

R-06-2004

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第13号

プロジェクト研究

「山梨の自然がもたらす快適性に関する研究」

平成16年度

山梨県環境科学研究所



写真1 (本文3、18ページから)
スギ花粉症モルモット

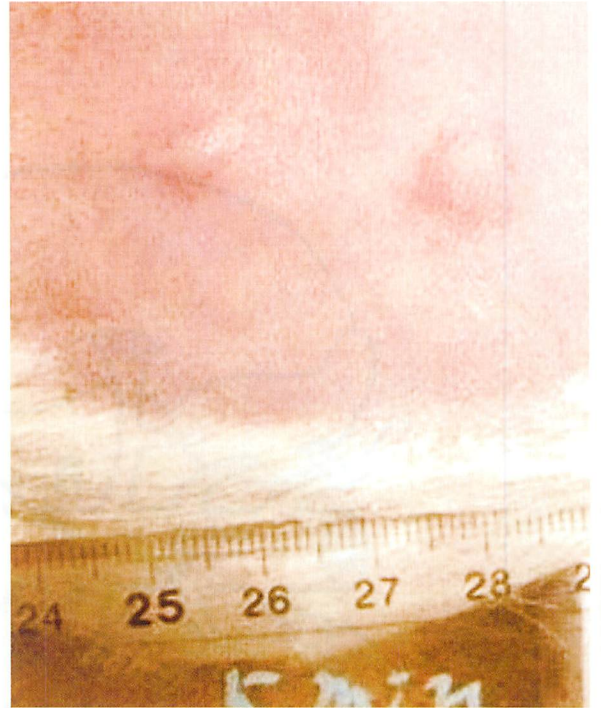


写真2 (本文3、19ページから)
スギ花粉抗原の皮内投与による花粉症モルモット皮膚の膨疹と発赤

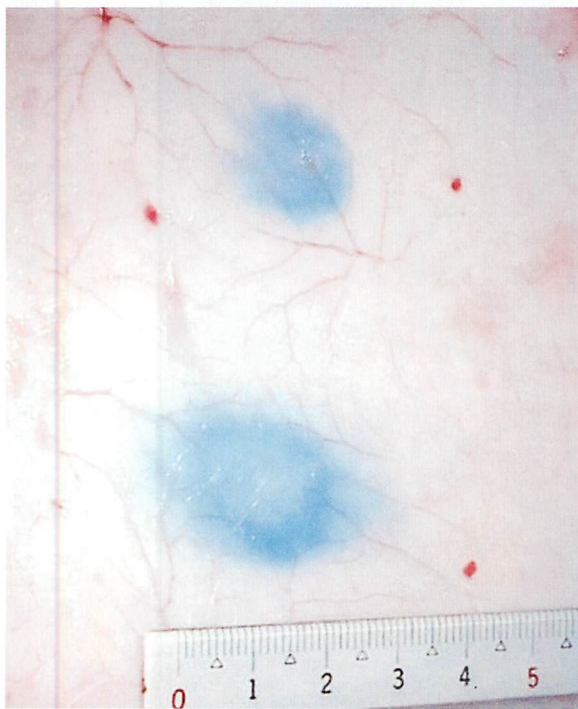


写真3 (本文3、19ページから)
スギ花粉症モルモットの血清の皮内投与により正常モルモットに引き起こされた色素漏出

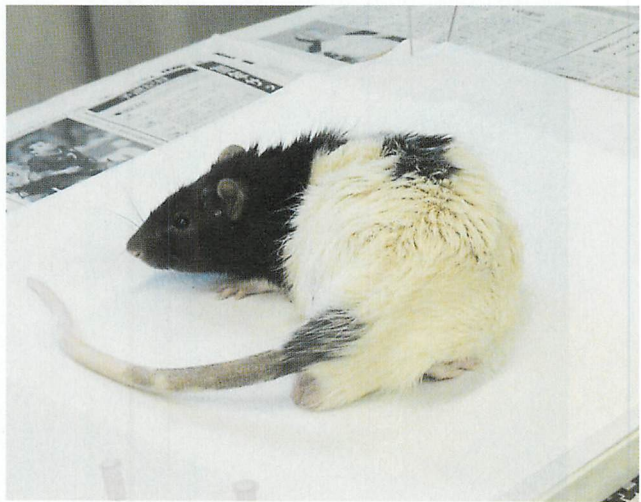


写真4 (本文6、24ページから)
自然発症糖尿病ラット (OLETF)

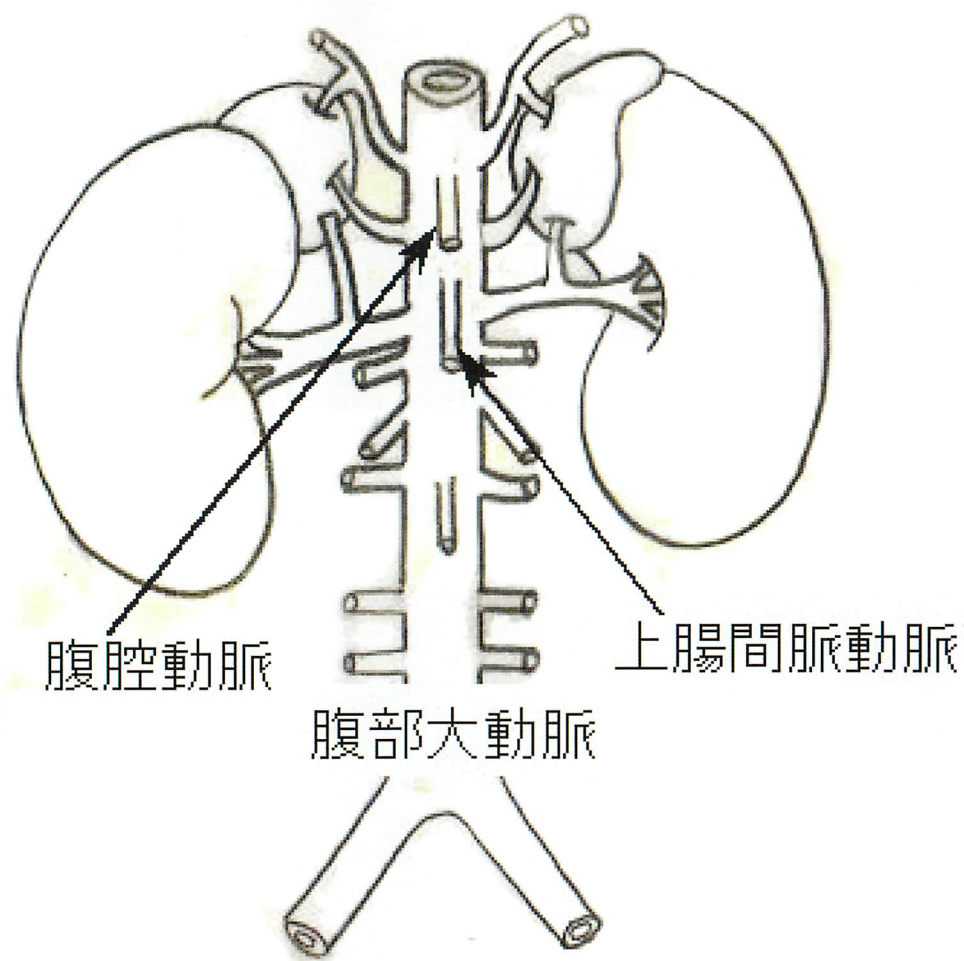
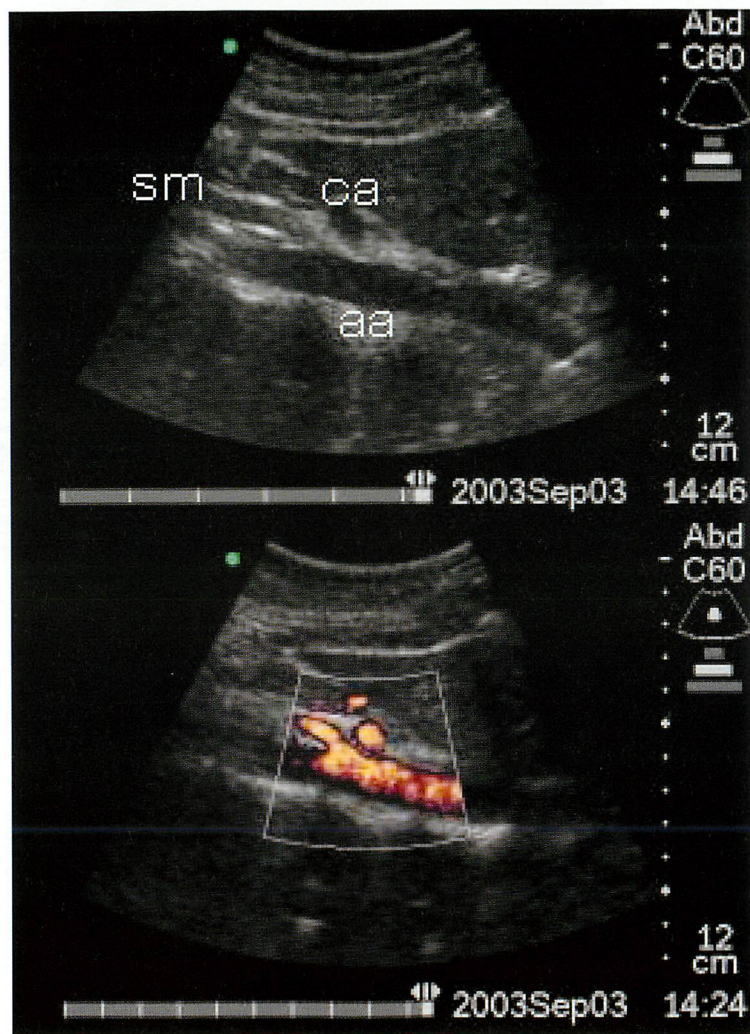


写真 5 腹腔内動脈の超音波エコー像（本文 9、29ページから）

左下は血管内の血流信号（ドップラー信号）を示す。腹部大動脈（aa）と腹腔動脈（ca）、上腸間膜動脈（sm）との分岐部を示す。

R-06-2004

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第13号

プロジェクト研究

「山梨の自然がもたらす快適性に関する研究」

平成16年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

惑星としての地球の寿命は、今から約50億年後に尽きると想定されている。われわれ人類の祖先である新人が地球上に現れたのは、今から4万年前であると考えられている。人間の活動は絶えず地球環境に影響を与え続けてきたが、特に、ここ200～300年間はその影響が甚大である。今後も世界人口の増加などにより人間活動が環境に与える負荷が、ますます大きくなっていくものと予想される。このような時代を迎えて、環境との共生をめざす循環型社会に移行することが求められているのは、ほとんどの人々が納得するところであろう。来るべき循環型社会には、①技術開発推進型、②ライフスタイル変革型、③環境産業発展型の三つのシナリオが示されている。循環型社会に移行するにあたり、②のライフスタイル変革型シナリオを選択した場合はもとより、その他ふたつのシナリオが選ばれた場合でも、程度の差はあれライフスタイルの変更が必然的に伴ってくると予想される。ライフスタイルの変更は、それによる満足感や達成感を伴わない限り容易ではない。そこで、循環型社会における生活の質(QOL: Quality of Life)をどのように維持し、さらに向上させるかが大きな問題となるであろう。

循環型社会におけるQOLを維持・向上させる方策のひとつとして、身近な自然資源や文化資源を新たな価値観のもとに活用していくことが挙げられる。里山や水辺の新たな利用法の創出や、寺社仏閣などを利用した散策・学習コースの整備などがこの例である。幸い山梨県は、このような資源に質量ともに恵まれている。今回のプロジェクト研究報告書「山梨の自然がもたらす快適性に関する研究」では、本県の多様な資源の内から森林と温泉を取り上げ、森林の香りや温浴が心と身体に与える効果、さらにスギ葉精油の花粉症軽減効果、森林浴の糖尿病軽減効果などについて、生理学、心理学、免疫学などの手法を統合的に用いた学際的研究成果がまとめられている。本研究成果が、山梨県の自然のもつ高いポテンシャルを明らかにするとともに、それを利用することでわれわれの快適感や健康がどのような影響を受け、その結果QOLの維持・向上にどのように役立っていくのかを、多くの人々に知ってもらい契機となれば幸いである。さらに、新たな価値を付加された自然資源の新たな利用法についての研究が、将来発展的に進められることを希望する。

平成16年 9 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	
1)	サブテーマ1：森林のもたらす生理心理学的効果に関する研究	1
2)	サブテーマ2：スギ花粉症の減感作療法に関する動物実験	3
3)	サブテーマ3：森林浴の糖尿病改善効果に関する動物実験	6
4)	サブテーマ4：温泉・温浴のもたらす生理心理学的効果に関する研究	8
I-5	研究資料	12
I-6	研究テーマに関する研修生受け入れ状況	14
I-7	謝 辞	14

本編

II 研究成果報告

Ⅱ－１	サブテーマ１：森林のもたらす生理心理学的効果に関する研究	
１）	研究組織	15
２）	研究目的	15
３）	実験倫理	15
４）	森林の香りの持つ心理生理学的効果	15
５）	今後の展開	16
Ⅱ－２	サブテーマ２：スギ花粉症の減感作療法に関する動物実験	
１）	研究組織	18
２）	研究目的	18
３）	実験倫理	18
４）	スギ花粉症モデル動物の作成	18
５）	スギ花粉症動物のクシャミ反応・鼻汁分泌反応に対する スギ葉精油の抑制効果	19
６）	まとめ	20
Ⅱ－３	サブテーマ３：森林浴の糖尿病改善効果に関する動物実験	
１）	研究組織	23
２）	研究目的	23

3) 実験倫理	23
4) 運動が脂肪分解による熱産生反応に及ぼす影響	23
5) 糖尿病モデルラットを用いた実験	23
6) まとめ	24

Ⅱ－4 サブテーマ4：温泉・温浴のもたらす生理心理学的効果に関する研究

1) 研究組織	27
2) 研究目的	27
3) 足浴の生理心理効果	27
4) 腰浴（腰湯）が胃運動と内臓血流に与える効果	28
5) 今後の展開	30

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

研究テーマ名：

山梨の自然がもたらす快適性についての研究

研究期間：

平成12年4月～平成16年3月（4年間）

I-2 研究体制

研究代表者：

山梨県環境科学研究所 研究管理幹 永井 正則

所内研究参加者：

山梨県環境科学研究所	環境生理学研究室
	非常勤嘱託 臼井 信男 ¹⁾
	非常勤嘱託 大野 洋美 ²⁾
	助 手 佐藤 昭子 ¹⁾
	助 手 齋藤 順子 ²⁾
山梨県環境科学研究所	緑地計画学研究室
	研究員 池口 仁 ³⁾

所外共同研究者：

日本大学法学部	助教授	和田 万紀 ⁴⁾
県立看護大学短期大学部		
	講 師	浅川 和美 ⁴⁾
昭和大学教養部	元講師	北川 行夫 ⁵⁾

¹⁾ 平成13年度まで在籍、²⁾ 平成14年度より在籍、³⁾ サブテーマ1に参加、⁴⁾ サブテーマ1と4に参加、⁵⁾ サブテーマ2に参加

I-3 研究目的

人々が受けるストレスは現代になって、社会的にも経済的にもますます大きくなっている。心身にストレスが蓄積すると、身体の抵抗力が低下し、さまざまな疾病に罹患しやすくなることも近年わかってきている。そのため、快適で健康的な環境へのニーズも年ごとに大きくなっている。そこで、本県の自然が人にもたらす快適性を生理学的、心理学的手法を用いて明らかにし、自然資源を活用した健康で快適な生活の創成に関する科学的背景を呈示する。特に、森林資源や温泉資源の利用に伴う快適性について解析し、本県の自然を活かした保養地づくり等のための基礎資料を提供することを目指す。

I-4 研究成果の概要

1) サブテーマ1：森林のもたらす生理心理学的効果に関する研究

山梨県は、県土の78%以上を森林が占める森林県である。同時に、海拔800メートルを超える高原も多い。保

健休養という面で山梨の自然資源を捉える場合、森林と高原とが大きな比重を占めることは明らかである。そこで、森林環境が人の心と体に与える影響を具体的に示すことを目標に本サブテーマを設定した。研究を開始した平成12年度に山梨県商工労働観光部産業交流課（当時）からの要請を受けて、本サブテーマを平成13年度、14年度の特定制研究として取り上げ、その成果を山梨県環境科学研究所研究報告書第7号として出版した。そこで、今回の報告書では、研究報告書第7号に記載しなかった研究成果について述べる。さらに、本サブテーマは山梨県森林環境部森林環境総務課からの要請により、平成16年度から特定制研究に移行し、平成18年度まで継続することとなった。

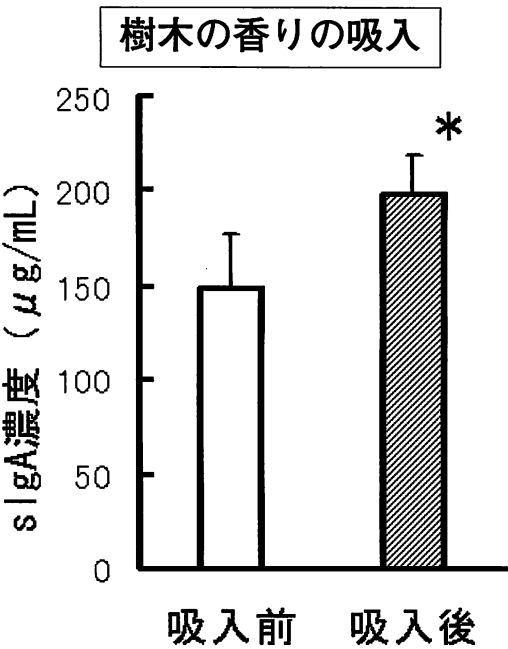
森林の香りが持つ生理心理学的効果

森林の香りの持つ生理心理学的効果について、実験を行なった。森林の香りとしてスギ精油を選んだ。大学生男女23名を被験者とし、静かに座った状態でスギ精油の香りを10分間吸入することが、人の気分と粘膜免疫能およびストレスホルモンの分泌に及ぼす効果を検討した。気分の変化は、心理調査用紙POMS（Profile of Mood States）を用いて調べた。粘膜免疫能の指標としては、唾液中の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。ストレス時に分泌されるストレスホルモンの代表として、唾液中のコルチゾールの濃度と分泌速度を測定した。

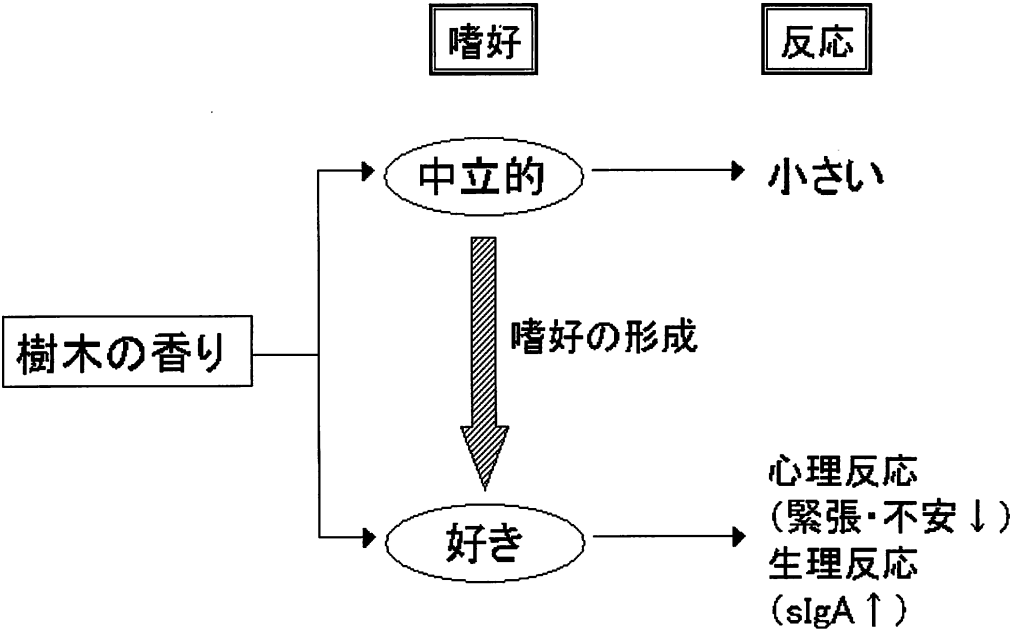
スギ精油の香り吸入の有無に関わらず、安静を続けることで緊張感、不安感および疲労感が軽減した。加えて、スギの香吸入群では敵意と怒りの得点も低下した。唾液中のsIgAの濃度と分泌速度およびコーチゾールの濃度と分泌速度は全般に低下していた。sIgA分泌の低下はスギの香吸入群でより明かで、コーチゾール分泌の低下は香り無し群で、より顕著であった。しかし、両群間に本質的な差は認められなかった。香り吸入の有無に関わらず、安静を保つことによってリラクセーションが得られ、ストレスホルモン（コーチゾール）の分泌が低下し、sIgA分泌も低下することがわかった。この実験においては、スギ精油に対する被験者の嗜好は中立的であった。先行するプロジェクト研究の結果、被験者の嗜好に従って選択される好みの香りの存在により、安静時の快適感とリラクセーション効果が高められることが示されている（山梨県環境科学研究所研究報告書第1号）。そこで、スギ精油、ヒノキ精油、ユーカリ精油、スギ＋ヒノキ精油、スギ＋ユーカリ精油、ヒノキ＋ユーカリ精油、スギ＋ヒノキ＋ユーカリ精油の7種類の精油を用意し、その中から好みの香りを大学生男女41名に選択させ、選択

した香りの吸入が気分と粘膜免疫能に与える効果を調べた。好みの森林の香りを10分間吸入することによって、安静が続けた場合と同様に、緊張、不安、疲労感、敵意、怒りが軽減した。一方、唾液中のsIgA濃度は上昇した(図I-1)。以上の実験から、樹木の香りが被験者の嗜好に対し中立的な場合には、香りの吸入が安静効果を強めたり、または逆に、その効果を妨げたりすることはないが、好まれる樹木の香りを吸入する場合には、安静効果に加え唾液中のsIgA濃度を上昇させる効果があることがわかった(図I-2)。

分泌型免疫グロブリンA (sIgA) は、粘膜免疫系の主要な免疫タンパクであり、咽喉や鼻の奥の粘膜を感染から防御する役割を果たしている。生活上の出来事などによりストレスが長期化すると、sIgA分泌の低下が続き、その結果、風邪症候群などの上部気道感染症に罹患しやすくなることが知られている。理由は明らかでないが、日本における上部気道感染症による死亡率は、ドイツの2倍、アメリカの7倍に達する(WHO, 1994)。好みの樹木の香りを吸入するとsIgAが増加するという今回の実験結果は、上部気道感染症の予防という観点から、森林の持つ好ましい作用のひとつを示している。嗜好の形成は、習慣や学習により多大の影響を受ける。そこで、森林や樹木に親しむ経験を土台に、樹木の香りに対する前向きな嗜好を形成することによって、森林の持つポテンシャルをさらに引きだすことが可能となると思われる(図I-2)。



図I-1 好みの樹木の香りと分泌型免疫グロブリンA (sIgA) 好みの樹木の香りを10分間吸入することで、唾液中のsIgA濃度が増加する。平均値と標準誤差を示す (n=41, *p<0.05)。



図I-2 樹木の香りの生理心理効果

2) サブテーマ 2 : スギ花粉症の減感作療法に関する動物実験

森林のもたらすマイナスの影響のひとつとして、花粉症が挙げられる。環境の悪化により大気中の浮遊微粒子が増加すると、花粉症の発症も多くなることが知られている。したがって、現代人は、花粉症の発症しやすい環境に曝されていると言える。全国の耳鼻科医およびその家族を対象とした調査によると、耳鼻科医およびその家族のスギ花粉症罹患率は全国平均が17.3%であるのに対し、山梨県では26.9%と全国最高値を記録した(中村昭彦ほか: 日本耳鼻科学雑誌105: 215-224, 2002)。山梨県でスギ花粉症の罹患率が多い理由として、盆地のため周囲からスギ花粉が集中してくる可能性、寒暖差が激しくかつ乾燥性の気候のため普段から咽喉や鼻の粘膜がストレスに曝され、アレルゲン(アレルギーの原因となる物質)に対する感受性が高まっている可能性、果樹園や畑地などの露地が多く、かつ盆地のため浮遊塵が多く、アレルゲンに対する感受性が高まっている可能性などが指摘されている。しかし、いずれも決定的な根拠を欠いている。

