

森林のもつ休養機能の評価に関する研究（第1報）

—— 空間環境の違いが心拍数の増加率と回復率に及ぼす影響 ——

山崎 忠久・飛岡 次郎

三重大学生物資源学部

Studies on the Evaluation of Recreational Functions of Forests (I)

—— The Effect of Different Environments on the Increase
of Heart Rate and the Heart Rate of Recovery ——

Tadahisa YAMAZAKI and Jiro TOBIOKA

Faculty of Bioresources, Mie University

Summary

In order to investigate the influence of different environments on human physiological functions, we tried an experiment with a bicycle ergometer. The heart rate (HR) of the subjects was measured as a physiological indicator at five different stages of exertion.

Through the examination of the increasing HR and the HR of recovery we found that there were significant environmental differences, and that the natural environments such as the forest or seaside had a less increased HR in the movement and a higher HR of recovery at a state of rest than places such as inside room or on campus.

Key words: forest・recreational function・evaluation・physiological method・heart rate

ま え が き

近年の国民の森林に対する期待は、木材供給の場としての役割のほか、国土の保全、水資源のかん養、スポーツ・文化・教育・休養の場としての森林の総合利用など、ますます多様化しつつあり、国の施策のなかにも林業生産に関する事項のほか森林のもつ公益的機能の維持増進に関する事項が盛り込まれている¹⁾。

森林のもつ多面的な機能のうち、公益的機能や厚生の機能の評価・解析、騒音減衰効果や森林浴の効果などの調査・研究も実施されている²⁻⁵⁾が、森林を心身を休め

新しい活力を得るための場、すなわち休養の場として利用する場合の森林の効用についての研究報告はほとんど見られない。しかし、今後は森林をこのような休養の場として利用する機会が増加するものと予想されるので、この分野における研究の必要性も増大するものと思われる。

本研究は、森林を休養の場として利用する場合の森林のもつ快適性を計量化するのに必要な一つの基礎資料を得ることを目的として、異なる環境下で一定量の運動負荷を与えた被験者の生理的機能を測定・評価し、それぞれの環境の違いが人間の生理的機能にどのような影響を及ぼすか、すなわち緑の有無、緑の質的な相違によって疲労の程度、回復の程度に差が生じるかどうかを明らか

にすることを意図して実施したものである。詳細な実験・検討は今後に予定しているが、森林や海岸のような自然環境は室内環境に比べて心拍数の変化という人間の生理的機能の変化に良い影響を及ぼすと考えられる結果が得られたので、その概要を報告する。

研究 方 法

休養の場としての森林環境を形成している要因には気温、湿度、風のような気象因子のほかに標高、樹種など数多くの因子が考えられるが、これら諸因子と生理的反応については別途に検討を進めることとし、本報では、

トータルとしての森林、海岸、室内というような環境の違いによって人間の生理的機能に差異が生じるか、すなわち森林は人間の生理的機能の変化にどのような影響を及ぼすかを明らかにするために、以下の方法により実験を行った。人間の生理的機能を測定する指標には、運動時や静止時の測定が簡単で、作業負荷に応じて変動する心拍数を用い、運動前、運動中および運動後の心拍数を連続測定し、運動中および運動直後の心拍数増加率と運動終了後の回復率を算出し、環境の違いによる影響を検討することとした。

なお、心拍数の増加率と回復率はそれぞれ(1)、(2)式により求めた。

$$\text{運動時または運動終了時の心拍数増加率} = \frac{\text{運動時または運動終了時心拍数} - \text{運動前心拍数}}{\text{運動前心拍数}} \times 100 \quad \cdots(1)$$

$$\text{運動終了後ある時間経過時の心拍数回復率} = \frac{\text{運動終了時心拍数} - \text{運動終了後ある時間経過時の心拍数}}{\text{運動終了時心拍数} - \text{運動前心拍数}} \times 100 \quad \cdots(2)$$

