

## 長野県のアカツ林における温熱環境の通年変化と温熱環境的に快適な活動との関係

高山範理 (森林総研)・小山泰弘 (長野県林総セ)・大平辰朗・松井直之・香川隆英 (森林総研)・不破正仁 (筑波大)

**要旨:** 森林の諸環境条件は季節や時間帯によって大きく変化するため、本来、快適性に関する研究には、年、月、日変化等の複合的な時制における環境要因の情報と、人間の感覚との関係を調べた知見が求められる。本研究では人間の有する五感のうち、触覚(皮膚感覚)に関わる森林内の温熱環境に着目し、快晴時の長野県塩尻市のアカツ林にて通年に渡る温熱環境の測定をおこなった。測定データをもとに、人間が感じる温熱環境的快適性指数(PPD(予測不満足率))を指標とし、温熱環境的に快適な森林浴等が可能な諸条件について、「運動量(met)」を変数として月ごとに検討したところ、調査地の森林では、温熱環境的に夏季は“座った状態”の活動をおこなうことが望ましく、冬季は“ゆったり歩く”、“ストレッチ”、“軽い林内作業”などの活動をおこなうことが、温熱環境的な観点からは最も望ましいことが明らかになった。

**キーワード:** 温熱環境、PMV(中等度温冷感指標)、PPD(予測不満足率)、輻射熱、温熱環境的快適性

### I はじめに

この所の急速な技術の発展によって、オンサイトでの森林-人間系の関係性が生理的・心理的な側面から徐々に明らかにされつつある(2, 4)。本研究では、将来的に森林浴などの快適性を希求し、癒しに供する場としての森林内環境の利用に資することを目標として、触覚(皮膚感覚)を通じて、私たちに作用することが想定される森林内の温熱環境に着目する。

森林内の温熱環境については、これまでに、夏季の森林でどのような活動が望ましいのかを調べた研究(5, 6)があるが、通年を通じて検討した研究はない。そこで、本研究では、限定的に温熱環境的快適性を記述するPPD(予測不満足率)を指標として、森林内の気象要因の通年変化と温熱環境的な快適性との関係について、森林内での活動の種類という側面から検討する。

### II 研究の方法

**1. 調査地の概要** 調査対象とした森林は、長野県塩尻市片丘の長野県林業総合センター内のアカツ林である。調査日時は、2006年7月から2007年6月の各月中旬の晴天時を選んで24時間の測定をおこなった(表1)。調査地の森林内の相対照度は30.5%であり、比較的内部的に明るい森林だといえる(表2)。

**2. 調査方法** 皮膚感覚(触覚)に関する指標として「気温」、「相対湿度」、「風速」、「輻射熱」を選択し、それぞれの指標を24時間測定した。測定は、(株)京都電子工業製のアメニティーメータ(AM-101)を使用した。測定時には、AM-101の機体中央部が1.3mの高さになるように三

脚を固定し、10分ごとに自動測定をおこなった。また、冬季に寒さのため、AM-101が稼働不能であった、2007年1月および2月には、TandD社製のおんどり(TR-72U)を使用し、30分ごとに気温および相対湿度を記録した。アカツ林の林相の特徴が最も顕著な場所を選定して機材を設置した(図1)。

**3. 分析の方法** 以上の方法により記録された気象データを(株)京都電子工業製のAM-WGB計測ソフトエア(Soft-101AM)を使用してコンピュータに取り込み、まず、測定開始から24時間(以下、“全日計測”とする)の記録を全日計測データとして整理した。次に、活動に相応しいと思われる9時~16時(以下、“活動時間計測”とする)のデータを抽出して活動時間計測データとして整理した。また、各月の気象条件の下において予測される温熱環境的な不満足感を把握するため、着衣量(clo)、運動量(met)を算出し、Soft-101AMを使用して、PMV(中等度温冷感指標)およびPPD(予測不満足率)を算出した。