花粉症の治療には、抗アレルギー剤、抗ヒスタミン剤、血管収縮剤、ステロイド剤などを適宜組み合わせ用いるのが一般的である。しかし、これは対症療法であり根治的な治療法ではない。また、このような薬剤の処方を受けるため医療機関を訪れると、そのたびに半日ほどは時間がかかってしまう。通院に費やす時間も含め、スギ花粉の飛散する2月から5月までの仕事やその他の生活面での効率の低下と、それによって生じる社会的損失は無視できない大きさである。スギ花粉症に罹患した人が訴える症状で最も多いのは、クシャミ、鼻汁、鼻づまりという鼻粘膜症状であり、花粉症に罹患した人すべてが症状を訴えている。次いで98%の人が、目のかゆみや涙目といった眼症状を訴えている。3番目、4番目の咽喉がイガイガするという被刺激感(48%)や皮膚の痒み(32%)と比べると、鼻粘膜症状と眼症状が、圧倒的に花粉症に罹患した人々を悩ませていることがわかる。花粉症に対して対症療法を選ぶのであれば、鼻粘膜症状や眼症状をもっと手軽な方法で軽減する方法が期待される。

東洋医学には、元来“自然界に存在するものは、毒にも薬にもなる”、“毒をもって毒を制する”という思想がある。そこで、旧来からスギ花粉症にはスギ葉を煎じて飲用するという民間療法が伝えられている。さらに最近、スギ花粉の抽出物を皮下注射して、花粉症の根治をめざす減感作療法の可能性も指摘されている。そこで、スギの葉の抽出物の花粉症軽減効果を科学的に検証し、森林資源の新たな利用法を探るための研究をプロジェクト研究のサブテーマとして取り上げた。

スギ花粉症モデル動物の作成

スギ葉抽出物を人の皮膚や鼻粘膜に適用した場合の安全性について、既出のデータや基準が存在しないため、直截に人を対象とする実験を行なうことは避け、まずは実験動物を対象として検証を行なうこととした。そのため、実験動物にスギ花粉症を発症させる必要が生じた。自然に生息する動物では、日本ザルで花粉症様症状が観察されているのみで、実験動物として使われるネズミやウサギなどの齧歯目の動物で花粉症が発症するかどうかは不明であった。しかし、われわれは、県内で採取したスギ花粉から、花粉症の原因となる抗体タンパクを抽出し、動物の腹腔内に繰り返し注射することで、モルモットに花粉症を発症させることに成功した(写真1 カラー口絵1ページ参照)。

スギ花粉症の証明

スギ花粉抗原の感作を受けた動物では、クシャミ反応と鼻汁分泌反応が増大した。これが本当にスギ花粉症によるものであるかどうかを確かめるため、以下に述べる二つの検査を行なった。

①スギ花粉症特異的免疫グロブリンE(IgE)抗体の検出: スギ花粉症の診断確定や重篤度を判定するために、人ではスギ花粉に対する血清中の免疫グロブリンE(IgE)抗体の濃度を測定することが行われる。しかし、モルモットでは一回の採血量が限られることや、モルモットのIgE抗体が市販されていないなどの問題から、直接IgE抗体を測定することは難しい。そこで、スギ花粉抗原に対する皮内反応を用いて血清中のIgE抗体を間接的に測定することを二つの方法で試みた。ひとつは即時型皮内反応を利用する方法である(図I-3上)。花粉症動物にスギ花粉抗原を皮内注射して、注射部位を中心に発赤や膨疹(赤くなったり腫れたりすること)が現れれば、注射を受けた動物の血清中にスギ花粉特異的IgE抗体が存在することがわかる。発赤や膨疹の大きさから、IgE抗体の量を間接的に知ることができる。第2の方法は、受身皮膚アナフィラキシー反応を用いる方法である(図I-3下)。スギ花粉症を発症していない正常動物に花粉症動物から採取した血清を皮内注射して、その後正常動物の静脈にスギ花粉抗原と色素(エバンスブルー)を注射すると、花粉症動物の血清中のIgE抗体と静脈注射された抗原とが反応する。その結果、血清注射部位の毛細血管の物質透過性が増大し、色素が血管外に漏出する。色素の漏出の程度によりIgE抗体の量を間接的に知ることができる。前述の方法によりスギ花粉抗原に感作させたモルモット19匹の全例において、この2つの反応を誘発することができた(写真2、3 カラー口絵1ページ参照)。このことから、感作を行なったモルモットが確かにスギ花粉症を発症したことが証明された。

②鼻汁中の好酸球の検出: 白血球の一種の好酸球は、通

常は血液中に存在し血管外ではほとんど検出されない。スギ花粉症などのアレルギー性の鼻粘膜症状を起こした場合には、鼻粘膜の毛細血管から漏出した好酸球が鼻汁中に検出される。分泌された鼻汁をスライドグラスに塗布、乾燥させ、メタノールで固定した後、ハンセル染色を行なうと、好酸球が存在すれば赤く染色された白血球を顕微鏡下で観察することができる。この方法で、感作を受けたモルモットの鼻汁中に好酸球の存在を確認することができた。すなわち、感作を行なったモルモットは確かに鼻粘膜のアレルギー症状を起こしていたことが証明された。

スギ花粉症動物のクシャミ反応・鼻汁分泌反応に対するスギ葉精油の抑制効果

スギ花粉症動物にスギ花粉を吸入させクシャミ反応と鼻汁分泌反応を観察した。スギ花粉吸入前に、花粉症モルモットの鼻腔内にスギ葉精油を投与すると、投与しなかった対照群と比べ、クシャミ回数は40.6%に（図Ⅰ－4左上）、鼻汁重量は14.9%にまで減少した（図Ⅰ－4左下）。すなわち、鼻腔内に投与されたスギ葉精油が、スギ花粉症動物のクシャミ反応および鼻汁分泌反応を抑制することがわかった。次に、スギ花粉吸入の前に、モルモットの鼻腔周辺部の皮膚にスギ葉精油を塗布し、同様の検討を行なった。その結果、スギ葉精油投与群では、非投与群（対照群）と比べ、クシャミ回数は61.9%に（図Ⅰ－4右上）、鼻汁重量は11.2%にまで減少した（図Ⅰ－4右下）。スギ葉精油を鼻腔内に滴下しなくても、鼻腔周辺の皮膚に塗布するだけでも花粉症の鼻粘膜症状が緩和されることがわかった。

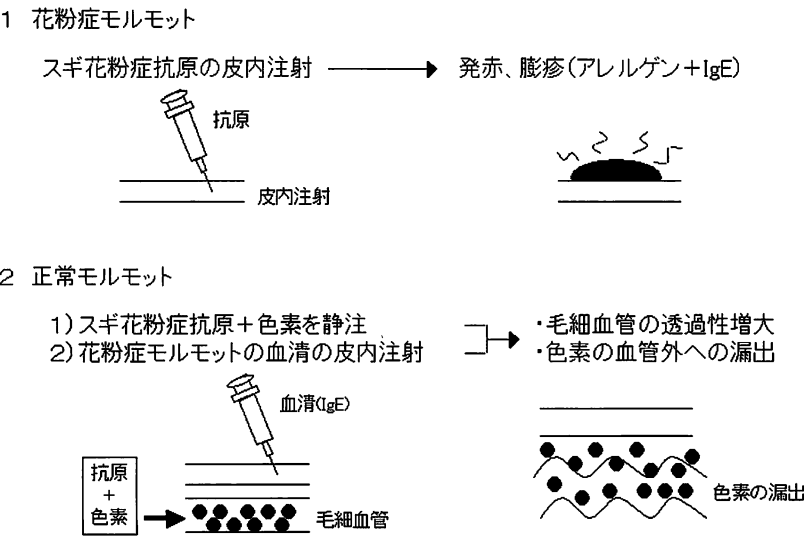
スギ葉精油の作用部位

スギ花粉症のモルモットの鼻粘膜症状を緩和するスギ葉精油の効果は、体内でのスギ花粉に対する抗体産生作用への効果、抗体産生後の肥満細胞の活性化過程への作用、粘膜血管に対する直接的収縮作用のいずれかによって発揮されると考えられる。先に述べた皮内反応を指標として、鼻粘膜へのスギ葉精油の繰り返し投与が抗体産生に影響するかどうかを検討した。しかし、スギ葉精油の繰り返し投与によって、皮内反応が小さくなるまたは大きくなるということはなかった。このことから、スギ葉精油には、花粉抗原に対する抗体産生を抑制するような全身的作用はなく、クシャミ反応および鼻汁分泌反応に対する緩和効果は、粘膜に対する局所作用であると考えられる（図Ⅰ－5）。

まとめ

スギ花粉症に罹患する人は多く、花粉が飛散する2月から5月までの生活の質（QOL: quality of life）の低下とそれに伴う社会的損失は小さくない。スギ葉精油には、花粉症の諸症状の内、ほとんどの人が訴える鼻粘膜症状を緩和する効果があり、花粉症発症後も鼻孔周辺の皮膚に局所的に適用することでその効果が発現する。さらに、本プロジェクト研究のサブテーマ1で示されたように、スギ葉精油の香りには緊張や不安を軽減する効果もある。これらの特長を利点として、実用化への取組みを開始した。

IgE抗体の確認



図Ⅰ－3 スギ花粉特異的免疫グロブリンE (IgE) 抗体の確認

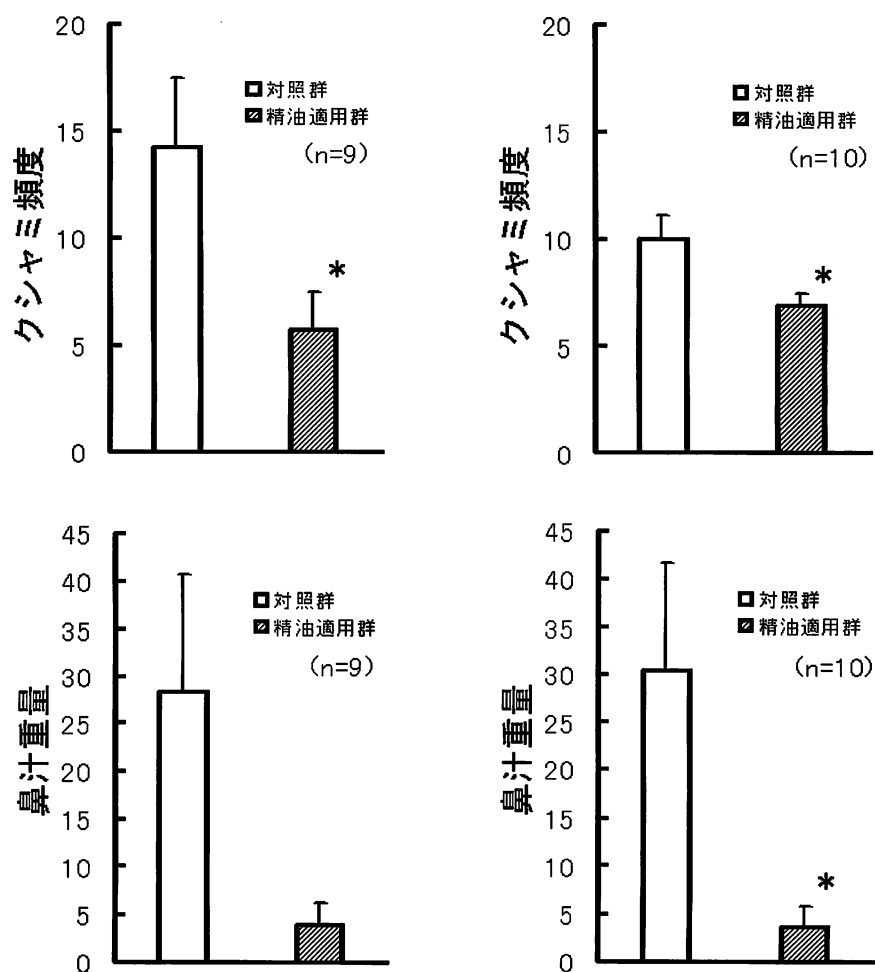


図 I - 4 スギ葉精油のクシャミ反応および鼻汁分泌反応抑制効果
鼻孔内投与の場合（左）と鼻孔周辺皮膚に塗布した場合（右）、上段がクシャミ頻度、下段が鼻汁分泌量を示す（* $p<0.05$ ）。

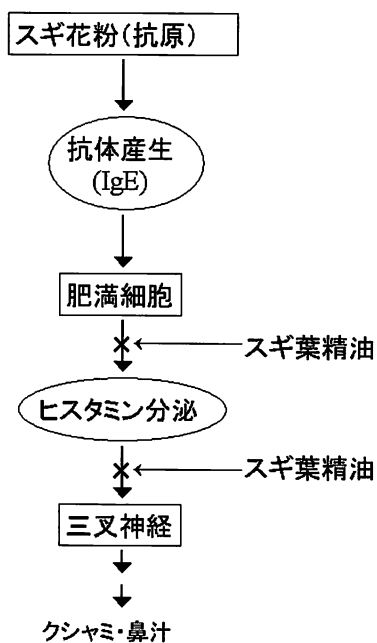


図 I - 5 スギ葉精油の作用部位

3) サブテーマ 3 : 森林浴の糖尿病改善効果に関する動物実験

平成9年の国民栄養調査に合わせて、全国規模の糖尿病実態調査が初めて行われた。その結果、糖尿病が強く疑われる人、および糖尿病の疑いを否定できない人を合わせると1370万人に達することが明らかになった(厚生統計協会、2000)。糖尿病に罹患する人の数は、今後も増え続けると予想されている。糖尿病に罹患すると、動脈硬化が加速されたり、末梢神経障害や末梢血行障害が発症したり、感染症に対して脆弱になるなど多様な症状を併発し、患者のQOL (Quality of Life) が大きく損なわれる。増加している糖尿病は、主としてⅡ型糖尿病(インスリン非依存型糖尿病、成人型糖尿病)であり、食生活や運動頻度などの生活習慣がその発症を左右すると言われている。

一方、以前から森林浴が糖尿病患者の血糖値の低下をもたらすことが経験的に知られている。しかし、そのメカニズムは未だ明らかにされていない。先行するプロジェクト研究の結果(環境科学研究所研究報告書第1号)、快適感をもたらす香りを吸入しながら有酸素運動をすると、香り無しで運動した場合と比べ、運動中の血圧上昇が軽度であることが示された。この結果は、快適な香りの存在下で運動すると、運動中の血管収縮反応の度合いが小さく、そのため運動中の筋肉や内臓への血流供給の低下が少ないことを示唆している。運動中の筋肉や臓器などへの血流供給が大きければ、血液中から筋肉や臓器に取込まれ利用される糖が増加し、結果として血糖値が改善することが期待される。森林浴の効果を、森林の香りプラス散策による運動の効果として捉えることにより、森林浴の糖尿病改善効果を説明できる可能性がある(図Ⅰ-6)。この可能性を確かめるため、ラットを用いた動物実験を行なった。

運動が脂肪分解による熱産生反応に及ぼす影響

運動中は交感神経活動が盛んになる。脂肪細胞に分布する交感神経の活動が盛んになると、細胞内に貯蔵された脂肪の分解が起こり、それに伴って熱が産生される。本実験では、運動による交感神経の活性化によって、脂肪分解による熱産生も高まるかどうかを、ラットを用いて検討した。高度に脂肪を蓄積した脂肪細胞から放出される物質(腫瘍壊死因子、TNF- α)が、筋細胞の糖利用を阻害することで糖尿病の引き金とも言われているので、脂肪分解を促進することが糖尿病の軽減に結びつく可能性がある。

5～6週齢のラットを運動群と対照群の2群に分けた。運動群では、27℃の水温下で1日30分の水泳を週3回、2週間にわたり負荷した。対照群は、室温24℃の飼育室内に置いたケージで、特に運動負荷を行わずに飼育を続けた。運動負荷期間が終了した運動群ラット(8

～10週齢)、および同じ週齢の非運動群ラットから麻酔下で褐色脂肪組織を摘出し、その酸素消費量を測定した。体内では、交感神経が興奮すると神経伝達物質ノルアドレナリンが交感神経終末から放出され、放出されたノルアドレナリンの作用で、褐色脂肪細胞での脂肪分解とそれに伴う熱産生が起こる。脂肪分解による熱産生は、酸素を消費する反応である。そこで、褐色脂肪組織片の酸素消費量を測定し、熱産生の指標として用いることができる。交感神経興奮をシミュレーションするために、酸素消費量測定用のテストチューブに入れた褐色脂肪組織片にノルアドレナリンを投与した。褐色脂肪細胞の酸素消費量は、ノルアドレナリンの投与で増加するが、運動群での酸素消費量の増加が、非運動群より大きいことがわかった。このことから、運度を繰り返すことにより、交感神経興奮時の脂肪分解が促進されることが明らかとなった。

糖尿病モデルラットを用いた実験

人のⅡ型糖尿病(インスリン非依存型糖尿病、成人型糖尿病)を研究するためのモデルラットの作成は、以前から強く求められていたが、近年まで適切なモデルが存在しなかった。糖尿病を自然発症するラットの中で、最も人の病態に近いモデル(OLETFラット)が大塚薬品(株)徳島研究所により最近分離された(写真4 カラー口絵1ページ参照)。そこで、このOLETFラットの分与を受け、血糖値と脂肪分解に及ぼす運動の効果および森林浴のシミュレーションとして運動プラス森の香りの効果について検討した。

OLETFラットを、運動群、運動プラス香り群および運動も香りも負荷しない対照群に分けた。OLETFラットでは、生後12週から血糖値の上昇を見られるので、運動群では生後12週および13週に1回30分、週3回の水泳を負荷した。運動プラス香り群では、同様の週齢期に、スギ精油の香りを吸入しながらの水泳負荷を行なった。対照群は、そのままOLETFラットに指定された室温23℃、相対湿度60%の条件で飼育した。

週齢を追った血糖値の上昇の仕方に、運動や香りの有無による差は認められなかった。しかし、運動負荷を開始する12週齢目に140mg/dL(正常値は100 mg/dL)以上の血糖値を示した動物に限って比較すると、2週間の運動負荷を行なった運動群で、血糖値が有意に低下していることがわかった(図Ⅰ-7)。運動プラス香り群でも血糖値の低下が認められたが、血糖値の低下度が、香り無しの運動群を上回ることにはなかった(図Ⅰ-7)。すなわち、運動中にスギ葉精油の香りを吸入させても、運動による血糖値低下効果を増強することはないと結論される。

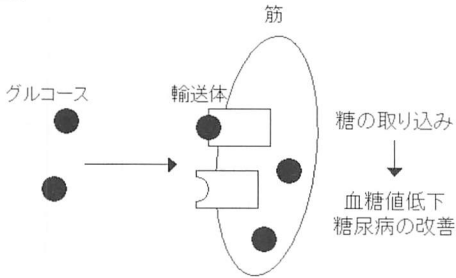
15～16週齢目のOLETFラットの褐色脂肪細胞を摘出し、ノルアドレナリンに対する熱産生能を、前述のよう

に酸素消費量を測定することによって評価した。

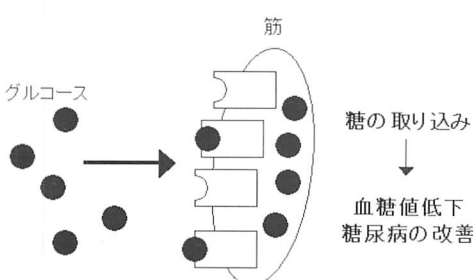
OETFラットでも、ノルアドレナリンの投与により褐色脂肪細胞の酸素消費量が増加した(図I-8)。運動負荷を行なった運動群と運動無しの対照群とを比較すると、糖尿病を発症しないラットと同様に、運動群の方がノルアドレナリンに対する酸素消費量の増加が大きかった。

以上の実験により、運動によって褐色脂肪細胞の脂肪分解による熱産生効果が大きくなることがわかった。運動による熱産生促進効果は、OETFラットでも糖尿病を発症しないラットでも同様であった。褐色脂肪細胞の熱産生の増加の背景として、交感神経から放出されたノルアドレナリンに対する脂肪細胞の反応性の増加、または、交感神経活動の持続的な亢進が考えられる。後者の可能性を確かめるため、血清中の甲状腺刺激ホルモンの濃度を、運動負荷の終わった15~16週齢の運動群のOETFラットと同一週齢の対照群のOETFラットとで比較した。その結果、運動負荷の有無は、血清中の甲状腺刺激ホルモン濃度に影響を与えていないことがわかった。また、15~16週齢のOETFラットと週齢を合わせたウィスター系ラットの血清中甲状腺刺激ホルモンの濃度を比較しても、両者の間に差は見られなかった。これらの結果から、OETFラットの甲状腺刺激ホルモンレベルは、糖尿病を発症しないラットと同様で、運動負荷によってホルモン分泌量が持続的に増加することはなかったことがわかった。運動負荷により脂肪細胞の熱産生が増加する理由は、交感神経由来の神経伝達物質ノルアドレナリンに対する脂肪細胞側の反応性が高まっているためと考えられる。

運動



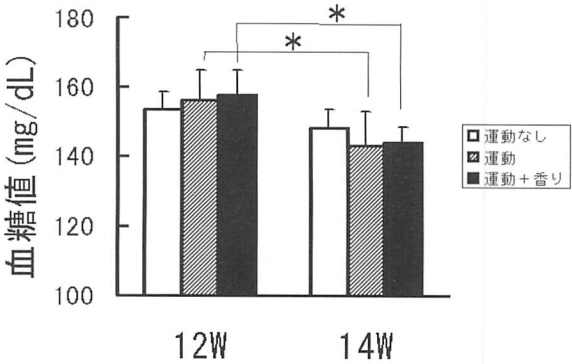
森の香り+運動(森林浴)



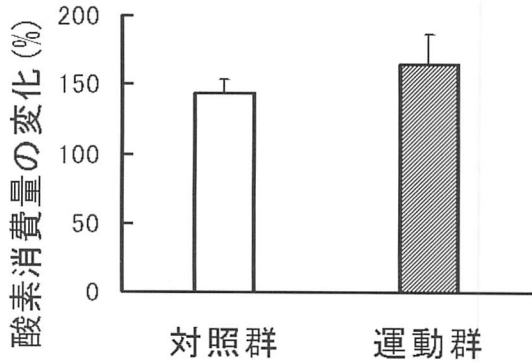
図I-6 森林浴の糖尿病改善効果(仮説)

まとめ

森林浴には、糖尿病患者の血糖値を下降させる効用があると経験的に言われているが、科学的に検証されているわけではない。森林浴を散策による運動と森林の香りの吸入という2つの要素の加算的な関係であると仮定し、これを検証するための動物実験を行なった。その結果、糖尿病モデルラットにおいても、運動負荷は血糖値を降下させ、脂肪分解を促進する効果を示した。このような運動による効果は、交感神経活動の持続的な増加によってもたらされるのではなく、交感神経から放出される神経伝達物質ノルアドレナリンに対する脂肪細胞など標的器官の反応性の増加が関与すると推測される。一方、針葉樹の香りの代表として用いたスギ葉精油の香りは、運動による効果を増強することはなかった。したがって、今回の結果から、森林浴の効果は散策による運動プラス森林の香りの吸入の加算であるとの仮説は証明されなかった。



図I-7 糖尿病自然発症ラット(OETF)の血糖値に及ぼす運動と香りの効果
12週齢目で血糖値が140 mg/dL以上の動物での結果。運動なしの対照群(n=3)、運動群(n=5)、運動プラス香り群(n=4)の平均値と標準誤差を示す(*p<0.05)。



図I-8 糖尿病自然発症ラット(OETF)の褐色脂肪細胞の脂肪分解速度に及ぼす運動の効果
ノルアドレナリン(10⁻⁶M)投与時の脂肪分解に伴う酸素消費量の変化をパーセント表示する。平均値と標準誤差を示す(n=8)。

4) サブテーマ 4：温泉・温浴のもたらす生理心理学的効果に関する研究

健康という視点から温泉を利用する目的は、①保健休養（予防医学的）、②リハビリテーション（心身の機能回復）、③慢性疾患の改善、の三つに分類される。これらの内、リハビリテーションや慢性疾患の改善については、古くから研究されており、利用法や効用についての科学的検証も進んでいる。一方、予防医学的な利用については、経験的な知見が先行し、知見を裏付ける根拠が未だ十分に示されていない点が多い。自然との共生を目指す循環型社会に移行していく過程で、生活の質（QOL：quality of life）を維持・向上させていくためには、身近な自然資源を有効に活用していくことが重要である。そこで、温泉および温熱の利用が人に与える効果について、予防医学的観点から研究を行うこととし、足浴および腰浴（腰湯）が人の心と身体に与える効果を具体的に示すことを目指して実験をおこなった。

