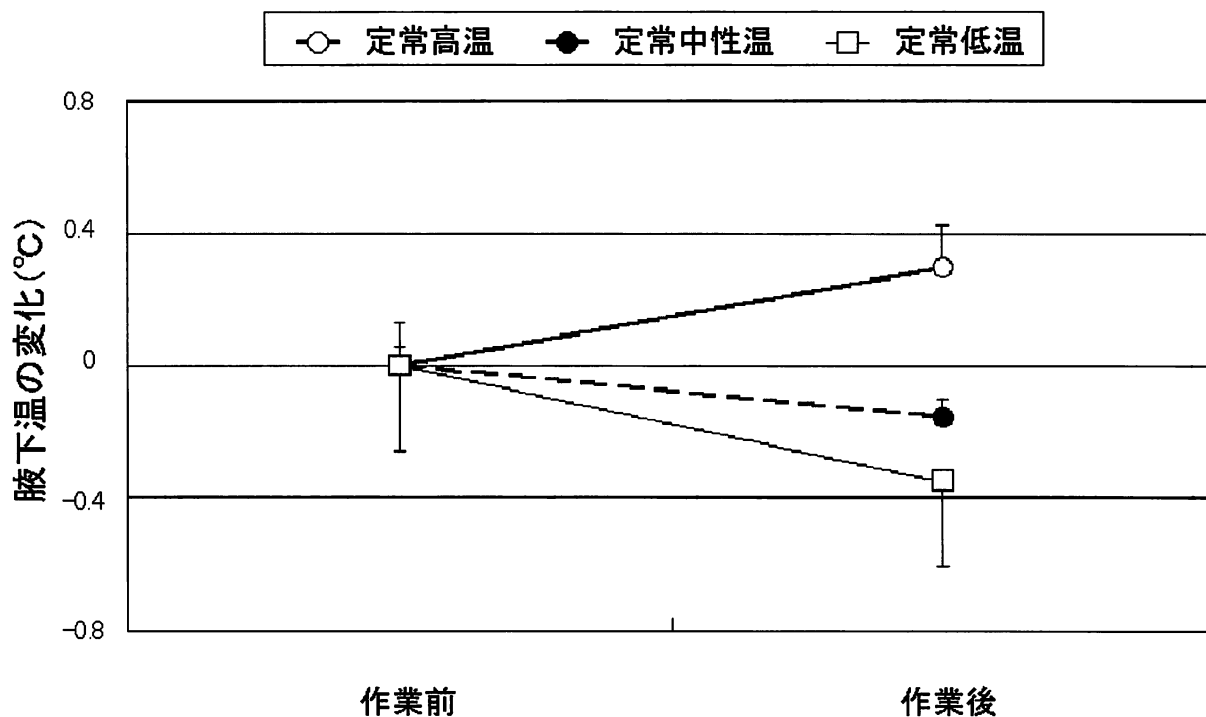
II-3-4-2. 単純反応作業と温度環境

単純反応作業としてのオドボール課題を、間に認知反応作業を15分間挟み、前後10分間ずつ行った。認知反応作業として採用したストループ課題は、ストレス性の高い作業として知られている。ストループ課題を間に挟むことで、後半のオドボール課題により大きなストレ



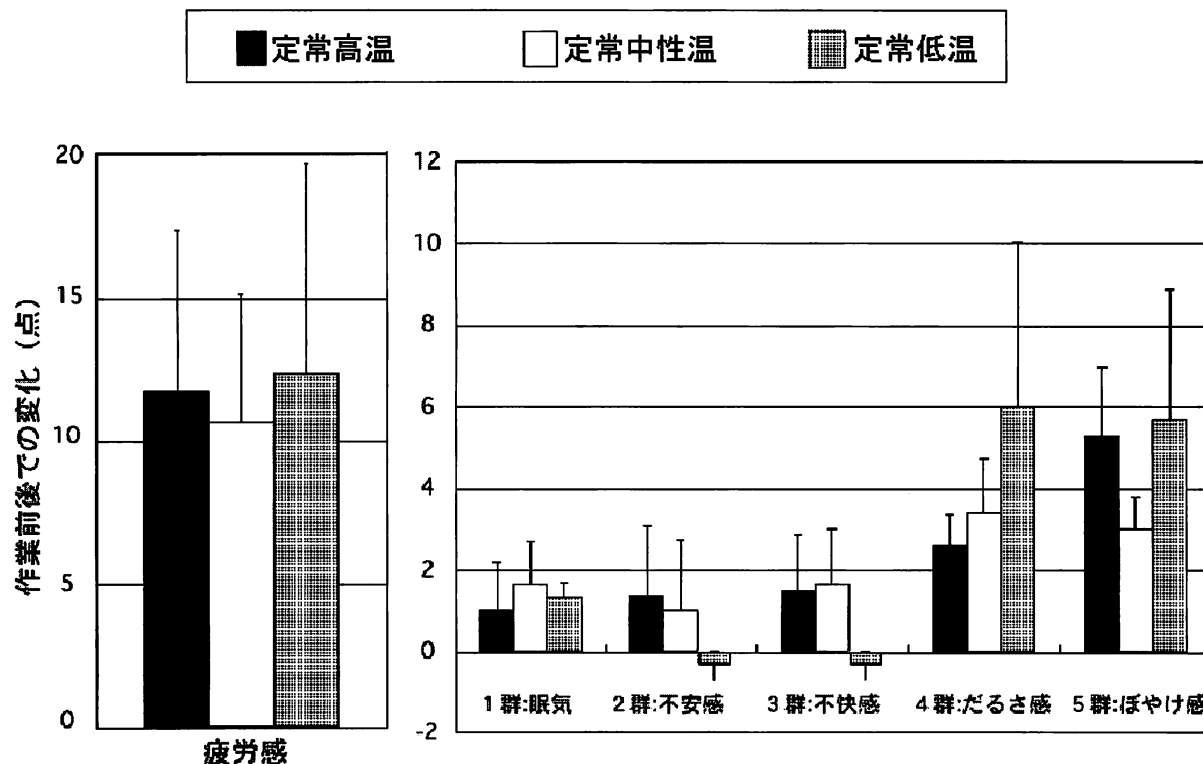
図II-3-2. 唾液に含まれる分泌型免疫グロブリンA (sIgA)の濃度

分泌型免疫グロブリンA (sIgA)は、一般に急性の能動ストレスで増加すると言われている。定常高温環境(30℃)では濃度の増加が顕著であるが、変動高温環境(30±2℃)では、増加は見られない。平均値と標準誤差を示す(各群n=10)。



図Ⅱ-3-3. 知的作業前後の体温

作業前後の体温(腋窩温)の変化を示す。定常中性温度環境(24℃)では体温変化が少ないが、定常高温環境(30℃)では体温は上昇し、定常低温環境(18℃)では体温は低下する。平均値と標準誤差を示す(各群 n=10)。



図Ⅱ-3-4. 作業による疲労感

自覚的疲労感の変化を作業前を0として示す。プラス方向の変化は感覚の増加を、マイナス方向の変化は感覚の低下を示す。全般的疲労感(左図)はすべての温度環境で作業後に増加する。疲労感の訴えの主因は、定常高温環境では"ぼやけ感"が、定常低温環境下では"ぼやけ感"に加え"だるさ"であった。平均値と標準誤差を示す(各群 n=10)。

スを負荷することを意図した。実際、前半と後半のオドボール課題遂行中の脳波成分P300を解析すると、後半の課題遂行中のP300の振幅が有意に減少していた（図Ⅱ-3-5）。前述したように、P300の振幅は呈示刺激に対する被験者の集中度を表している。従って、後半のオドボール課題では明らかに、継続する作業により被験者の集中力が低下していることがわかる。このようなP300の振幅の変化は、すべての温度条件で起こり、条件による差異は見られなかった。

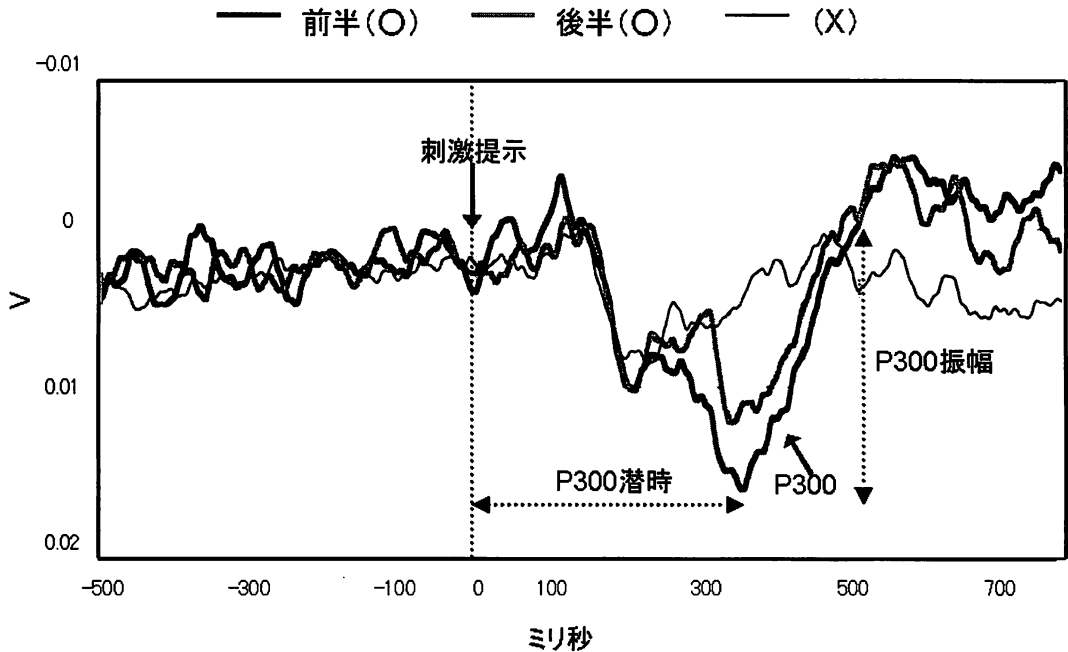
オドボール課題の反応時間は（図Ⅱ-3-6-1,2）、定常高温環境（30℃）と定常低温環境（18℃）で、前半と比べ後半で有意に延長していた。定常中性環境（24℃）、変動高温環境（30±2℃）、変動低温環境（18±2℃）では課題後半での反応時間の延長は見られなかった。課題後半における誤答率の増加は、定常高温環境（30℃）、変動高温環境（30±2℃）、定常中性温環境（24℃）の順に大きく、定常低温環境（18℃）と変動低温環境（18±2℃）では前半と後半との間に誤答率の変化はなかった。脳波成分P300の振幅の低下によって示される集中力の低下は、定常高温環境（30℃）下の知的作業に最も大きく影響し、その結果作業効率が低下したと結論される。一方、同じ高温条件でも室温が周期的に変動する場合には、作業効率の低下が抑制されることもわかった。24℃から18℃の環境温は、単純反応課題を続けた場合の作業効率の低下を起こすことが少なかった。

血圧と心臓の拍動間隔（血圧、拍動間隔）には、オドボール課題の前半と後半との間の差は観察されなかった。また、温度条件による差異も認められなかった。心臓副交感神経活動（HF）には、課題の前半後半による差も温度条件による差も見られなかった。一方、課題後半の心臓交感神経活動（LF/HF）は定常低温環境（18℃）で前半と比べ有意に増加した（図Ⅱ-3-7）。一方、変動低温環境（18±2℃）では、課題後半の心臓交感神経活動（LF/HF）の増加は見られなかった。他の温度条件でも、変動低温環境（18±2℃）の場合と同様であった。

Ⅱ-3-4-3. 認知反応作業と温度環境

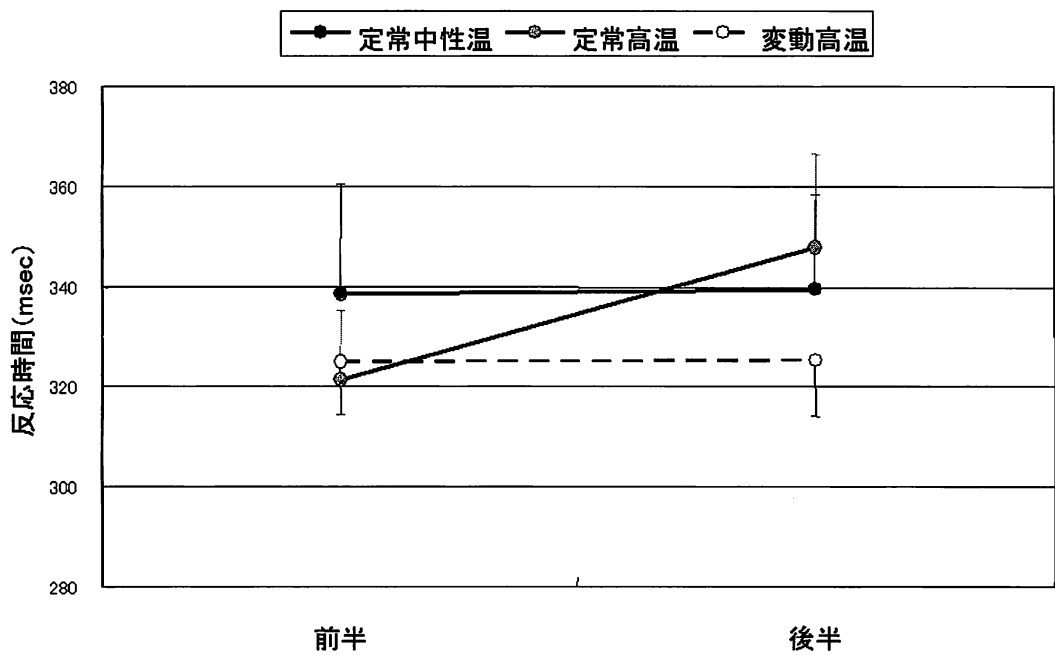
前半のオドボール課題に引き続き、認知反応課題としてストループ課題を10分間被験者に負荷した（図Ⅱ-3-1）。ストループ課題の後半で、定常高温環境（30℃）と定常低温環境（18℃）において反応時間が延長した（図Ⅱ-3-8-1,2）。定常中性温環境（24℃）および変動高温環境（30±2℃）、変動低温環境（18±2℃）においては、反応時間の短縮は観察されなかった。誤答率は、ストループ課題後半で増加したが、温度条件間での差異は認められなかった（図Ⅱ-3-8-1,2）。

ストループ課題遂行中の心臓の拍動間隔は、定常高温環境（30℃）と定常低温環境（18℃）において短縮した（図Ⅱ-3-9-1,2）。定常中性温環境（24℃）および変動高温環境（30±2℃）、変動低温環境（18±2℃）においては、