この増加率と回復率は、たとえば増加率50%といえは運動前心拍数の50%にあたる心拍数が運動のために増加したことを意味し、回復率50%とは当該時間までに運動により増加した心拍数の50%にあたる心拍数が回復したことを意味していることになる。

心拍数増加率は一般に、立位、座位、臥位のいずれかで測定された安静時心拍数を分母にとり求められるが、安静時心拍数は被験者の体力、体調、周囲の環境条件、生体リズムなどにより微妙に変化するから、どの状態を安静時の心拍数とするかは難しい⁶⁾。そこで本研究では、同一負荷運動に要した心拍数を求め、当該運動により増加した心拍数がどのような経過で回復してゆくかを見る目的から、運動前心拍数を用いることとした。

1. 実験の条件

環境の異なる場所として、大学の研究室内と校舎に囲まれた中庭、大学附属演習林内のスギ人工林に囲まれた宿舎前広場と天然生林内の歩道および大学東側に隣接する海岸の砂浜の5箇所を設定した。それぞれの場所における実験の条件は表-1に示すとおりである。また、被験者は年齢差による影響を排除する目的から、表-2に示す学生4名とした。

2. 測定方法

異なった環境で、一定量の、同一の運動を行い、当該被験者の心拍数を測定する場合、どのようにして一定量の運動を負荷するかということが問題となる。本研究ではT社製の自転車エルゴメータを2台用い、ペダル回転負荷 1.5 kg・m でペダル回転数を1分当り55回転とするよう被験者に指示し、実験を行った。実験に使用したエルゴメータはコンピュータ内蔵の自転車型トレーニングマシンとして市販されているもので、被験者の年齢に応じて上限脈拍数(200-年齢)がセットされ、それをこえて危険な脈拍数になったとき、警告ブザーが鳴り、コンピュータが自動的にペダルの回転負荷を最低(0.5 kg・m)として、トレーニングする人の安全を守る設計となっている。

ペダル回転負荷の1.5 kg・mは、予備実験により、被験者のうち、体力的に劣っていると考えられる女性の運動時心拍数が上記の上限脈拍数をこえない限度の負荷強度として選び出されたものである。

また、ペダル回転数については取扱説明書に、45～100 RPMの範囲でトルクはほぼ一定であるが、50～59回転を保つようにペダルを踏むことが示され、回転数がこの範囲をはずれるとペダル回転数の数字が点滅し、警告する設計となっているところから、目標回転数を55

表-1 実験の条件

実験場所	実験年月日	実験日の 14時現在の 気温 (°C)	風の 有無	実験場所の環境
研究室内	昭和62.10.26 10.28	18.5 20.0	無 無	{ 建物内1階の広さ 22.4 m ² , 2方コンクリート壁, 1方合板壁で残りの壁面に 235×172 cm のガラス窓 あり
校内中庭	62.10.27	21.0	無	{ 三方を鉄筋コンクリートの建物に囲まれ、ところど ころ築山のある広さ 1800 m ² の中庭
林内広場	62.11.18	13.5	無	{ 65年生スギ人工林に囲まれた宿舎前広場、海拔高 513 m (9林班ろ小班)
林内歩道	62.11.18	13.5	無	{ モミ、ツガ、アセビ、ヒサカキ、ミズナラ、カエデ 類を主とする針広混交天然生林内の歩道上、海拔高 580 m (11林班ろ小班)
海岸砂浜	62.11.26	14.5	微風	{ クロマツの林が点在する波の静かな海岸の砂浜、海 抜 2m

表-2 被験者

被験者	年齢	性別	身長 (cm)	体重 (kg)	胸囲 (cm)
I	21	男	166.3	62.6	86.5
O	21	男	166.4	63.2	94.0
T _S	23	男	173.0	65.2	84.5
T _A	20	女	164.9	53.9	82.0