足浴の生理心理効果

高齢者や心臓血管系に疾患を持った人の入浴法として、また日常のリラクセーションの方法として足浴や半身浴（腰浴、腰湯）が勧められている。そこで、40℃、10分間の足浴が人の心と身体におよぼす効果を具体的に示す目的で、のべ90名の被験者につき、足浴のみの効果、足浴プラス足裏マッサージの効果、足浴が睡眠に及ぼす効果の三つの実験を行なった。

室温24℃、相対湿度40%の人工気象室内で座位にて安静を保った被験者に、40℃、10分間の踝までの足浴を行なった。その結果、足浴は不安感、緊張感、疲労感を和らげる心理効果を示し、同時に心拍数を減少させることがわかった。一方、血圧には変化は見られなかった。このことから、40℃、10分間の足浴は、身体的負荷が少なく安全で、かつ効率良くリラクセーション効果をもたらすことが確かめられた。

足浴の疲労軽減およびリラクセーション効果を高める目的で、足裏マッサージや足裏ツボ刺激（湧泉、足心、失眠の指圧）が併用されることがある。このような足裏刺激が、実際に足浴の効果と相乗的に作用するかどうかを検討した。足浴を行なった足の皮膚温の上昇を皮膚血流増加の指標として見ると、足裏刺激のみでは、刺激側の外側踝部の皮膚血流を一過性に増加させるだけであったが、足浴後に足裏刺激を行なうと刺激側の外側踝部の血流増加が、一過性に終わらず持続的となり、さらに刺激側中指部の皮膚血流も増加した。足浴を先行させることにより、足裏刺激の足部皮膚血流増加効果が強められることがわかった。さらに、足裏刺激は血圧を一過性に下降させ、心臓交感神経活動を低下させることで心拍数を減少させることがわかった。足浴後の足裏刺激では、血圧の下降がさらに顕著に観察された。このことより、

足浴と足裏刺激の効果は相乗的であり、両者を併用することで、足部皮膚血流の増加作用と血圧降下作用が促進されることがわかった。この研究結果に対し、日本看護学校協議会学会平成14年度学会賞が授与された。

厚生労働省の行なった睡眠実態調査の結果、日本人の総睡眠時間はすべての世代で短縮しており、全体の1/3の人が主観的に満足できる睡眠をとっていないことが明らかとなった。これを受けて、平成11年には日本学術会議が睡眠研究の必要性を訴える声明を発表している。短くなった睡眠の質を補うためには、睡眠の質を向上させることが必要である。そのためには入眠時間を短縮する（寝つきをよくする）、深い睡眠をとる、中途覚醒を少なくするという三つの方策が考えられる。床に入る1.5～2時間前の入浴が睡眠の質を改善すると言われている。入眠前の足浴にも睡眠改善効果があるかどうかを確かめるための実験を行なった。この実験では、8時間以上覚醒を保った被験者に40℃、10分間の足浴を行ない、その後1時間睡眠をとらせ、その間の脳波を、同一被験者が同様の覚醒条件の後、足浴なしで睡眠に入った場合と比較した。その結果、足浴後に睡眠をとった場合に、深い睡眠状態を表わす徐波睡眠の第3段階と第4段階の脳波が増加していることがわかった。一方、入眠時間には足浴の有無による差は認められなかった。この結果は、睡眠の質を向上させる三つの方策の内、深い睡眠が足浴によってもたらされることを示している（図I-9）。

腰浴（腰湯）が胃運動と内臓血流に与える効果

湯治の効用のひとつとして、腰浴（腰湯）による消化機能改善効果が挙げられている。心理ストレスにより下痢と便秘を繰り返す過敏性腸症候群や、胃液が食道に逆流することによる逆流性食道炎などの疾患にも、温浴が有効であることが指摘されている。足浴のみでは、消化機能改善効果は現れないので、腰浴（腰湯）の効果は主として腰部が温められることによると考えられる。実際、看護の現場では、長期臥床患者や開腹手術後の患者の便秘や腹部膨満感を軽減するために、腰部皮膚の加温（温電法）が行われ、加温を施した患者の70%以上で症状の訴えが低下している。しかし、腰部皮膚の加温が実際に胃腸の運動機能を改善するかどうかについては、確かな根拠は未だ示されていない。そこで本実験では、胃電図を解析することで腰部皮膚の加温が胃運動に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。皮膚加温の影響が認められた場合には、さらにそのメカニズムを解析することを目指した。

腰部皮膚加温が胃運動と血圧、心拍数に及ぼす効果：

腰部皮膚加温が胃運動と血圧に及ぼす効果を、健康な大学生および専門学校生18名を被験者として検討した。胃電図（EGG: electrogastrogram）は胃の筋肉の動きを

電氣的に記録したもので、心臓の筋肉の動きを電氣的に記録する心電図（ECG: electrocardiogram）と同様の測定原理に基づいている。胃にはいくつかの異なった運動が現れるが、これらの運動の中で、胃の内容物を十二指腸方向へ移送する機能を持っているのは、蠕動運動（peristalsis）と伝播性収縮運動（IMC: interdigestive migrating motor complex）である。蠕動運動は、食後胃に入ってきた食物を混和・消化し十二指腸へ移送する働きを担っている。伝播性収縮運動は、空腹時に起こる蠕動運動と言うこともでき、古くなった胃壁の上皮細胞を剥離・移送することで上皮細胞の新生を促進する働きを担っている。胃電図波形を周波数分析することで、これらの運動の出現やその大きさを知ることができる。

空腹期の被験者を実験に用いた。被験者は、室温24℃、相対湿度40%を保った人工気象室内のベッド上で仰臥位を取った。仰臥位を30分続けた後、腰部皮膚加温を20分間行なった。腰部皮膚加温を行なった被験者を実験群、加温を行なわず、実験群と同じ時間仰臥位を続けた被験者を対照群とした。その結果、仰臥位を続けることで胃には伝播性収縮運動が出現し、さらに腰部皮膚加温を行なうことで伝播性収縮運動が増強されることがわかった。仰臥位により伝播性収縮運動が出現する理由として、立位または坐位から仰臥位へ移行することによって、重力方向への牽引圧が低下し、胃腸が胸腔方向に移動したことが原因と考えられる。実際の腰浴（腰湯）の場合でも、湯につかることで胃腸への牽引圧が減少し、胃腸の胸腔方向への移動が起こる。仰臥位を取ることおよび湯につかることは、胃の不規則な収縮運動を減少させ、胃内容物を搬送する機能のある伝播性収縮運動を引起すことがわかった（図Ⅰ-10）。今回、腰部皮膚加温により胃の機能的運動が促進されることが確認できた。このことが、腹部膨満感の軽減などの消化機能改善効果をもたらすものと予想される。

腰部皮膚加温により血圧が軽度上昇した。皮膚加温を行なわない対照群では、血圧の変化は観察されなかった。心臓の拍動間隔を高速フーリエ解析することで、腰部皮膚加温中の心臓交感神経および心臓副交感神経の働きを分析した。その結果、腰部皮膚加温はいづれの神経活動にも影響を与えていないことがわかった。このことは、腰部加温による血圧の上昇は、心臓のはたらきの変化によって起こったのではなく、末梢抵抗の増加、すなわち血管の収縮によって起こったことを示している。

腰部皮膚加温は、緊張・不安、抑鬱感、怒り・敵意、疲労感、混乱度を低下させた。皮膚加温を受けない対照群でも仰臥を続けることで、緊張・不安、抑鬱感、怒り・敵意、疲労感が低下した。混乱度の低下は認められなかった。腰部皮膚加温により、より望ましい方向の心理効果がもたらされることがわかった。

腰部皮膚加温による胃運動促進のメカニズムの推測

実験結果から、腰部皮膚加温による血圧の上昇は、血管の収縮が原因であると推測される。血管の収縮・拡張は主として交感神経によって制御されている。皮膚を加温すると、内臓領域の交感神経活動は増加することが知られている。しかし、胃腸壁に分布する内臓交感神経は、胃腸運動に対して抑制的に作用する。そのため、腰部皮膚加温による胃運動促進効果を、胃壁に分布する内臓交感神経の作用で説明することは困難である。一方、内臓交感神経は胃腸壁にのみ分布するのではなく、胃腸へ血液を供給する動脈にも高密度に分布している。皮膚加温により内臓交感神経の活動が増加すると、腹腔動脈や上腸間膜動脈などが収縮する可能性が高い。これらの動脈は、胃腸の広い範囲に血液を供給しているため、血管の総延長が大きい。したがって、このような動脈がわずかに収縮しただけでも、血管抵抗が大きく増加し、血圧が上昇する。このような理由から、腰部皮膚加温中の血圧の上昇は、腹腔動脈や上腸間膜動脈の収縮が引き金になって誘起された可能性が高い。そこで、皮膚加温により内臓血管が収縮し、次いで再拡張するという一連の過程が誘因となって胃運動が促進されるというメカニズムを仮説として提唱した（図Ⅰ-11）。

腰部皮膚加温が腹腔動脈血管径に及ぼす効果

図Ⅰ-11に示した可能性を検証するため、胃に血液を供給している腹腔動脈の血管径が、腰部皮膚加温によって変化するかどうかを確かめる実験を行なった。超音波診断装置と腹部用プローブを用いて、仰臥位を取った被験者の腹腔内動脈の撮像を行なった（写真5 カラー口絵2ページ参照）。腹部大動脈から分岐した腹腔動脈は、胃と十二指腸に血液を供給している。安静時血管径を100として、腰部皮膚加温が血管径に与える効果を検討した。腰部皮膚加温群（実験群）の腹腔動脈血管径は加温中は減少傾向（血管収縮傾向）を示したが、加温後は増加（血管拡張）し安静時血管径の113.2±8.3%に達した（図Ⅰ-12）。加温を行なわない対照群の腹腔動脈径は減少傾向（血管収縮傾向）を示し、安静時血管径を超えることはなかった（図Ⅰ-12）。実験群および対照群での腹部大動脈径には、腰部皮膚加温の効果は認められなかった。皮膚加温によって腹腔動脈の血管径が変化しても、その上流にある腹部大動脈の血管径は変化しないと考えられる。

腹腔動脈血管径の加温中および加温後の変化量を図Ⅰ-13に示す。対照群ではいずれの時点でも血管径は減少しているのに対し、実験群では加温中に減少、加温後に増加という差異が顕著に見える。しかし、血管径の増加幅に比べて減少幅は小さく、腹腔動脈のはっきりした収縮反応を捉えることができたとは言い難い。一方、腹腔動脈血管径の変化と胃の伝播性収縮運動の変化はよく

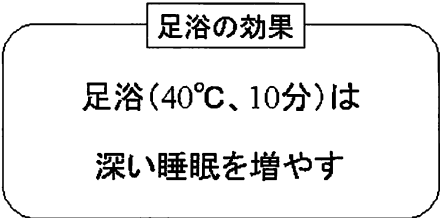
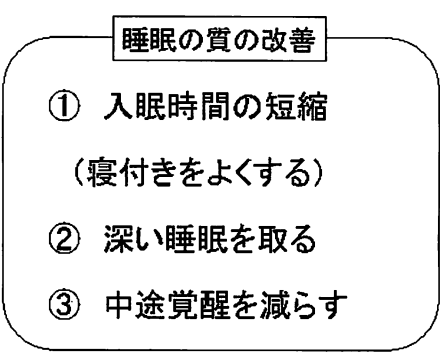
一致した挙動を示している。腹腔動脈の収縮、拡張による血流量の変化が、胃運動とよく相関していることは確かと思える。腰部皮膚加温が胃運動を促進するメカニズムとして、胃へ血流を供給している腹腔動脈の収縮とその後の拡張を提唱したが（図Ⅰ－11）、先行する血管収縮については今一つははっきりさせることができなかった。しかし、収縮に次いで起こる血管拡張については、今回の実験により確認することができた。

腰浴（腰湯）の胃運動改善効果

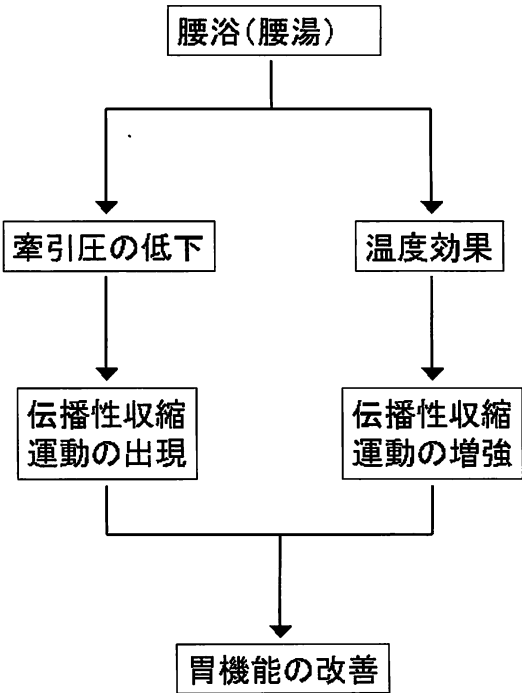
古くから湯治の効用のひとつとして、腰浴（腰湯）の消化機能改善効果が挙げられていた。今回の実験により、腰部皮膚の加温が胃の伝播性収縮運動を促進することが示された。われわれの行なった実験では、足浴の胃運動促進効果は認められなかった。全身浴は胃運動に抑制的に作用するとは、一般にもよく知られている通りである。このようなことを考え合わせると、腰浴（腰湯）の消化機能改善効果は、主として腰部皮膚を温めることによって引起されることがわかる（図Ⅰ－14）。今回の実験により腰浴（腰湯）の消化機能への効果について科学的に検証できた。また、腰浴（腰湯）が胃運動を促進するメカニズムの一端が明らかとなった。

まとめ

今回の実験により、腰部皮膚の加温は内容物を移送するという胃の機能的運動（伝播性収縮運動）を促進することがわかった。一方、ストレス時の胃には、毎分4～9回の不規則な高周波成分から構成される運動（タキアリスミア、tachyarrhythmia）が起こることが知られている。この運動は、交感神経活動の亢進を反映するとされている。また、ストレス性胃潰瘍の形成には、迷走神経（副交感神経）を介する強力な胃の収縮が関与することも報告されている。これらのストレス時の胃運動に対して、皮膚加温がどのように影響するのか、ストレス反応を軽減して胃の正常な機能的運動を回復させる効果があるのかどうか、今後明らかにしていきたい。さらに、胃運動とともに胃内容物の排出時間や胃酸分泌など、胃機能全体に対する皮膚加温の効果を検証することにより、身近な環境資源としての温熱を利用した生活の質（QOL）の維持・向上に資する知見を提供していきたい。



図Ⅰ－9 睡眠の質を改善するための三つの方策と足浴の効果



図Ⅰ－10 腰浴（腰湯）による胃機能改善効果

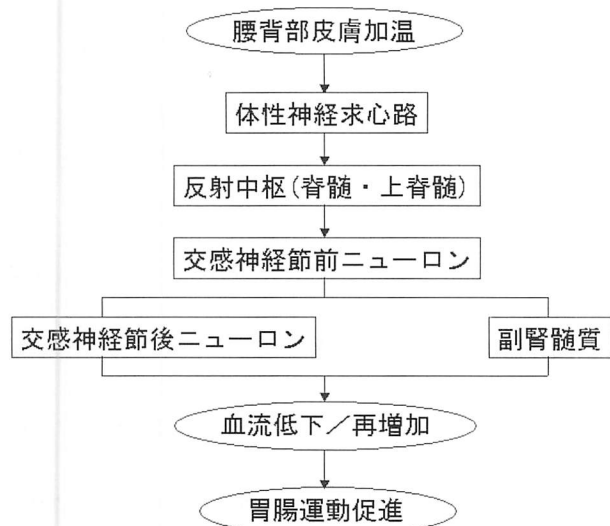


図 I-11 腰背部皮膚加温による胃運動促進効果のメカニズム

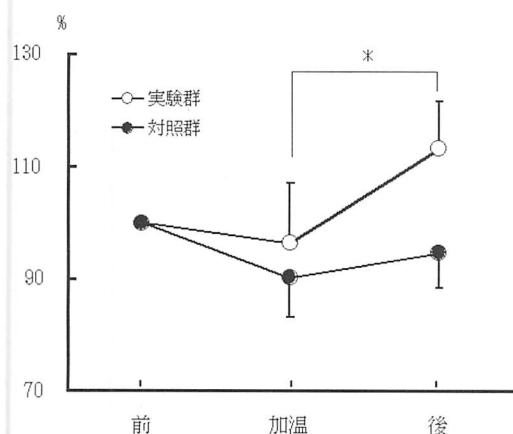


図 I-12 腰背部加温による腹腔動脈血管径の変化
安静時の血管径を100%とする。実験群 (n=9) と対照群 (n=7) での平均値と標準誤差を示す (* $p<0.05$)。

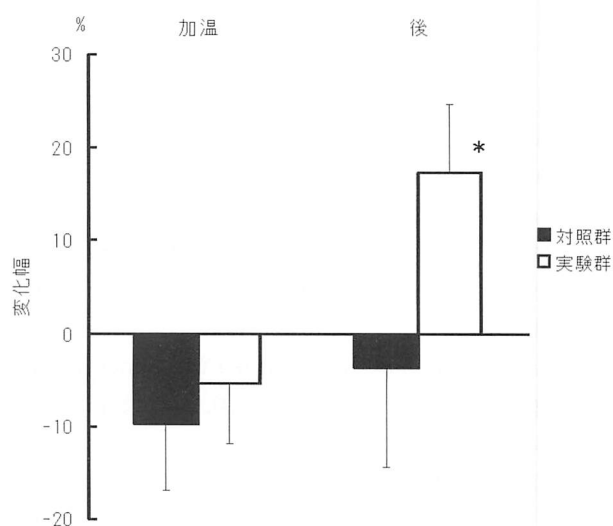


図 I-13 腰背部加温による腹腔動脈血管径の変化
変化幅を%表示する。実験群 (n=9) と対照群 (n=7) での平均値と標準誤差を示す。 (* $p<0.05$)

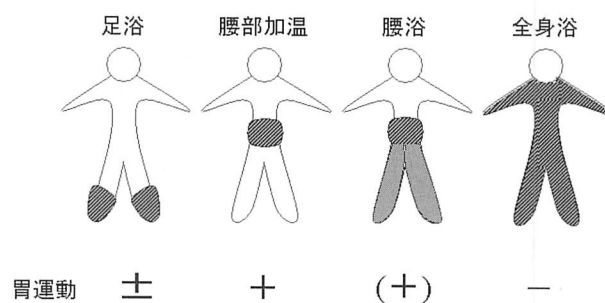


図 I-14 腰浴（腰湯）の胃運動改善効果

I-5 研究資料

(A) 出版物

- 1) Nagai M. (2000) Hypothermia increases the contractile force of glycerinated smooth muscle. *Biomedical Research* 21: 41-43.
- 2) Nagai M. and Iriki M. (2000) Changes in immune activities by heat stress. In: *Thermotherapy: Principle and Practice --- Applications in Neoplasia, Inflammation, and Pain*, Kosaka M., Simon E., and Sugahara T (eds), pp. 266-270, Springer Verlag, Tokyo.
- 3) Nagai M., Wada M., Usui N., Tanaka A. and Hasebe Y. (2000) Pleasant odors attenuate the blood pressure increase during rhythmic handgrip in humans. *Neuroscience Letters* 289: 227-229.
- 4) Wada M., Sunaga N. and Nagai M. (2001) Anxiety affects the postural sway of the antero-posterior axis in college students. *Neuroscience Letters* 302: 157-159.
- 5) Nagai M., Wada M. and Sunaga N. (2002) Trait anxiety affects the pupillary light reflex in college students. *Neuroscience Letters* 328: 68-71.
- 6) 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 人間行動と皮質下機能、永井洋一編、pp. 267-294、協同医書出版、東京.
- 7) 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、石原勝敏他編、pp. 1666-1678、朝倉書店、東京.
- 8) 北川行夫、佐藤昭子、臼井信男、永井正則 (2003) スギ花粉症モデルモルモットのクシャミ反応および鼻汁反応に対するスギ葉精油の抑制効果. *Aroma Research* 4: 47-53.
- 9) Nagai M., Wada M., Kobayashi Y. and Togawa S. (2003) Effects of lumbar skin warming on gastric motility and blood pressure in humans. *Japanese Journal of Physiology* 53: 45-51.
- 10) 和田万紀、臼井信男、佐藤昭子、永井正則 (2003) 快適な香りのもたらす生理心理作用. *Aroma Research* 4: 126-130.
- 11) 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.
- 12) 和田万紀、臼井信男、佐藤昭子、永井正則 (2003) 快適な香りのもたらす生理心理作用. アロマサイエンスシリーズ21 第7巻 香りの機能性と効用、アロマサイエンスシリーズ21編集委員会、pp. 129-134、フレグランスジャーナル社、東京.
- 13) 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* (印

刷中).

(B) 学会発表

- 1) 永井正則、和田万紀 (2000) 印象の異なる香りが自律機能に与える影響. 第77回日本生理学会大会、横浜、平成12年3月.
- 2) 永井正則、和田万紀、臼井信男、田中昭子、長谷部ヤエ (2000) 運動中の血圧上昇反応と香り. 第18回日本生理心理学会学術大会、札幌、平成12年6月.
- 3) 臼井信男、永井正則、和田万紀、田中昭子、長谷部ヤエ (2000) 認知課題遂行時における香りの呈示効果について. 第18回日本生理心理学会学術大会、札幌、平成12年6月.
- 4) Nagai M., Wada M., Usui N. and Hasebe Y. (2000) Odors with different impressions act differently on autonomic nervous functions. The 27th International Congress of Psychology, Stockholm, July 2000.
- 5) Wada M., Sunaga N. and Nagai M. (2000) Pleasant odor reduces tension, confusion and anxiety. The 27th International Congress of Psychology, Stockholm, July 2000.
- 6) Usui N., Wada M., Nagai M. and Hasebe Y. (2000) Psychological effects of pleasant odors. The 27th International Congress of Psychology, Stockholm, July 2000.
- 7) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2000) 香りがスピーチ場面での不安に与える効果. 日本グループダイナミクス学会第48回大会、東京、平成12年9月.
- 8) 和田万紀、須永範明、池口仁、永井正則 (2000) 富士山の形態における象徴性について. 日本リスク研究学会第13回研究発表会、東京、平成12年11月.
- 9) 永井正則 (2001) 脊髄における感覚伝導. 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12年度第3回班会議、東京、平成13年1月.
- 10) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2001) 不安と重心動揺. 第19回日本生理心理学会大会、北九州、平成13年7月.
- 11) 臼井信男、和田万紀、須永範明、永井正則 (2001) 香りがスピーチ場面のストレス反応に及ぼす影響. 第19回日本生理心理学会大会、北九州、平成13年7月.
- 12) 北川行夫、佐藤昭子、臼井信男、永井正則 (2001) 杉花粉症モデルモルモットのクシャミ・鼻汁反応に対する杉葉精油の抑制効果. 第277回昭和大学医学会例会、東京、平成13年9月.
- 13) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2001) 香りがスピーチ場面での不安に与える効果(2). 日本グループダイナミクス学会第49回大会、熊本、平成13年

- 10月.
- 14) 永井正則 (2001) 皮膚の加温と胃腸の運動. 第71回体温研究会、東京、平成13年12月.
 - 15) 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-熱環境快適性数値シミュレータの開発、平成13年度班会議、東京、平成14年3月.
 - 16) 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、平成14年3月.
 - 17) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2002) 特性不安と対光反射. 第20回日本生理心理学会大会、東京、平成14年5月.
 - 18) 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、心理的效果. 第14回日本看護学校協議会学会、京都、平成14年7月. (学会長賞受賞)
 - 19) 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.
 - 20) 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、平成14年10月.
 - 21) 和田万紀、須永範明、浅川和美、永井正則 (2002) 対処スタイルの差がスピーチ場面での不安と生理的指標に与える効果. 第43回日本社会心理学会、東京、平成14年11月.
 - 22) 永井正則、大野洋美、齋藤順子、堀内真澄、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-熱環境系快適性数値シミュレータの開発、平成14年度班会議、東京、平成14年12月.
 - 23) Ohno H., Saitoh J. and Nagai M. (2003) Effects of thermal stimulation of the orbital regions on cardiovascular indices in humans. The 80th Meeting of the Physiological Society of Japan, Fukuoka, March 2003.
 - 24) 永井正則、和田万紀 (2003) 腰背部皮膚加温が気分と胃運動に与える効果. 第21回日本生理心理学会大会、つくば、平成15年5月.
 - 25) 大野洋美、和田万紀、永井正則 (2003) 香り環境がヒトに与える影響の生理学的検討. 第21回日本生理心理学会大会、つくば、平成15年5月.
 - 26) 和田万紀、大野洋美、永井正則 (2003) ストレス対処法の違いによるストレス時の生理反応. 第21回日本生理心理学会大会、つくば、平成15年5月.
 - 27) 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・心理的效果. 日本アロマケア学会2003年度学術総会、東京、平成15年7月.
 - 28) 永井正則、大野洋美 (2003) ストレス対処法によるストレス反応の違い. 第56回日本自律神経学会総会、新潟、平成15年10月.
- (C) 講演等
- 1) 永井正則 (2000) 快適環境と健康. 山梨医科大学看護学科新入生研修、環境科学研究所、平成12年4月.
 - 2) 永井正則 (2000) 快適環境と健康. 甲府市西公民館女性学級、環境科学研究所、平成12年9月.
 - 3) 永井正則 (2000) 環境と健康. プレ・1000Mセミナー、大泉ロイヤルホテル (大泉町)、平成12年10月.
 - 4) 永井正則 (2001) 快適環境と健康. 山梨医科大学看護学科新入生研修、環境科学研究所、平成13年4月.
 - 5) 永井正則 (2001) 快適環境と健康. 南北都留地区市町村母子相談員連絡協議会研修会、富士女性センター (都留市)、平成13年6月.
 - 6) 永井正則 (2001) 快適環境と健康. 第12回環境科学講座、環境科学研究所、平成13年6月.
 - 7) 永井正則 (2001) ストレスとつきあう. 第5回環境科学研究所フォーラム、環境科学研究所、平成13年8月.
 - 8) 永井正則 (2001) 皮膚血流の測定法と評価法. 韮崎市立病院内科病棟研究会、韮崎市立病院 (韮崎市)、平成13年12月.
 - 9) 永井正則 (2002) ストレスと健康. 山梨医科大学看護学科新入生研修、環境科学研究所、平成14年4月.
 - 10) 永井正則 (2002) 環境ストレスと健康. 福井県町村会視察研修、環境科学研究所、平成14年6月.
 - 11) 永井正則 (2002) 標高と人間の科学的な関係をひもとく. 第1回1000Mセミナー、スペース森羅 (小淵沢町)、平成14年12月.
 - 12) 永井正則 (2003) 森の利用. 県土やまなしづくり・3月例会、アピオ (甲府市)、平成15年3月.
 - 13) 永井正則 (2003) 森・高原・健康. 山梨自然塾研修会、環境科学研究所、平成15年3月.
 - 14) 永井正則 (2003) ストレスと健康. 昭和大学薬学部インターンシップ、環境科学研究所、平成15年7月.
 - 15) 永井正則 (2003) 高原での運動と酸化ストレス. 未来山梨の二十一世紀を創る会 (MY21) 第3会観光委員会、かげつ (石和町)、平成15年9月.
 - 16) 永井正則 (2003) 自然との共生-高原での運動と酸化ストレス. 第13回BMW技術全国交流会、富士屋ホテル (甲府市)、平成15年10月.
 - 17) 永井正則 (2003) 高原環境と健康. 平成15年度山梨県学校環境衛生研修会、総合教育センター (御坂町)、平成15年12月.