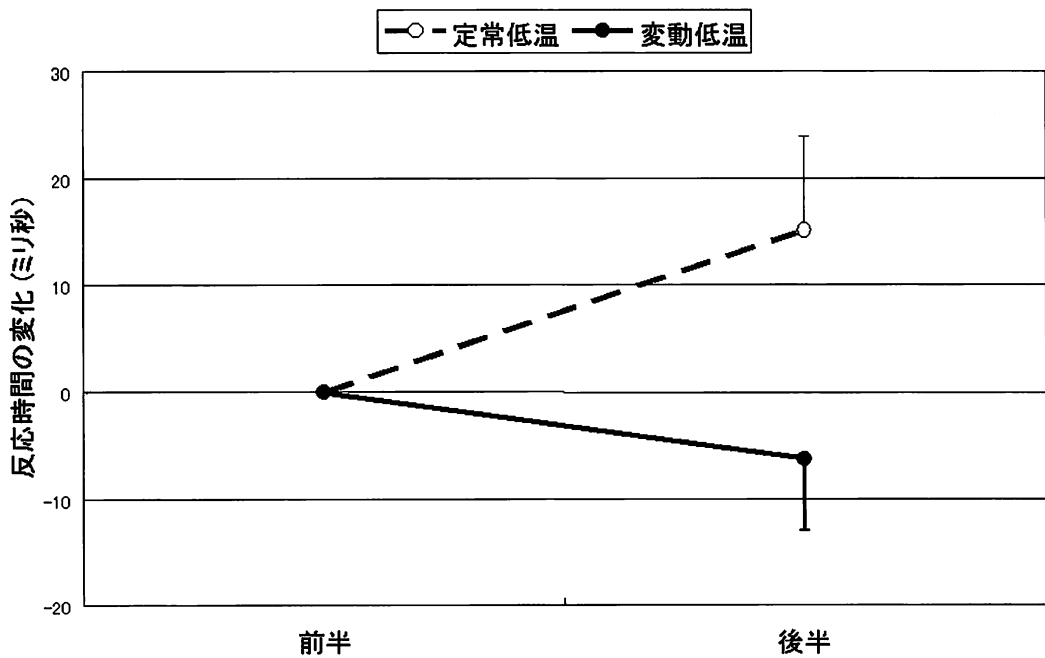
図Ⅱ-3-5. オドボール課題遂行中の脳波成分 (P300)

刺激呈示後 300 ミリ秒後に出現する脳波成分 (P300) は、作業への集中度の指標となる。課題の後半で P300 の振幅が低下していることから、継続する作業により被験者の集中力が低下していることがわかる。反応しなくてもよい刺激 (×) が呈示された場合には、P300 は出現しない。(各群 n=10 の加算平均)。



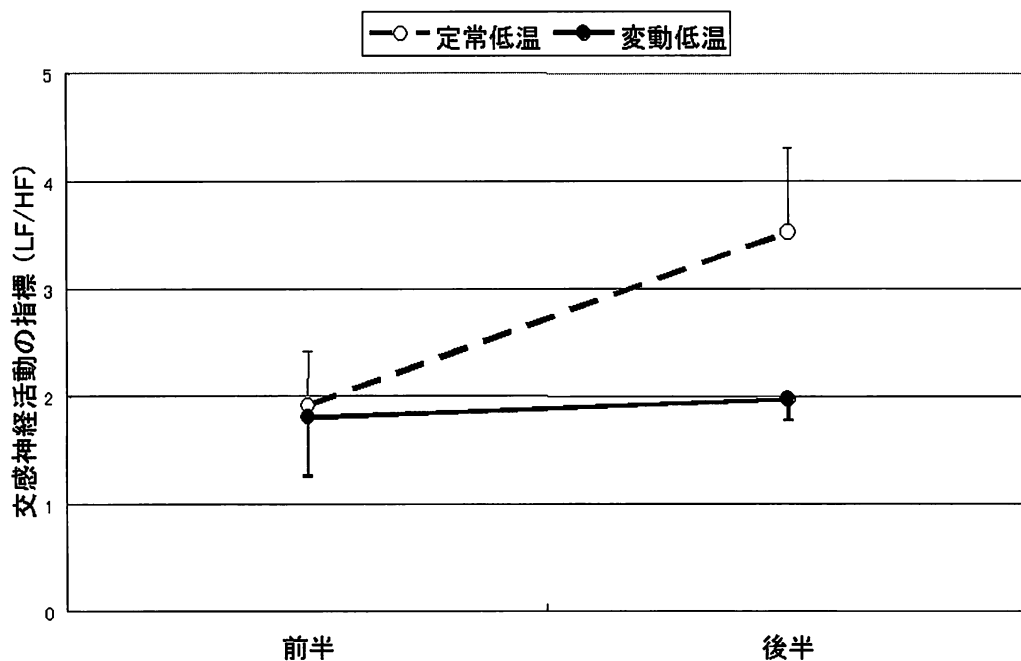
図Ⅱ -3-6-1. オドボール課題の反応時間

定常高温環境（30℃）では、課題の後半で反応時間が延長する。変動高温環境（30 ± 2℃）では反応時間の延長は見られない。定常中性温環境（24℃）でも反応時間は延長しない。平均値と標準誤差を示す（各群 n=10）。



図Ⅱ -3-6-2. オドボール課題の反応時間

課題前半の反応時間からの差を示す。定常低温環境（18℃）では、課題の後半で反応時間が延長する。変動低温環境（18 ± 2℃）では反応時間の延長は見られない。平均値と標準誤差を示す（各群 n=10）。



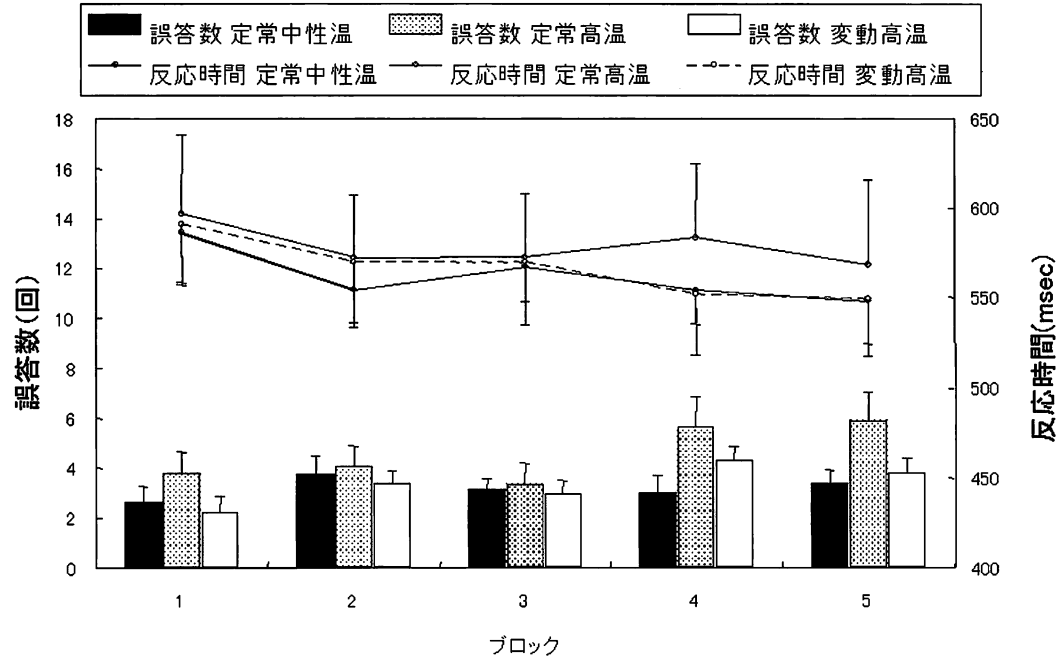
図Ⅱ-3-7. オドボール課題遂行中の交感神経活動

心臓交感神経活動の指標 (LF/HF) を示す。定常低温環境 (18℃) では、課題の後半で心臓交感神経活動が増加する。変動低温環境 (18 ± 2℃) では交感神経活動の増加は見られない。平均値と標準誤差を示す (各群 n=10)。

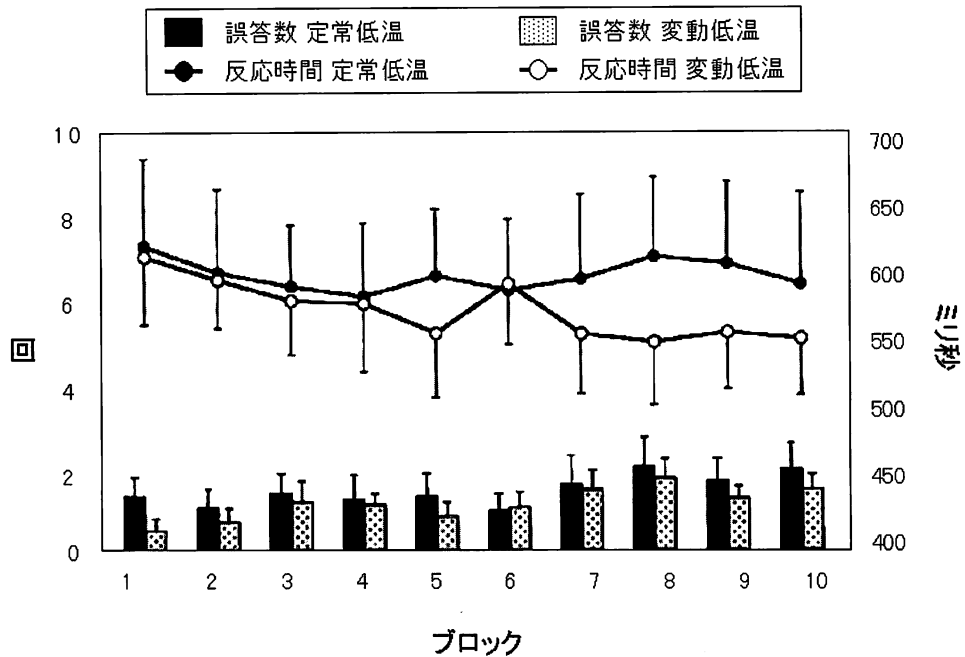
拍動間隔の短縮は観察されなかった。課題遂行中の血圧は、定常高温環境（30℃）でのみ上昇が示された。心臓副交感神経活動（HF）は定常中性温環境（24℃）での課題遂行時に増加したのに対し、定常低温環境（18℃）と変動低温環境（18±2℃）の場合では逆に減少した（図Ⅱ-3-10）。また、心臓副交感神経活動（HF）は定常高温環境（30℃）における作業中にも減少した。課題遂行中の心臓交感神経活動（LF/HF）は、定常低温環境（18℃）で増加し、変動低温環境（18±2℃）で減少した（図Ⅱ-3-11）。心臓交感神経活動（LF/HF）は、他の温度環境下では課題遂行中の変化は見いだせなかった。定常低温環境（18℃）での作業中に、心臓副交感神経活動（HF）が減少し、心臓交感神経活動（LF/HF）が増加したことから、同温度条件下の作業中に心臓の拍動間隔が短縮したことは心臓の自律神経活動の結果として説明できる。定常高温環境（30℃）での作業中の拍動間隔の短縮も、心臓副交感神経活動（HF）が減少した結果として解釈できる。

以上の結果から、刺激認知課題を行う温度環境として、定常高温環境（30℃）と定常低温環境（18℃）は反応時間を遅延させて作業効率の低下を招くこと、および心臓自律神経を介した心機能の変化を引き起こすことがわかった。同時に、平均温度は30℃や18℃であっても、人に認知されない程度の周期的温度変動を伴う環境

では、反応時間の遅延が起こらず作業効率が維持されることがわかった。

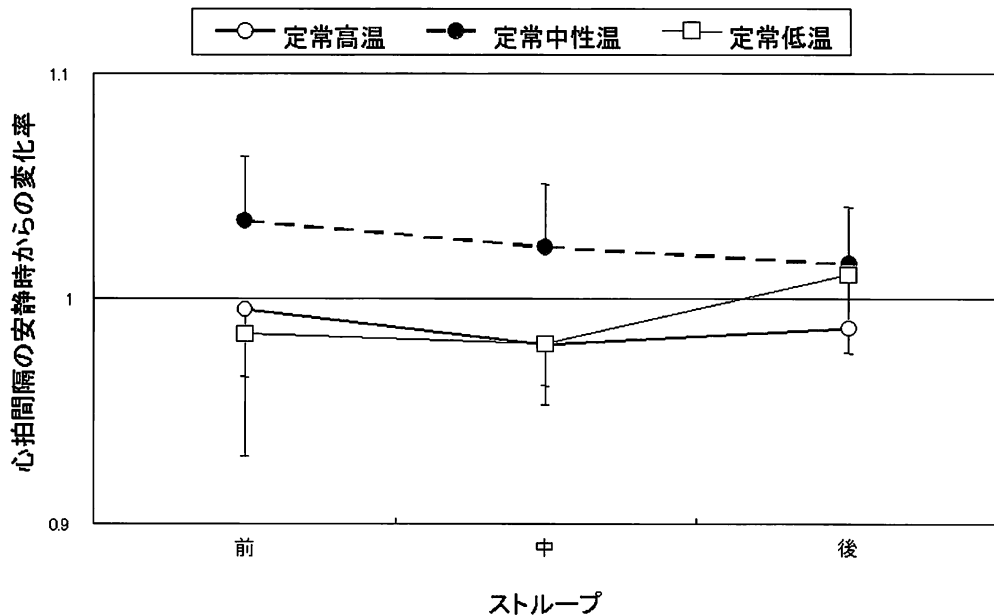


図Ⅱ-3-8-1. ストループ課題の反応時間と誤答率
70 刺激を 1 ブロックとして 5 ブロック、合計 350 刺激のデーターを示す。定常高温環境（30℃）では、課題後半の反応時間が延長する。変動高温環境（30 ± 2℃）と定常中性温環境（24℃）では反応時間の延長は見られない。課題後半での誤答率も定常高温環境（30℃）で最も高くなる。平均値と標準誤差を示す（各群 n=10）。



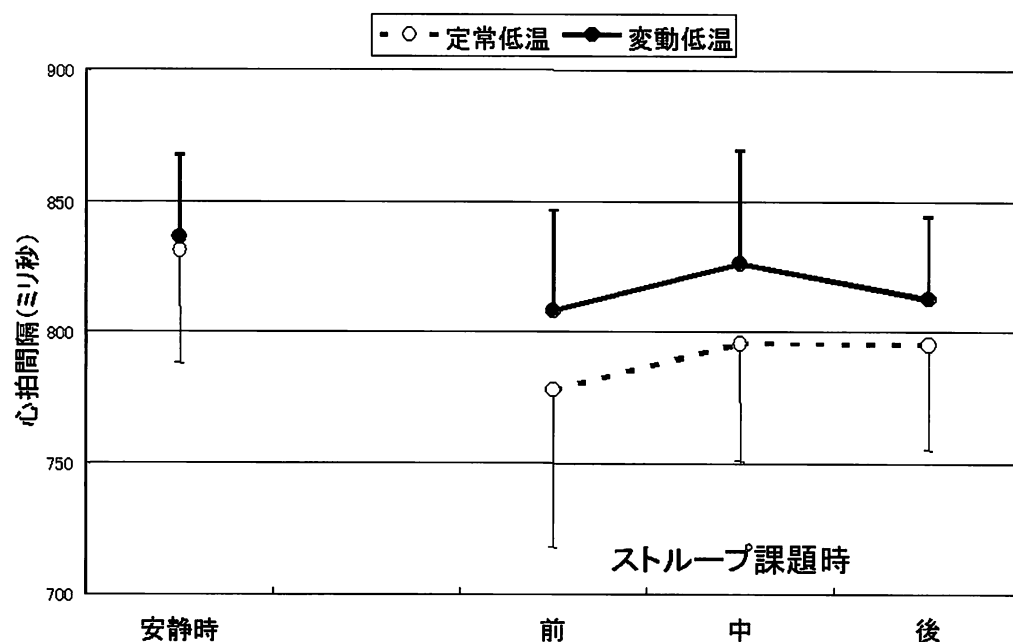
図Ⅱ-3-8-2. ストロープ課題の反応時間と誤答率

70 刺激を 1 ブロックとして 5 ブロック、合計 350 刺激のデーターを示す。定常低温環境 (18℃) では、課題の後半で反応時間が延長する。変動低温環境 (18 ± 2℃) では反応時間の延長は見られない。誤答率も、定常低温環境 (18℃) で高い。平均値と標準誤差を示す (各群 n=10)。



