

「登山の生理学的研究」

凍死の研究 I

石 黒 国 雄

I 序

近年の登山人口の増加は目覚ましいものがあり四季を通じて1千万人、延1億5千万人もの人々が登山をおこなっている。こうした登山人口の増加につれて、傷ましい山の遭難者も激増し後を絶たない現状である。このような遭難の原因には不慮と思われる事故もあると思われるが多くの無理な行動や、常識を逸脱した行動によってひき起こされる場合が多いといわなければならない。従ってもっと合理的な登山のあり方を検討し、事故のない、安全な登山を計画し実施すべきであろう。

筆者はこうした見地より登山が人体に及ぼす影響について、主として生理学的な面より研究を進めてきた。現在まで登山の生理学的研究の一環として、登山をおこなった場合の入山日数に伴う呼吸数、心拍数の変化や、登攀時のスピードと心拍数の関係などから、高地(3000m)における呼吸循環系機能の状態を把握し、一方ガス分析により登攀勾配、背負うリックの重量などのエネルギー代謝の測定をおこなうとともに、平地と高地とでハーバード、ステップ、テストを実施し、その結果やガス分析の成績から高地馴化についての検討をおこなってきた。

そこで今回は近年の山岳遭難の中でも大きな数を占め、幾多の尊い生命が失なわれている、凍死について研究を進めたいと思う。

凍死については柳壮一氏による寒さの人体に及ぼす影響、吉本寿人氏等の低温麻醉法の研究、脇坂順一氏等の高度と寒気の血液に及ぼす影響など数多くの研究報告がなされているが、登山による凍死についての、根本的な研究報告は見あたらない。そこで筆者は登山によっておこる凍死の問題を分析し、その原因を追究しよ

うと思い本実験をおこなった。

そこで今日の登山による凍死の原因を考察してみると、第1には暖房器具の進歩、普及により寒さに対する抵抗性が薄れていることが挙げられよう。第2には交通機関の進展に伴い日常生活でも歩くことが少くなり、登山に必要な体力、脚力を鍛える機会が減少していることや、交通網の開発に伴い山岳でもだんだんアプローチが短縮される傾向があり、短時間で2,500m以上の高地や寒冷地に至るために、山岳特有の様々な異状環境に身体が適応できないことも事故を多くしている原因であろうと思われる。

従って今回の実験では、低温下における風速、雨や汗による体の水ぬれ、疲労などの凍死を促進させる条件や、低温に対する抵抗性などの予防法について、生理学的な面よりマウスを用いて実際に凍死させ、凍死に要した時間の比較をおこなうと同時に、今一つは寒冷という異状環境に打ち勝つために、我々の体に様々な適応反応(防衛反応)がおこり、身体各部の調節がなされ平衡が保たれて異状環境に適応し、馴化されていることから、その重要な役割を演ずる副腎をとりあげ、その重量の比較や、皮質の変化を究明する目的で本実験をおこなった。

実験の内容としては下記のような項目について実験をおこなったので報告する。

A 寒冷に対する抵抗性についての研究。

- 1 温度差飼育(30℃, 20℃, 10℃)による変化。
- 2 低温飼育(10℃, 5℃)による飼育日数の経過に対する変化。
- 3 温度差飼育(20℃, 10℃)における身体トレーニングの影響。