18) 永井正則（2004）高原と人間の関係を検証する．第
2 回1000Mセミナー、八ヶ岳自然ふれあいセンター
（高根町）、平成16年 3 月．

I－6 研究テーマに関する研修生受け入れ
状況

平成12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	福田	園子
	3 年生	新井	純子
平成13年度			
富士吉田市立看護専門学校	教員	小栗	尚子
	教員	外川	忍
富士吉田市立看護専門学校	3 年生	渡邊佳代子	
	3 年生	小林由美恵	
山梨県立看護大学短期大学部	3 年生	石河	美好
	3 年生	郷田由美子	
	3 年生	小松由香里	
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	堀内真澄美	
山梨県立看護大学短期大学部	3 年生	齋藤	悦子
平成15年度			
山梨大学工学部	4 年生	人見	千秋

I－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。

本編

Ⅱ 研究成果報告

Ⅱ－１ サブテーマ１：森林のもたらす生理心理学的効果に関する研究

１）研究組織

山梨県環境科学研究所	研究管理幹	永井 正則
山梨県環境科学研究所		
環境生理学研究室	非常勤嘱託	臼井 信男
	非常勤嘱託	大野 洋美
	助手	佐藤 昭子
	助手	齋藤 順子
緑地計画学研究室	研究員	池口 仁
日本大学法学部	助教授	和田 万紀
山梨県立看護大学		
短期大学部	講師	浅川 和美

２）研究目的

山梨県は、県土の78%以上を森林が占める森林県である。同時に、海拔800メートルを超える高原も多い。保健休養という面で山梨の自然資源を捉える場合、森林と高原とが大きな比重を占めることは明らかである。そこで、森林環境が人の心と体に与える影響を具体的に示すことを目標に本サブテーマを設定した。研究を開始した平成12年度に山梨県商工労働観光部産業交流課（当時）からの要請を受けて、本サブテーマを平成13年度、14年度の特定研究として取り上げることとなった。この特定研究の成果は、山梨県環境科学研究所研究報告書第7号として既に出版している。そこで、今回の報告書では、研究報告書第7号に記載しなかった研究成果について述べることにする。さらに、本サブテーマは山梨県森林環境部森林環境総務課からの要請により、平成16年度から特定研究に移行し、平成18年度まで継続することとなった。

３）実験倫理

本実験は、山梨県環境科学研究所倫理委員会の審査・承認を受けて行なった。実験方法等につき事前に被験者に十分説明し、被験者自身のインフォームドコンセントを書面にて確認した。

４）森林の香りの持つ心理生理学的効果

森林の香りの持つ心理生理学的効果について、実験を行なった。森林の香りとしてまずスギ精油を選んだ。大学生男女23名を被験者とし、静かに座った状態でスギ精油の香りを10分間吸入することが、人の気分と粘膜免疫能およびストレスホルモンの分泌に及ぼす効果を検討した。気分の変化は、心理調査用紙POMS（Profile of

Mood States）を用いて調べた。粘膜免疫能の指標としては、唾液中の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。ストレス時に分泌されるストレスホルモンは、その一部が血液中から唾液中に移行してくる。そこで、ストレスホルモンの代表として唾液中のコルチゾールの濃度と分泌速度を測定した。被験者27名中14名を香りを吸入させる実験群とし、残りの13名は香りのない蒸留水を実験に用いる対照群とした。

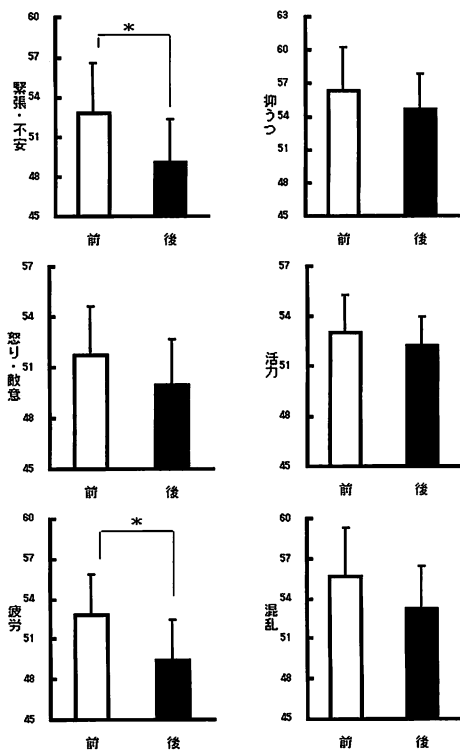
スギ精油の香り吸入の有無に関わらず、安静を続けることで緊張感、不安感および疲労感が軽減した（図Ⅱ－１、Ⅱ－２）。加えて、実験群では敵意と怒りの得点も低下した。唾液中のsIgAの濃度と分泌速度およびコルチゾールの濃度と分泌速度は全般に低下していた（図Ⅱ－３、Ⅱ－４）。sIgA分泌の低下は実験群でより明らかなで、コルチゾール分泌の低下は対照群でより顕著であった。しかし、両群間に本質的な差は認められなかった。香り吸入の有無に関わらず、安静を保つことによってリラクセーションが得られ、ストレスホルモン（コルチゾール）の分泌が低下し、sIgA分泌も低下することがわかった。この実験においては、スギ精油に対する被験者の嗜好は中立的であった。先行するプロジェクト研究の結果、被験者の嗜好に従って選択される好みの香りの存在により、安静時の快適感とリラクセーション効果が高められることが示されている（山梨県環境科学研究所研究報告書第1号）。そこで、スギ精油、ヒノキ精油、ユーカリ精油、スギ＋ヒノキ精油、スギ＋ユーカリ精油、ヒノキ＋ユーカリ精油、スギ＋ヒノキ＋ユーカリ精油の7種類の精油を用意し、その中から好みの香りを大学生男女41名に選択させ、選択した香りの吸入が気分と粘膜免疫能に与える効果を調べた。好みの森林の香りを10分間吸入することによって、安静を続けた場合と同様に、緊張、不安、疲労感、敵意、怒りが軽減した。一方、唾液中のsIgA濃度は上昇した（図Ⅱ－５）。以上の実験から、樹木の香りが被験者の嗜好に対し中立的な場合には、香りの吸入が安静効果を強めたり、または逆に、その効果を妨げたりすることはないが、好まれる樹木の香りを吸入する場合には、安静効果に加え唾液中のsIgA濃度を上昇させる効果があることがわかった。

分泌型免疫グロブリンA（sIgA）は、粘膜免疫系の主要な免疫タンパクであり、咽喉や鼻の奥の粘膜を感染から防御する役割を果たしている。生活上の出来事などによりストレスが長期化すると、sIgA分泌の低下が続き、その結果、風邪症候群などの上部気道感染症に罹患しやすくなることが知られている。理由は明らかでないが、日本人の上部気道感染症による死亡率は、ドイツ人の2倍、アメリカ人の7倍に達する（WHO, 1994）。好みの

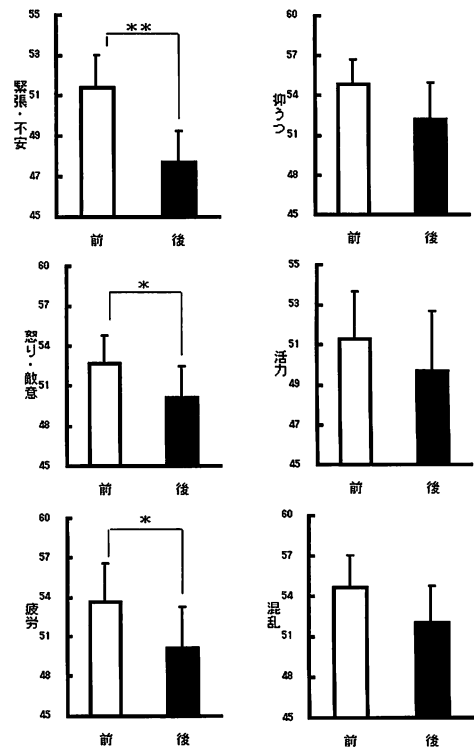
樹木の香りを吸入するとsIgAが増加するという今回の実験結果は、上部気道感染症の予防という観点から、森林の持つ好ましい作用のひとつを示している。嗜好の形成は、習慣や学習により多大の影響を受ける。そこで、森林や樹木に親しむ経験を土台に、樹木の香りに対する前向きな嗜好を形成することによって、森林の持つポテンシャルをさらに引きだすことが可能となると思われる。

5) 今後の展開

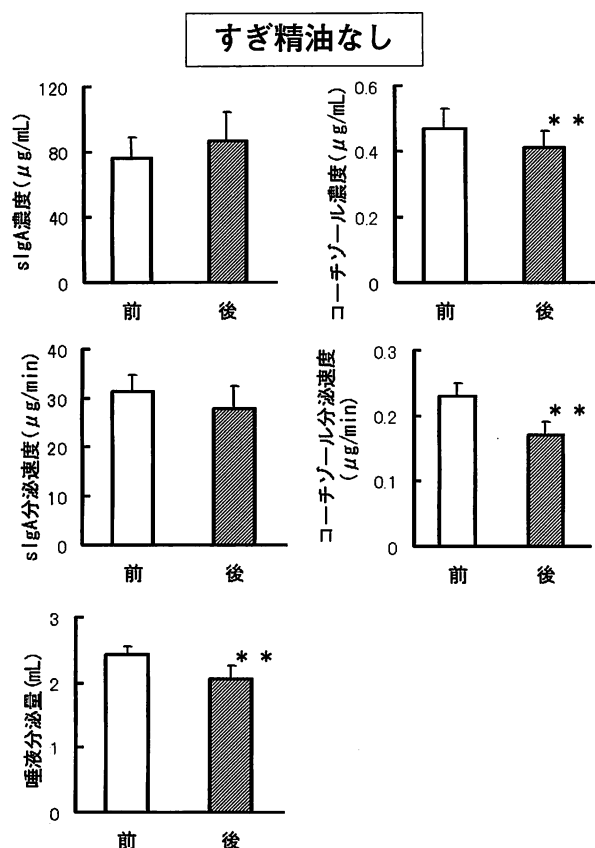
先に述べたように本サブテーマは、山梨県森林環境部森林環境総務課の要請を受けて、特定研究に移行し平成18年度まで継続することとなった。森林環境が人にもたらす生理心理学的効果をさらに検証し明らかにするとともに、今回考察を行なったような森林資源に対する嗜好の形成や、人のストレス対処法に合わせた森林環境の利用法といった視点も取り入れて、研究を続けていきたい。



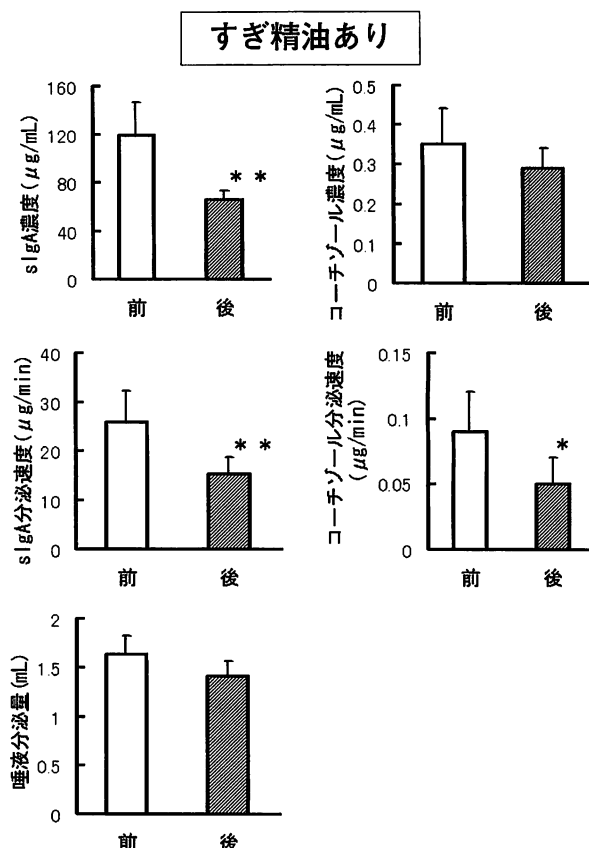
図Ⅱ-1 スギ葉精油の吸入が気分を与える効果（対照群）
スギ葉精油の代わりに蒸留水を用いた対照群（n=13）での平均値と標準誤差を示す（* p<0.05）。



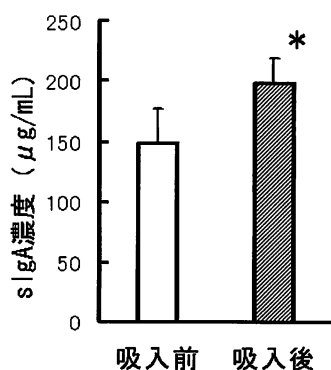
図Ⅱ-2 スギ葉精油の吸入が気分を与える効果（実験群）
平均値と標準誤差を示す（n=14, * p<0.05）。



図Ⅱ-3 スギ葉精油の吸入が唾液中への分泌型免疫グロブリン (sIgA) とコチゾール分泌に与える効果 (対照群)
スギ葉精油の代わりに蒸留水を用いた対照群 (n=13) での平均値と標準誤差を示す (**p<0.01)。



図Ⅱ-4 スギ葉精油の吸入が唾液中への分泌型免疫グロブリン (sIgA) とコチゾール分泌に与える効果 (実験群)
平均値と標準誤差を示す (n=14, *p<0.05, **p<0.01)。



図Ⅱ-5 好みの樹木の香りと分泌型免疫グロブリンA (sIgA)
好みの樹木の香りを10分間吸入することで、唾液中のsIgA濃度が増加する。平均値と標準誤差を示す (n=41, *p<0.05)。

Ⅱ－２ サブテーマ２：スギ花粉症の減感作療法に関する動物実験

１）研究組織

山梨県環境科学研究所	研究管理幹	永井	正則
山梨県環境科学研究所			
環境生理学研究室	非常勤嘱託	臼井	信男
	非常勤嘱託	大野	洋美
	助手	佐藤	昭子
	助手	齋藤	順子
昭和大学教養部	元講師	北川	行夫

２）研究目的

森林のもたらすマイナスの影響のひとつとして、花粉症が挙げられる。環境の悪化により大気中の浮遊微粒子が増加すると、花粉症の発症も多くなることが知られている。したがって、現代人は、花粉症の発症しやすい環境にさらされていると言える。全国の耳鼻科医およびその家族を対象とした独協医科大学の馬場廣太郎教授らの調査によると、耳鼻科医およびその家族のスギ花粉症罹患率は全国平均が17.3%であるのに対し、山梨県では26.9%と全国最高値を記録した（中村昭彦ほか：日本耳鼻科学雑誌105：215-224, 2002）。山梨県でスギ花粉症の罹患率が多い理由として、盆地のため周囲からスギ花粉が集中してくる可能性、寒暖差が激しくかつ乾燥性の気候のため普段から咽喉や鼻の粘膜がストレスに曝され、アレルゲン（アレルギーの原因となる物質）に対する感受性が高まっている可能性、果樹園や畑地などの露地が多く、かつ盆地のため浮遊塵が多く、アレルゲンに対する感受性が高まっている可能性などが指摘されている。しかし、いずれも決定的な根拠を欠いている。

花粉症の治療には、抗アレルギー剤、抗ヒスタミン剤、血管収縮剤、ステロイド剤などを適宜組み合わせる用いるのが一般的である。しかし、これは対症療法であり根治的な治療法ではない。また、このような薬剤の処方を受けるため医療機関を訪れると、そのたびに半日ほどは時間がかかってしまう。通院に費やす時間も含め、スギ花粉の飛散する２月から５月までの仕事やその他の生活面での効率の低下と、それによって生じる社会的損失は無視できない大きさである。スギ花粉症に罹患した人が訴える症状を表Ⅱ－１に示す。最も多いのは、クシャミ、鼻汁、鼻づまりという鼻粘膜症状であり、花粉症に罹患した人すべてが症状を訴えている。次いで98%の人が、目のかゆみや涙目といった眼症状を訴えている。３番目、４番目の咽喉がイガイガするという被刺激感（48%）や皮膚の痒み（32%）と比べると、鼻粘膜症状と眼症状が、圧倒的に花粉症に罹患した人々を悩ませていることがわかる。花粉症に対して対症療法を選ぶのであれば、鼻粘膜症状や眼症状をもっと手軽な方法で軽減する方法が期

待される。実際、このような背景から、ペパーミントなどの香気物質の吸入により花粉症の症状が軽減することなども報告され、香気物質を含んだマスクなどが、花粉症対策商品として実用化されている。

東洋医学には、元来“自然界に存在するものは、毒にも薬にもなる”、“毒をもって毒を制する”という思想がある。そこで、旧来からスギ花粉症にはスギ葉を煎じて飲用するという民間療法が伝えられている。さらに最近、スギ花粉の抽出物を皮下注射して、花粉症の根治をめざす減感作療法の可能性も指摘されている。そこで、スギの葉の抽出物の花粉症軽減効果を科学的に検証し、森林資源の新たな利用法を探るための研究をプロジェクト研究のサブテーマとして取り上げた。

３）実験倫理

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・承認を受けて行なった（平成15年度承認番号ECAE-04-2003）。

４）スギ花粉症モデル動物の作成

本研究の目的は、森林資源としてのスギ葉抽出物が人のスギ花粉症を軽減するかどうかを科学的に検証することにある。しかし、スギ葉抽出物を人の皮膚や鼻粘膜に適用した場合の安全性について、既出のデータや基準が存在しないため、直截に人を対象とする実験を行なうことは避け、まずは実験動物を対象として検証を行なうこととした。そのため、実験動物にスギ花粉症を発症させる必要が生じた。自然に生息する動物では、日本ザルで花粉症様症状が観察されているのみで、実験動物として使われるネズミやウサギなどの齧歯目の動物で花粉症が発症するかどうかは不明であった。しかし、われわれは、以下に述べる方法で実験動物のモルモットおよびウサギに花粉症を発症させることに成功した（写真１ カラー口絵１ページ参照）。その詳細を以下に述べる。

実験動物の選択：

ハートレー系白色雄モルモットとニュージーランド系白色雄ウサギを実験に用いた。モルモットに加えウサギを用いた理由は、体重が300g程度のモルモットは実験操作が容易な反面、後に花粉症の診断や重篤度の判定のための採血が困難であると予想したためである。

抗原の調整：

南都留郡忍野村において、2000年３月21日から31日にかけて採取した日本スギの花粉を、50ミクロンの篩にかけて選別した後、試薬瓶に密閉して保存した。このスギ花粉1gを生理食塩水に懸濁し、室温4℃で18時間緩やかに攪拌した。攪拌後、懸濁液を3,000回転/分で10分間遠心分離し、上清分画を得た。ロウリー（Lowry）法に

よって測定した上清分画中のタンパク量は、 $829\mu\text{g/mL}$ であった。この分画をタンパク量 $20\mu\text{g/mL}$ となるよう生理食塩水で希釈し、水酸化アルミニウムゲル $\text{Al}(\text{OH})_3$ 20mg/L 生理食塩水と 1 : 1 に混合して、 $10\mu\text{g}/10\text{mg Al}(\text{OH})_3/\text{mL}$ の感作抗原液（スギ花粉症の抗原タンパクを含む液）を調整した（図Ⅱ－6）。後述する皮内反応の測定には、市販のスギ花粉アレルゲンエキス（cryj1抗原）を使用した。

スギ花粉症の発症：

初回感作として、動物 1 匹当たり感作抗原液 1 mLを腹腔内に注射した。その 1 週間後に同様に感作抗原を注射し追加感作とした。なお感作とは、アレルギーを起こす原因となる抗原タンパク（アレルゲン）に、生体を曝すことを言う。このようにして感作を行なった動物は、2 度目の感作の翌週からスギ花粉の吸入に対しクシャミ反応および鼻汁分泌反応が増大する花粉症の鼻粘膜症状が観察された（写真 1 カラー口絵 1 ページ参照）。この方法で、モルモットとウサギの両方に花粉症を発症させることができた。しかし、ウサギには自ら分泌した鼻汁を舐め取ってしまう習性があることがわかった。そのため、鼻汁重量が正確に測定できず、鼻粘膜症状を観察するのに不適當であるため、以後の実験は専らモルモットを用いて行なった。

スギ花粉症の証明：

スギ花粉抗原の感作を受けた動物では、クシャミ反応と鼻汁分泌反応が増大した。これが本当にスギ花粉症によるものであるかどうかを確かめるため、以下に述べる二つの検査を行なった。

①スギ花粉症特異的免疫グロブリン E（IgE）抗体の検出：スギ花粉症の診断確定や重篤度を判定するために、人ではスギ花粉に対する血清中の免疫グロブリン E（IgE）抗体の濃度を測定することが行われる。しかし、モルモットでは一回の採血量が限られることや、モルモットの IgE 抗体が市販されていないなどの問題から、直接 IgE 抗体を測定することは難しい。そこで、スギ花粉抗原に対する皮内反応を用いて血清中の IgE 抗体を間接的に測定することを二つの方法で試みた。ひとつは即時型皮内反応を利用する方法である（図Ⅱ－7 上）。花粉症動物にスギ花粉抗原を皮内注射して、注射部位を中心に発赤や膨疹（赤くなったり腫れたりすること）が現れれば、注射を受けた動物の血清中にスギ花粉特異的 IgE 抗体が存在することがわかる。発赤や膨疹の大きさから、IgE 抗体の量を間接的に知ることもできる。第 2 の方法は、受身皮膚アナフィラキシー反応を用いる方法である（図Ⅱ－7 下）。スギ花粉症を発症していない正常動物に花粉症動物から採取した血清を皮内注射して、その後正常動物の静脈にスギ花粉抗原と色素（エバンスブルー）