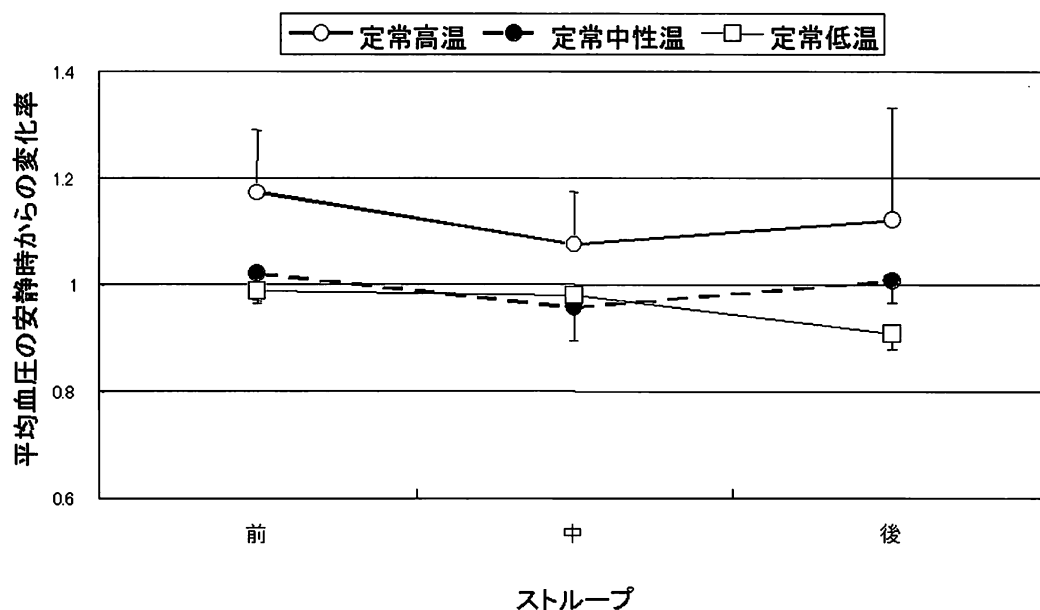
図Ⅱ-3-9-1. ストロープ課題遂行中の拍動間隔

課題遂行時間 15 分を 5 分ずつ 3 区間 (前、中、後) に分け、区間ごとに課題開始前の値からの変化分を示す。定常温度環境下では、課題遂行中に拍動間隔は短縮していくが、定常低温環境 (18℃) のみ課題後半で拍動間隔が延長する傾向にある。平均値と標準誤差を示す (各群 n=10)。



図Ⅱ-3-9-2. スト룹課題遂行中の拍動間隔

課題遂行時間 15 分を 5 分ずつ 3 区間（前、中、後）に分け、区間ごとの平均値を示す。定常低温環境（18℃）では課題遂行中に拍動間隔が延長する傾向にあるが、変動低温環境（18 ± 2℃）では拍動間隔の延長はなく、課題開始前の拍動間隔からの変動も少ない。平均値と標準誤差を示す（各群 n=10）。



図Ⅱ-3-10. スト룹課題遂行中の血圧

課題遂行時間 15 分を 5 分ずつ 3 区間（前、中、後）に分け、区間ごとに課題開始前の値からの変化分を示す。課題遂行中の血圧は、定常高温環境（30℃）で最も高い。平均値と標準誤差を示す（各群 n=10）。

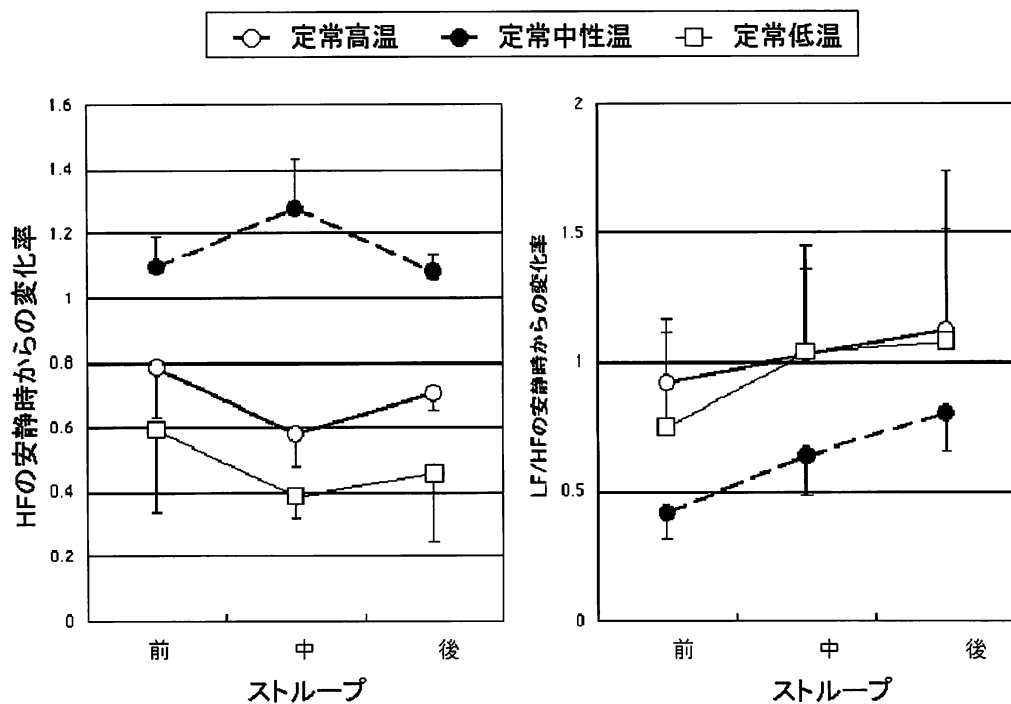


図 II -3-11. ストロープ課題遂行中の自律神経活動

課題遂行時間 15 分を 5 分ずつ 3 区間（前、中、後）に分け、区間ごとに課題開始前の値からの変化分を示す。定常高温環境（30℃）および定常低温環境（18℃）では、定常中性温環境（24℃）と比べ、課題遂行時の副交感神経活動（HF）が低下し、交感神経活動（LF/HF）が亢進している。平均値と標準誤差を示す（各群 n=10）。

Ⅱ-3-5. まとめ

電力消費を削減して二酸化炭素の排出を抑制する目的で、軽作業を中心に行うオフィスなどの室温を、夏場は28℃に、冬場は14℃に設定することが総務省により推奨されている。しかし、このような室温は人に暑熱感や寒冷感をもたらし、作業効率を低下させることは経験的にも予想できる。一方、人が気づかない程度のわずかな環境変動が、人の脳や自律神経系のはたらきに影響を与えることが近年明らかとなっている。本研究では、高めまたは低めの室温設定であっても、設定温度を中心に周期的に温度を変動させることで、知的作業効率の低下を防止することができる否かを検討した。

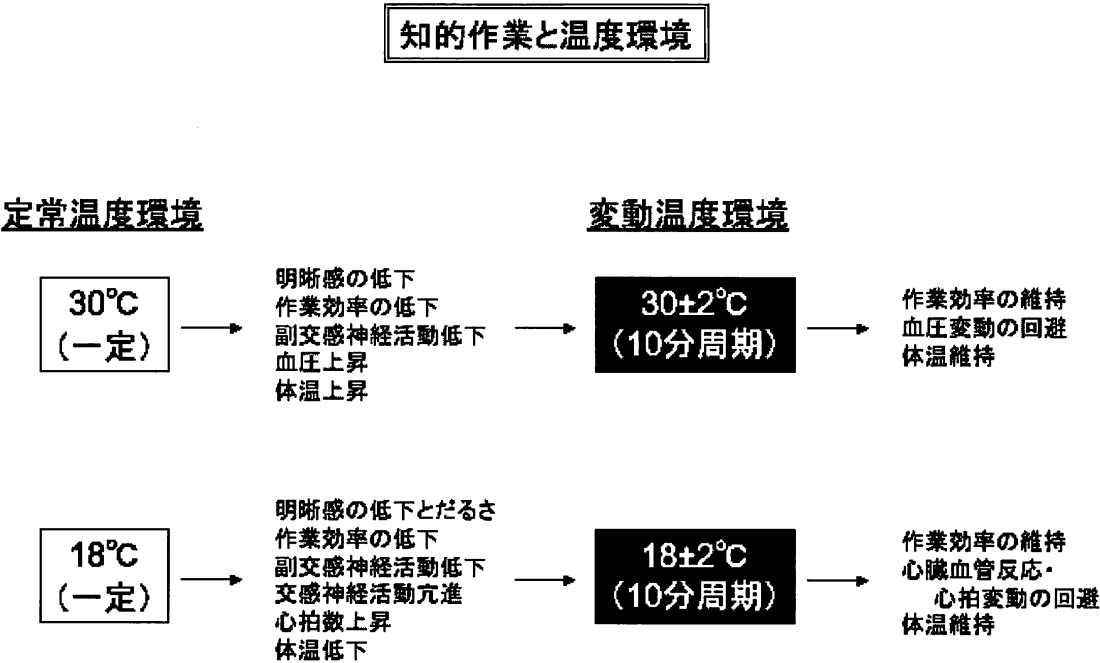
得られた結果の概要を図Ⅱ-3-12に示す。30℃または18℃に保たれた環境で知的作業を続けた場合、24℃の環境と比べて作業効率の低下が大きいことがわかった。これは、中性温度より高い温度環境または低い温度環境が、作業によるストレスに曝されている被験者に、さらに温度ストレスを負荷することになった結果であると解釈できる。30℃および18℃の環境では、作業の前後で体温に変動があることから温度ストレスの存在が確認できる。

高温環境でも低温環境でも、作業による疲労感の内容として「ぼーっとする」という明晰感の低下があげられているが、低温環境ではさらに「だるさ」が疲労感の成因となっていることがわかった。夏場に過度の冷房に

より引き起こされるといわれる"冷房病"では、「だるさ」が主訴となることが多い。高温環境と低温環境では、主観的疲労感の成因に違いのあることが興味深い。

高温環境での知的作業では、副交感神経活動の低下と血圧上昇が観察され、低温環境では副交感神経活動の低下に加え交感神経活動の亢進が見られ、心拍数が上昇した。心血管系の反応の違いは、温度環境と体内における血流配分、血流配分に影響する自律神経活動、血管径の局所調節などの面から解釈を試みることは可能である。しかし、これらの反応の違いの原因を明らかにすることは、今回の研究の目的ではないので、敢えて原因についての考察は行わないことにする。

以上に述べたように、30℃および18℃の温度環境は知的作業効率を低下させ、作業遂行中の生理機能にも影響を与える。一方、30℃および18℃を中心に±2℃の周期変動を伴う温度環境では、知的作業効率の低下は起こらず、知的作業を続けることに伴う生理機能の変化も見られなかった。10分間に±2℃の温度変化は人に気づかれることはない。しかし、このような周期的温度変動が知的作業の効率を維持し、さらに自律神経機能に現れるストレス反応を軽減したことは、実験者らの作業仮説を支持するとともに、夏期および冬期の作業空間の温度調節の在り方に新たな展望をもたらすこととなった。今後、経済性も考慮した上で、周期的変動を伴う室温調節システムが開発されることを期待する。同時に、通風や流水などの自然環境を最大限活用して、作業空間に温度変動をもたらすようなシステムの開発を望む



Ⅱ-3-6. 本研究テーマに関わる研修生受け入れ状況

平成14年度

富士吉田市立看護専門学校教員 小栗尚子

富士吉田市立看護専門学校3年生 斎藤悦子

平成16年度

山梨大学工学部循環システム学科4年生 人見千秋

Ⅱ-3-7. 謝辞

本研究の遂行に必要な被験者の派遣につき、御理解と御協力をいただいた山梨大学、山梨英和大学、県立看護大学短期大学部の先生方並びに関係者各位に深く感謝の意を表します。同時に、学業の合間をぬって、被験者として実験に参加していただいた学生諸君に心から感謝します。

動物モデルによる気温変化と健康に関する研究

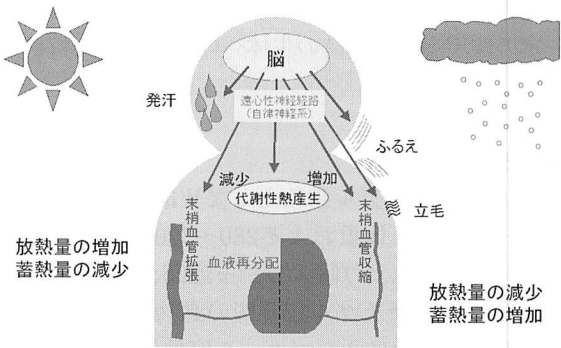
宇野忠、柴田政章、渡邊かおり（生気象学研究室）

Ⅱ-4-1. 研究目的

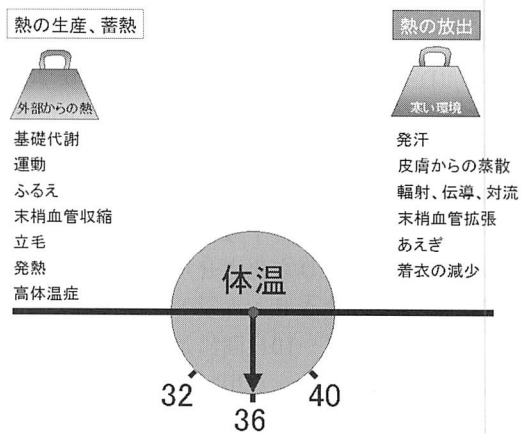
人々を取り巻くさまざまな環境要因が、私達のからだにどのような影響を与えるのかを解明していくことは、健康で快適な生活を営める環境を模索していくために、非常に重要なことである。私たちヒトを含む哺乳類は、自身を取り巻く様々な外的環境の変化に対し、体内環境を一定に保つことによって生体内での安定した生命維持活動を行うことができ、健康な状態であるといえる。この機能はホメオスタシス（体内恒常性）と呼ばれており、恒常性を保つべき要素の一つとして体温があげられる。外気温の変化に対して、体温を一定に保つ機構は、体温調節機構と呼ばれ自律神経系の支配を受け、無意識下において絶えず働いている。これは高温環境下にさらされると上昇する体温を下げようとする対暑反応（末梢血管拡張、発汗、代謝量減少など）を起こし、低温環境下では末梢血管収縮、ふるえ、代謝量増加などの対寒反応により体温の下降を食い止める（図Ⅱ-4-1、-2）。この体温調節反応が正常に働いている状態では、環境温度が変化しても体温はある一定の範囲内に調節され、様々な生体内での生理的反応を円滑に行う事ができ、健康な状態を保つことができる（入来、1995）。これまでに熱中症時の生理機能に与える影響研究として、高温環境曝露による免疫機能への影響について研究（山梨県環境科学研究所研究報告書第5号）を行ってきたが、このような高温環境、或いは低温環境といった極端に一般的な気温と離れた環境温度曝露による影響についての研究が、高度経済成長期以後の公害問題などが社会的な問題として重要視されてきた時期から労働環境での産業衛生分野を中心としてなされてきている（三浦、1985）。