B 凍死を促進させる条件についての研究。

- 1 低温における風の影響。

- 2 低温における体の水ぬれによる影響。
- 3 低温における体表の一部の毛を除去した場合の影響。

なお本実験を御指導いただきました東京教育大学、杉 靖三郎先生、田中英彦先生に心より感謝の意を表します。

II 実験対象及び実験年月日、実験器具

1 実験に使用したマウス。

40日飼育の実験用 dd 系、雄マウスをもちい飼育状態を統一するために7日間20℃で飼育した後実験をおこなった。

飼料は日本クレア製、マウス飼育用固形完全配合飼料を用いた。

2 実験年月日

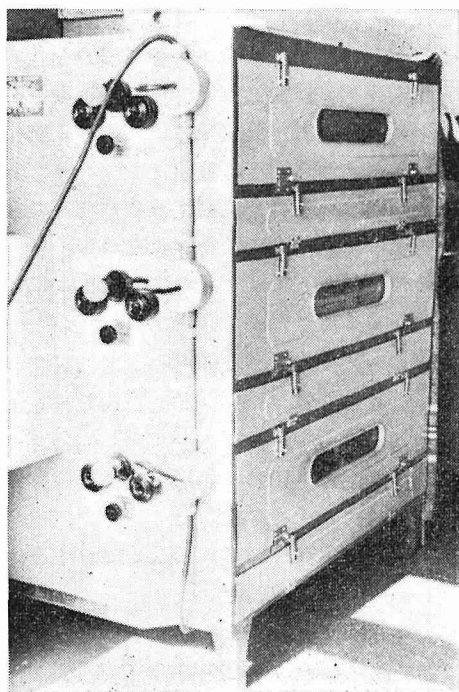
1965年1月10日より1967年1月10日まで。

3 実験器具及び装置

a バタリー育雛器

温度差飼育をするために写真1のようなゼンケン園製バタリー育雛器を用いた。バタリー育雛器はサーミスターによって、外気温より高い20℃、30℃の恒温状態が保たれるために実験にもちいた。

写真1 バタリー育雛器



b 低温恒温室

10℃、5℃などの低温飼育用として実験室に三菱製冷凍器と電熱器を取付け、サーミスターによって一定の温度が得られる部屋を試作して使用した。

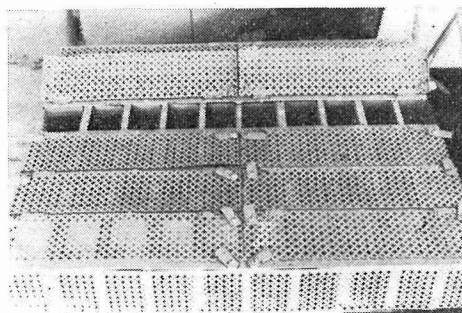
c 冷凍ショーケース

マウスを凍死させるために三菱製冷凍ショーケースを用い、庫内温度を-15℃及び-20℃にして使用した。

d マウス個別飼育箱

マウスを個別に飼育するために写真2のような鉄製の個別飼育箱を試作して使用した。

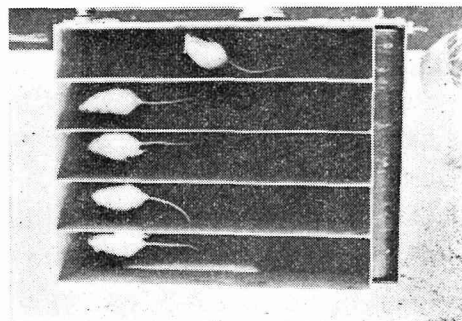
写真2 マウス個別飼育箱



e マウストレーニング用トレッドミル

マウスをトレーニングさせるために写真3のようなトレッドミルを試作して使用した。走行するスピードは20m/min, 24m/min, 28m/min が得られるようにプーリーで調整できるようにした。

写真3 マウス用トレッドミル



f トーションバランス

副腎の重量を計測するためにトーションバランスをもちいた。

Ⅲ 実験方法及び実験結果と考察

A 寒冷に対する抵抗性についての研究

1 温度差飼育 (30℃, 20℃, 10℃) による変化。

バッテリー育雛器及び低温恒温室をもちいて、マウスの高温での飼育温度を30℃, 適温での飼育温度を20℃, 低温での飼育温度を10℃として

それぞれ選び、庫内温度を一定にし、10日～12日間飼育したのち、庫内温度を-15℃にした冷凍ショーケースに入れて凍死させ、そのときの凍死時間 (死亡の判定は戸外上部より観察して呼吸の全く停止したときをもって死亡とした), 副腎の重量, 体重を計測して比較した。結果は表1, 図1に示すとおりである。

表1 10℃, 20℃, 30℃飼育における凍死時間, 副腎重の比較

項目 飼育温度 N X σ	凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100(%)		
	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
30℃	11	60'16"	7.5'	10	11.17	2.17	11	22.75	3.68	10	0.049	0.0083
20℃	9	61'57"	9.5'	8	10.43	1.45	9	21.66	2.59	8	0.047	0.0112
10℃	10	200'51"	60.7'	9	13.84	2.88	10	22.01	2.23	9	0.064	0.0097