を注射すると、花粉症動物の血清中の IgE 抗体と静脈注射された抗原とが反応する。その結果、血清注射部位の毛細血管の物質透過性が増大し、色素が血管外に漏出する。色素の漏出の程度により IgE 抗体の量を間接的に知ることができる。前述の方法によりスギ花粉抗原に感作させたモルモット 19 匹の全例において、この 2 つの反応を誘発することができた（写真 2、3 カラー口絵 1 ページ参照）。このことから、感作を行なったモルモットが確かにスギ花粉症を発症したことが証明された。

②鼻汁中の好酸球の検出：白血球の一種の好酸球は、通常は血液中に存在し血管外ではほとんど検出されない。スギ花粉症などのアレルギー性の鼻粘膜症状を起こした場合には、鼻粘膜の毛細血管から漏出した好酸球が鼻汁中に検出される。分泌された鼻汁をスライドグラスに塗布、乾燥させ、メタノールで固定した後、ハンセル染色を行なうと、好酸球が存在すれば赤く染色された白血球を顕微鏡下で観察することができる。この方法で、感作を受けたモルモットの鼻汁中に好酸球の存在を確認することができた。すなわち、感作を行なったモルモットは確かに鼻粘膜のアレルギー症状を起こしていたことが証明された。好酸球の増加度を存在あり（＋）、群在する（＋＋＋）、その中間（＋＋）の 3 段階で評価する奥田の基準に従えば、花粉症モルモットの鼻汁中の好酸球増加度は群在する（＋＋＋）であった。

5）スギ花粉症動物のクシャミ反応・鼻汁分泌反応に対するスギ葉精油の抑制効果

スギ花粉吸入実験

感作終了後の翌週から、実験動物にスギ花粉を吸入させクシャミ反応と鼻汁分泌反応を観察した。スギ花粉 3 ～ 4 mg を詰めたテフロンチューブをモルモットの鼻孔に当て、自発呼吸により花粉を 1 分間吸入させた。吸入後 30 分間のクシャミ回数と分泌された鼻汁重量を測定した。クシャミ反応はマイクロフォンを用いてクシャミ音を記録すると同時に、目視によりクシャミを確認し、クシャミ音の記録紙上にマークをつけた（図Ⅱ－8）。クシャミによって飼育ケージの床や壁に飛散した鼻汁および鼻孔端に滞留した鼻汁を濾紙を用いて拭き取り、鼻汁重量を測定した。吸入実験は、感作終了後第 1 週から第 8 週または第 10 週まで動物当たり週 1 回行なった。花粉のみを吸入させる実験と、花粉吸入に先立ちスギ葉精油を適用する実験とを順不同に行なった（図Ⅱ－9）。

スギ葉精油の効果

スギ花粉吸入の 5 分前に、花粉症モルモットの鼻腔内にスギ葉精油 $50\mu\text{L}$ を投与し、花粉吸入によるクシャミ反応、鼻汁反応への効果を検討した。その結果、スギ葉精油を鼻腔内投与した適用群では、スギ葉精油を投与しない対照群と比べ、クシャミ回数は 40.6% に（図Ⅱ－10

左上)、鼻汁重量は14.9%にまで減少した(図Ⅱ-10左下)。すなわち、鼻腔内に投与されたスギ葉精油が、スギ花粉症動物のクシャミ反応および鼻汁分泌反応を抑制することがわかった。

次に、スギ花粉吸入の5分前に、モルモットの鼻腔周辺部の皮膚にスギ葉精油50μLを塗布し、同様の検討を行なった。その結果、スギ葉精油を投与した適用群では、スギ葉精油を投与しない対照群と比べ、クシャミ回数は61.9%に(図Ⅱ-10右上)、鼻汁重量は11.2%にまで減少した(図Ⅱ-10右下)。スギ葉精油を鼻腔内に滴下しなくても、鼻腔周辺の皮膚に塗布するだけでも花粉症の鼻粘膜症状が緩和されることがわかった。

スギ葉精油の作用部位

スギ花粉症のモルモットの鼻粘膜症状を緩和するスギ葉精油の効果は、体内でのスギ花粉に対する抗体産生作用への効果、抗体産生後の肥満細胞の活性化過程への作用、粘膜血管に対する直接的収縮作用のいずれかによって発揮されると考えられる。先に述べた皮内反応を指標として、鼻粘膜へのスギ葉精油の繰り返し投与が抗体産生に影響するかどうかを検討した。しかし、スギ葉精油の繰り返し投与によって、皮内反応が小さくなるまたは大きくなるということはなかった。このことから、スギ葉精油には、花粉抗原に対する抗体産生を抑制するような全身的作用はなく、クシャミ反応および鼻汁分泌反応

に対する緩和効果は、粘膜に対する局所作用であると考えられる。花粉症におけるクシャミの亢進は、スギ花粉抗原に特異的な免疫グロブリンE(IgE)と結合した肥満細胞から放出されたヒスタミンが、三叉神経終末を刺激することが原因と考えられている(浜崎雄平、モダンフィジシャン22:219-225, 2002)。鼻汁分泌も同様に肥満細胞由来のヒスタミンが三叉神経を刺激することによって亢進する。スギ葉精油は、肥満細胞によるヒスタミン産生を抑制するか、または、肥満細胞由来のヒスタミンによる三叉神経刺激作用を抑制することによって、スギ花粉症のクシャミ反応および鼻汁分泌反応を軽減するものと予想される。

6) まとめ

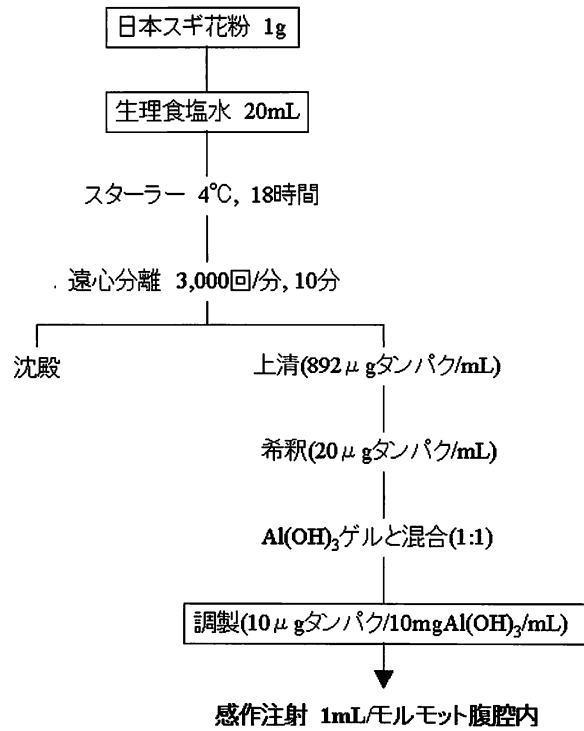
スギ花粉症に罹患する人は多く、花粉が飛散する2月から5月までの生活の質(QOL: quality of life)の低下とそれに伴う社会的損失は小さくない。スギ葉精油には、花粉症の諸症状の内、ほとんどの人が訴える鼻粘膜症状を緩和する効果があり、花粉症発症後も鼻孔周辺の皮膚に局所的に適用することでその効果が発現する。さらに、本プロジェクト研究のサブテーマ2で示されたように、スギ葉精油の香りには緊張や不安を軽減する効果もある(図Ⅱ-2)。これらの特長を利点として、実用化への取組みを開始した。

表Ⅱ-1 スギ花粉症の多彩な症状

症 状	患者数	比率 (%)	症 状	患者数	比率 (%)
鼻の症状	91	100	その他の症状		
目の症状	89	98	頭が重い	51	56
のどの症状	44	48	ボーッとする感じ	40	44
皮膚の症状	29	32	だるい	30	33
気管の症状	27	30	夜ねむれない	29	32
耳の症状	18	20	熱っぽい	22	24
胃腸の症状	5	5	イライラする	18	20
			頭痛	14	15
			寒気がする	14	15

昭和62年春調査、単独感作例91例
(斎藤洋三・井手武著：花粉症の科学、化学同人、1994)

抗原液の調製方法



図Ⅱ－6 スギ花粉感作抗原液の調整方法

IgE抗体の確認

1 花粉症モルモット

スギ花粉症抗原の皮内注射 → 発赤、膨疹(アレルギー+IgE)



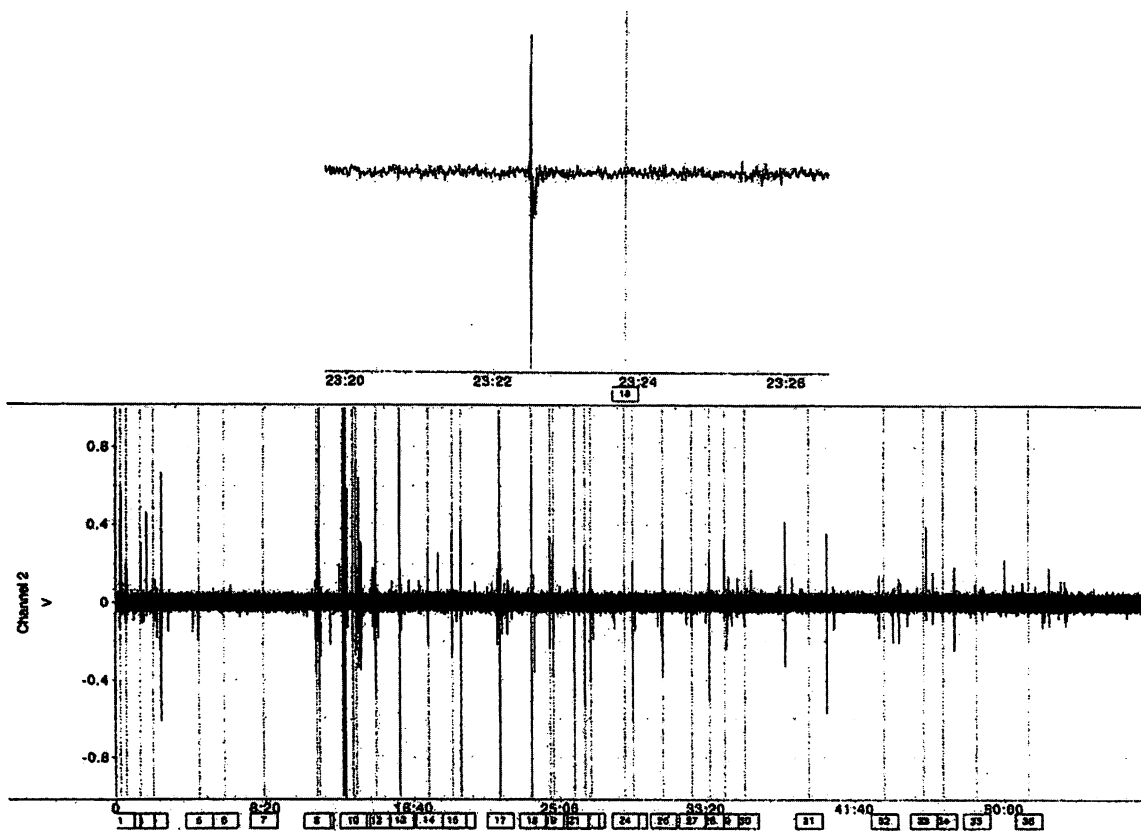
2 正常モルモット

- 1) スギ花粉症抗原+色素を静注
- 2) 花粉症モルモットの血清の皮内注射

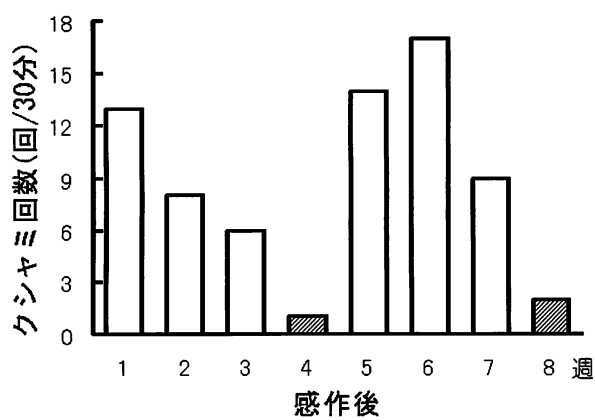
→ ・毛細血管の透過性増大
・色素の血管外への漏出



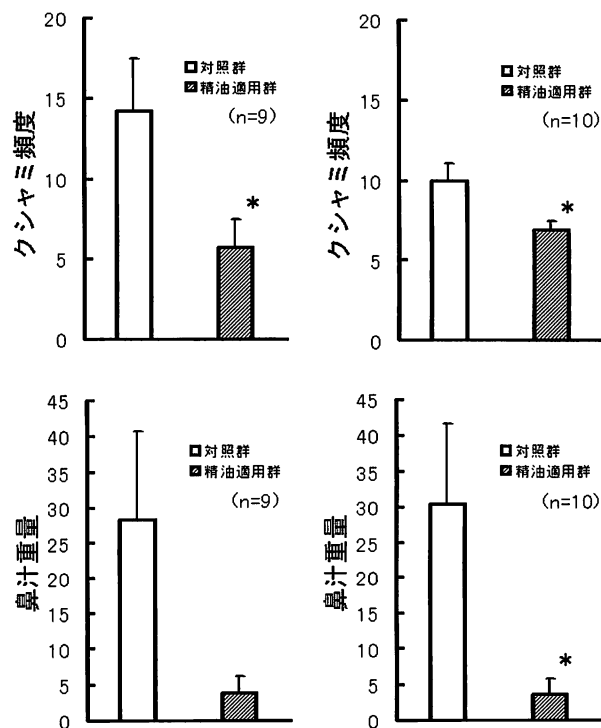
図Ⅱ－7 スギ花粉特異的免疫グロブリンE (IgE) 抗体の確認



図Ⅱ-8 クシャミ反応の記録



図Ⅱ-9 実験プロトコールの一例
斜線は精油適用を示す。



図Ⅱ-10 スギ葉精油のクシャミ反応および鼻汁分泌反応抑制効果
鼻孔内投与の場合 (左) と鼻孔周辺皮膚に塗布した場合 (右)

Ⅱ－３ サブテーマ３：森林浴の糖尿病改善効果に関する動物実験

１）研究組織

山梨県環境科学研究所	研究管理幹	永井 正則
山梨県環境科学研究所		
環境生理学研究室	非常勤嘱託	臼井 信男
	非常勤嘱託	大野 洋美
	助手	佐藤 昭子
	助手	齋藤 順子

２）研究目的

平成９年の国民栄養調査に合わせて、全国規模の糖尿病実態調査が初めて行われた。その結果、糖尿病が強く疑われる人、および糖尿病の疑いを否定できない人を合わせると1370万人に達することが明らかになった（厚生統計協会、2000）。この人数は、日本の人口の10%を超えている。糖尿病に罹患する人の数は、今後も増え続けると予想されている。糖尿病に罹患すると、動脈硬化が加速されたり、末梢神経障害や末梢血行傷害が発症したり、感染症に対して脆弱になるなど多様な症状を併発し、患者のQOL（Quality of Life）が大きく損なわれる。増加している糖尿病は、主としてⅡ型糖尿病（インスリン非依存型糖尿病、成人型糖尿病）であり、食生活や運動頻度などの生活習慣がその発症を左右すると言われている。

一方、以前から森林浴が糖尿病患者の血糖値の低下をもたらすことが経験的に知られている。しかし、そのメカニズムは未だ明らかにされていない。先行するプロジェクト研究の結果（環境科学研究所研究報告書第1号）、快適感をもたらす香りを吸入しながら有酸素運動をすると、香り無しで運動した場合と比べ、運動中の血圧上昇が軽度であることが示された。この結果は、快適な香りの存在下で運動すると、運動中の血管収縮反応の度合いが小さく、そのため運動中の筋肉や内臓への血流供給の低下が少ないことを示唆している。運動中の筋肉や臓器などへの血流供給が大きければ、血液中から筋肉や臓器に取込まれ利用される糖が増加し、結果として血糖値が改善することが期待される。森林浴の効果を、森林の香りプラス散策による運動の効果として捉えることにより、森林浴の糖尿病改善効果を説明できる可能性がある。この可能性を確かめるため、ラットを用いた動物実験を行なった。

３）実験倫理

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・承認を受けて行なった（平成15年度承認番号ECAE-05-2003）。糖尿病モデルラット（OLETFラット）を用いる実験については、研究所動物実験倫理委員会の

承認に加え、大塚薬品（株）徳島研究所に実験計画を提出し、審査・承認を受けた後、動物の分与を受けた。

４）運動が脂肪分解による熱産生反応に及ぼす影響

運動中は交感神経活動が亢進する。脂肪細胞に分布する交感神経の活動が亢進すると、細胞内の貯蔵脂肪の分解が起こり、それに伴って熱が産生される。脂肪分解による熱産生は、白色脂肪よりもミトコンドリア膜に脱共役タンパクが存在する褐色脂肪細胞でより大きく起こる。運動による血糖値改善効果は、主として筋肉による糖利用の亢進が主な原因とされている。本実験では、運動による交感神経の活動亢進によって、脂肪分解による熱産生も高まるかどうかを、ウィスター系雄ラットを用いて検討した。高度に脂肪を蓄積した脂肪細胞から放出される物質（腫瘍壊死因子、TNF- α ）が、筋細胞の糖利用を阻害することで糖尿病の引きがねとなると言われているので、脂肪分解を促進することが糖尿病の軽減に結びつく可能性がある。

５～６週齢のラットを運動群と対照群の２群に分けた。運動群では、27℃の水温下で１日30分の水泳を週３回、２週間にわたり負荷した。対照群は、室温24℃の飼育室内に置いたケージで、特に運動負荷を行わずに飼育を続けた。運動負荷期間が終了した運動群ラット（８～10週齢）、および同じ週齢の対照群ラットから麻酔下で褐色脂肪組織を摘出した。摘出した褐色脂肪組織は細切した後、36℃に保温したクレブスーヘペス緩衝液（Krebs-HEPES Buffer）中に保存した。その後、褐色脂肪組織片の酸素消費量を永井らによって開発された方法を用いて測定した（Nagai et al., Prostaglandins 51: 377-386, 1996）。体内では、交感神経が興奮すると神経伝達物質ノルアドレナリンが交感神経終末から放出され、放出されたノルアドレナリンの作用で、褐色脂肪細胞での脂肪分解とそれに伴う熱産生が起こる。脂肪分解による熱産生は、酸素を消費する反応である。そこで、褐色脂肪組織片の酸素消費量を測定し、熱産生の指標として用いることができる。交感神経興奮をシミュレーションするために、酸素消費量測定用のテストチューブに入れた褐色脂肪組織片にノルアドレナリンを投与した。褐色脂肪細胞の酸素消費量は、無刺激時で組織１g当たり4～5 μ L/分（1 μ L/min/g tissue）程度である。褐色脂肪細胞の酸素消費量は、ノルアドレナリンの投与で増加する。10⁻⁶Mのノルアドレナリンに対する酸素消費量の増加を図Ⅱ－11に示す。運動群での酸素消費量の増加が、運動負荷なしの対照群より大きいことがわかった。運動を繰り返すことにより、交感神経興奮時の脂肪分解が促進されることが明らかとなった。

５）糖尿病モデルラットを用いた実験

人のⅡ型糖尿病（インスリン非依存型糖尿病、成人型

糖尿病)を研究するためのモデルラットの作成は、以前から強く求められていたが、近年まで適切なモデルが存在しなかった。糖尿病を自然発症するラットの中で、最も人の病態に近いモデル(OLETFラット)が大塚薬品(株)徳島研究所により最近分離された(写真4 カラー口絵1ページ参照)。そこで、このOLETFラットの分与を受け、血糖値と脂肪分解に及ぼす運動の効果および森林浴のシミュレーションとして運動プラス森の香りの効果について検討した。

分与を受けたOLETFラット24匹を、運動群(8匹)、運動プラス香り群(8匹)および運動も香りも負荷しない対照群(8匹)に分けた。OLETFラットでは、生後12週から血糖値の上昇を見られているので、運動群では生後12週および13週に1回30分、週3回の水泳を負荷した。運動プラス香り群では、同様の週齢期に、スギ精油の香りを吸入しながらの水泳負荷を行なった。対照群は、そのままOLETFラットに指定された室温23℃、相対湿度60%の条件で飼育した。水泳負荷および香りの負荷に用いた実験装置の概要を図Ⅱ-12に示す。

生後11週から14週までの摂食量と飲水量を図Ⅱ-13と図Ⅱ-14に示す。3群で、統計的な有意差は認められなかった。同様に10週齢目から15~16週齢目までの体重を図Ⅱ-15に示す。3群間での差は認められなかった。生後10週目から15~16週目までの血糖値の変化を図Ⅱ-16に示す。血糖値は14週齢以降で急激に上昇していた。運動や香り有無による差は認められなかった。しかし、運動負荷を開始する12週齢目に140 mg/dL(正常値は100 mg/dL)以上の血糖値を示した動物に限って比較すると、2週間の運動負荷を行なった運動群で、血糖値が有意に低下していることがわかった(図Ⅱ-17)。運動プラス香り群でも血糖値の低下が認められたが、血糖値の低下度が、香り無しの運動群を上回ることはなかった(図Ⅱ-17)。すなわち、運動中にスギ葉精油の香りを吸入させても、運動による血糖値低下効果を増強することはないと結論される。

15~16週令目のOLETFラットの褐色脂肪細胞を摘出し、ノルアドレナリンに対する熱産生能を、前述のように酸素消費量を測定することによって評価した。

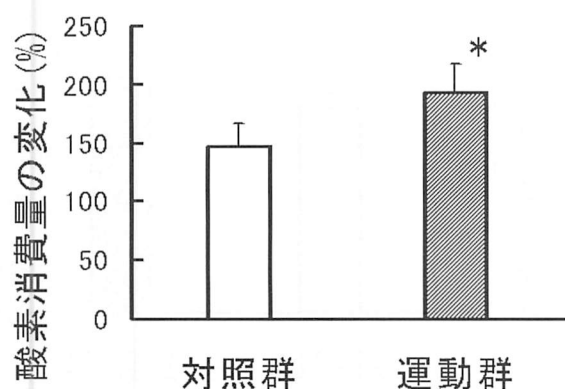
OLETFラットでも、ノルアドレナリンの投与により褐色脂肪細胞の酸素消費量が増加した。運動負荷を行なった運動群と運動無しの対照群とを比較すると、ウィスター系ラットと同様に(図Ⅱ-11)、運動群の方がノルアドレナリンに対する酸素消費量の増加が大きかった(図Ⅱ-18)。

以上の実験により、運動によって褐色脂肪細胞の脂肪分解による熱産生効果が大きくなることがわかった。運動による熱産生促進効果は、OLETFラットでも糖尿病を発症しないラットでも同様であった。褐色脂肪細胞の熱産生の増加の背景として、交感神経から放出された

ノルアドレナリンに対する脂肪細胞の反応性の亢進、または、交感神経活動の持続的な亢進が考えられる。生体に加わった刺激やストレスに应答して分泌され、交感神経活動を全般的に増加させるホルモンとして、甲状腺刺激ホルモンがある。そこで、血清中の甲状腺刺激ホルモンの濃度を、運動負荷の終わった15~16週齢の運動群のOLETFラットと同一週齢の対照群のOLETFラットとで比較した(図Ⅱ-19)。その結果、運動負荷の有無は、血清中の甲状腺刺激ホルモン濃度に影響を与えていないことがわかった。また、15~16週齢のOLETFラットと週齢を合わせたウィスター系ラットの血清中甲状腺刺激ホルモンの濃度を比較しても、両者の間に差は見られなかった(図Ⅱ-20)。これらの結果から、OLETFラットの甲状腺刺激ホルモンレベルには異常はなく、運動負荷によってホルモン分泌量が持続的に増加することはなかったことがわかった。運動負荷により脂肪細胞の熱産生が増加する理由は、交感神経由来の神経伝達物質ノルアドレナリンに対する脂肪細胞側の反応性が高まっているためと考えられる。運動負荷中に交感神経より放出されたノルアドレナリンが脂肪細胞に作用し、熱産生に必須の脱共役タンパクの発現を増加させた可能性が予測される。