しかし、それに加えて気温差の大きい環境間の移動や空調による季節と少なからず異なる環境温度への長時間曝露などの温度環境に起因すると思われる、様々な非特異的な体調不良の訴えである不定愁訴症状（冷房病）や血液循環系への影響が報告され問題になっている（山寺、2004）。そこで本研究では、このような環境温度、またはその変化にさらされたときに起こる問題を考え、解決していくために、環境温度により、からだがどのような影響を受けうるのかを検討した。そのために、ストレスを引き起こすストレッサーとしての「環境温度条件」の

検討を行った。さらに、環境温度曝露により引き起こされたストレス状況が、健康を保つために重要な働きをする生理学的反応にどのような影響を与えるのか検討するため動物モデルを使用し、発熱反応を観察することにより生体防御を司る免疫機構への影響を明らかとした。動物モデルを使用した実験を行うことにより、人では行えない実験条件が可能であり、様々な外的要因を取り除き生体反応のより詳細な機構の解明に繋げることが可能である。



図Ⅱ-4-1. 現在の温度環境に応じた的確な体温調節反応が脳から各器官へ伝えられる



図Ⅱ-4-2. 体温調節反応発現のバランスにより体温は一定範囲に維持される

Ⅱ-4-2. 環境温度曝露による体温、体重、餌摂取量に与える影響検討

Ⅱ-4-2-1. 研究の目的

環境温度が生体に与える影響については、これまで様々な研究が行われてきているが、主に高温環境や低温環境といった極端な環境温度についての研究が主である。このような極端な環境温度に曝露されると、からだの内部の温度「体温」が変化を受けるが、その変化を打ち消す反応が起きる。低温環境ならば下降する体温を上げる方向へ様々な体温調節反応が出現し、体温が維持される。このとき、からだには持続する強いストレスがかかっており、餌の摂取量は減らないが、体重が減少することが報告されている。

しかし、環境温度が目まぐるしく変化した場合のからだへの影響についての研究が少ないのが現状である。そこで、環境温度を変化させたときの体温、体重、餌摂取量へ与える影響を観察し、高温、低温環境といった極端な一定の環境温度曝露時の生体への影響との比較検討を行った。

Ⅱ-4-2-2. 研究方法

環境温度曝露モデル動物としてWister系ラット（オス、12～15週齢、体重およそ280～320 g）を日本エスエルシー株式会社より購入し、室温 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度47～53%、明暗サイクル12時間の動物飼育室にて飼育した。これら動物にネンプタル麻酔処置（ 20 mg/k g ）を行い、腹腔内への体温計測用テレメトリーセンサーの埋め込み手術を行った。体温計測用テレメトリーセンサーとは埋め込まれたセンサー部で得た温度情報（この場合は深部体温に相当する）を無線電波により体外に設置した電波受信部にて受信し、長時間記録できるシステムである（DSI社製DataquestLabPROシステム、図Ⅱ-4-3）。このシステムにより覚醒時（無麻酔下）無拘束、自由行動下にて様々な外的要因を排除し、特定の要因（本研究では環境温度）の影響を観察できる。テレメトリーセンサー埋め込み手術後、十分に回復したラットを環境温度を人為的操作により変化させられるチャンバーに入れ、環境温度を変化させ、ラット深部体温の変化を観察した（図Ⅱ-4-4）。1～10日間に及ぶ幾通りかのチャンパー内温度の変化パターンを用い体温、行動量（ラットがケージ内で動いた量）、体重変化、餌摂取量の検討した。尚、本動物実験は山梨県環境科学研究所動物実験倫理委員会の審査・承認を受けて行った（平成15年度承認番号ECAE-01-2003）。

Ⅱ-4-2-3. 結果と考察

環境温度を 4°C と 27°C で1時間間隔にて繰り返し変化

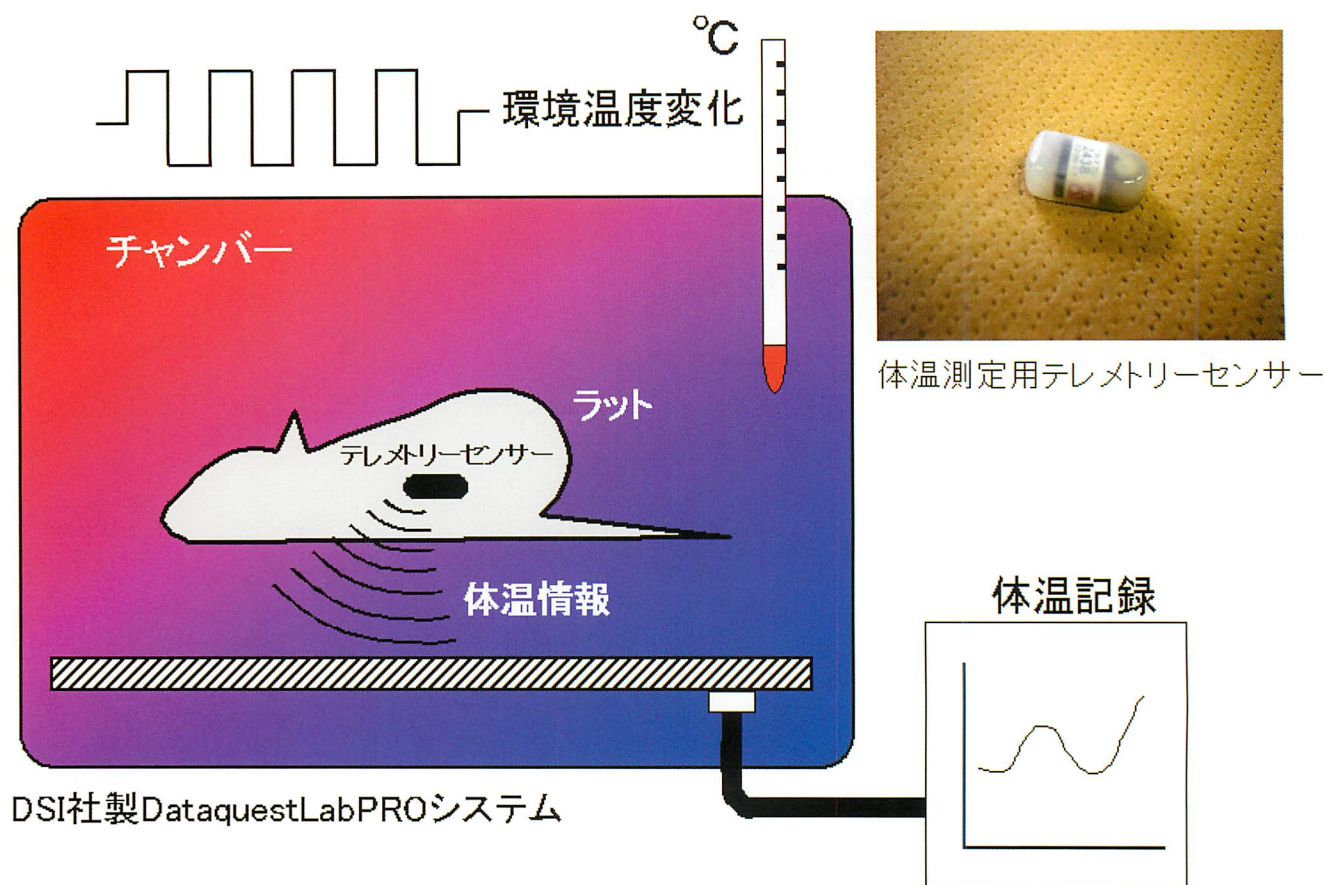
させた場合の深部体温の変化を例として図Ⅱ-4-5、-6に示す。環境温度が 4°C の低温環境時に深部体温が上昇し、体温調節のための対寒反応による体温上昇が行われていることが確認できる。この環境温度条件にて6日間の曝露を行ったときの深部体温、行動量の変化を図Ⅱ-4-7に示す。環境温度が 4°C の期間において行動量の著しい増加が観察された。低温環境下での体温調節反応として熱を作り出すためにからだを動かしたことにより行動量が増加したと考えられる。その結果、深部体温は 37°C 以上の高いレベルを6日目においても維持している。これに対し、図Ⅱ-4-8に示した 4°C の一定な寒冷環境下におかれたラットでは、熱産生増加のために行ったと考えられる行動量の増加は1日目に確認されたが2日目以降減少し、 4°C と 27°C の繰り返し環境温度変化を受けているラットに比べ、その行動量は少ない結果が得られた。これにより熱の産生量も減少すると考えられ、深部体温は低いレベルを推移する傾向が見られた。恒温動物は低い環境温度にさらされた状況では対処反応を発現することにより体温調節を行う。しかし低温環境に長期間さらされた場合、熱産生反応を行い続けているとエネルギー消費量が大きくなりすぎ、生命活動自体を維持できなくなる恐れが生じてくるため、より低消費な活動量の少ない状態へ移行する適応反応をみせる（入来、1995）。おそらく 4°C の環境温度にさらされたラットはこの状態へ移行したと考えられる。一方、 4°C と 27°C の繰り返し環境にさらされたラットは、頻繁に繰り返される環境温度変化によって定常的な環境への適応を行うことができず、 4°C 環境下にて毎回行動量の増加による熱産生をおこない、結果的に高い体温の維持ができたと考えられる。このときの餌摂取量を示した図Ⅱ-4-9から 4°C 低温環境下での餌摂取量の増加が確認できた。

次に設定した環境温度曝露条件を図Ⅱ-4-10に示す。環境温度条件は5パターンからなり、①通常の中温環境（飼育温度と同じ 25°C ）、②低温環境（ 4°C ）、③低温域繰り返し変化環境（ 4°C と 27°C を1時間づつ繰り返し）、④高温環境（ 34°C ）、⑤高温域繰り返し変化環境（ 18°C と 34°C を1時間づつ繰り返し）である。温熱環境の生体へ与える影響を見る研究においてラットを動物モデルとして使用した場合での暑熱曝露、寒冷曝露に主として設定されている高温環境 34°C 、低温環境 4°C の環境温度条件を元に得られた実験結果から設定を行った。

この時の体重の変化を見たものが図Ⅱ-4-11である。一般的にストレス状況下では体重が減少することが知られており、低温及び、高温環境ともに体重の減少が見られるが、低温域と高温域繰り返し変化環境では体重の減少は見られなかった。

以上の結果から、 4°C の低温環境下では餌摂取量の増加にも関わらず、体重の減少が起り、長期間曝露によって行動量の減少、深部体温の下降傾向が見られた。これ

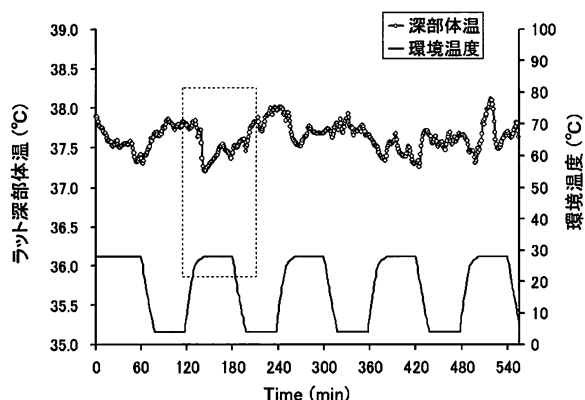
は低温環境下で生き抜くために、低い体温でも無駄なエネルギーの消費を抑える方向へ適応により対応していると考えられるが、体重の減少が示すようにからだに対して大きい負担となっている可能性を示唆している。一方、低温域繰り返し環境温度変化での体重の減少は見られなかった。これは、環境温度が4℃の低温環境にあるとき、行動量が増加し、体温調節反応を発現させ体温の下降を食い止め、高い深部体温の維持に成功していることによると考えられ、体重の変化から見たからだへのストレスは少ない可能性を示唆している。



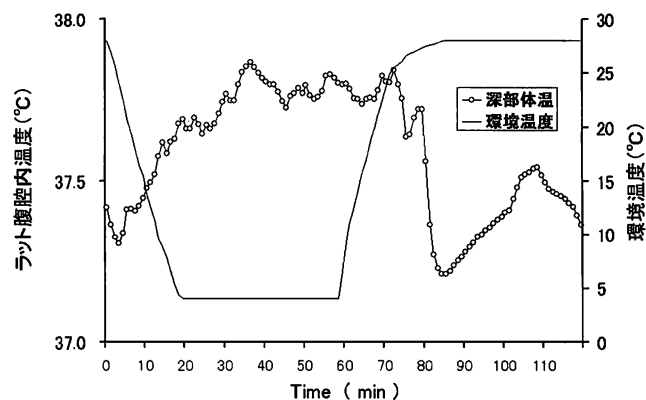
図Ⅱ-4-3. 深部体温測定用テレメリーシステム概要図



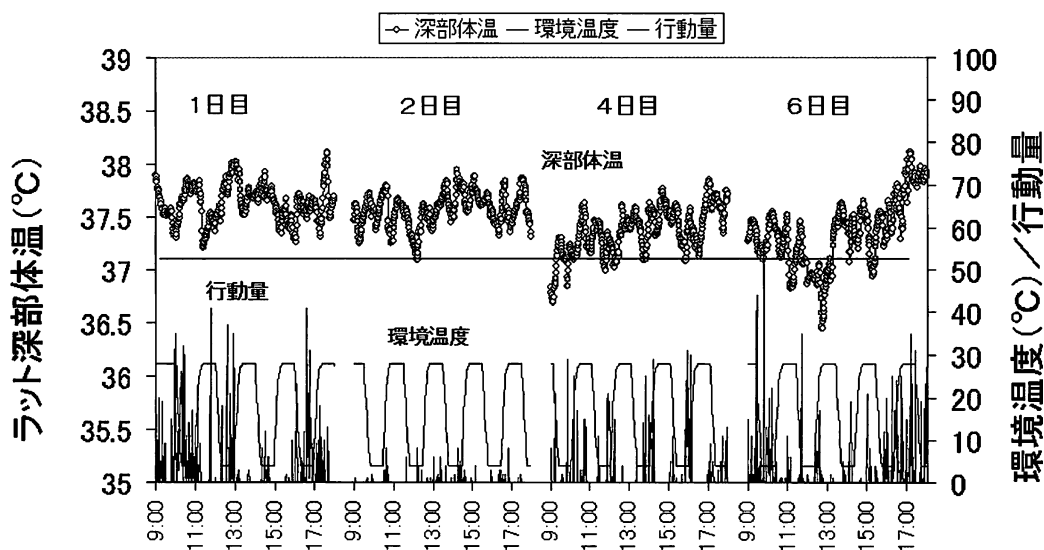
図Ⅱ-4-4. ネンブータル麻酔下での体温測定用テレメリーセンサーを腹腔内に埋め込み手術を行ったラットをケージ内に入れ、受信ボードの上にのせ、環境温度を変化させるチャンバー内にて無拘束状態での腹腔内温度と活動量の測定を行った。その間ラットは自由に水、食物の摂取を行った。