### III 調査の結果

#### 1. 基本的な気象データの分析結果

**(i)全日計測の結果** 図2に気温、相対湿度、輻射熱、風速の24時間の平均値、標準偏差を示す。

気温は夏季(6, 7, 8月)が高く、春季(3, 4, 5月)と秋季(9, 10, 11月)が同程度、冬季(12, 1, 2月)が最も低い。相対湿度は、秋季と冬季が最も高い。続いて夏季が高く、春季は振幅は大きい最も低い結果になった。輻射熱は、基本的に気温に比例するが、夏季と秋季は気温の方が高くなるのに対し、冬季と春季では輻射熱

Norimasa TAKAYAMA(For. and Forest Prod.Res.Inst.), Yasuhiro KOYAMA(Nagano Pref. For. Res. Ctr.), Tatsuaki OHIRA, Naoyuki MATSUI, Takahide KAGAWA(For. and Forest Prod. Res. Inst.), and Masahito FUWA(Univ. of Tsukuba)  
Relation between Annual Change of Thermal Environment and Comfortable Activity in Japanese Red Pine Forest

の方が高い。風速については、8、9、12月が低く、6、7、10月が高かったが、規則的な特徴はない。

(ii)活動時間計測の結果 図-3に気温、相対湿度、輻射熱、風速の活動時間計測の平均値、標準偏差を示す。気温は、7、8月が28°C程度と最も高く、続いて6月、秋季、春季が続く、気温が最も低いのは冬季であるが、初春の3月では冬季の値に近い。相対湿度は、秋季と冬季が最も高く、続いて夏季が高く春季は最も低い。輻射熱は、概ね気温に比例するが、活動時間測定中は気温ほど振幅がない。風速は、10月が最高で12月が最低だが、規則的な特徴はない。

## 2. 活動時間の活動の種類分析結果

(i)PMV および PPD 温熱環境の快適性の分析に用いるPMV (ISO7730) とは、1967年にFangerによって提案された、温熱環境の6要素(気温、湿度、風速、輻射熱、着衣量、代謝量)の複合効果を評価する(5)。これは中等度の温熱環境に曝された人々の温冷感段階を測定するもので、PMVから不快の程度を予測不満足率(Predicted Percentage Dissatisfied: PPD)として予測が可能である。具体的には上記の6要素から、各諸条件での我々の温冷感を-3~+3の数値で表現する(表-5)。またPMVとPPDの対応については次式によって求められる(図-4)。

$$PPD=100-95^*e^{-(0.03353^*PMV^4+0.2179^*PMV^2)}$$

(ii)着衣量および運動量 PPDの分析に用いるため、現地に精通した関係者に、各月の調査地に出かけるのに最適な服装をヒアリングし、各月の森林内での服装を想定した。さらに、各月の服装から、資料(1、3)を参照して着衣量(clo)の値を算出した(表-3)。また、年間を通して森林内でおこなう一般的な活動を選出し、資料(7)を参照して運動量(met)の値を算出した(表-4)。

(iii)PPDの算出結果 月単位で気温、相対湿度、輻射熱、風速の活動時間計測の平均値と着衣量を選択し、運動量を変数としてPPDを算出した。表-6~8に月単位の活動の種類と温熱環境的な快適性との対応を示す。

表-6は任意の温熱環境下で不満足だと感じる人が10%以下であることを意味する。すなわち、90%以上の人が満足する温熱環境であると読み替えることができる。また、表-7は80%以上の、表-8は70%以上の人が満足する温熱環境であると読み替えることができる。また、表中の○は各条件下に該当する活動を、×は該当しない活動である。

## IV. 考察

森林内の気象要因の通年変化と、温熱環境的な快適性との関係について、森林内での活動の種類という側面から、温熱環境に限定した考察をおこなった。分析の結果、調査地とした晴天時のアカマツ林では、7月、8月はPPDが30%まで考慮すると、温熱環境的な快適性からは、一部に“ゆったり歩く(2km程度)”ことが適度に望ましいとい

えるが(表-8)、本来は、“座った状態”でゆったりすることが望ましいようである(表-6)。また、PPDを30%まで考慮すると、9月から6月まで“ゆったりあるく(2km程度)”“ストレッチ”“ゆったりあるく(4km程度)”ことが温熱環境的には適度に望ましいと思われる(表-8)。