図1 10℃, 20℃, 30℃飼育における凍死時間, 副腎重の比較

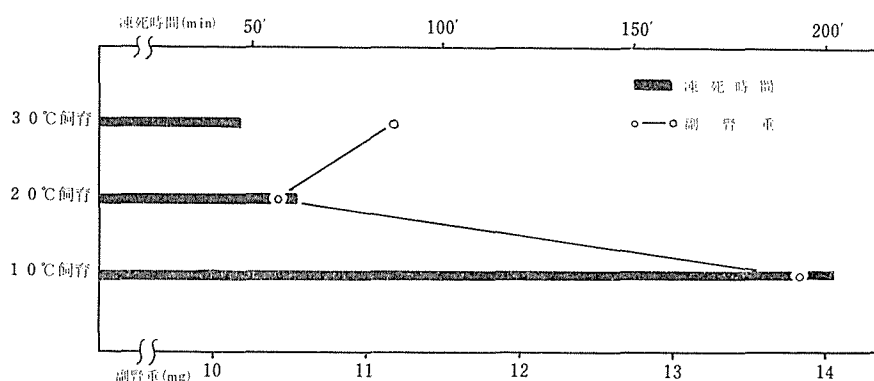


表1, 図1を考察すると, 凍死時間については, 30℃の高温飼育のマウスでは46分16秒であるのに対し, 20℃の適温飼育のマウスでは61分57秒とやや凍死時間が延長し, 10℃の低温飼育のマウスでは 200分51秒と, 30℃飼育マウスの4.3倍, 20℃飼育マウスの 3.24倍と著しい凍死時間の延長を示した。またこの三者の間の差の検定をおこなったところいづれも 0.5%の危険率で有意の差が認められた。

副腎の重量及び比体重を算出しても凍死時間と同様の結果を得た。但し30℃の高温飼育マウスが, 20℃の適温飼育マウスに比し大きな値を示したことは, 暑さに対する抵抗性ができたためと推測される。

このように低温での飼育マウスの凍死時間の延長がみられたことは, 凍死という現象が身体を寒冷中に曝すことによって, 抵抗性ができ, それが凍死時間の延長をきたし, 凍死を防止するのに重要なファクターとなっていることを意味するものである。

2 低温飼育 (10℃, 5℃) による飼育日数の経過に対する変化

1 の実験の結果より低温での飼育マウスが寒さに対して抵抗性ができる結果を得たので, 今度はその寒さに対する抵抗性が飼育日数の経過とどのような関係にあるかについて実験をおこなった。

実験方法としては, 通常マウスの最低飼育温

度といわれる10℃に1群を飼育し、他の1群を寒冷飼育限界と思われる5℃に飼育し、0日目（コントロール）より毎日数匹ずつ取り出し、-20℃の冷凍ショーケースに入れ凍死させた。そしてそのときの凍死時間、副腎の重量、副腎のプレバラート（ヘマトキシリン・エオジン重