RPM とした。

心拍数は通常心電図から1分間当りの拍動数として求められるが、本実験では心電図は使用せず、エルゴメータ附属の脈拍センサーを耳たぶに装着して、運動中および静止中の脈拍を計測し、経過時間、ペダル回転数、運動負荷量とともに30秒間隔でプリンタにより印字させるものを用いた。

実験は、まず、被験者に合った姿勢になるようにハンドルとサドルの高さと角度を調節し、負荷運動に入るまえにサドルに座り、安静状態を数分間保ち、脈拍の安定した時点で、運動前心拍数を測定した。その後、上記の負荷運動を9分間連続して行い、負荷運動終了後はただちに休息したが、休息はあらかじめエルゴメータ近くに準備した椅子の上で行い、休息10分で1測定を終了することとした。負荷運動時間は、供試エルゴメータを用いて体力テストモードにより、体力レベルの評価を行う場合の運動時間である9分間とし、休息時の心拍数測定の対象時間は、予備実験において回復の早い人は5分前後

で運動前心拍数の値に戻ったが、回復の遅い人は10分程度必要であったことから負荷運動終了後10分間とした。

なお、今回の実験では、運動を急に中止すると脳貧血などを起こすことがある⁷⁾とされているので、負荷運動終了後の約30秒間は被験者にとって負担とならない範囲でクーリングダウンとしてペダル回転数 15~25 RPM の運動を取り入れた。

また、エルゴメータのハンドルポスト上部に取りつけられた操作ユニットの液晶パネル部にペダル回転数、脈拍数などの表示が出るが、被験者にはペダル回転数の表示のみ見えるよう、上部をカバーして実験を行った。

結果と考察

一般に心拍数は運動開始とともに上昇し、負荷量が小さい時はある経過時からほぼ一定で推移するが、負荷量が大きいた時は時間経過とともに上昇を続け、運動終了時から減少を開始し、時間の経過とともに運動前心拍数に近づいていく。

記録紙上に印字された30秒間隔の脈拍数のデータをもとに、実験場所、被験者ごとに、負荷運動終了時心拍数増加率と負荷運動中の平均心拍数増加率および負荷運動終了後30秒ごとの回復率を求めた。表-3は、各被験者の実験場所ごとの上記増加率と回復率のうち、環境の違いが心拍数の増加率と回復率に及ぼす影響をみるために、運動中の平均心拍数増加率、運動終了時の心拍数増加率、運動終了後6分経過時点の回復率および運動終了後9.5

分経過時の回復率を示したものである。ここで、回復率について、運動終了後6分経過時と運動終了後9.5分経過時のものを示したのは、負荷運動終了後クーリングダウンとしての運動を約30秒間取り入れたため、エルゴメータから椅子に移って、座位による安静をとり始めて回復の比較的早い人が運動前心拍数に戻るのに必要な5分が経過するのが負荷運動終了後6分経過時となること、休息終了時の10分経過時の心拍数のなかには測定終了を知らせるブザーの音に驚き、30秒前の心拍数よりかなり大きな値となっている被験者も見られたところから30秒前の9.5分経過時の回復率を比較検討することが有効と考えたからである。

場所により、被験者により種々な値がみられるが、同一の運動負荷であるため、心拍数増加率は体力的に劣る女性被験者 (T_A) の値が各実験場所で最も大きく、鍛練者である野球部所属の被験者 (I) の値が各実験場所で小さい。被験者4名の平均値では、運動時の増加率と運動

終了時の増加率は研究室内を1.00とした場合、戸外では約0.8で、仕事の負荷量によって異なることが考えられるが、同一の仕事を実行した場合の心拍数増加率は、室内に比べて約20%小さい結果となった。また、回復率についても、被験者により回復率の差がみられるが、4名の平均値では研究室内<校内中庭<林内広場<林内歩道・海岸砂浜となり、実験場所により回復率に差があるように思われる。