各活動が最も望ましいのは、“ゆったりあるく(2km程度)”が1、2、5、6月。“ストレッチ”が9月から5月の間。“ゆったりあるく(4km程度)”が9月から1月の間、および3、4月である(表-6)。“林内作業”などの森林内で軽い活動をおこなうには、9月から5月の間が適度に望ましい(表-8)。最も望ましいのは、10、11、12月である(表-6)。“中程度の体操”については、10月から4月の間が適度に望ましく(表-8)、最も望ましいのは、PPDが20%の10月から12月の間である(表-7)。“やや早く歩く”については、11、12月の間に適度に望ましく(表-8)、PPDが20%の11月が最も望ましい季節であるといえる(表-7)。また、調査地とした森林内では、“早く歩く”、“スキー”、“山登り”、“ランニング”などについては、通年を通じて、温熱環境的な快適性の観点からは、あまり望ましい活動とはいえないことがわかった。しかし、これらの活動を森林内でおこなうことが悪いのではなく、あくまでも温熱環境的な快適性から考えた場合にのみ、望ましくないということを意味している。すなわち、温熱環境以外の他要因との複合的な快適性については、今後の関連研究の成果と併せて考えていく必要がある。

## V おわりに

森林内の環境は天候・季節・時間などの変動要因によって変化するため常に不定であり、多数の物理指標から形成されるため複雑系でもある。しかし、このようにして通年の気象要因の変化を把握し、森林内で可能な活動と温熱環境的な快適性の関係性を記述していくことにより、具体的なプログラムの提供の時期や種類、あるいは各活動を担保した空間整備の方策を議論する資料になる。

## 引用文献

- (1) ISO(2005) Ergonomics of the Thermal Environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria., 52pp, ISO, Geneva
- (2) 総谷珠美・奥村憲・吉田祥子・高山範理・香川隆英(2007) 様々な里山景観での散策による生理的・心理的效果の差異。ランドスケープ研究 70:569-574.
- (3) 空気調和・衛生工学会(1997) 快適な温熱環境のメカニズム, 231 pp., 空気調和・衛生工学会, 東京
- (4) 朴 範鎮・平野秀樹・香川隆英・宮崎良文(2005) 生理指標を用いた森林浴の評価[5]. 日本森林学会大会発表データベース 116:111.

- (5) 高山範理・香川隆英・総谷珠美・朴範嶺・恒次祐子・大石康彦・平野秀樹・宮崎良文 (2005) 森林浴における光・温熱環境の快適性に関する研究、ランドスケープ研究 68:819-824.
- (6) 高山範理・香川隆英・恒次祐子・朴範嶺・大石康彦・総谷珠美 (2005) 中等度温冷感指標 (PMV) を用いた

- 夏季森林内外の温熱環境の測定と比較. 第56回日本森林学会関東支部大会発表論文集:21-24.
- (7) 運動所要量・運動指針の策定検討会 (2006) 健康づくりのための運動基準 2006-身体活動・運動・体力報告書., 26pp, 健康ネット (<http://www.health-net.or.jp/>)

表 - 1. 森林内の気象環境測定の概要

測定回数(月)	1回目(7月)	2回目(8月)	3回目(9月)	4回目(10月)	5回目(11月)	6回目(12月)	7回目(1月)	8回目(2月)	9回目(3月)	10回目(4月)	11回目(5月)	12回目(6月)
測定時の天候	晴れ	快晴	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り時々晴れ
測定開始日	06/7/14	06/8/10	06/9/14	06/10/10	06/11/21	06/12/18	07/1/10	07/2/15	07/3/8	07/4/12	07/5/11	07/6/25
開始時刻	16:31	8:34	16:13	8:07	9:14	9:13	8:23	16:14	15:55	7:39	16:47	7:56
測定終了日	06/7/15	06/8/11	06/9/15	06/10/11	06/11/22	06/12/19	07/1/11	07/2/16	07/3/9	07/4/13	07/5/12	07/6/26
終了時刻	15:57	9:28	16:21	8:06	7:08	7:30	7:22	16:59	16:27	7:32	16:32	9:40
測定中の9時気温	28.9℃	24℃	16.2℃	13℃	5.8℃	-0.3℃	-5.8℃	-1.5℃	-2℃	6.1℃	11.3℃	20.3℃
測定中の9時湿度	60.9%	73.2%	92.6%	91.3%	100%	99.9%	94%	64%	78%	57%	45%	83%