染色法による。）を作製し組織を比較した。

1 10℃（最低飼育温度）飼育マウスの飼育日数別変化の比較

a 凍死時間についての比較

飼育日数別の凍死時間についての結果は表2

図2のとおりである。

表2 10℃飼育マウスの飼育日数の経過に対する凍死時間、副腎重等の比較

飼育日数		0日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
凍死時間 (min)	N	7	7	7	7	7	7	7	7
	$\bar{X}$	60'23"	69'56"	87'37"	79'04"	88'30"	91'34"	91'30"	75'53"
	σ	11.09'	16.76'	22.28'	14.32'	20.72'	29.40'	25.83'	14.32'
副腎重 (mg)	N	7	7	7	7	7	7	7	7
	$\bar{X}$	6.14	6.71	7.00	6.86	7.71	8.00	7.50	7.07
	σ	0.63	0.51	0.37	0.69	1.03	0.75	0.84	0.62
体重 (g)	N	7	7	7	7	7	7	7	7
	$\bar{X}$	16.44	16.94	17.53	17.09	17.70	17.07	17.04	16.94
	σ	1.28	1.91	1.04	1.38	1.22	0.94	1.66	0.63
副腎重 体重 ×100(%)	N	7	7	7	7	7	7	7	7
	$\bar{X}$	0.0371	0.0397	0.0400	0.0402	0.0435	0.0468	0.0443	0.0418
	σ	0.0039	0.0050	0.0030	0.0095	0.0045	0.0034	0.0051	0.0034
飼育日数		8日	9日	10日	11日	12日	14日	16日	28日
凍死時間 (min)	N	7	7	7	7	7	16	9	9
	$\bar{X}$	101'59"	84'39"	118'29"	121'06"	96'59"	113'35"	119'20"	144'11"
	σ	29.70'	20.11'	44.93'	30.18'	19.20'	43.78'	48.56'	51.72'
副腎重 (mg)	N	7	7	7	7	7	16	9	9
	$\bar{X}$	8.07	7.78	8.07	8.29	6.36	6.56	6.78	7.39
	σ	0.97	0.82	0.77	0.83	0.51	1.44	0.16	0.84
体重 (g)	N	7	7	7	7	7	16	9	9
	$\bar{X}$	16.84	16.58	17.19	17.69	20.55	20.80	20.79	16.73
	σ	0.80	0.74	0.54	3.79	1.76	2.41	3.57	1.49
副腎重 体重 ×100(%)	N	7	7	7	7	7	16	9	9
	$\bar{X}$	0.0480	0.0469	0.0469	0.0471	0.0312	0.0321	0.0317	0.0433
	σ	0.0060	0.0042	0.0042	0.0039	0.0038	0.0065	0.0026	0.0047

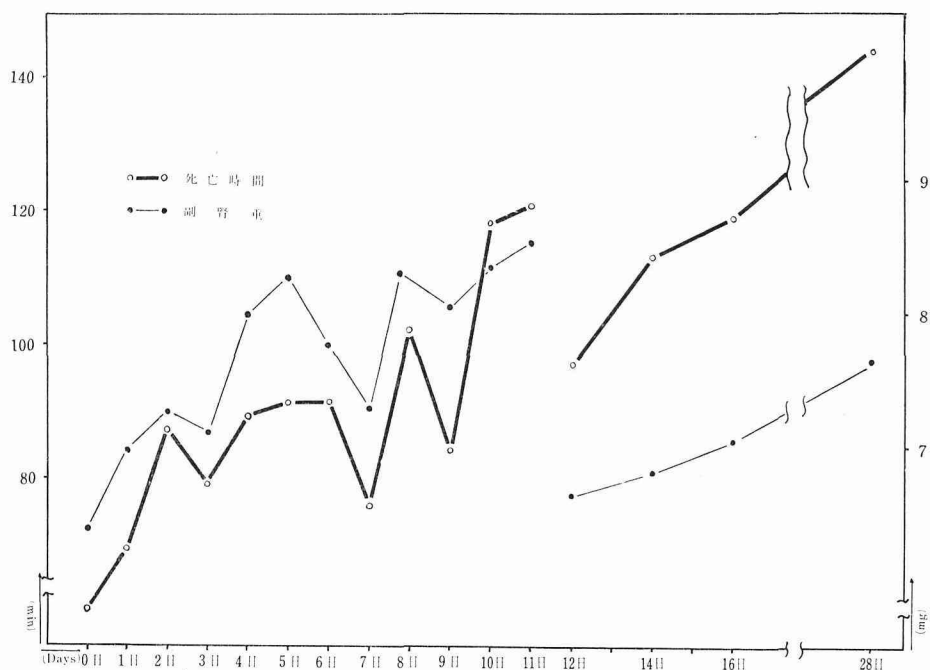
※0日より11日までの被験マウスと12日以降の被験マウスは実験を別におこなったので結果は同一に比較できない。

表2、図2を考察すると、0日目（コントロール）の平均60分23秒に対して、28日目には144分11秒と飼育日数の経過につれて、凍死時間が大体延長しているが、3日目、平均79分04秒7日目、75分53秒、9日目、84分39秒と前日に比し、3日目、8分、7日目、17分、9日目、17分の凍死時間の短縮がみられたことは注意に値する結果であろう。

b 副腎の重量についての比較。

一方抵抗性に不可欠の要素と思われる副腎について重量の比較をすると、凍死時間と全く同じように、0日目（コントロール）の6.14mgに比し、28日目では7.39mgと大体増加しているが、3日目、7日目、9日目と前日に比し、平均で0.14mg、0.43mg、0.29mg、と減少している結果を得た。