そこで、被験者間および実験場所間で、心拍数増加率や回復率に差があるかどうかをみるために分散分析を行った。結果は表-4のとおりで、運動時増加率、運動終了時増加率および運動終了後6分経過時回復率は被験者間には1%水準で、場所間すなわち環境の違いにより5%水準で、また、運動終了後9.5分経過時の回復率は被験者間には5%水準で、環境の違いによっては1%水準で、それぞれ差がある結果となった。

さらに、数量化I類の方法により、心拍数増加率と心

表-3 環境の違いが心拍数の増加率と回復率に及ぼす影響

被験者 実験場所	運動時平均心拍数増加率 (%)					運動終了時心拍数増加率 (%)				
	I	O	T_S	T_A	平均	I	O	T_S	T_A	平均
研究室内	44.9 (1.00)	75.5 (1.00)	103.4 (1.00)	100.8 (1.00)	81.2 (1.00)	47.5 (1.00)	86.9 (1.00)	124.7 (1.00)	132.0 (1.00)	97.8 (1.00)
校内中庭	41.4 (0.92)	63.7 (0.84)	75.9 (0.73)	83.4 (0.83)	66.1 (0.81)	47.1 (0.99)	61.6 (0.71)	95.1 (0.76)	100.0 (0.76)	76.0 (0.78)
林内広場	43.5 (0.97)	67.1 (0.89)	78.9 (0.76)	89.0 (0.88)	69.6 (0.86)	48.7 (1.03)	73.6 (0.85)	95.9 (0.77)	105.4 (0.80)	80.9 (0.83)
林内歩道	40.0 (0.89)	59.1 (0.78)	65.0 (0.63)	98.8 (0.98)	65.7 (0.81)	43.0 (0.91)	68.9 (0.79)	79.6 (0.64)	111.6 (0.85)	75.8 (0.78)
海岸砂浜	45.3 (1.01)	61.1 (0.81)	70.9 (0.69)	75.1 (0.75)	63.1 (0.78)	51.3 (1.08)	72.6 (0.84)	84.6 (0.68)	92.6 (0.70)	75.3 (0.77)

被験者 実験場所	運動終了後6分経過時回復率 (%)					運動終了後9.5分経過時回復率 (%)				
	I	O	T_S	T_A	平均	I	O	T_S	T_A	平均
研究室内	95.5 (1.00)	59.8 (1.00)	74.8 (1.00)	73.7 (1.00)	76.0 (1.00)	100.5 (1.00)	78.1 (1.00)	76.0 (1.00)	73.7 (1.00)	82.1 (1.00)
校内中庭	112.5 (1.18)	64.4 (1.08)	87.0 (1.16)	90.4 (1.23)	88.6 (1.17)	105.0 (1.04)	82.2 (1.05)	87.0 (1.14)	97.6 (1.32)	93.0 (1.13)
林内広場	112.0 (1.17)	85.5 (1.43)	96.0 (1.28)	84.9 (1.15)	94.6 (1.24)	114.9 (1.14)	91.1 (1.17)	96.3 (1.27)	88.6 (1.20)	97.7 (1.19)
林内歩道	117.6 (1.23)	85.9 (1.44)	111.6 (1.49)	87.8 (1.19)	100.7 (1.33)	108.8 (1.08)	103.3 (1.32)	116.6 (1.53)	92.0 (1.25)	105.2 (1.28)
海岸砂浜	97.5 (1.02)	93.3 (1.56)	107.3 (1.43)	81.3 (1.10)	94.9 (1.25)	105.0 (1.04)	111.1 (1.42)	114.5 (1.51)	97.3 (1.32)	107.0 (1.30)