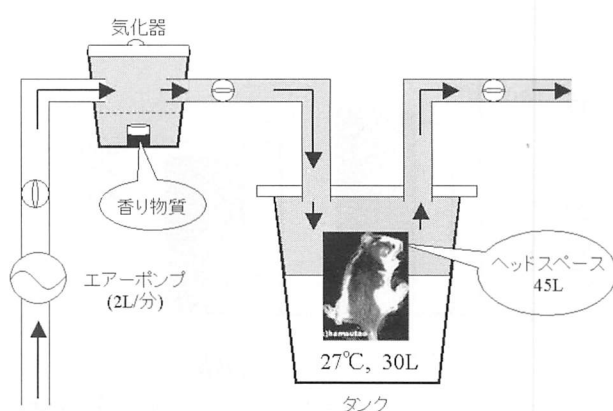
6) まとめ

森林浴には、糖尿病患者の血糖値を下降させる効用があると経験的に言われているが、科学的に検証されているわけではない。森林浴を散策による運動と森林の香りの吸入という2つの要素の加算的な関係であると仮定し、これを検証するための動物実験を行なった。その結果、糖尿病モデルラットにおいても、運動負荷は血糖値を降下させ、脂肪分解を促進する効果を示した。このような運動による効果は、交感神経活動の持続的な増加によってもたらされるのではなく、交感神経から放出される神経伝達物質ノルアドレナリンに対する脂肪細胞など標的器官の反応性の亢進が関与すると推測される。一方、針葉樹の香りの代表として用いたスギ葉精油の香りは、運動による効果を増強することにはなかった。したがって、今回の結果から、森林浴の効果は散策による運動プラス森林の香りの吸入の加算であるとの仮説は証明されなかった。

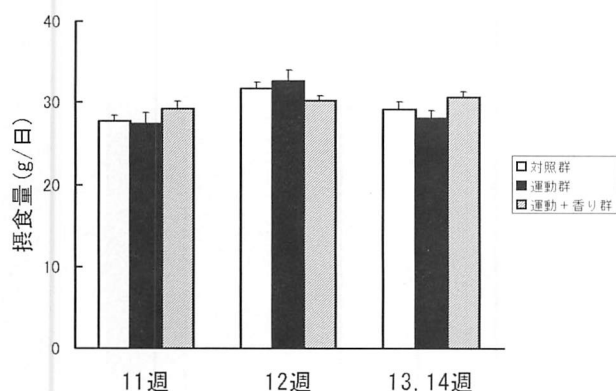


図Ⅱ-11 褐色脂肪細胞の脂肪分解速度に及ぼす運動の効果

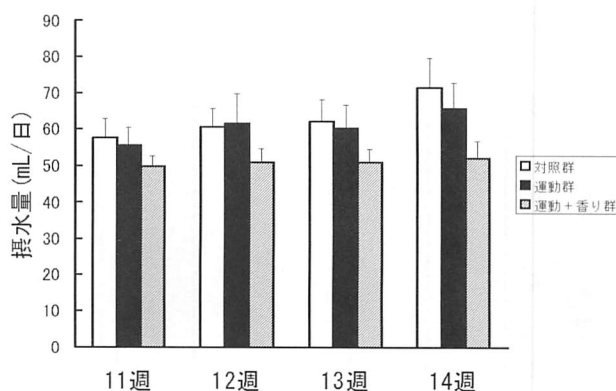
ノルアドレナリン (10^{-6} M) 投与時の脂肪分解に伴う酸素消費量の変化をパーセント表示する。平均値と標準誤差を示す ($n=8$, * $p<0.05$)。



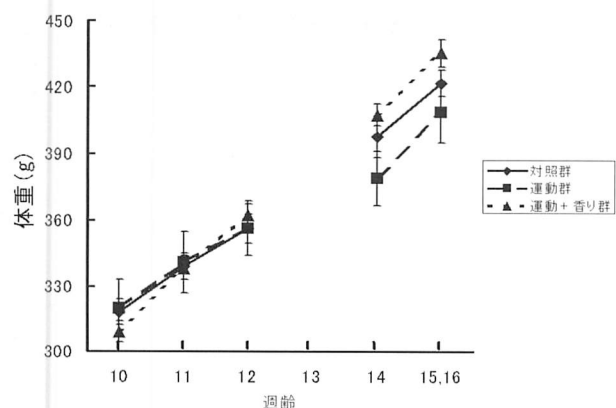
図Ⅱ-12 実験装置の概要



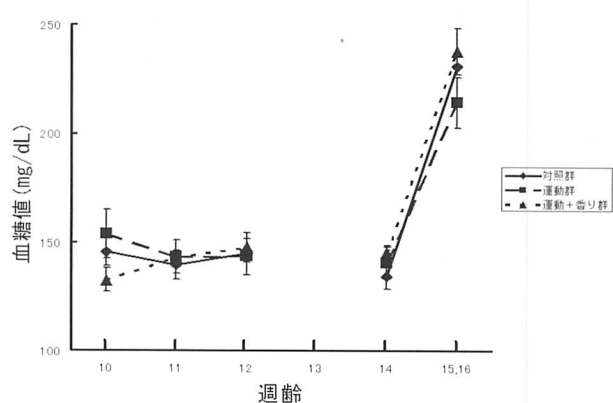
図Ⅱ-13 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の摂食量に及ぼす運動と香りの効果
平均値と標準誤差を示す (各群とも $n=8$)。



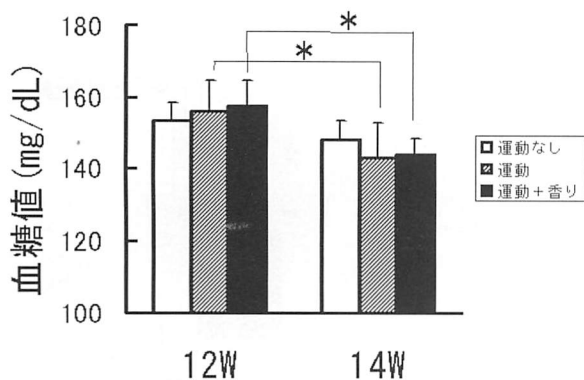
図Ⅱ-14 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の摂水量に及ぼす運動と香りの効果
平均値と標準誤差を示す (各群とも $n=8$)。



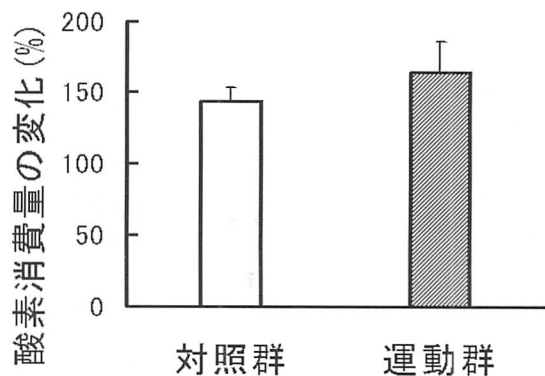
図Ⅱ-15 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の体重に及ぼす運動と香りの効果
平均値と標準誤差を示す (各群とも $n=8$)。



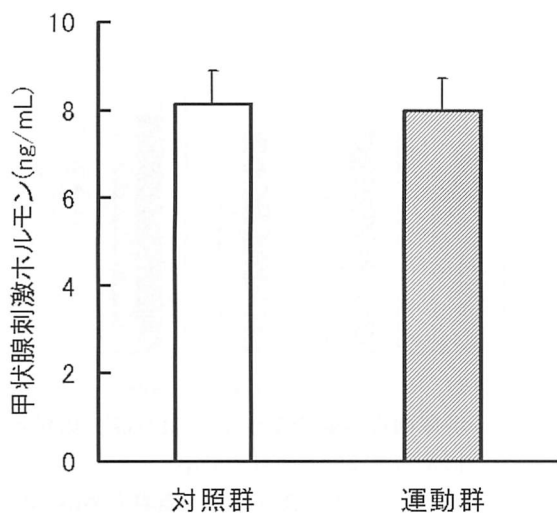
図Ⅱ-16 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の血糖値に及ぼす運動と香りの効果
平均値と標準誤差を示す (各群とも $n=8$)。



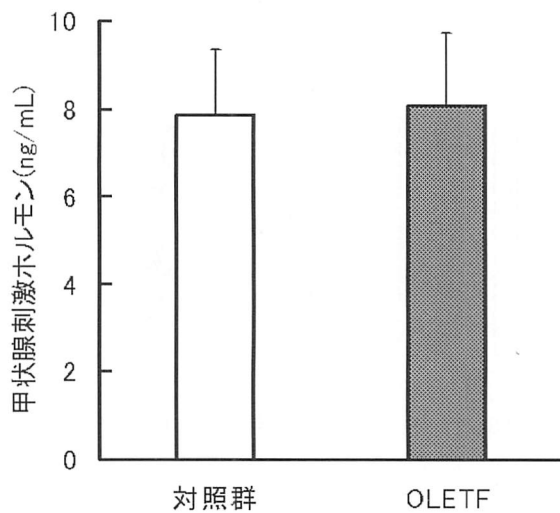
図Ⅱ-17 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の血糖値に及ぼす運動と香りの効果
12週齢目で血糖値が140 mg/dL以上の動物での結果。運動なしの対照群 (n= 3)、運動群 (n= 5)、運動プラス香り群 (n= 4) の平均値と標準誤差を示す (*p<0.05)。



図Ⅱ-18 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の褐色脂肪細胞の脂肪分解速度に及ぼす運動の効果
ノルアドレナリン (10^{-6} M) 投与時の脂肪分解に伴う酸素消費量の変化をパーセント表示する。平均値と標準誤差を示す (n= 8)。



図Ⅱ-19 糖尿病自然発症ラット (OLETF) の血中甲状腺刺激ホルモン濃度に及ぼす運動の効果
平均値と標準誤差を示す (n= 8)。



図Ⅱ-20 糖尿病自然発症ラット (OLETF) とウィスターラットの血中甲状腺刺激ホルモン濃度
平均値と標準誤差を示す (n= 8)。

Ⅱ－４ サブテーマ４：温泉・温浴のもたらす生理心理学的効果に関する研究

1) 研究組織

山梨県環境科学研究所	研究管理幹	永井 正則
山梨県環境科学研究所		
環境生理学研究室	非常勤嘱託	臼井 信男
	非常勤嘱託	大野 洋美
	助手	佐藤 昭子
	助手	齋藤 順子
日本大学法学部	助教授	和田 万紀
山梨県立看護大学		
短期大学部	講師	浅川 和美

2) 研究目的

健康という視点から温泉を利用する目的は、①保健休養（予防医学的）、②リハビリテーション（心身の機能回復）、③慢性疾患の改善、の三つに分類される。これらの内、リハビリテーションや慢性疾患の改善については、古くから研究されており、利用法や効用についての科学的検証も進んでいる。一方、予防医学的な利用については、経験的な知見が先行し、知見を裏付ける根拠が未だ十分に示されていない点が多い。自然との共生を目指す循環型社会に移行していく過程で、生活の質（QOL：quality of life）を維持・向上させていくためには、身近な自然資源を有効に活用していくことが重要である。そこで、温泉および温熱の利用が人に与える効果について、予防医学的観点から研究を行うこととし、足浴および腰浴（腰湯）が人の心と身体に与える効果を具体的に示すことを目指して実験をおこなった。

3) 足浴の生理心理効果

高齢者や心臓血管系に疾患を持った人の入浴法として、また日常のリラクセーションの方法として足浴や半身浴（腰浴、腰湯）が勧められている。そこで、40℃、10分間の足浴が人の心と身体におよぼす効果を具体的に示す目的で、足浴のみの効果、足浴プラス足裏マッサージの効果、足浴が睡眠に及ぼす効果の三つの実験を行なった。被験者は、県立看護大学短期大学部および富士吉田市立看護専門学校の女子学生のべ90名であった。実験は、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ない、実験に先立ち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。

室温24℃、相対湿度40%の人工気象室内で座位にて安静を保った被験者に、40℃、10分間の踝までの足浴を行なった。足浴の心理効果は、心理調査用紙POMS（Profile of Mood States）を用いて評価した。生理指標として、足浴前後の心拍数と血圧を比較した。その結果、足浴は不安感、緊張感、疲労感を和らげる心理効果を示

し（図Ⅱ－21）、同時に心拍数を減少させることがわかった（図Ⅱ－22）。一方、血圧には変化は見られなかった（図Ⅱ－23）。このことから、40℃、10分間の足浴は、身体的負荷が少なく安全で、かつ効率良くリラクセーション効果をもたらすことが確かめられた。

足浴の疲労軽減およびリラクセーション効果を高める目的で、足裏マッサージや足裏ツボ刺激（湧泉、足心、失眠の指圧）が併用されることがある。このような足裏刺激が、実際に足浴の効果と相乗的に作用するかどうかを検討した。足浴を行なった足の皮膚温の上昇を皮膚血流増加の指標として見ると、足裏刺激のみでは、刺激側の外側踝部の皮膚血流を一過性に増加させるだけであったが（図Ⅱ－24）、足浴後に足裏刺激を行なうと刺激側の外側踝部の血流増加が、一過性に終わらず持続的となり、さらに刺激側中指部の皮膚血流も増加した（図Ⅱ－25）。足浴を先行させることにより、足裏刺激の足部皮膚血流増加効果が強められることがわかった。実験中に連続記録した血圧と心臓の拍動間隔の分析結果から、足裏刺激は血圧を一過性に下降させ（図Ⅱ－26）、心臓交感神経活動を低下させることで心拍数を減少させることがわかった（図Ⅱ－27）。足浴後の足裏刺激では、血圧の下降がさらに顕著に観察された（図Ⅱ－28）。このことより、足浴と足裏刺激の効果は相乗的であり、両者を併用することで、足部皮膚血流の増加作用と血圧降下作用が促進されることがわかった。この研究結果に対し、日本看護学校協議会学会平成14年度学会長賞が授与された。

厚生労働省の行なった睡眠実態調査の結果、日本人の総睡眠時間はすべての世代で短縮しており、全体の1/3の人が主観的に満足できる睡眠をとっていないことが明らかとなった。これを受けて、平成11年には日本学術会議が睡眠研究の必要性を訴える声明を発表している。短くなった睡眠の質を補うためには、睡眠の質を向上させることが必要である。そのためには入眠時間を短縮する（寝つきをよくする）、深い睡眠をとる、中途覚醒を少なくするという三つの方策が考えられる。床に入る1.5～2時間前の入浴が睡眠の質を改善すると言われている。入眠前の足浴にも睡眠改善効果があるかどうかを確かめるための実験を行なった。この実験では、8時間以上覚醒を保った被験者に40℃、10分間の足浴を行ない、その後1時間睡眠をとらせ、その間の脳波を、同一被験者が同様の覚醒条件の後、足浴なしで睡眠に入った場合と比較した。その結果、足浴後に睡眠をとった場合に、深い睡眠状態を表わす徐波睡眠の第3段階と第4段階の脳波が増加していることがわかった（図Ⅱ－29）。一方、入眠時間には足浴の有無による差は認められなかった。この結果は、睡眠の質を向上させる三つの方策の内、深い睡眠が足浴によってもたらされることを示している。

4) 腰浴（腰湯）が胃運動と内臓血流に与える効果

湯治の効用のひとつとして、腰浴（腰湯）による消化機能改善効果が挙げられている。心理ストレスにより下痢と便秘を繰り返す過敏性腸症候群や、胃液が食道に逆流することによる逆流性食道炎などの疾患にも、温浴が有効であることが指摘されている。足浴のみでは、消化機能改善効果は現れないので、腰浴（腰湯）の効果は主として腰部が温められることによると考えられる。実際、看護の現場では、長期臥床患者や開腹手術後の患者の便秘や腹部膨満感を軽減するために、腰部皮膚の加温（温罨法）が行われ、加温を施した患者の70%以上で症状の訴えが低下している。しかし、腰部皮膚の加温が実際に胃腸の運動機能を改善するかどうかについては、皮膚加温中の腸音聴取により腸の運動を評価する試みが、若干なされているのみである。ところが、腸音の増減やその周波数成分が、具体的にどのような腸運動と対応しているのが未だ明らかにされていないため、腸音の分析には限界が感じられる。そこで本実験では、胃電図を解析することで腰部皮膚の加温が胃運動に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。皮膚加温の影響が認められた場合には、さらにそのメカニズムを解析することを目指した。

胃電図による胃運動の解析：

胃電図（EGG：electrogastrogram）は胃の筋肉の動きを電氣的に記録したもので、心臓の筋肉の動きを電氣的に記録する心電図（ECG：electrocardiogram）と同様の測定原理に基づいている。図Ⅱ-30に胃電図記録のための電極配置と記録された胃電図の波形を示す。胃の運動は、図Ⅱ-31に示すように分類されているが、これらの運動の中で、胃の内容物を十二指腸方向へ移送する機能を持っているのは、蠕動運動（peristalsis）と伝播性収縮運動（IMC：interdigestive migrating motor complex）である。蠕動運動は、食後胃に入ってきた食物を混和・消化し十二指腸へ移送する働きを担っている。伝播性収縮運動は、空腹時に起こる蠕動運動と言うこともでき、古くなった胃壁の上皮細胞を剥離・移送することで上皮細胞の新生を促進する働きを担っている。これらふたつの運動の発生機構は共通で、発生頻度は毎分2.55から3.05回（2.55～3.05 cpm）である。したがって、図Ⅱ-30に示すような胃電図波形を周波数分析し、2.55から3.05回/分の周波数帯の有無や周波数帯パワー（周波数帯の面積＝周波数帯成分の積分値）を求めることで、蠕動運動と伝播性収縮運動の存在とその強さを知ることができる。

腰部皮膚加温が胃運動と血圧、心拍数に及ぼす効果：

腰部皮膚加温が胃運動と血圧に及ぼす効果を、健康な大学生および専門学校生18名を被験者として検討した。

被験者は、少なくとも実験2時間前までに食事を摂り終えていることとした。実験は、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ない、実験に先立ち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。

被験者は、室温24℃、相対湿度40%を保った人工気象室内のベッド上で仰臥位を取った。立位または坐位では腹筋の活動があり、腹筋由来の波形が胃電図上に混入する。これを避けるため、腹筋が弛緩する仰臥位を取らせた。仰臥位を30分続けた後、表面温度42℃のホットパックを第11胸椎から第2仙椎をカバーするように皮膚に当て、腰部皮膚加温を20分間行なった。被験者8名に腰部皮膚加温を行ない（実験群）、残りの被験者10名は加温なしで実験群の被験者と同じ時間仰臥位を続けた（対照群）。

胃電図上で最も頻度の高い周波数成分（優勢周波数）の変化を図Ⅱ-32（実験群）と図Ⅱ-33（対照群）に示す。実験群でも対照群でも、加温中およびそれに相当する時期に優勢周波数が高周波側に移動していた。実験群と対照群との間に差異は見られないので、腰部皮膚加温の有無は、この現象に影響を与えることはなかったと結論される。仰臥位での安静時では、伝播性収縮運動の周波数より低い2回/分程度が優勢周波数であったのに対し、それ以後では2.55～3.05回/分の伝播性収縮運動の周波数帯が優勢周波数となっていた。仰臥位を続けることで、胃の伝播性収縮運動が出現してくることがわかった。立位または坐位から仰臥位へ移行することによって、重力方向への牽引圧が低下し、胃腸が胸腔方向に移動したことが原因と考えられる。実際の腰浴（腰湯）の場合でも、湯につかることで胃腸への牽引圧が減少し、胃腸の胸腔方向への移動が起こる。仰臥位を取ることおよび湯につかることは、2回/分程度の胃の不規則な収縮運動を減少させ、胃内容を搬送する機能のある伝播性収縮運動を引起すことがわかった。

仰臥位に加えて腰部皮膚加温を行なうと、伝播性収縮運動の周波数帯パワーが増加した（図Ⅱ-34）。すなわち、仰臥位を取ることによって現れた伝播性収縮運動が、皮膚加温により増強されたことがわかる。仰臥位を続けるだけで腰部皮膚加温を行なわなかった対照群では、伝播性収縮運動のパワーが大きくなることはなく、仰臥位を取ることによって現れる伝播性収縮運動は、仰臥位を続けることで小さくなっていくことがわかった（図Ⅱ-35）。この結果から、腰部皮膚加温により胃の機能的運動が促進されることが確認できた。このことが、腹部膨満感の軽減などの消化機能改善効果をもたらすものと予想される。

腰部皮膚加温により血圧が軽度上昇した（図Ⅱ-36）。皮膚加温を行なわない対照群では、血圧の変化は観察されなかった。血圧は、心拍出力（1分間に心臓から拍出される血液量）と総末梢抵抗（血管径に反比例して大き

くなる)の積で決まる。心拍出量は心臓の働きによって決まる。そこで、心臓の拍動間隔を高速フーリエ解析することで、腰部皮膚加温中の心臓交感神経および心臓副交感神経の働きを推定した。心臓副交感神経の活動は、高速フーリエ解析の結果の周波数ヒストグラムの高周波成分パワー (HF) として表現され、心臓交感神経の活動は低周波数成分パワー (LF) および両パワーの比 (LF/HF) として表現される。解析の結果、腰部皮膚加温はHF, LF, LF/HFのいずれにも影響を与えていないことがわかった (図Ⅱ-37)。このことは、腰部加温による血圧の上昇は、心拍出量の増加によって起こったのではなく、末梢抵抗の増加、すなわち血管の収縮によって起こったことを示している。

腰部皮膚加温の心理効果：

日本語版POMS (profile of mood states) を用いて、腰部皮膚加温の前後での被験者の気分の変化を調査した。POMSによって分類される六つの気分の内、緊張-不安、抑鬱感、怒り-敵意、疲労感、混乱度を示す得点がともに皮膚加温により低下していた (図Ⅱ-38)。活力は増加する傾向にあったが、統計的有意差は認められなかった。皮膚加温を受けない対照群でも仰臥を続けることで、緊張-不安、抑鬱感、怒り-敵意、疲労感が低下した。混乱度の低下は認められず、活力の変化もなかった。腰部皮膚加温により、より望ましい方向の心理効果がもたらされることがわかった。

腰部皮膚加温による胃運動促進のメカニズムの推測：

これまでに述べた実験結果から、腰部皮膚加温による血圧の上昇は、血管の収縮が原因であると推測される。血管の収縮・拡張は主として交感神経によって制御されている。皮膚の加温は皮膚領域の交感神経活動を低下させ、血管拡張を引起し、皮膚からの熱の放出を盛んにする。この時、内臓領域の交感神経活動は増加する。このように、ある刺激に対して皮膚領域の交感神経と内臓領域の交感神経は逆方向の応答を示すことが多く、この現象は交感神経地域性反応という概念で総括されている。

皮膚の加温により皮膚領域の交感神経活動は低下し、内臓領域の交感神経活動は増加する。しかし、胃腸壁に分布する内臓交感神経は、胃腸運動に対しては抑制的に作用する。そのため、腰部皮膚加温による胃運動促進効果を、胃壁に分布する交感神経の作用で説明することは困難である。一方、内臓交感神経は胃腸壁に分布するのみでなく、胃腸へ血液を供給する動脈にも高密度に分布している。皮膚加温により内臓交感神経の活動が増加すると、腹腔動脈や上腸間膜動脈などが収縮する可能性が高い。これらの動脈は、胃腸の広い範囲に血液を供給しているため、血管の総延長が大きい。したがって、このような動脈がわずかに収縮しただけでも、血管抵抗が大

きく増加し、血圧が上昇する。このような理由から、腰部皮膚加温中の血圧の上昇は、腹腔動脈や上腸間膜動脈の収縮が引き金になって誘起された可能性が高い。しかし、加温により胃の伝播性収縮運動が顕著に増強されている時期には、血圧の上昇も終了している (図Ⅱ-36)、血管が収縮したままであることは考えられない。そこで、皮膚加温により内臓血管が収縮し、次いで再拡張するという一連の過程が誘因となって胃運動が促進されるというメカニズムを仮説として提唱した (図Ⅱ-39)。血管の収縮・再拡張による胃への血液供給の低下・再増加により、血管壁や胃壁内で生成または放出される生理活性物質の作用により、胃運動が促進される可能性は十分考えられる。

腰部皮膚加温が腹腔動脈血管径に及ぼす効果：

腰部皮膚加温の胃運動促進効果のメカニズムとして図Ⅱ-39に示した可能性を検証するため、胃に血液を供給している腹腔動脈の血管径が、腰部皮膚加温によって変化するかどうかを確かめる実験を大学生19名を被験者として行なった。被験者は、少なくとも実験2時間前までに食事を摂り終えていることとした。実験は、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ない、実験に先立ち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。

被験者は、室温24℃、相対湿度40%を保った人工気象室内のベッドで仰臥位を取った。超音波診断装置と腹部用プローブを用いて、腹腔内動脈の撮像を行なった。19名中16名の被験者で、腹部大動脈と腹腔動脈の分岐部の描出に成功した (写真5 カラー口絵2ページ参照)。腹部大動脈から分岐した腹腔動脈は、胃と十二指腸に血液を供給している。腹部大動脈と腹腔動脈を、その分岐部で同時に描出できた被験者16名の内、9名を実験群とし、7名を対照群とした。実験群では、先に述べたのと同様の方法で腰部皮膚加温を行なった。対照群では、皮膚加温は行なわず、被験者は実験群と同じ時間仰臥位を続けた。実験群の加温期に相当する間は、被験者の腰部に35℃のヒートパットを当てた。