図2 10℃飼育マウスの飼育日数の経過に対する死亡時間，副腎重の比較



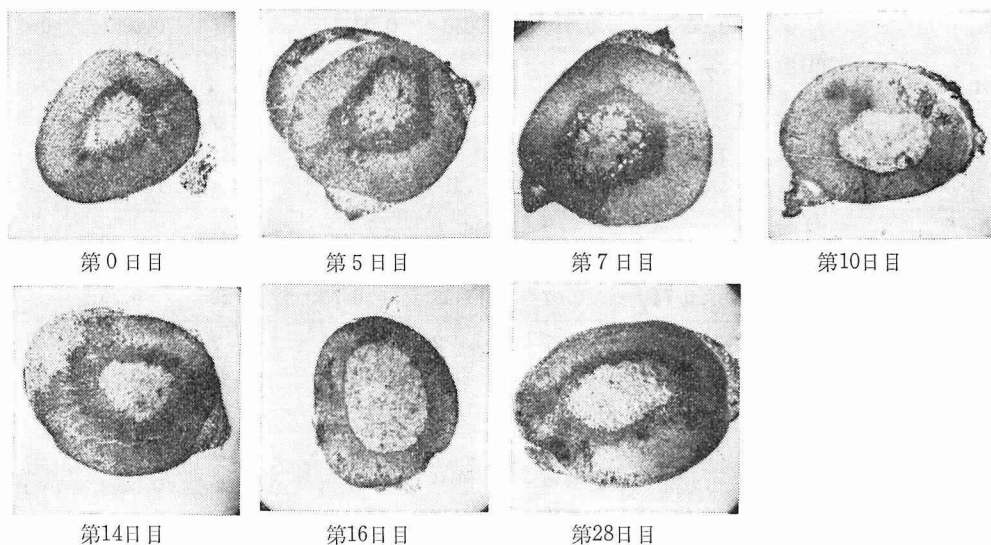
副腎の比体重についても全く同じ結果を得た。

c 副腎皮質の比較

ヘマトキシリン・エオジン重染色法により副

腎皮質のプレパラートを作製して，顕微鏡写真を撮り組織を比較した。写真4参照

写真4 10℃飼育マウスの飼育日数の経過に対する副腎皮質の変化



結果を考察すると，3日目までは，網状層が髄質まで浸透し，3日目で一応浸透が止まり，髄質との境のはっきりして，網状層が独立し，

4日目から7日目までは網状層が厚くなり急激に充実し，7日目より12日目までは網状層の発達が止まり，12日目より16日目まで網状層が消

失し、16日以降再び網状層ははつきり表われ充実するようである。

従って上記3つの結果より寒冷などの異状環境に曝された場合、我々の体内で寒冷というストレスに打ち勝つ抵抗性ができるが、その場合身体内部に変化が起こり、3日位の周期で異状環境に適応してゆくようである。換言すれば副腎皮質の組織などでみられるように、3日毎ぐらいに一つの変化から次の変化への移行期であるために身体がアブノーマルな状態になり抵抗性が低下するものと推測される。従ってこのようなことから登山や、スポーツのトレーニングをおこなう場合、3日、7日あたりにその