() 内の数値は研究室内の値を1.00としたときの他の場所の値である。

表-4 分散分析表

要 因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	
運動時 平均心拍数 増加率	被験者間	6009.904	3	2003.301	34.119**
	場 所 間	807.443	4	201.861	3.438*
	残 差	704.581	12	58.715	
	計	7521.928	19		
運動終了時 心拍数 増加率	被験者間	10800.894	3	3600.298	42.002**
	場 所 間	1467.593	4	366.898	4.280*
	残 差	1028.599	12	85.717	
	計	13297.086	19		
運動終了後 6分経過時 回復率	被験者間	2523.472	3	841.157	11.115**
	場 所 間	1418.893	4	354.723	4.687*
	残 差	908.103	12	75.675	
	計	4850.468	19		
運動終了後 9.5分経過時 回復率	被験者間	820.008	3	273.336	3.744*
	場 所 間	1624.052	4	406.013	5.561**
	残 差	876.192	12	73.016	
	計	3320.252	19		

**：1%水準で有意，*：5%水準で有意。

拍数回復率を外的基準として、これらを被験者、場所、運動前心拍数、運動強度の4要因で説明し、範囲や偏相関係数を用いて各要因の影響の大きさを調べた。結果は表-5のとおりである。なお、運動前心拍数と運動強度についてのカテゴリ区分は、平均値と標準偏差を用いて区分点を決定した。各要因の影響の大きさを示す範囲や偏相関係数は、運動時や運動終了時の増加率を外的基準とした場合には被験者、運動前心拍数、場所、運動強度の順で小さくなり、回復率を外的基準とした場合は場所、被験者が大きく、運動前心拍数、運動強度は小さい。いずれの場合も運動強度の影響は最下位となったが、これは、ペダル回転数を1分当り55回転と指示したことにより、各被験者の負荷運動中の平均運動強度は85.6ワットと82.5ワットの間の値となり、運動強度に大きな差が生じなかったことによるものと考えられる。

場所の要因について、心拍数の増加率や回復率への影響をみると、運動時と運動終了時心拍数増加率を外的基準とした場合の各カテゴリに付与する数量は研究室内のカテゴリが最も大きく、校内中庭、林内、海岸砂浜の順に小さくなっている。このことは、林内や海岸のような自然環境の場における運動時の心拍数増加率は同一の運

動を研究室内や校内中庭のような限られた空間内で実施した場合の心拍数増加率に比べて低くなることを意味する。また、運動終了後の回復率に関して各カテゴリに付与する数量は林内歩道および海岸砂浜が大きく、次いで林内広場、校内中庭、研究室内の順となっている。このことも同様に、林内や海岸のような自然環境の場では回復率が高く、校内中庭や研究室内では回復率が低いことを意味する。

以上の結果から、森林内、海岸、校内中庭、研究室内というような環境の違いが心拍数の変化という人間の生理的機能の変化に影響を及ぼすものと考えられ、森林や海岸のような自然環境は、研究室内や校内中庭などの環境に比べて運動による心拍数増加率が低く、運動終了後の心拍数回復率も高いので、人間の生理的機能の変化に良い影響を与えるものと考えられる。

おわりに

空間環境の異なった場所において、運動負荷実験を行い、心臓機能の変化を心拍数の測定により求め、環境の違いが人間の生理的機能にどのような影響を及ぼすかを

表-5 数量化第Ⅰ類による分析結果

要 因	カテゴリ分け	例数	Y ₁ 運動終了時 心拍数増加率			Y ₂ 運動終了後 6分経過時回復率		
			カテゴリに 付与する 数量	範囲	偏相 関係数	カテゴリに 付与する 数量	範囲	偏相 関係数
X ₁ 被験者	I	7	-24.419			18.134		
	O	8	-24.351	56.856	0.961**	-14.711	32.845	0.792**
	T _S	8	17.337			2.049		
	T _A	7	32.437			-3.664		
X ₂ 場所	研究室内	7	12.349			-16.050		
	校内中庭	4	2.041			-0.745		
	林内広場	8	-3.517	24.549	0.747**	3.306	26.396	0.795**
	林内歩道	7	-2.571			10.346		
	海岸砂浜	4	-12.170			4.114		
X ₃ 運動前心拍数 (回/分)	-69.4	10	13.804			5.496		
	69.5-76.4	10	-2.958	24.650	0.820**	-4.167	9.663	0.443*
	76.5-	10	-10.846			-1.329		
X ₄ 運動強度 (ワット)	-84.01	10	0.240			1.296		
	84.02-84.73	11	-5.624	12.231	0.568**	2.189	6.305	0.312
	84.74-	9	6.607			-4.116		
			重相関係数		0.964**	重相関係数		0.898**
			定数項		82.17	定数項		90.74