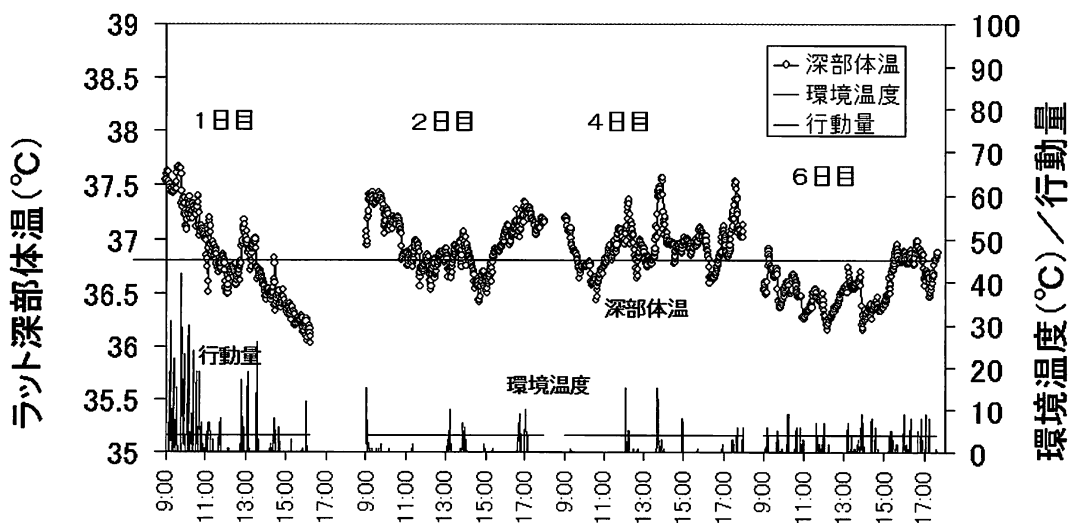
図Ⅱ-4-5. 4℃と27℃の繰り返し温度変化曝露時のラット深部体温変化



図Ⅱ-4-6. 4℃と27℃の繰り返し温度変化曝露時のラット深部体温変化（一部抜粋）



図Ⅱ-4-7. 27℃と4℃の繰り返し温度変化環境時のラット深部体温と行動量の変化



図Ⅱ-4-8. 4℃の低温環境時のラット深部体温と行動量の変化

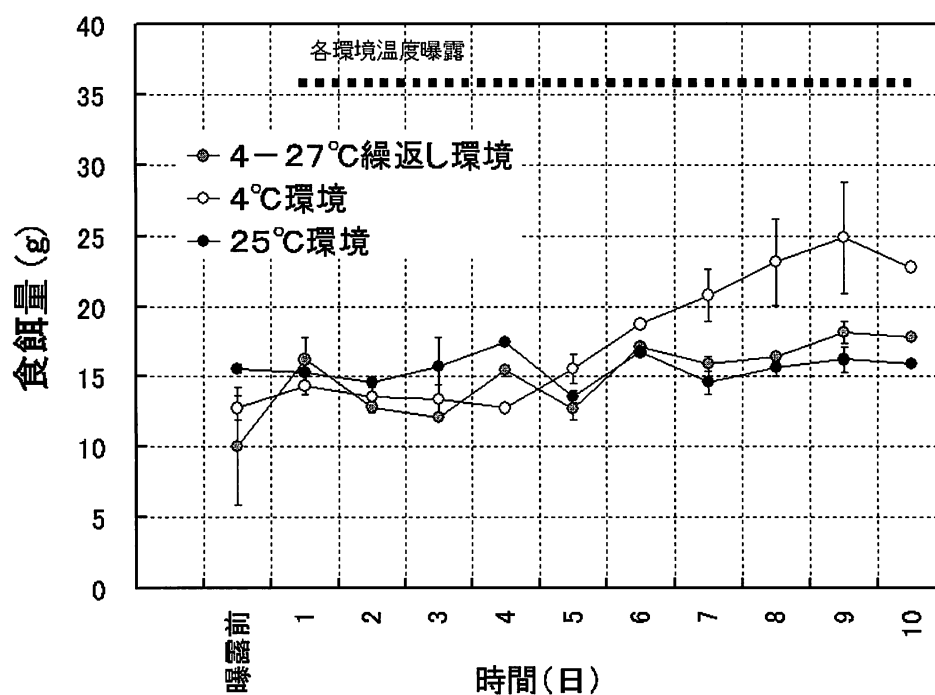


図 II -4-9. 10 日間の 25°C 環境、4°C 環境、4 と 27°C の繰返し環境曝露での餌摂取量変化 n=6

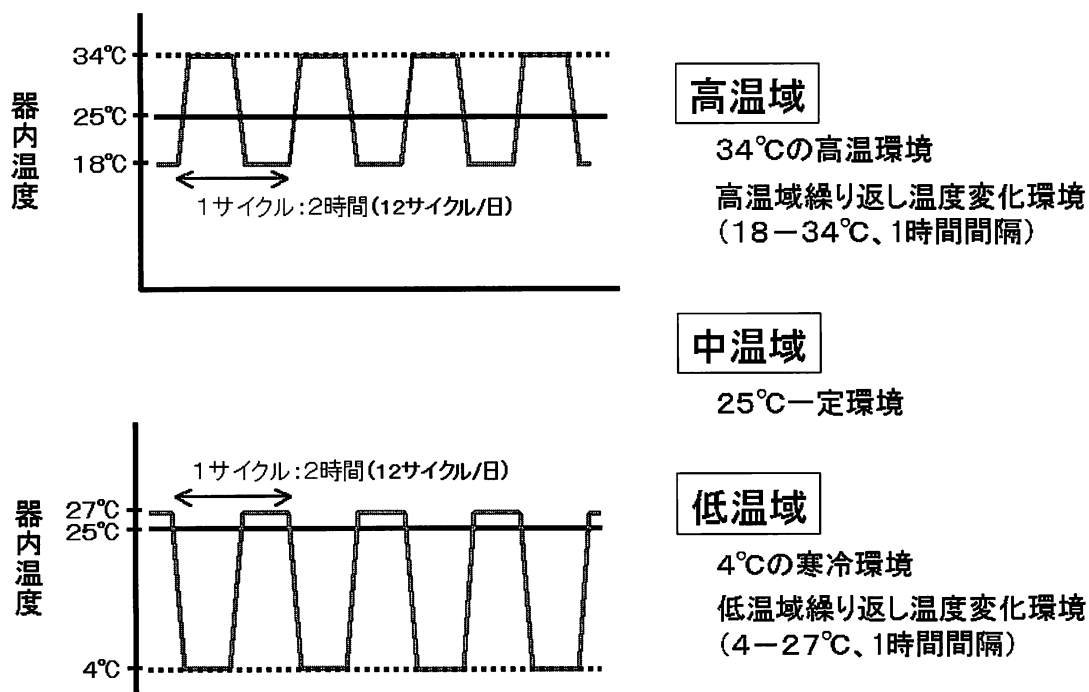
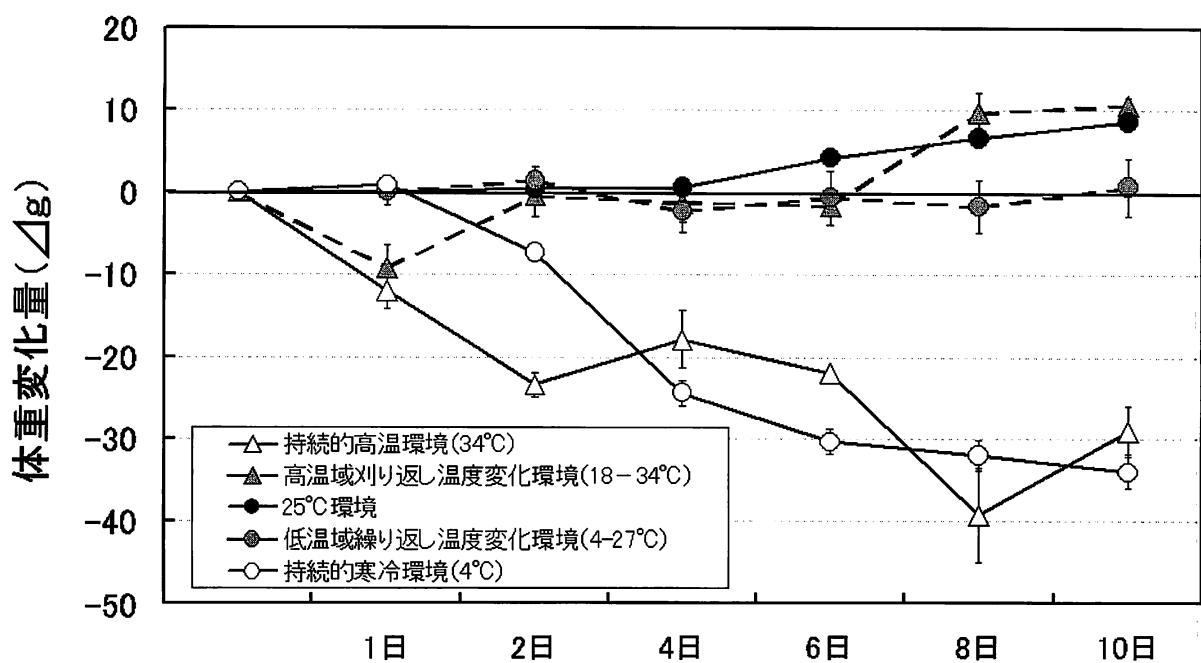


図 II -4-10. 環境温度曝露条件

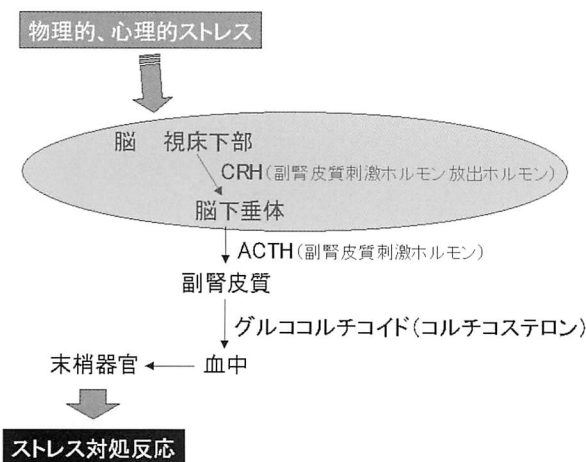


図Ⅱ-4-11. 34℃と18℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、34℃の持続的な高温環境、25℃の一定環境、4℃と27℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、4℃の持続的な低温環境に曝露した時の体重の変化量 n=6

Ⅱ-4-3. コルチコステロンホルモン測定による環境温度曝露によるストレス影響の検討

Ⅱ-4-3-1. 研究の目的

体重変化からみた生体への影響は、生体への総合的な影響の現れであり、はっきりとしない非特異的な環境温度に起因する体調不良の原因を解明するには、生体を健康に保つために重要な神経系、内分泌系、免疫系などの生理機能へのより詳細な影響を解明していく必要がある。そのため、内分泌系を介し、ストレス抵抗反応をからだに引き起こすために、血液中に分泌される量が増加するホルモンである糖質コルチコイドホルモンの測定を行った。糖質コルチコイドは物理的、心理的なストレスをからだがかかると、その情報を脳（大脳辺縁系）、扁桃体で感知し、快不快のシグナルが視床下部へ伝えられ、副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモン（CRH）が放出され、脳下垂体に作用する。脳下垂体からそれにより、副腎皮質刺激ホルモン（ACTH）が分泌され、刺激された副腎皮質が血液中に糖質コルチコイドホルモンを放出し、エネルギー源であるグルコースの産生や炎症の抑制などのストレス状態の改善のための反応を引き起こす（図Ⅱ-4-12）。糖質コルチコイドは、コルチコステロンとコルチゾールに分けられ、前者はラット、マウス、ウサギなどで、後者はヒト、イヌ、トリなどで多く分泌される。それぞれ生体に対するストレス強度の指標として用いられている（平野ら、1995）。今回、コルチコステロンホルモンの測定により、内分泌系を介した経路でのストレス強度の検討を行った。



図Ⅱ-4-12. 温度変化が生体へストレスを与えているかを確かめるためストレス指標としての血中のコルチコステロン濃度の測定をおこなった

Ⅱ-4-3-2. 研究方法

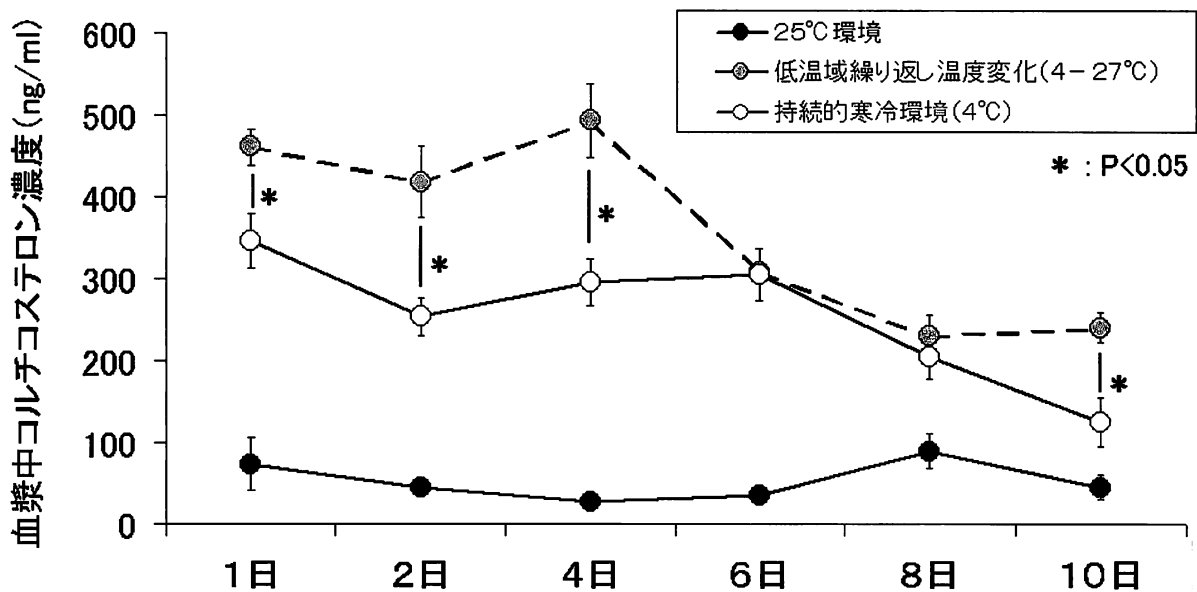
環境温度曝露モデル動物として日本エスエルシー株式会社より購入し、室温25±1℃、相対湿度47～53%、明