超音波診断装置により描出された安静時の腹部大動脈血管径は、実験群で 12.21 ± 0.45 mm (平均値±標準誤差、 $n=9$)、対照群で 13.6 ± 0.90 mm ($n=7$) であった。腹腔動脈の安静時血管径は、実験群で 6.67 ± 0.62 mm、対照群で 7.81 ± 0.76 mmであった。安静時血管径に群間の差は見られなかった。

実験群および対照群での腰部皮膚加温による皮膚温の変化を図Ⅱ-40に示す。腰部皮膚温は、加温により上昇し、加温終了後5分で4℃下降した。安静時血管径を100として、腰部皮膚加温が血管径に与える効果を検討した。実験群の腹腔動脈血管径は加温中は減少傾向 (血管収縮傾向) を示したが、加温後は増加 (血管拡張) し

安静時血管径の $113.2 \pm 8.3\%$ に達した（図Ⅱ-41）。对照群の腹腔動脈径は減少傾向（血管収縮傾向）を示し、安静時血管径を超えることはなかった（図Ⅱ-41）。実験群および对照群での腹部大動脈径は、99.9%から104.5%の間で変動し、腰部皮膚加温の効果は認められなかった。皮膚加温によって腹腔動脈の血管径が変化しても、その上流にある腹部大動脈の血管径は変化しないと考えられる。

腹腔動脈血管径の加温中および加温後の変化量を図Ⅱ-42に示す。对照群ではいずれの時点でも血管径は減少しているのに対し、実験群では加温中に減少、加温後に増加という差異が顕著に見える。しかし、血管径の増加幅に比べて減少幅は小さく、腹腔動脈のはっきりした収縮反応を捉えることができたとは言い難い。その理由として、安静時の血管径がすでに十分小さくなっていて、それ以上の収縮反応が現れにくくなっている可能性が考えられる。また、今回の実験では加温開始10分後に血管の描出を行なっているため、血管収縮が加温初期に短い時間経過で起こっているとすれば、今回の測定タイミングでは収縮反応を捉えきれなかった可能性もある。今回の実験方法では、血管径を連続的に記録することは不可能である。血管径測定のタイミングを工夫する必要がある。

一方、腹腔動脈血管径の変化と胃の伝播性収縮運動の変化（図Ⅱ-34、Ⅱ-42）はよく一致した挙動を示している。腹腔動脈の収縮、拡張による血流量の変化が、胃運動とよく相関していることは確かと思える。腰部皮膚加温が胃運動を促進するメカニズムとして、胃へ血流を供給している腹腔動脈の収縮とその後の拡張を提唱したが（図Ⅱ-39）、先行する血管収縮については今一つははっきりさせることができなかった。しかし、収縮に次いで起こる血管拡張については、今回の実験により確認することができた。血管の収縮・再拡張による血流の減少・再増加の過程で、胃運動が促進されることには、血流変化に伴って血管壁または胃壁内で合成・放出される一酸化窒素（NO）やカルシトニン遺伝子関連ペプチドのような局所因子が関与することが予想される。

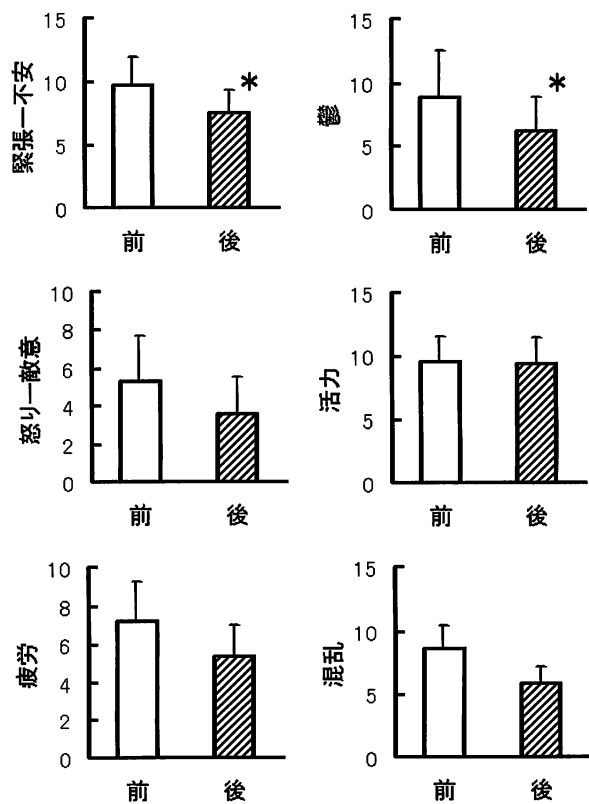
腰浴（腰湯）の胃運動改善効果：

古くから湯治の効用のひとつとして、腰浴（腰湯）の消化機能改善効果が挙げられていた。今回の実験により、腰部皮膚の加温が胃の伝播性収縮運動を促進することが示された。われわれの行なった実験では、足浴の胃運動促進効果は認められなかった。全身浴は胃運動に抑制的に作用するとは、一般にもよく知られている通りである。このようなことを考え合わせると、腰浴（腰湯）の消化機能改善効果は、主として腰部皮膚を温めることによって引き起こされることがわかる（図Ⅱ-43）。今回の実験により腰浴（腰湯）の消化機能への効果について科学的に

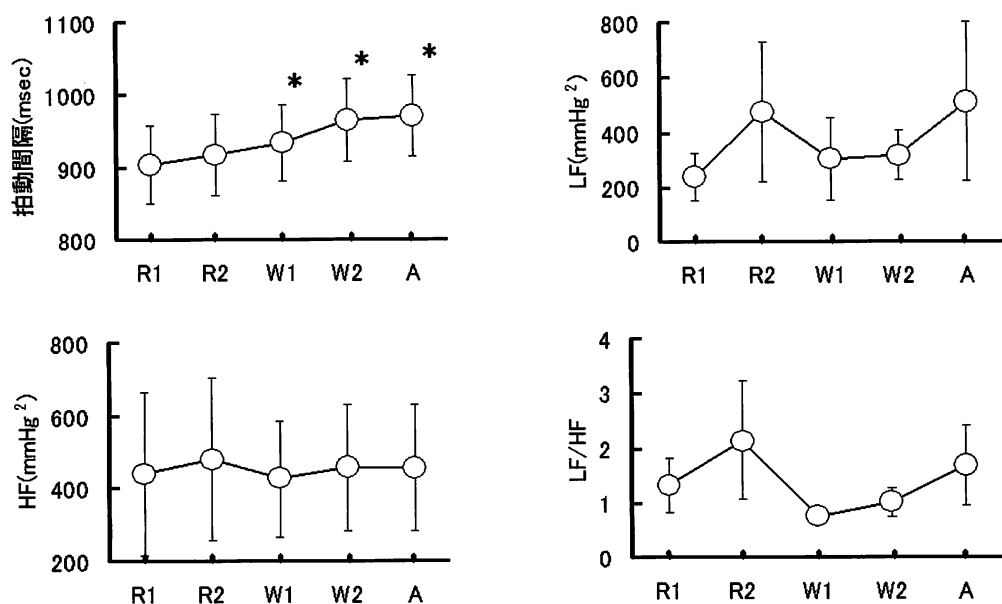
検証できた。また、腰浴（腰湯）が胃運動を促進するメカニズムの一端が明らかとなった。

5）今後の展開：胃のストレス反応と温熱の利用

今回の実験により、腰部皮膚の加温は内容物を移送するという胃の機能的運動（伝播性収縮運動）を促進することがわかった。一方、ストレス時の胃には、毎分4～9回の不規則な高周波成分から構成される運動（タキアリスミア、tachyarrhythmia）が起こることが知られている。この運動は、交感神経活動の亢進を反映するとされている。また、ストレス性胃潰瘍の形成には、迷走神経（副交感神経）を介する強力な胃の収縮が関与することも報告されている。これらのストレス時の胃運動に対して、皮膚加温がどのように影響するのか、ストレス反応を軽減して胃の正常な機能的運動を回復させる効果があるのかどうか、今後明らかにしていきたい。さらに、胃運動とともに胃内容物の排出時間や胃酸分泌など、胃機能全体に対する皮膚加温の効果を検証することにより、身近な環境資源としての温熱を利用した生活の質（QOL）の維持・向上に資する知見を提供していきたい。

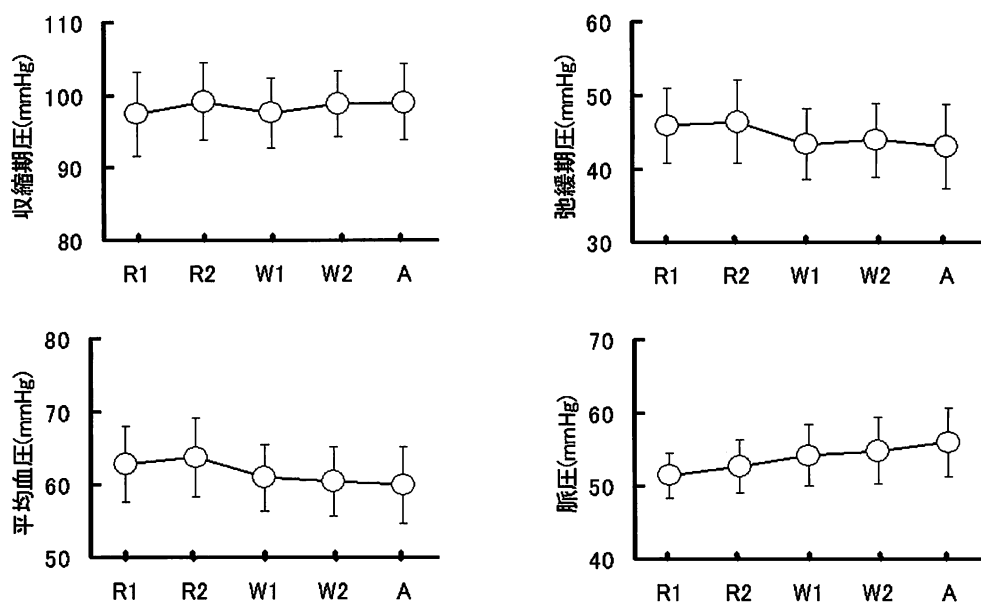


図Ⅱ-21 足浴（40℃、10分）が気分に及ぼす効果
平均値と標準誤差を示す（n=10, *p<0.05）。



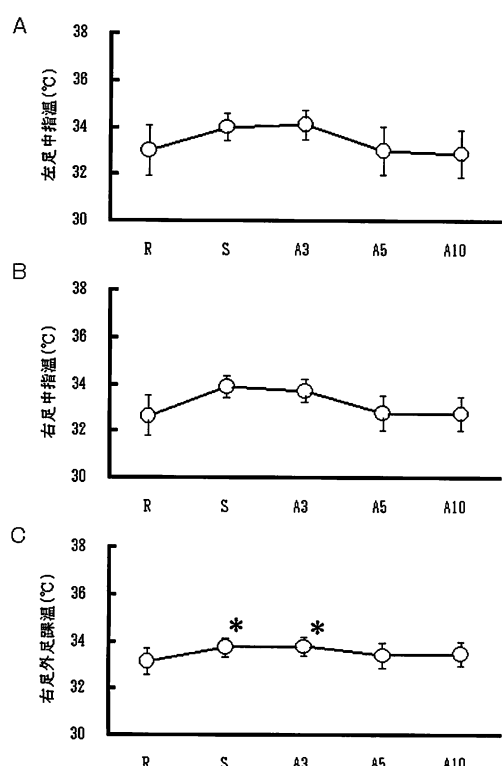
図Ⅱ-22 足浴（40℃、10分）が心機能に及ぼす効果

HF：心臓副交感神経活動の指標；LF, LF/HF：心臓交感神経活動の指標。平均値と標準誤差を示す（ $n=10$, $*p<0.05$ ）。R1とR2は足浴開始前10分と5分の値、W1とW2は足浴開始後5分と10分の値、Aは足浴終了後5分の値を示す。

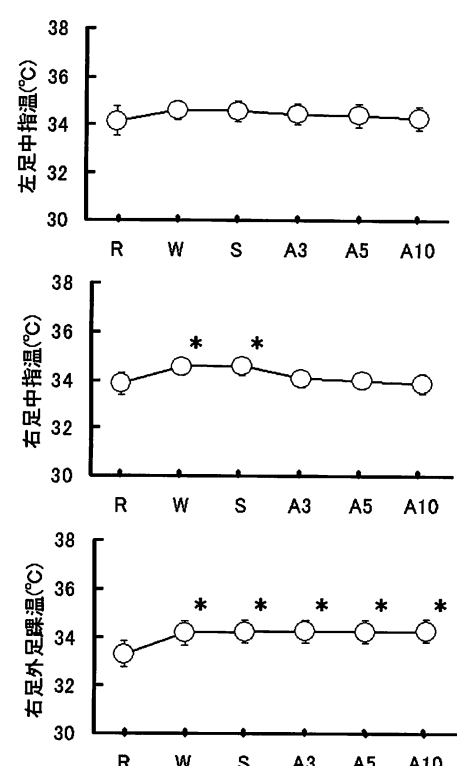


図Ⅱ-23 足浴（40℃、10分）が血圧に及ぼす効果

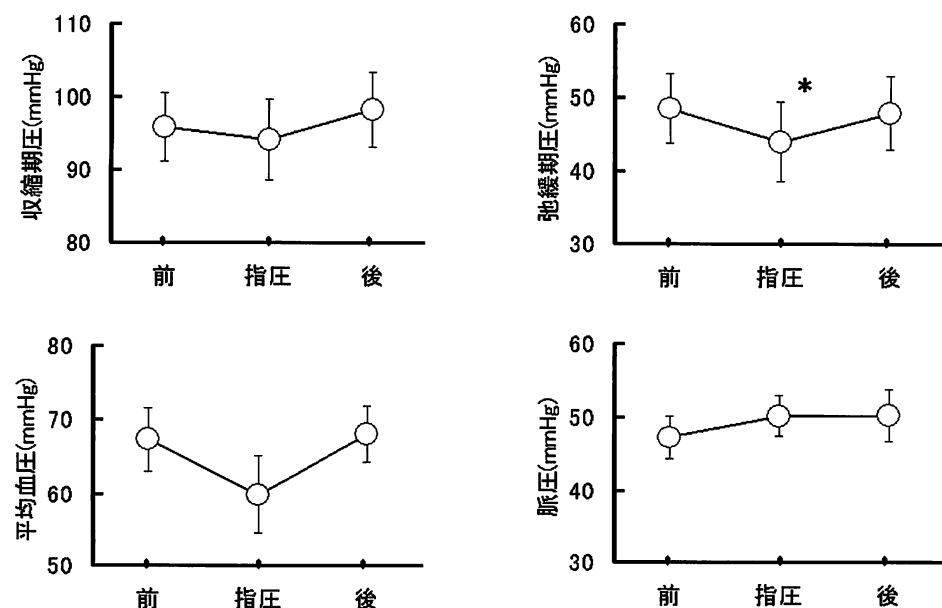
平均値と標準誤差を示す（ $n=10$ ）。R1とR2は足浴開始前10分と5分の値、W1とW2は足浴開始後5分と10分の値、Aは足浴終了後5分の値を示す。



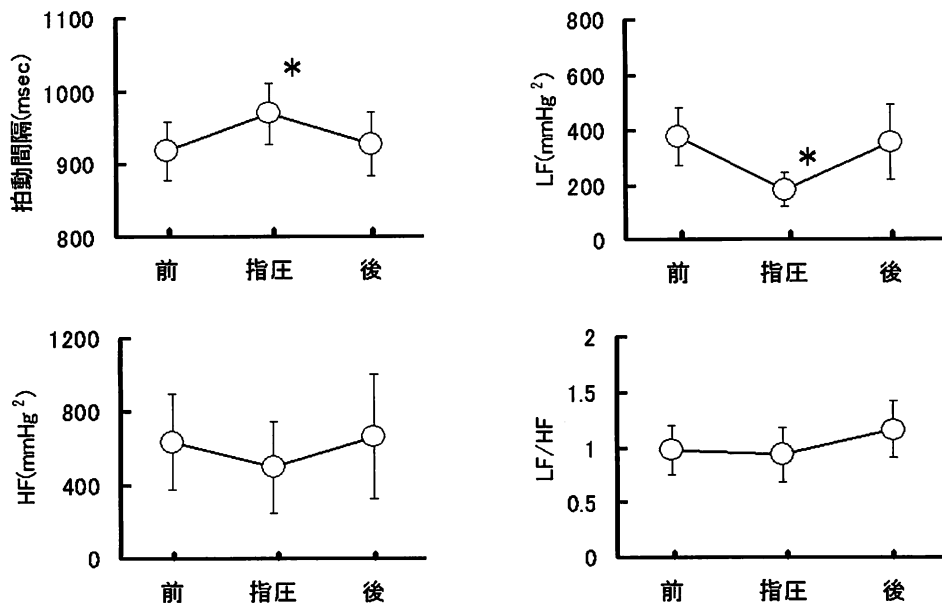
図Ⅱ-24 足裏刺激が足部皮膚温に及ぼす効果
 平均値と標準誤差を示す (n=10, *p<0.05)。Rは刺激開始前 5 分の値、S は刺激直後の値、A 3、A 5、A10は刺激後 3 分、5 分、10分の値を示す。



図Ⅱ-25 足浴と足裏刺激が足部皮膚温に及ぼす効果
 平均値と標準誤差を示す (n=10, *p<0.05)。Rは足浴開始前 5 分の値、Wは足浴直後の値、Sは足裏刺激直後の値、A 3、A 5、A10は刺激後 3 分、5 分、10分の値を示す。

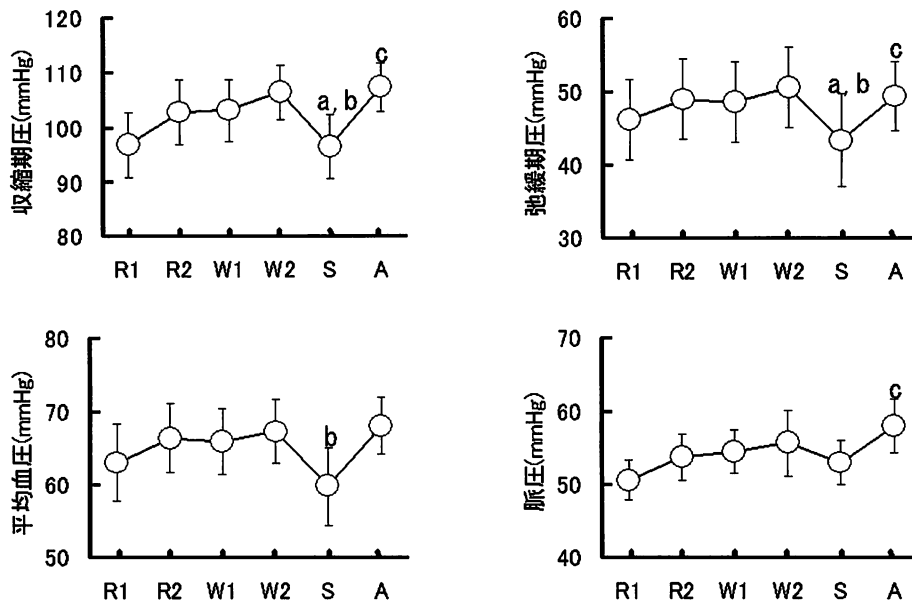


図Ⅱ-26 足裏刺激が血圧に及ぼす効果
 平均値と標準誤差を示す (n=10, *p<0.05)。



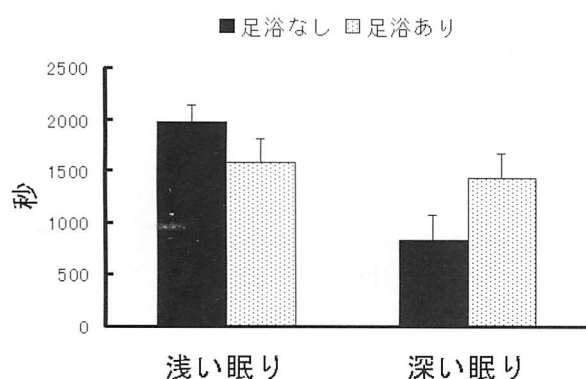
図Ⅱ-27 足裏刺激が心機能に及ぼす効果

HF: 心臓副交感神経活動の指標; LF, LF/HF: 心臓交感神経活動の指標。平均値と標準誤差を示す (n=10, *p<0.05)。



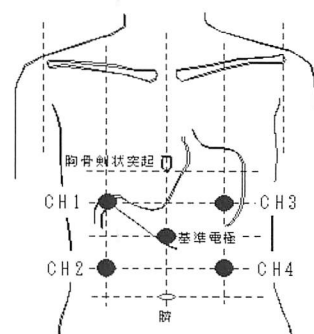
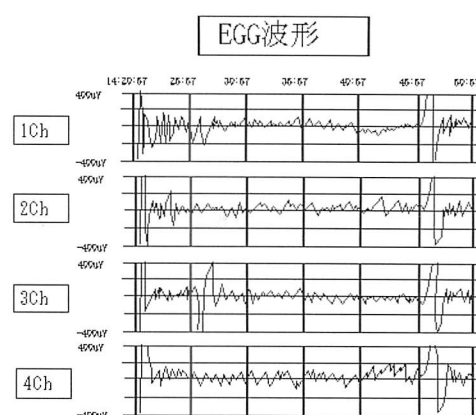
図Ⅱ-28 足浴と足裏刺激が血圧に及ぼす効果

平均値と標準誤差を示す (n=10)。R1とR2は足浴開始前10分と5分の値、W1とW2は足浴開始後5分と10分の値、Sは足裏刺激直後の値、Aは刺激終了後5分の値を示す。aはR2とSとの間の有意差を、bはW2とSとの間の有意差を、cはSとAとの間の有意差を示す (p<0.05)

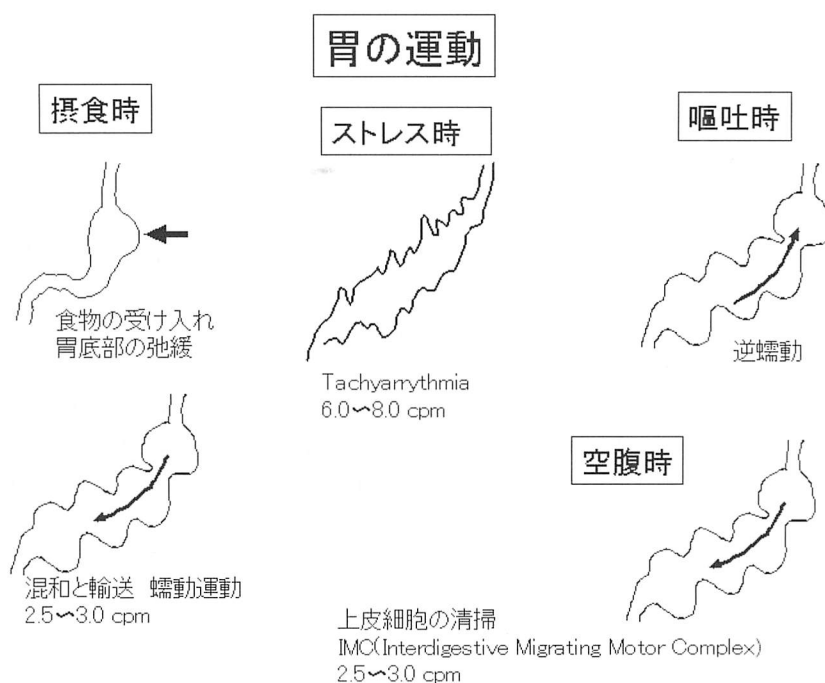


図Ⅱ-29 足浴が睡眠深度に及ぼす効果

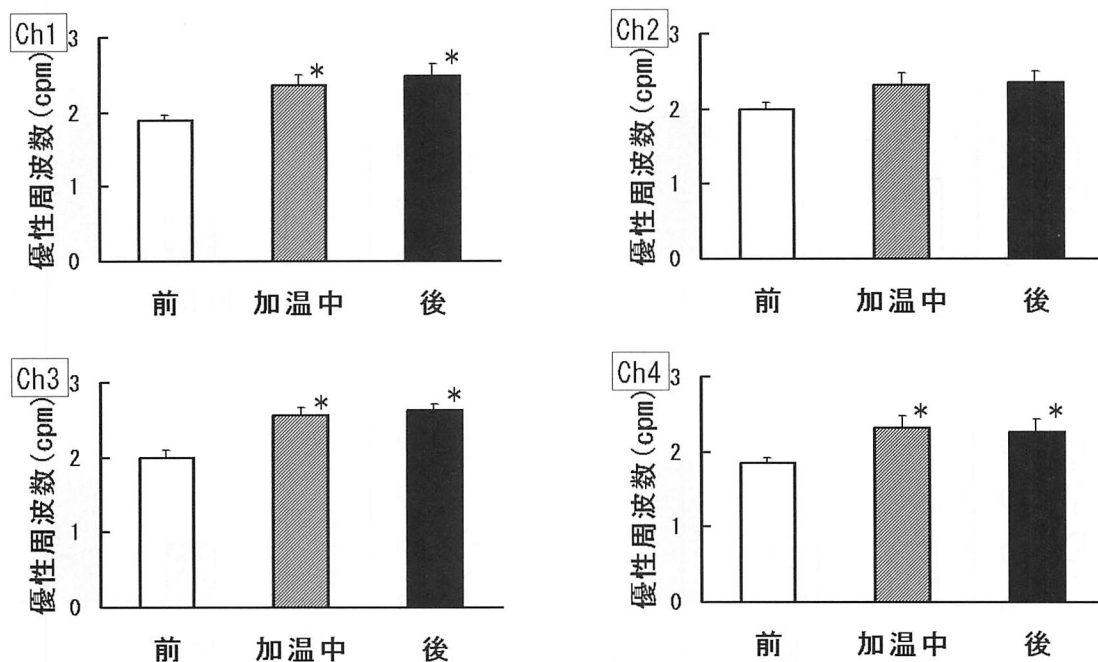
浅い眠りは徐波睡眠の第1段階と第2段階の合計、深い眠りは徐波睡眠の第3段階と第4段階の合計を示す。平均値と標準誤差を示す (n=8)。