表 - 2. 調査地の概要

調査地の概況	測定値	単位	備考
調査面積	0.06	ha	20m×30m
推定立木密度	883.3	本/ha	
平均樹高	18.5	m	毎木調査による
平均胸高直径	26.8	cm	
推定林齢	60	年	周辺伐採木より推定
調査地内平均照度 (2006年7月14日の晴天時に測定)	16,934	Lux	5m毎35点を測定 (標準偏差) 23,839Lux
相対照度平均			(標準偏差) 6.08%
	30.45	%	5m毎35点の全天球写真より算出



図 - 1. 調査地と測定の様子

表 - 3. 森林内の活動に相応しい服装と着衣量

調査月	相応しい服装	着衣量(clo)
7月(2006)	薄い長袖+長ズボン	0.4
8月	薄い長袖+長ズボン	0.4
9月	薄い長袖+長ズボン	0.4
10月	長袖シャツ+長ズボン	0.5
11月	薄手のジャンパー+長ズボン	1
12月	防寒ジャンパー+長ズボン	2
1月(2007)	防寒ジャンパー+厚手の長ズボン+防寒靴	2.55
2月	防寒ジャンパー+厚手の長ズボン+防寒靴	2.55
3月	防寒ジャンパー+長ズボン	2
4月	薄手のジャンパー+長ズボン	1
5月	薄手のジャンパー+長ズボン	1
6月	長袖シャツ+長ズボン	0.5

※文献(7, 3)を参考に作成

表 - 4. 活動の種類と運動量

森林内で可能な活動の種類	運動量(met)
何もしないで座った状態	1
ゆったり歩く(50m/分)	1.9
ストレッチ	2.5
ゆったり歩く(70m/分)	2.8
軽い林内作業	3
中程度の体操	3.5
やや早く歩く(94m/分)	3.8
早く歩く(107m/分)	5
スキー	7
山登り	7.5
ランニング(134m/分)	8

※文献(7)を引用

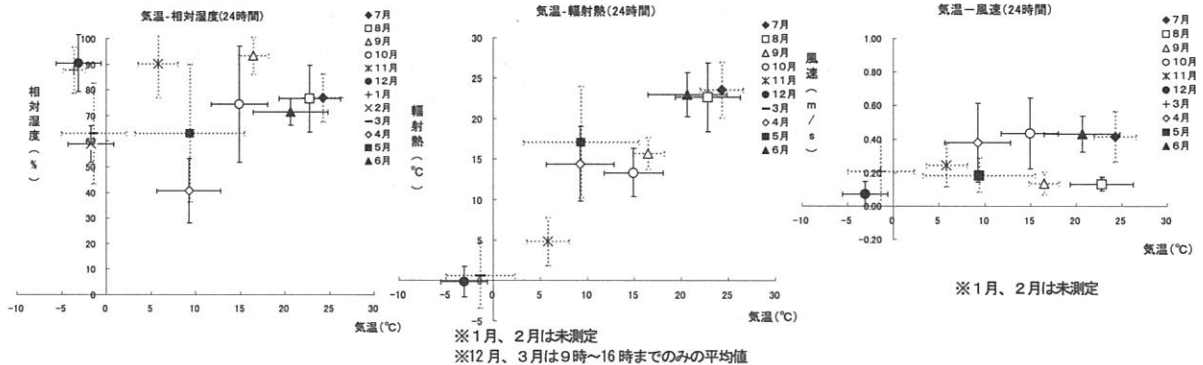
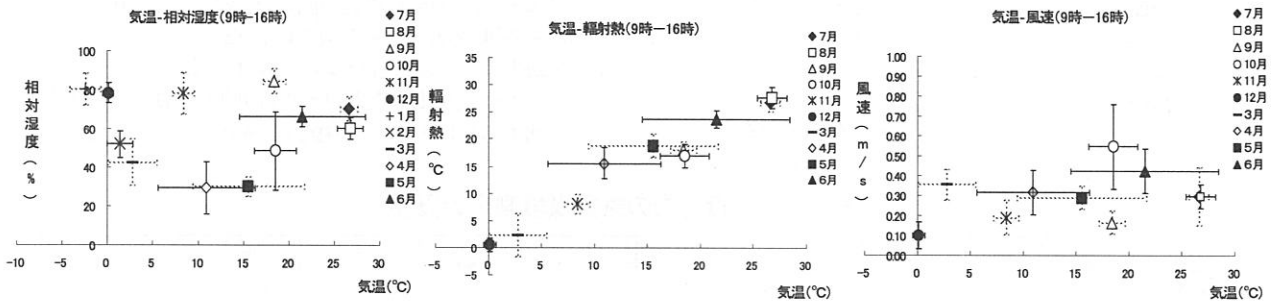