暗サイクル12時間の動物飼育室にて飼育したWister系ラット（オス、12～15週齢、体重およそ280～320 g）を使用した。環境温度を変化させられるチャンパー内にラットを入れ、図Ⅱ-4-10で示す5つの環境温度条件①通常の中温環境（飼育温度と同じ25℃）、②低温環境（4℃）、③低温域繰り返し変化環境（4℃と27℃を1時間ずつ繰り返し）、④高温環境（34℃）、⑤高温域繰り返し変化環境（18℃と34℃を1時間ずつ繰り返し）にて1、2、4、6、8、10日間の期間曝露を行った。各条件、期間での環境温度曝露後、チャンパーから出し、室温下にて速やかな断頭後にEDTAコーティングチューブにより採取した血液を3000rpm、15分間の遠心処理し、EDTA血漿を得た。コルチコステロンホルモンの分泌は概日リズムにより変動することがわかっているため、明期前半の決まった時刻に全サンプルの採取を行った。EDTA血漿中のコルチコステロンホルモンの測定は株式会社エスアールエルにてRIA固相法で行った。尚、本動物実験は山梨県環境科学研究所動物実験倫理委員会の審査・承認を受けて行った（平成16年度承認番号ECAE-02-2004）。統計的有意差はボンフェローニ多重比較法を用い検定を行った。

Ⅱ-4-3-3. 結果と考察

コントロールとしての通常の飼育温度と同じ環境温度である25℃環境温度での曝露と低温域として、4℃低温環境、4℃と27℃を1時間ごとに変化する低温域繰り返し変化環境で曝露したときの血漿中コルチコステロン濃度の結果を図Ⅱ-4-13、表Ⅱ-4-14に示す。飼育温度と同じ25℃環境下では10日間を通して100ng/ml以下で推移しているのに対し、低温環境、低温域繰り返し変化環境では10日間を通して有意に高いコルチコステロン濃度が測定され、両条件とも強いストレスを受けている状況であることを示唆している。低温域繰り返し変化環境では6日以降、低温環境では8日以降からコルチコステロン濃度の減少傾向が見られ、それぞれの環境への適応が起こっていることが考えられる。さらに、低温環境と低温域繰り返し変化環境の比較では1、2、4、10日間の曝露時、低温環境曝露よりも低温域繰り返し変化環境において有意に高いコルチコステロン濃度が記録され、持続的な一定の低温環境よりも、その低温環境を緩和する方向に一定間隔で環境温度が変化するにも関わらず、繰り返し変化環境に曝露されることが強いストレスとなりえていることが示唆された。

高温域として、34℃の高温環境、18℃と34℃を1時間ごとに変化する高温域繰り返し変化環境での結果を表Ⅱ-4-15、図Ⅱ-4-16に示す。100ng/ml以下で推移している25℃環境に対し高温環境、高温域繰り返し変化環境では1日間の曝露で有意に高いコルチコステロン濃度を示したが、2日目以降25℃環境と有意な差がない値とな



図Ⅱ-4-13. 4℃と27℃環境を1時間おきに繰返し変化する環境、4℃の持続的な低温環境、25℃の一定環境に曝露した時の血漿中コルチコステロン濃度の変化

表Ⅱ-4-14. 4℃と27℃環境を1時間おきに繰返し変化する環境、4℃の持続的な低温環境、25℃の一定環境に曝露した時の血漿中コルチコステロン濃度の変化 (ng/ml) mean ± sem n=8

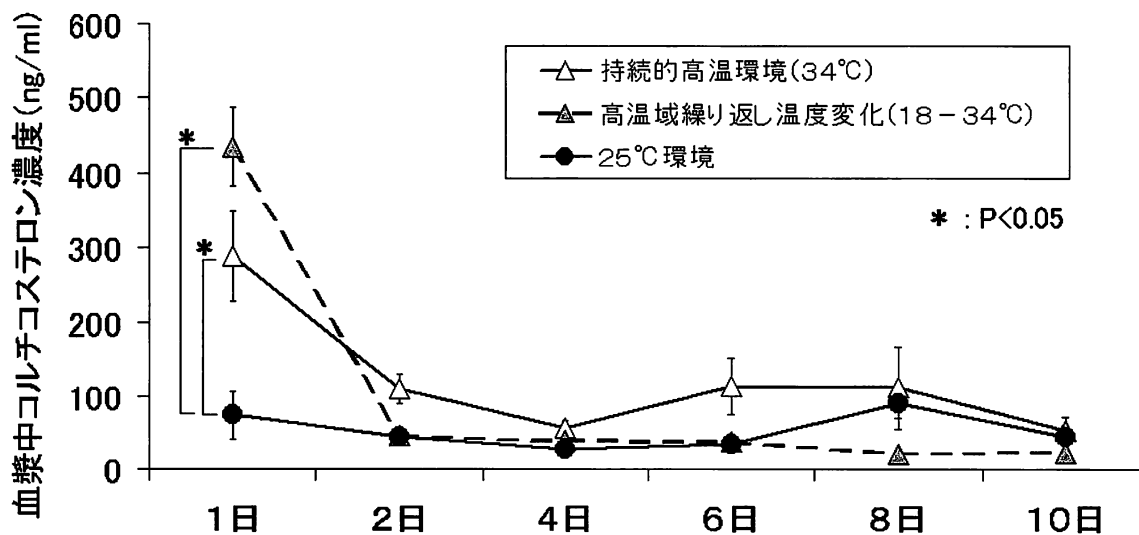
	4℃と27℃の繰返し環境曝露群	4℃の持続的寒冷曝露群	25℃環境曝露群
1 day	460.2±21.6 *a, *b	345.8±32.9 *a	73.4±32.6
2 days	417.0±43.2 *a, *b	252.7±23.8 *a	44.2±11.8
4 days	492.7±45.7 *a, *b	295.2±29.1 *a	27.2±4.2
6 days	307.2±13.4 *a	304.2±31.5 *a	33.6±5.3
8 days	229.2±26.9 *a	204.4±26.7 *a	89.1±44.1
10 days	239.6±18.5 *a, *b	125.1±30.5 *a	44.1±15.2

*a: P<0.05 (25℃環境曝露群との比較)
*b: P<0.05 (4℃持続的寒冷曝露群との比較)

表Ⅱ-4-15. 34℃と18℃環境を1時間おきに繰返し変化する環境、34℃の持続的な高温環境、25℃の一定環境に曝露した時の血漿中コルチコステロン濃度の変化 (ng/ml) mean ± sem n=8

	18℃と34℃の繰返し環境曝露群	34℃の持続的 高温環境曝露群	25℃環境曝露群
1 day	434.3±52.2 *	289.2±59.9 *	73.4±32.6
2 days	46.2±8.6	109.2±20.2	44.2±11.8
4 days	39.4±10.3	56.4±10.0	27.2±4.2
6 days	38.2±8.3	113.5±39.1	33.6±5.3
8 days	21.5±1.4	111.5±55.7	89.1±44.1
10 days	22.5±1.4	53.0±18.2	44.1±15.2

*: P<0.05 (25℃環境曝露群との比較)

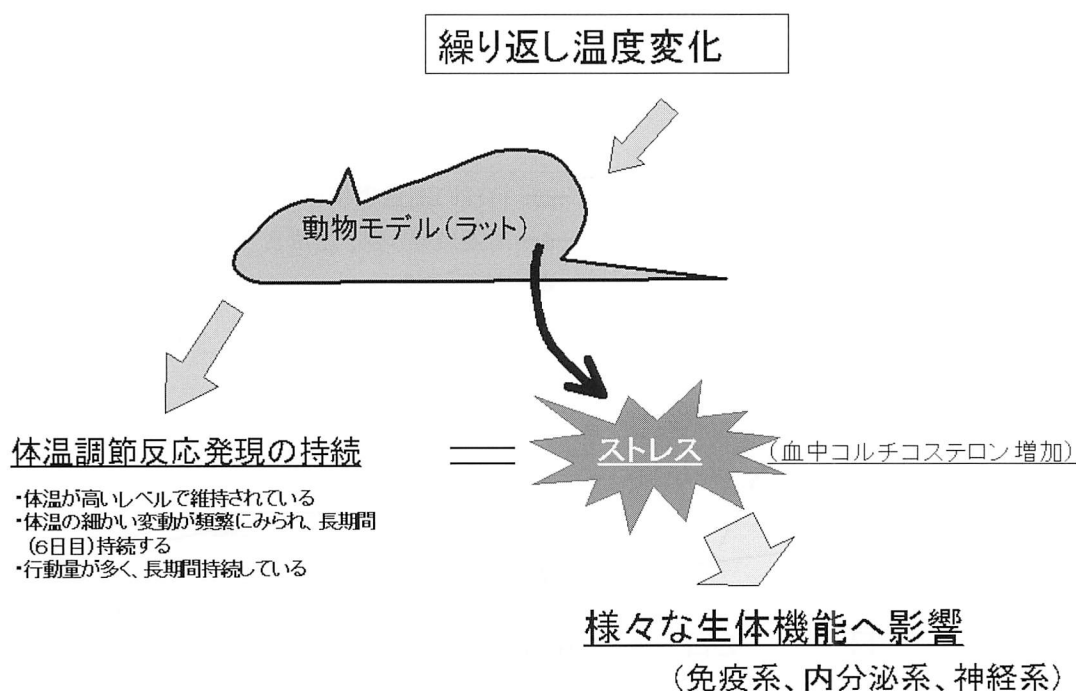


図Ⅱ-4-16. 34℃と18℃環境を1時間おきに繰返し変化する環境、34℃の持続的な高温環境、25℃の一定環境に曝露した時の血漿中コルチコステロン濃度の変化

り、高温域環境は低温域環境よりもコルチコステロンホルモンの点からみたストレスに対しての馴れが早期に起こることが明らかとなった。また、1日間の高温環境、高温域繰り返し変化環境では低温域での結果と同様に、高温環境を緩和する方向に環境温度が変化するにもかかわらず、繰り返し変化環境でのコルチコステロン濃度が高くなる傾向が見られた。

体重変化からみた生体への負担を見たⅡ-4-2の実験では、低温や高温環境は生体に多大なストレスとなるのに対し、温度変化の繰り返しはあまり強いストレスとならないという、これまでの一般的な認識と合致する結果であった。しかし、内分泌系への影響を反映しているコルチコステロンホルモンの実験結果からみたストレス強度の検討では、環境温度が繰り返し変化する環境が一定の環境温度下よりも強いストレスとなる傾向が見られ、特に低温域での繰り返し変化環境が最も内分泌系への影響が大きく、生体へ大きい負担となる可能性が示唆された。

Ⅱ-4-2の研究成果と合わせて考察すると、繰り返し環境温度が変化する状況においては体温を調節する反応（実験では行動量を増やし、体を動かすことによって熱を作り出す）を頻繁に発現させ続けなければならないが、それによって体温を高いレベルで維持することに成功しているが、この体温調節を行い続けなければならない状況が、生体内の内分泌系を介した糖質コルチコイドホルモンの放出を介し、多大な影響を体の各器官に与えている可能性が考えられる（図Ⅱ-4-17）。

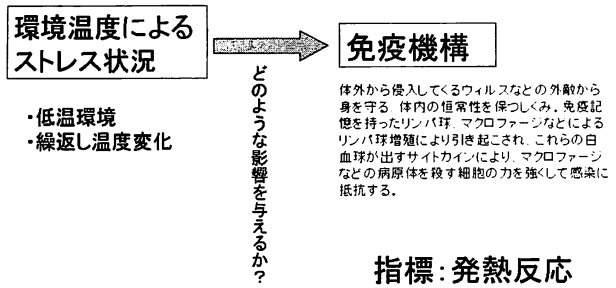


図Ⅱ-4-17. 繰り返し環境温度変化が生体へ与える影響

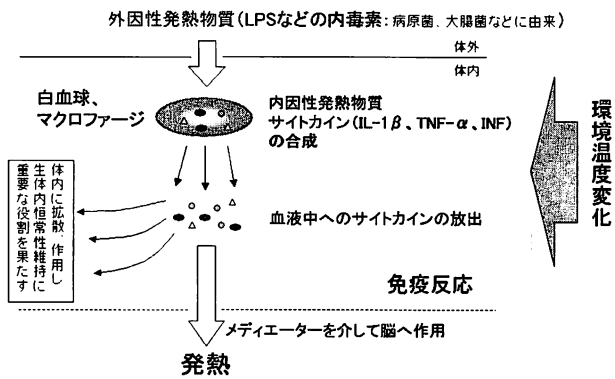
Ⅱ-4-4. 環境温度に起因するストレス状況が免疫機構（発熱反応）へ与える影響

Ⅱ-4-4-1. 研究の目的

低温や高温環境に加え、繰り返し変化環境においてもコルチコステロンホルモンが多量に分泌され、環境温度に伴うストレスとなっていることが明らかとなったが、そのストレス状況が生体内で営まれている生命維持に重要な生理学的反応に対し、どのような影響を与えているかを明らかにすることが、環境温度により引き起こされる体調不良のメカニズムを解明するために必要である（図Ⅱ-4-18）。そこで、生体防御機能を司る免疫機構へ与える影響を検討するために各環境温度曝露後、実験的に引き起こした発熱反応の観察をおこなった。発熱反応は体外から体内に侵入してきた病原菌などの外敵に対して引き起こされる生体防御反応の結果現れる現象の一つである。体外から侵入してきた病原菌などに由来する外因性発熱物質に体内の白血球、マクロファージが反応し、内因性発熱物質と呼ばれるサイトカイン（腫瘍壊死因子：TNF α 、インターフェロン1 β ：IL-1 β など）が合成、放出される。そして血液中に放出されたサイトカインが体中の様々な器官に作用し、外敵から身を守るための反応を引き起こす（図Ⅱ-4-19）（彼末ら、2000）。この細胞性免疫反応の結果として発熱が引き起こされると考えられており、発熱反応を観察することにより生体防御機構である免疫機構への影響を検討した。



図Ⅱ-4-18. 環境温度変化が免疫機構へ与える影響検討

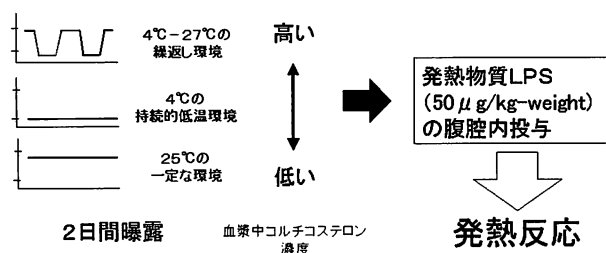


図Ⅱ-4-19. 発熱のしくみ

Ⅱ-4-4-2. 研究方法

環境温度曝露モデル動物として日本エスエルシー株式会社より購入し、室温25±1℃、相対湿度47～53%、明暗サイクル12時間の動物飼育室にて飼育したWister系ラット（オス、12～15週齢、体重およそ280～320g）を使用した。無拘束、自由行動下の覚醒時の深部体温の測定を行うために予め、ネンプタール麻酔処置（20mg/kg）ラットの腹腔内への体温測定用テレメトリーセンサー（DSI社製DataquestLabPROシステム）の埋め込みを行った。