**：1%水準で有意，*：5%水準で有意。

検討した。

本研究は、まだその第1歩を踏み出したばかりであり、上記の実験結果も被験者が4名のみのものであるため、今後さらに被験者の数を増やしてこの結果を確認していく必要がある。また、研究室内における心拍数増加率が極端に高くなっている被験者がみられたが、この原因については不明であるため、今後の検討課題とする。同時に、負荷運動終了後の安静時心拍数を椅子上の座位の姿勢により測定を行ったことにより、負荷運動前のサドル上の座位による安静値に比べて低くなったため、運動終了後の回復率が100%をこえる場合も出現したので、安静時の心拍数の測定方法についても検討することとした。さらに、気温、湿度、風の有無、季節、騒音の影響、樹種、標高などにより環境条件が異なったものとなることから、これらについても検討項目に加えるとともに、被験者の年齢層の違い、運動負荷量などについても考慮する必要があると考え、引き続き検討を行うことにして

いる。

最近、緑とのふれあいやアウトドアの健康的な活動への欲求が高まりをみせていることから、今後はレクリエーションの種類をも考慮して、心拍数だけではなく血圧その他の生理的機能の変化などについても測定し、森林環境を休養の場として利用する場合に必要な基礎資料の計量化をめざした研究をすすめたいと考えている。

本研究を進めるにあたり、実験に協力いただいた伊藤文貴氏をはじめ、被験者として協力いただいた学生諸氏に謝意を表する。

引用文献

- 1) 林野庁編. 林業白書—昭和62年度—. 日本林業協会, p. 1-244 (1988).
- 2) 岩崎輝雄. 森林の健康学. 日本林業技術協会, p. 1-203 (1986).
- 3) 前崎武人, 鈴木 熙, 鈴木悌司. 森林の騒音減衰効

Y ₃ 運動終了後 9.5分経過時回復率			Y ₄ 運動時平均 心拍数増加率		
カテゴリに 付与する 数量	範囲	偏相 関係数	カテゴリに 付与する 数量	範囲	偏相 関係数
6.981 1.221 -2.148 -5.921	12.902	0.544**	-17.703 -19.381 13.374 24.569	43.950	0.962**
-13.012 -6.286 2.802 6.951 11.289			8.426 4.334 -2.915 -0.169 -12.955		
-0.716 -4.961 5.678			10.638 0.057 -10.695		
-0.266 5.388 -6.291			-3.967 -3.475 8.655		
重相関係数	0.878**		重相関係数	0.967**	
定数項	96.54		定数項	70.25	

果について. 第84回日本林学会大会講演集, p. 421-423 (1973).

- 4) 宮林茂幸. 森林の厚生の機能の評価に関する研究 (Ⅲ). 第89回日本林学会大会発表論文集, p. 47-50 (1978).
- 5) 西沢正久, 関屋雄偉, 長 正道, 井原直幸. 森林の公益的機能と林分構造の関係解析 (V). 第88回日本林学会大会発表論文集, p. 67-68 (1977).
- 6) 山地啓司. 運動処法のための心拍数の科学. 大修館書店, p. 1-308 (1981).
- 7) 池上晴夫. 運動処方—理論と実際—. 朝倉書店, p. 1-260 (1982).