図 - 2. 各気象要因(全日計測)の集計結果



※ 1月、2月は未測定  
 図 - 3. 各気象要因 (活動時間計測) の集計結果

表 - 5. PMV の値と温冷感段階

-3	-2	-1	0	1	2	3
寒い	涼しい	やや涼しい	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	暑い

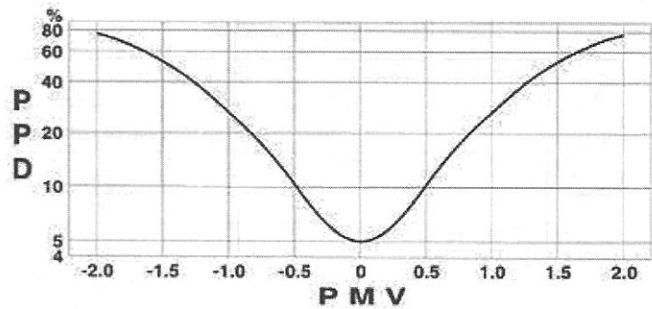


図 - 4. PMV と PPD の対応関係

表 - 6. 各月の温熱環境的に快適な活動 (PPD:10%以下)

予測不満足率(10%以内)met値	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
座った状態	1	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ゆったり歩く(2km程度)	1.9	×	×	×	×	×	×	○	○	×	×	○
ストレッチ	2.5	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ゆったり歩く(4km程度)	2.8	×	×	○	○	○	○	×	×	○	○	×
林内作業	3	×	×	×	○	○	○	×	×	○	○	×
中程度の体操	3.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
やや早く歩く	3.8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
早く歩く	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
スキー	7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
山登り	7.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
林業	8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

※ 1月、2月は輻射熱0°C、風速0.28(2006年7月~12月、2007年3月~6月の平均値)を用いて仮想的に算出

表 - 7. 各月の温熱環境的に快適な活動 (PPD:20%以下)

予測不満足率(20%以内)met値	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
座った状態	1	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ゆったり歩く(2km程度)	1.9	×	×	○	×	×	×	○	○	○	○	○
ストレッチ	2.5	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ゆったり歩く(4km程度)	2.8	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
林内作業	3	×	×	○	○	○	○	×	×	○	○	×
中程度の体操	3.5	×	×	×	○	○	○	×	×	○	○	×
やや早く歩く	3.8	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×
早く歩く	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
スキー	7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
山登り	7.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
林業	8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

※ 1月、2月は輻射熱0°C、風速0.28(2006年7月~12月、2007年3月~6月の平均値)を用いて仮想的に算出

表 - 8. 各月の温熱環境的に快適な活動 (PPD:30%以下)

予測不満足率(30%以内)met値	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
座った状態	1	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ゆったり歩く(2km程度)	1.9	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ストレッチ	2.5	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ゆったり歩く(4km程度)	2.8	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
林内作業	3	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×
中程度の体操	3.5	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×
やや早く歩く	3.8	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×
早く歩く	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
スキー	7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
山登り	7.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
林業	8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

※ 1月、2月は輻射熱0°C、風速0.28(2006年7月~12月、2007年3月~6月の平均値)を用いて仮想的に算出