センサー埋め込み手術後回復したラットを環境温度を変化させられるチャンパー内に入れ、コントロール群として飼育温度と同じ25℃環境を設定し、Ⅱ-4-3の実験結果から最もコルチコステロン濃度が高かった、つまりストレス強度が強かった環境温度条件である4℃と27℃の繰り返し変化環境とそれに対する一定環境である4℃低温環境で2日間曝露を行う3つのグループを設けた。それぞれ低温域繰り返し変化環境>4℃低温環境>25℃環境の順で顕著な差となる高いコルチコステロンホルモンの値を示している。3つの環境温度条件で曝露した後、25℃の室温下で外因性発熱物質であるリポポリサッカライド（LPS）50 μ g/kgを腹腔内投与することにより実験的な発熱反応を引き起こし、発熱量の比較を行った（図Ⅱ-4-20）。尚、本動物実験は山梨県環境科学研究所動物実験倫理委員会の審査・承認を受けて行った（平成16年度承認番号ECAE-02-2004）。統計的有意差はボンフェローニ多重比較法を用い検定を行った。



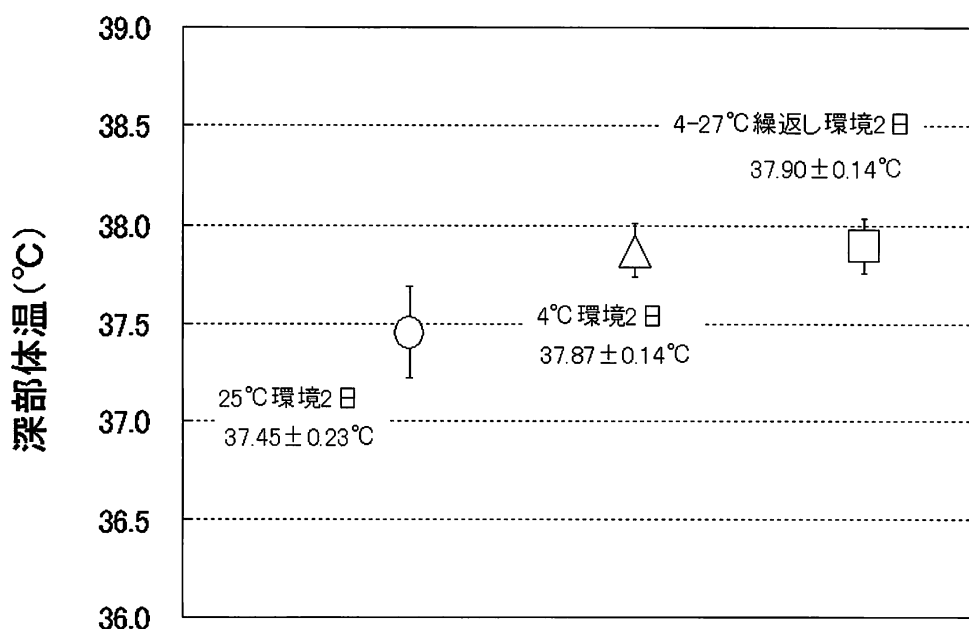
図Ⅱ-4-20. 外因性発熱物質 Lipopolysaccharide (LPS) 投与によって引き起こされる発熱反応への影響

Ⅱ-4-4-3. 結果と考察

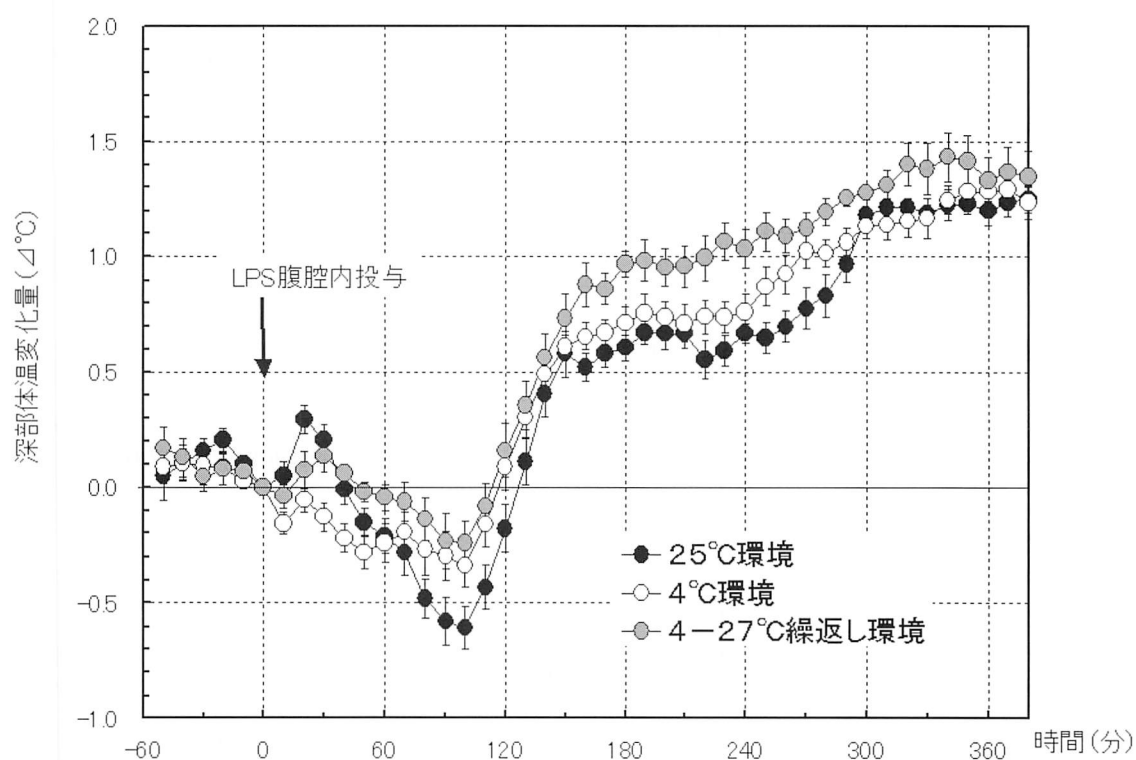
3つの環境温度条件で2日間曝露し25℃室温下で1時間経過した時点（LPS腹腔内投与直前）での深部体温を各グループ間で比較した結果を図Ⅱ-4-21に示す。深部体温において有意な差はなく、3つの環境温度条件に曝露されることによる深部体温への影響は認められなかった。

外因性発熱物質LPS腹腔内投与による深部体温の変化量を図Ⅱ-4-22に示す。LPSを投与したときの深部体温を0とし、そこからの変化を表している。LPS腹腔内投与により深部体温は一度下降し、2相性に上昇し380分前後で最大となり、その後緩やかに下降して行く。初期の深部体温下降のメカニズムや2相性の上昇など含め発熱の詳細な機序の全容はまだ解明されていないのが現状である。25℃環境2日間曝露グループの深部体温上昇に比べ、4℃寒冷環境2日間曝露グループの体温の上昇は高くなる傾向が見られ、繰返し変化環境2日間曝

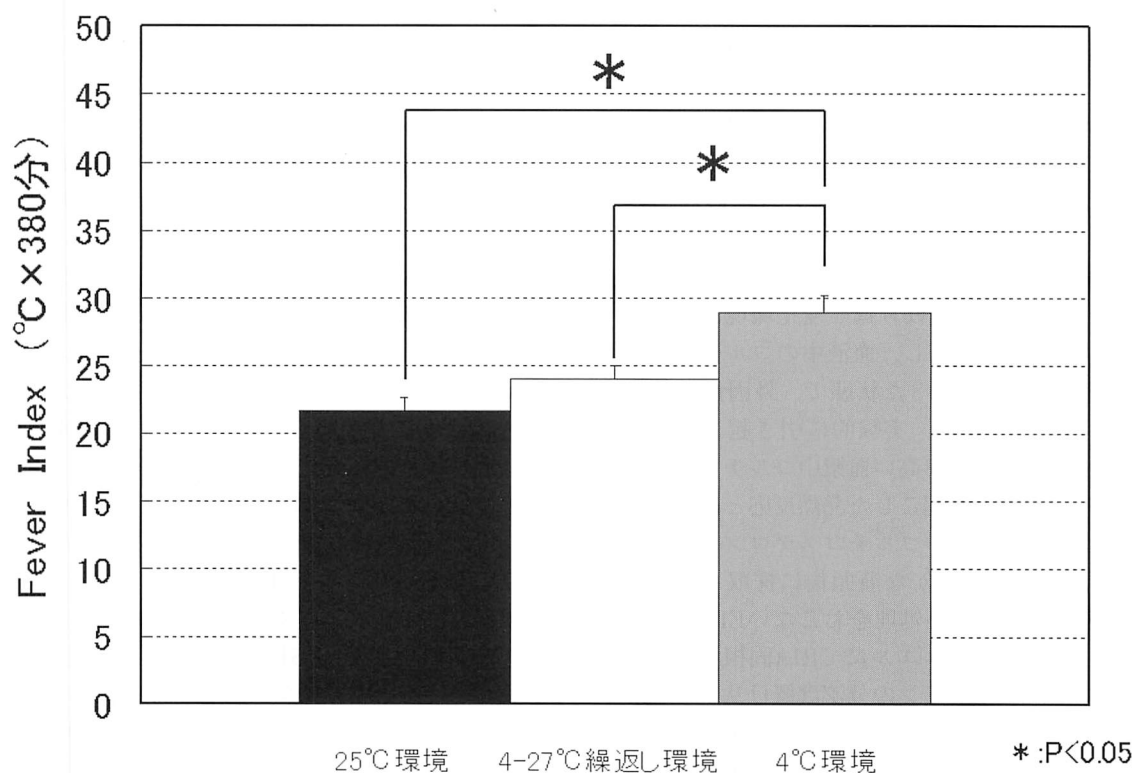
露ではさらに高い体温の上昇が引き起こされた。図Ⅱ-4-23で示した深部体温の上昇が終了する380分までの体温上昇部分を1分ごとに加算する簡易的な発熱量の比較に用いる手法であるFever Index（発熱指標）による比較では、25℃環境に対し低温域繰返し変化環境に曝露されたグループで有意に多い発熱量となっていることが確認された。これはⅡ-4-3の実験結果での血液中コルチコステロン濃度が高いグループほど強い発熱反応が引き起こされることを示しており、環境温度に伴うストレス状況がサイトカイン放出等の細胞性免疫反応に対して影響を与えている可能性を示している。



図Ⅱ-4-21. 各環境温度変化曝露後の LPS 腹腔内投与直前深部体温の比較 mean ± sem n=8



図Ⅱ-43-22. 25°C環境、4°C環境、4と27°C繰返し環境での2日間曝露後の外因性発熱物質LPSのラット腹腔内投与による発熱反応の変化 $n=8$



図Ⅱ-43-23. 25°C環境、4°C環境、4と27°C繰返し環境での2日間曝露後の外因性発熱物質LPSのラット腹腔内投与によるFever Index (発熱指数)の比較

Ⅱ-4-5. コルチコステロンホルモンの発熱反応への影響検討

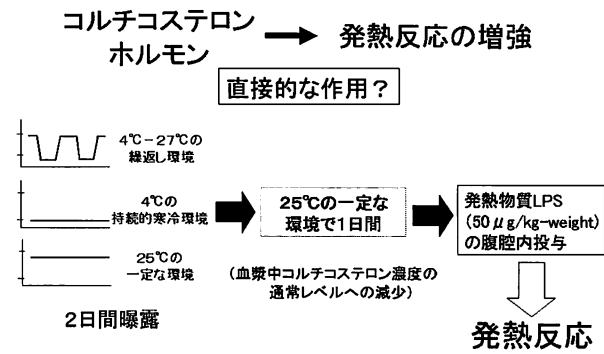
Ⅱ-4-5-1. 研究の目的

Ⅱ-4-4の実験から環境温度によって強いストレスを受けている、つまり高い血漿中コルチコステロンホルモン濃度を示す動物ほど、LPS投与による発熱反応が増強される結果が得られた。この現象の原因を検討したとき、増加したコルチコステロンホルモンが直接的に作用している可能性が考えられる。しかし、これまでの研究でコルチコステロンホルモンはサイトカインの合成阻害やサイトカイン受容体の発現抑制などの細胞性免疫反応を抑制することが報告 (Scheinman RI. et al., 1995、Auphan, N., et al., 1995) されているため、コルチコステロンホルモン自体は発熱反応を減弱させることが考えられるが、コルチコステロンホルモンの発熱反応への関与は未だ明らかとなっていない。そのため、この発熱増強現象がコルチコステロンホルモン自体の直接的な作用によるのか、ストレス強度が高い状態が他のなんらかの機構に影響し引き起こされているのか、コルチコステロンホルモンの発熱反応への影響の検討を行った。

Ⅱ-4-5-2. 研究方法

環境温度曝露モデル動物として日本エスエルシー株式会社より購入し、室温25±1℃、相対湿度47～53%、明暗サイクル12時間の動物飼育室にて飼育したWister系ラット (オス、12～15週齢、体重およそ280～320 g) を使用した。無拘束、自由行動下の覚醒時の深部体温の測定を行うために予め、ネブタール麻酔処置 (20mg/kg) ラットの腹腔内への体温測定用テレメトリーセンサー (DSI社製DataquestLabPROシステム) の埋め込みを行った。

テレメトリーセンサーを埋め込み処理後回復したラットを2日間低温環境、低温域繰り返し変化環境に曝露した後、25℃環境で1日間曝露し、血液中のコルチコステロン濃度が通常レベルに戻った状態で、外因性発熱物質LPSの腹腔内投与を行い、実験的に引き起こした発熱反応と各温度条件曝露後 (高い血漿中コルチコステロン濃度時) 速やかに引き起こした発熱反応との比較を行った (図Ⅱ-4-24)。血漿中コルチコステロンホルモンの測定は、室温下にて速やかな断頭後に採取した血液を3000rpm、15分間の遠心処理をおこないEDTA血漿を得え、株式会社エスアールエルにてRIA固相法で行った。コルチコステロンホルモンの分泌は概日リズムにより変動するため、明期前半の決まった時刻に全サンプルの採取を行った。尚、本動物実験は山梨県環境科学研究所動物実験倫理委員会の審査・承認を受けて行った (平成17年度承認番号ECAE-02-2005)。統計的有意差はボンフェローニ多重比較法を用い検定を行った。



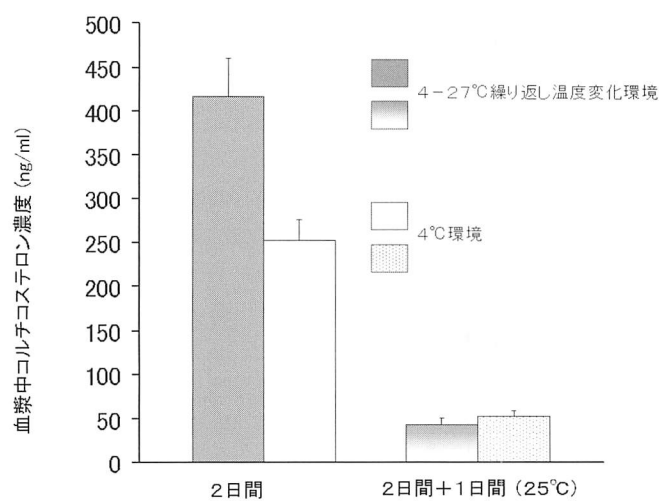
図Ⅱ-4-24. コルチコステロンホルモンの環境温度に伴うストレスによる発熱反応増強現象への関与の検討