図Ⅱ-30 胃電図 (EGG) 記録のための電極配置 (4チャンネル記録) と記録波形

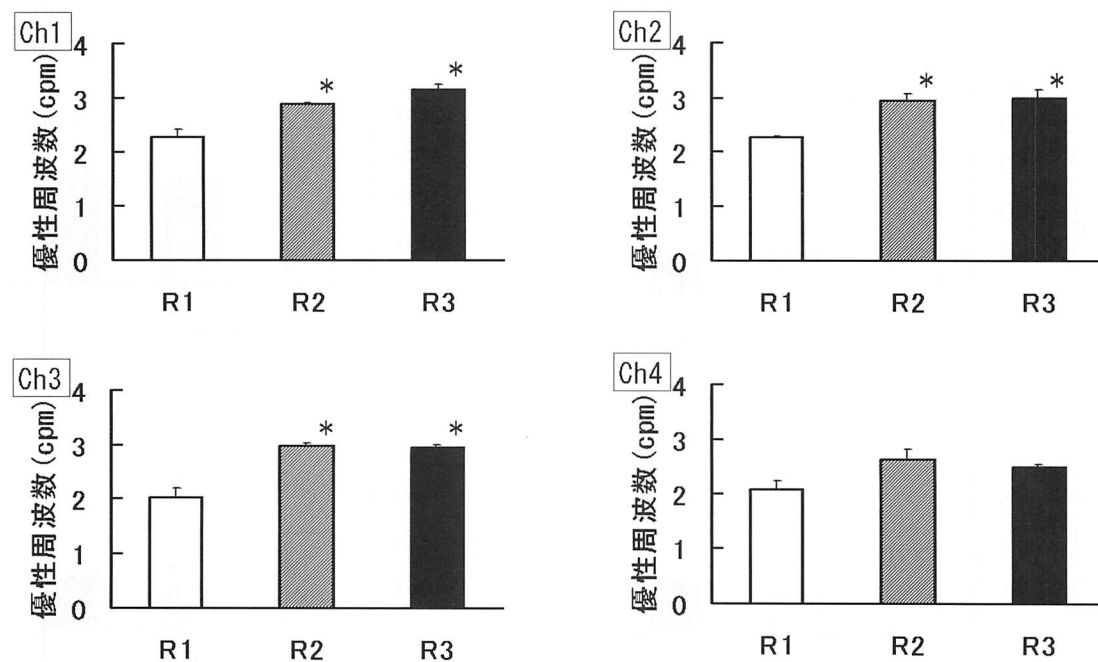


図Ⅱ-31 胃運動の種類



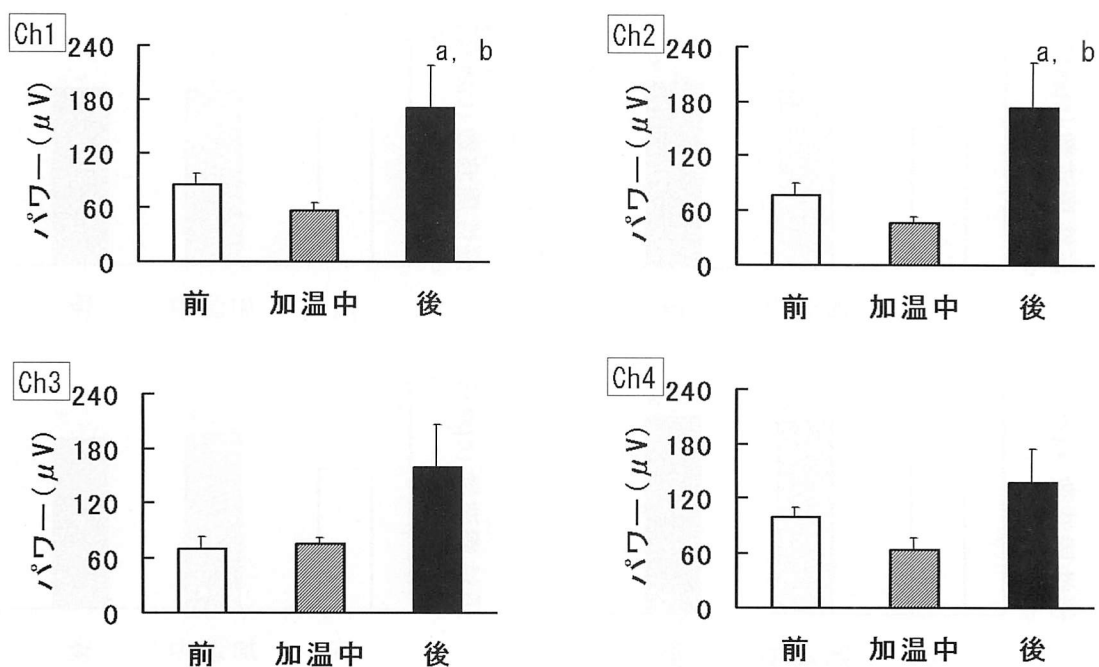
図Ⅱ-32 腰背部皮膚加温が胃電図優勢周波数へ与える効果（実験群）

加温前 5 分（前）、加温終了直前 5（加温中）、加温後 5 分（後）の値を示す。平均値と標準誤差を示す（ $n=8$, $*p<0.05$ ）。



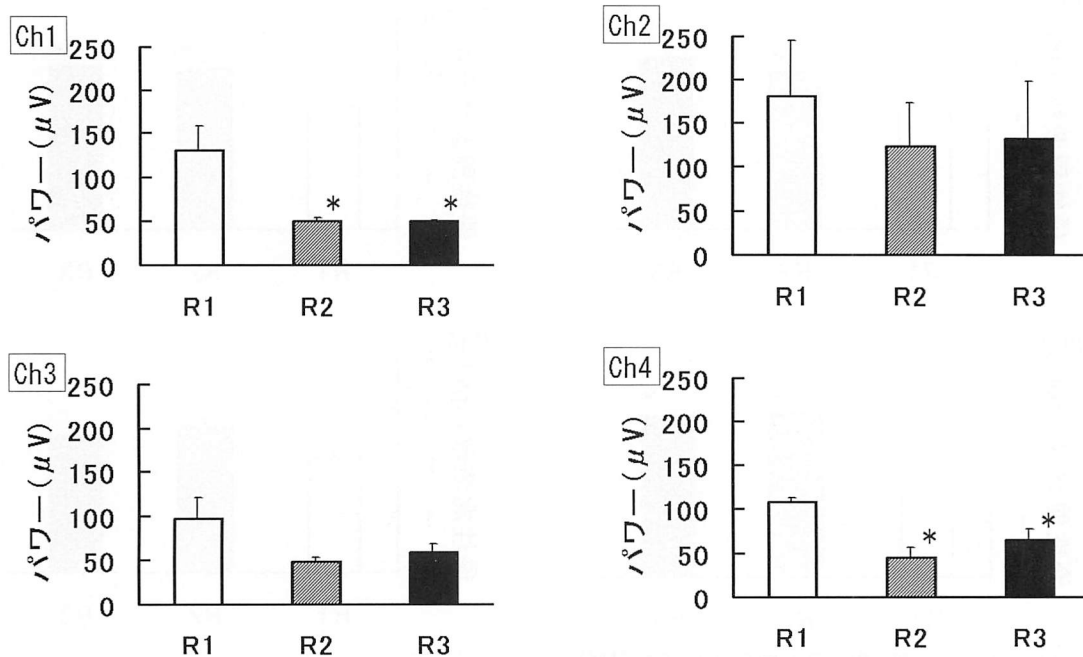
図Ⅱ-33 胃電図優勢周波数の変化（対照群）

R1, R2, R3 は実験群（図Ⅱ-32）の加温前 5 分（前）、加温終了直前 5 分（加温中）、加温後 5 分（後）にそれぞれ相当する。平均値と標準誤差を示す（ $n=10$, $*p<0.05$ ）。



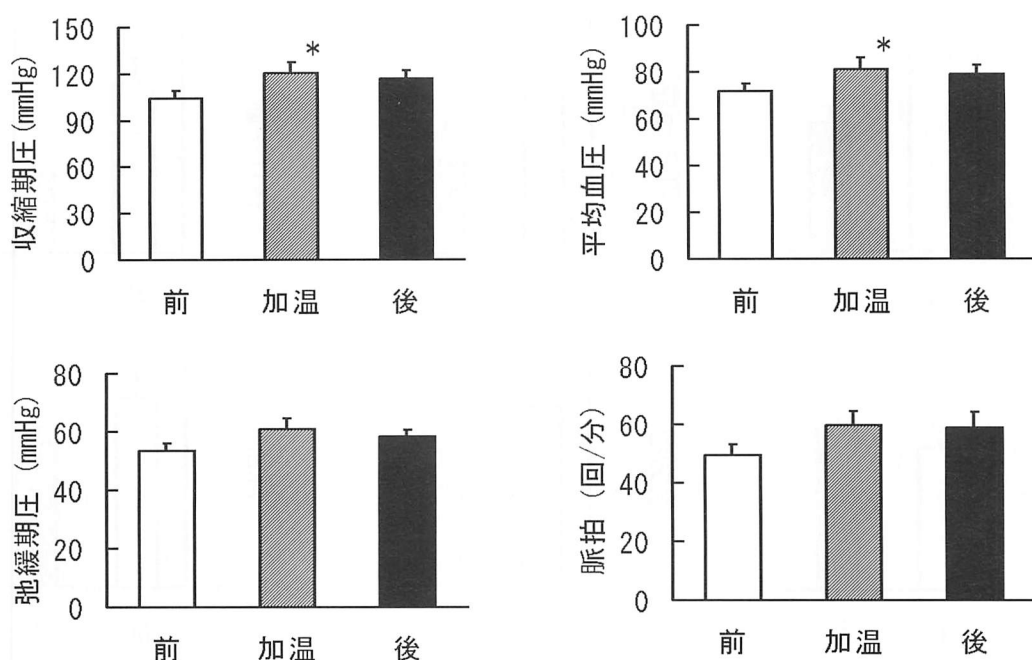
図Ⅱ-34 腰背部皮膚加温が胃の伝播性収縮運動の周波数帯パワー (2.55~3.05 cpm) へ与える効果 (実験群)

加温前 5 分 (前)、加温終了直前 5 (加温中)、加温後 5 分 (後) の値を示す。平均値と標準誤差を示す (n=8, a: 前-後の有意差; b: 加温中-後の有意差、p<0.05)。

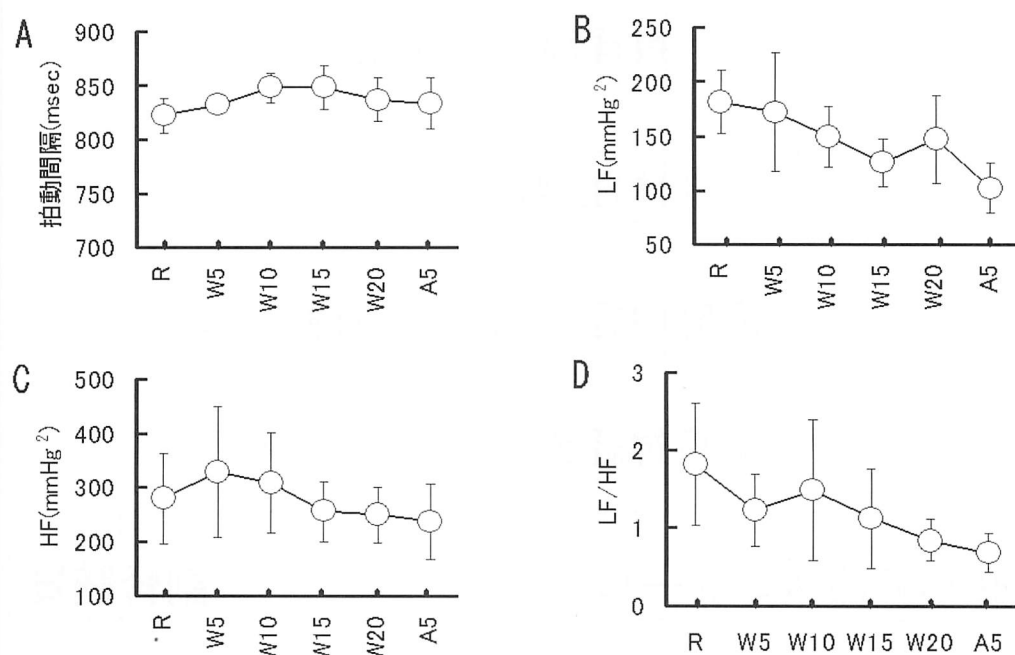


図Ⅱ-35 胃の伝播性収縮運動の周波数帯パワー (2.55~3.05 cpm) の変化 (対照群)

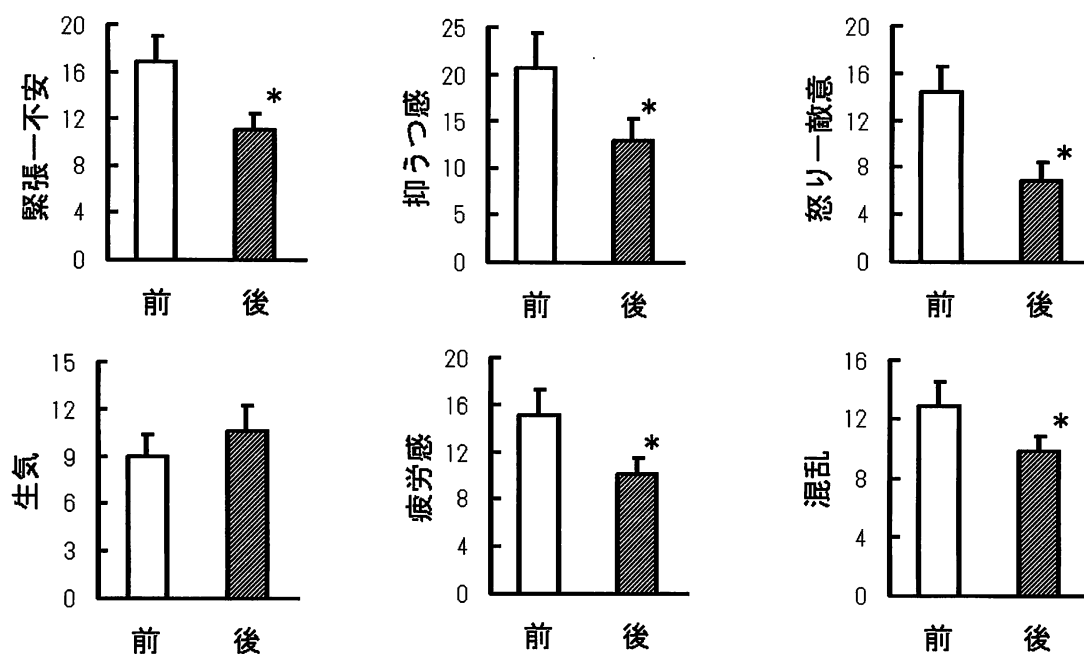
R1, R2, R3 は実験群 (図Ⅱ-32) の加温前 5 分 (前)、加温終了直前 5 分 (加温中)、加温後 5 分 (後) にそれぞれ相当する。平均値と標準誤差を示す (n=10, * p<0.05)。



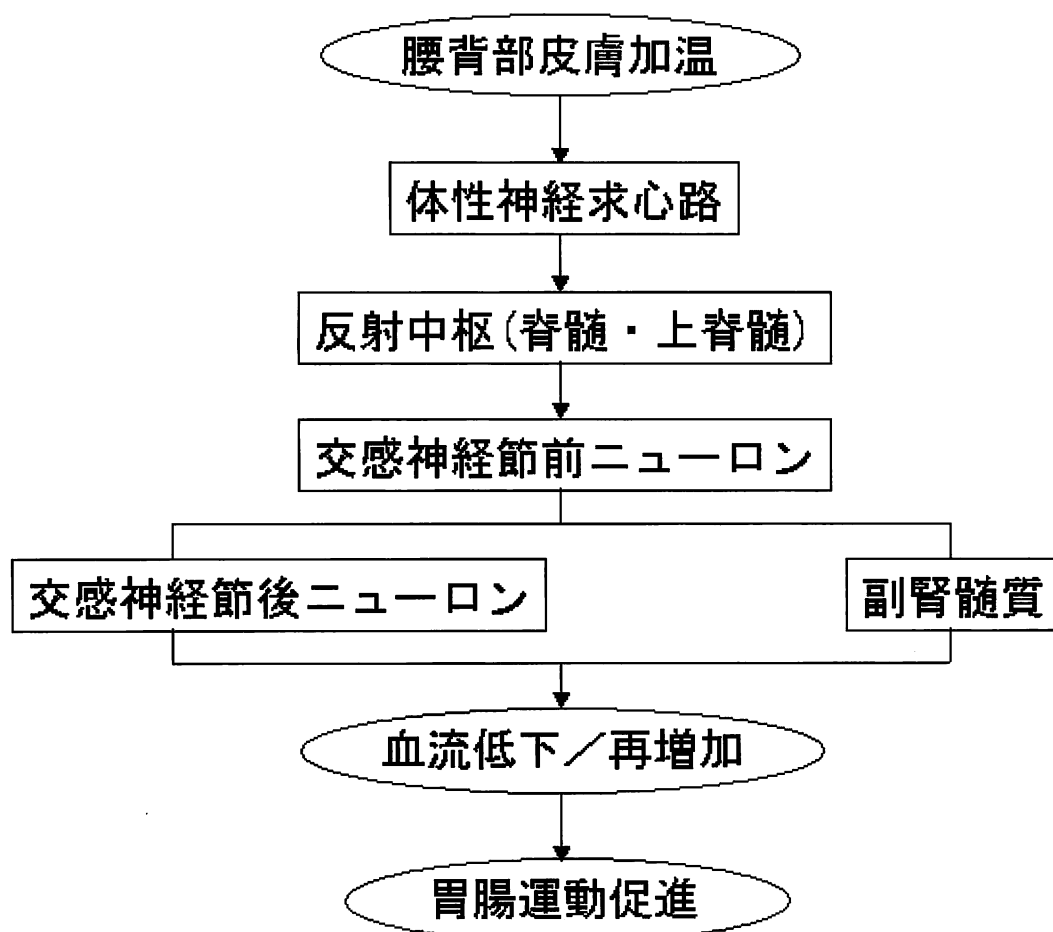
図Ⅱ-36 腰背部皮膚加温が血圧へ与える効果（実験群）
加温前 5 分（前）、加温終了直前 5（加温中）、加温後 5 分（後）の値を示す。平均値と標準誤差を示す（ $n=8$, $*p<0.05$ ）。



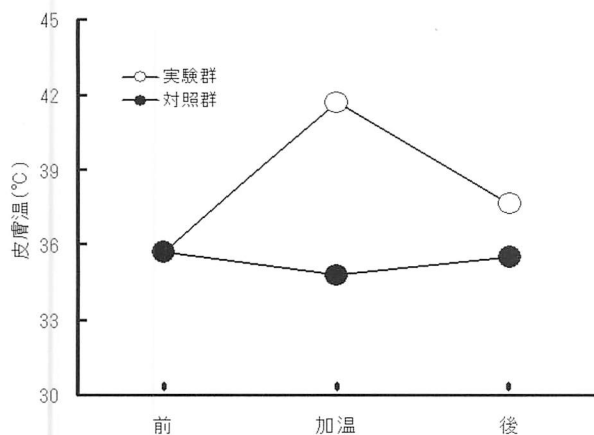
図Ⅱ-37 腰背部皮膚加温が心機能へ与える効果（実験群）
HF：心臓副交感神経活動の指標；LF, LF/HF：心臓交感神経活動の指標。平均値と標準誤差を示す（ $n=8$ ）。Rは安静時の値、W5、W10、W15、W20は加温開始後 5 分、10分、15分、20分の値、A5は加温終了後 5 分の値を示す。



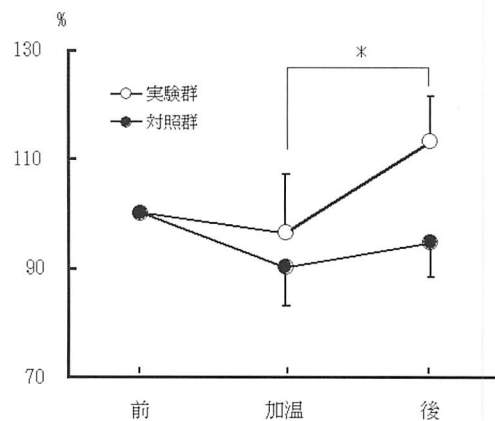
図Ⅱ-38 腰背部皮膚加温の心理効果
加温前後のPOMSの得点を示す (n= 8, *p<0.05)。



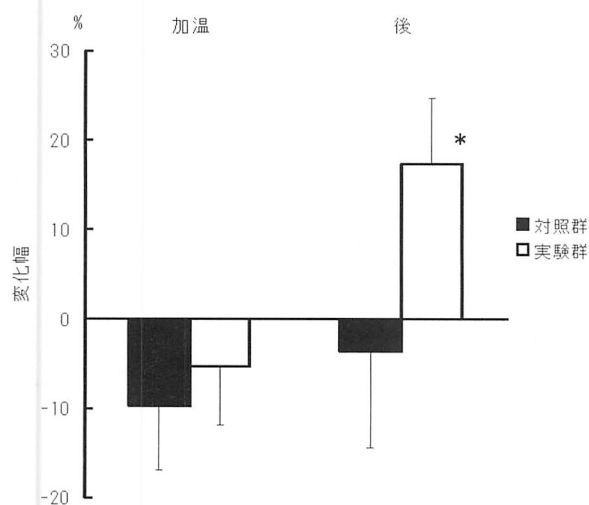
図Ⅱ-39 腰背部皮膚加温による胃運動促進効果のメカニズム



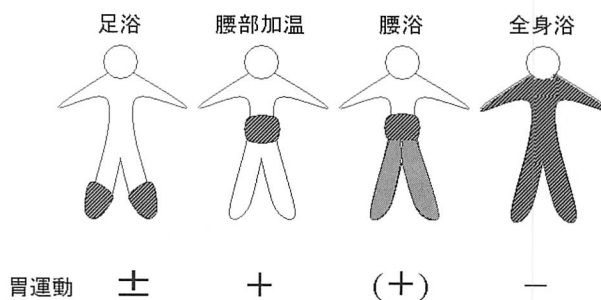
図Ⅱ-40 腰背部皮膚温の変化
実験群 (n=9) と対照群 (n=7) での平均値と標準誤差を示す。



図Ⅱ-41 腰背部加温による腹腔動脈血管径の変化
安静時の値を100%とする。実験群 (n=9) と対照群 (n=7) での平均値と標準誤差を示す (*p<0.05)。



図Ⅱ-42 腰背部加温による腹腔動脈血管径の変化
変化幅を%表示する。実験群 (n=9) と対照群 (n=7) での平均値と標準偏差を示す (*p<0.05)。



図Ⅱ-43 腰浴（腰湯）の胃運動改善効果

R-06-2004

平成16年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第13号

YIES Research Report

2004年 9 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