Ⅱ-4-5-3. 結果と考察

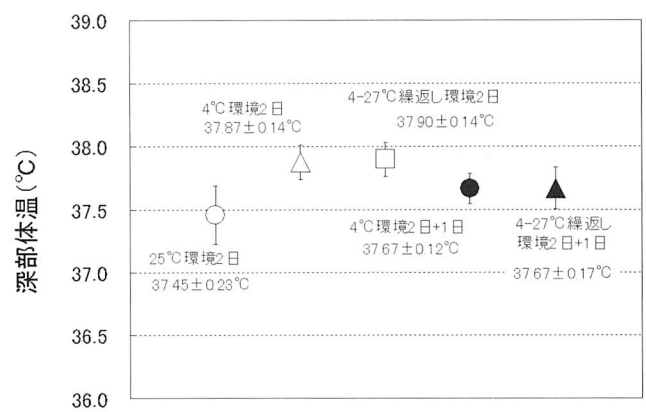
低温環境と低温域繰り返し変化環境での2日間曝露とそれに加え、1日間の25℃環境に曝露した場合での血漿中コルチコステロン濃度の比較を図Ⅱ-4-25に示した。それぞれ強いストレスを引き起こし高いコルチコステロン濃度を示していた低温環境、低温域繰り返し変化環境曝露に対し、1日間の25℃環境曝露を追加することにより100ng/ml以下という飼育温度である25℃環境曝露 (コントロール) と同レベルまでのコルチコステロン濃度へと戻っているのが確認できる。図Ⅱ-4-26で示した環境温度曝露のためのチャンバーから動物を出し、1時間経過した発熱反応を引き起こすためのLPSを腹腔内へ投与する直前での深部体温の比較において有意な差がないことから、環境温度曝露による深部体温への影響は認められなかった。

低温環境と+25℃環境1日間でのLPS腹腔内投与による体温の変化を図Ⅱ-4-27に示す。25℃環境で1日間曝露したことによりコルチコステロンホルモンがコントロールレベルにある状態であるが、明らかに体温の上昇が増強されており、2相性の傾向が明確に表れている。発熱量の簡易比較であるFever Indexによる比較においても25℃環境、低温環境に対して有意に多い発熱を引き起こすことが明らかとなった (図Ⅱ-4-28)。同様に低温域繰り返し変化環境においても25℃環境で1日曝露し、低いコルチコステロン濃度であるグループが25℃環境、低温域繰り返し変化環境に対し、有意に高い発熱反応を示した (図Ⅱ-4-29、-30)。以上の結果から、環境温度に伴うストレス状況においてコルチコステロンホルモンの増加がLPS投与による発熱反応を直接的に増強している原因ではなく、寧ろ高い濃度のコルチコステロンは発熱による体温の上昇を抑制する働きをすることが明らかとなり、その他のメカニズムによる発熱反応につながる免疫機構への作用により、発熱反応の増強が引き起こされていると考えられる。しかし、コルチコステロン濃度において有意な差が見られた発熱増強現象に連

いが見られた2日間の低温環境と低温域繰り返し変化環境曝露に対し、それぞれ25℃環境1日間の曝露を加えて行いコルチコステロンホルモンの直接的な影響を低いレベルにした状態では、二つのグループにおいてLPS投与における発熱反応に有意な差は見られなくなった (図Ⅱ-4-31、-32)。このことから、環境温度に伴うストレスによる発熱反応増強現象は発熱反応へ繋がるなんらかの機構への直接的な関与だけでなく、ストレス対処のために分泌されたコルチコステロンホルモンによる発熱抑制作用との相互作用で引き起こされている可能性が考えられる。



図Ⅱ-4-25. 4℃と27℃環境を1時間おきに繰り返し変化する環境、4℃の持続的な低温環境に2日間曝露した時とさらに25℃環境で1日間曝露を継続した時の血漿中コルチコステロン濃度変化 n=8



図Ⅱ-4-26. 各環境温度変化曝露後のLPS腹腔内投与直前深部体温 mean ± sem n=8

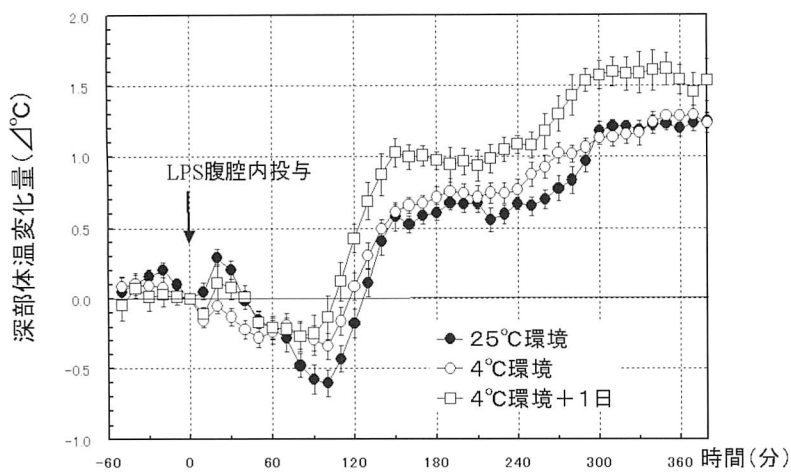


図 II -4-27. 25℃環境 2 日間後、4℃環境 2 日間後、4℃環境 日間 +25℃環境 1 日間後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による発熱反応の変化 n=8

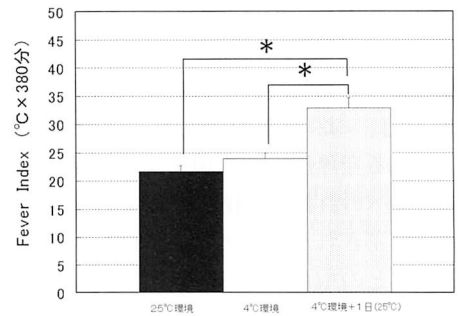


図 II -4-28. 25℃環境 2 日間後、4℃環境 2 日間後、4℃環境 日間 +25℃環境 1 日間後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による Fever Index (発熱指数) 比較

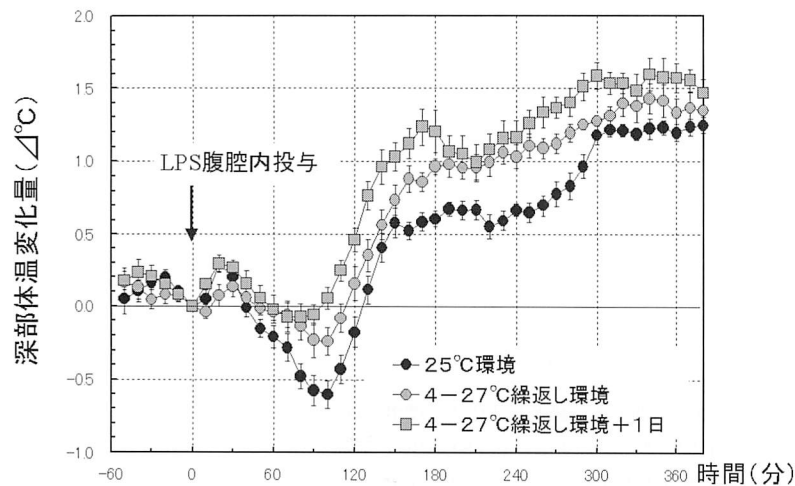


図 II -4-29. 25℃環境 2 日間後、繰返し環境 2 日間後、繰返し環境 2 日間 + 25℃環境 1 日間後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による発熱反応の変化 n=8

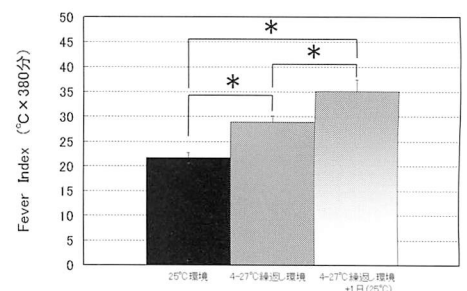


図 II -4-30. 25℃環境 2 日間後、繰返し環境 2 日間後、繰返し環境 2 日間 + 25℃環境 1 日間後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による Fever Index (発熱指数) 比較

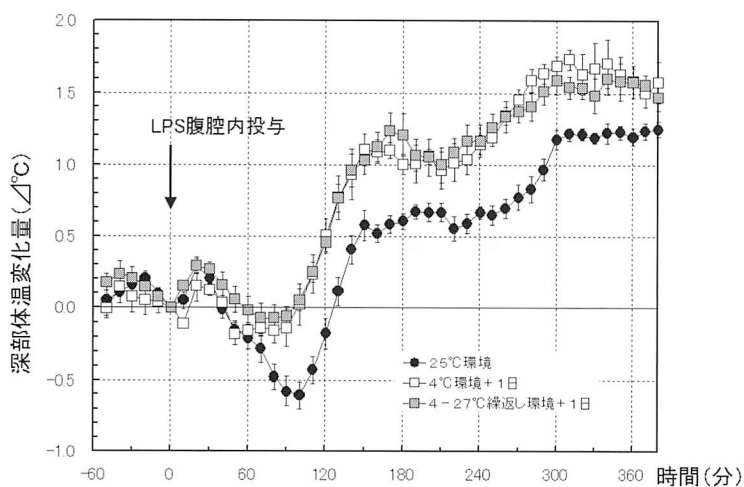


図 II -4-31. 25℃環境 2 日間後、4℃低温環境 2 日間 +25℃環境 1 日間後、繰返し環境 2 日間 +25℃環境 1 日間後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による発熱反応の変化 n=8

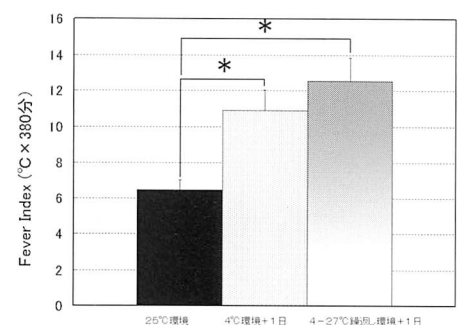


図 II -4-32. 25℃環境 2 日間後、4℃低温環境 2 日間 +25℃環境 1 日間後、繰返し環境 2 日間 +25℃環境 1 日間後の外因性発熱物質 LPS のラット腹腔内投与による Fever Index (発熱指数) 比較

II-4-6. まとめ

今回の環境温度に曝露し体重の変化をみた研究から寒冷、暑熱曝露に順ずる低温、高温環境条件により生体が様々な影響を受け、それが大きなストレスとなり、総合的な結果として体重の減少が引き起こされた。その寒冷、暑熱環境を緩和する方向に繰り返し環境温度が変化した場合では、体重の減少が見られず、体への負担は問題とするほどではないことを示す結果が得られた。しかし、内分泌系でのストレス指標としてのコルチコステロンホルモンの血漿中の濃度の測定からは、一定な低温、高温環境下よりもその低温、高温環境を緩和する方向に繰り返し環境温度が変化する環境の方が、強いストレスと成り得ていることが明らかとなった。このときの深部体温の変化と行動性体温調節反応としての行動量の変化を比較した結果から、一定の環境温度が持続する環境では、その環境が過酷であったとしても、環境温度に体温調節のみならずエネルギー代謝などの様々な反応を適応させ、その環境に合った体温の維持を行うことにより対処していく。一方、目まぐるしく環境温度が変化した場合では、その都度変化した環境温度に対する体温調節を含めた対応をし続けなければならない、からだには大きい負担（ストレス）となっていると考えられる。つまり、過酷な一定の環境温度に加え、環境温度の「変化」も生体にとって大きなストレスを与えることが明らかとなった。

この低温、高温環境や繰り返し環境温度が変化する環境といった環境温度に伴って生じるストレス状況が、生体防御を司る免疫反応の一つの表れである発熱反応を増強させることがわかった。本研究では、外因性発熱物質であるLPSを投与することにより実験的に引き起こした発熱反応への影響を観察しているが、私たちが風邪などの病気にかかったときの発熱と同じ機序で起こる発熱であり、私たちが普段ストレスと成りえる環境温度に曝露された場合、表向きにはからだに異変がなくても罹患したときの発熱症状が悪化する可能性を示唆している。しかし、発熱反応の増強は免疫機能が促進された結果であるという捉え方もでき、環境温度に伴うストレスに曝露されることが、からだの防御機能を活性化する可能性も無視できない。軽度のストレスは、ストレスに対して抵抗するための反応をからだに惹起し、からだを守る機能を増強させることが知られているが、ストレスの度合いが強くなりすぎたり、長期間続くとストレス状況にからだが耐えられなくなり、身体のさまざまな機能は影響を受け、減弱してゆく(乾ら、2000)。環境温度は私たちが生きていく中で、誰もが常に付き合っていかなければならない環境要因である。からだの機能を活性化し体調の不調を招かないような環境温度の選択が、空調設備の整備が進み、さらされる環境温度の設定が可能となって

きた現代において非常に重要であると思われる。そのためにも今回の研究のような基礎的な知見の積み重ねが今後重要となってくるであろう。

また、今回の実験から明らかとなった環境温度に伴うストレス状況により発熱反応が増強される現象は、細胞性免疫反応時の血液中に放出されるサイトカインの種類やその量に変化し、これによりその他の生体内恒常性を維持する反応へ影響が及ぶうる可能性を示唆している。この現象が環境温度に伴うストレスによるだけでなく、その他の物理的、精神的ストレスによっても引き起こされるならば、このメカニズムをあきらかにすることにより複雑化する現代社会で問題となってきた社会心理的なストレスを始めとした様々な原因による「不定愁訴」の解明につながると我々は考えており、引き続きそのメカニズムの解明を進めていきたいと思う。

II-4-7. 引用文献

- Auphan N, DiDonato JA, Rosette C, Helmberg A, Karin M. Immunosuppression by glucocorticoids: inhibition of NF-kappa B activity through induction of I kappa B synthesis. *Science*. Oct 13;270(5234):286-90. 1995
- 乾幸二、北村浩、北山功ら、からだの中からストレスをみる、日本比較内分泌学会編、2000
- 入来正躬編集、体温調節のしくみ、文光堂、1995
- 彼末一之、中嶋敏博、脳と体温、共立出版、2000
- Scheinman, R.I., Cogswell, P.C., Lofquist, A.K. & Baldwin, Jr., A.S. Role of transcriptional activation of I kappa B alpha in mediation of immunosuppression by glucocorticoids. *Science*, Oct 13;270(5234):283-6. 1995.
- 平野鉄雄、新島旭、脳とストレス、共立出版、1995
- 三浦豊彦、夏と暑さと健康、(財) 労働科学研究所出版部、1985
- 山寺 慎一、冷房病、*Journal of Integrated Medicine* vol.14 no.7 2004
- 山梨県環境科学研究所報告書第5号、都市化に伴う環境変化が人の生活と健康に及ぼす影響に関する研究、2001

R-03-2007

平成18年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第18号

YIES Research Report

2007年3月発行

編集・発行
山梨県環境科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1

電話：0555-72-6211

FAX：0555-72-6204

<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>

印刷 株式会社ヨネヤ