疲労のピークが表われたり、遭難などが多く出現するのもこのような抵抗性のできる周期の谷間にあたるために身体の調節が順調にできなくて起こるものと推測される。

また寒冷に対する順応（アクリマタイズ）については、本実験によれば10日以上経過し、2週間位の長期にわたって続けないと順応しないものと推測される。

2 5℃（寒冷限界飼育温度）飼育マウスの飼育日数別変化の比較

a 凍死時間についての比較

飼育日数別凍死時間の結果は表3、図3のとおりである。

表3 5℃飼育マウスの飼育日数の経過に対する凍死時間、副腎重等の比較

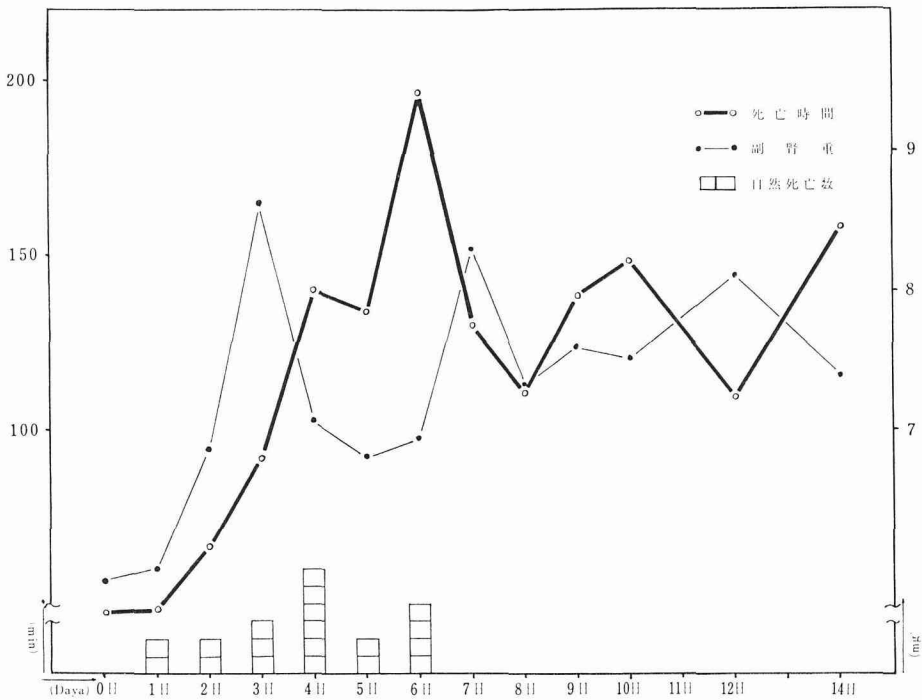
飼育日数		0 日		1 日		2 日		3 日		4 日		5 日		6 日	
凍 死 時 間 (mm)	N	7		7		7		7		6		7		7	
	$\bar{X}$	47'20"		48'52"		66'31"		91'34"		139'50"		133'37"		196'13"	
	σ	10.35'		9.90'		22.42'		21.92'		45.48'		46.27'		79.34'	
副 腎 重 (mg)	N	7		7		7		7		6		7		7	
	$\bar{X}$	5.93		6.00		6.86		8.64		7.08		6.79		6.93	
	σ	1.39		0.96		0.74		0.68		0.67		0.52		0.82	
体 重 (g)	N	7		7		7		7		6		7		7	
	$\bar{X}$	16.41		15.89		16.30		16.45		16.03		16.13		16.51	
	σ	1.14		1.28		1.77		1.37		1.49		1.86		2.31	
副腎重/体重 × 100 (%)	N	7		7		7		7		6		7		7	
	$\bar{X}$	0.0367		0.0379		0.0424		0.0525		0.0433		0.0426		0.0427	
	σ	0.0080		0.0061		0.0050		0.0037		0.0037		0.0057		0.0070	

飼育日数		7 日		8 日		9 日		10日		12日		14日	
凍 死 時 間 (min)	N	7		7		7		7		7		8	
	$\bar{X}$	129'39"		110'32"		138'27"		148'18"		109'35"		158'07"	
	σ	55.71'		37.24'		75.43'		69.12'		73.31'		70.69'	
副 腎 重 (mg)	N	7		7		7		7		7		8	
	$\bar{X}$	8.29		7.29		7.57		7.50		8.07		7.38	
	σ	0.74		0.97		1.11		0.75		1.20		0.73	
体 重 (g)	N	7		7		7		7		7		8	
	$\bar{X}$	15.81		16.09		1.06		15.43		15.49		15.39	
	σ	1.48		1.74		1.43		1.49		1.11		1.49	
副腎重/体重 × 500 (%)	N	7		7		7		7		7		8	
	$\bar{X}$	0.0527		0.0459		0.0503		0.0488		0.0526		0.0482	
	σ	0.0065		0.0085		0.0055		0.0015		0.0103		0.0051	

凍死時間について考察すると0日目の47分20秒に対して6日目には196分13秒と約3倍の急激な増加を示し、7日以降は減少する傾向を示

した。このことを10℃飼育のマウスと比較してみると、4日目で平均49分29秒、6日目で104分43秒と約2倍の凍死時間の延長をみたことは

図3 5℃飼育日数の経過に対す死亡時間，副腎重の比較



特記すべきことであろう。

然し6日目までに，1日目，2匹，2日目，2匹，3日目，3匹，4日目，6匹，5日目，2匹，6日目，4匹と計19匹の飼育中の自然死亡をみ，6日以降は自然死亡をみなかったことも興味のある結果である。

b 副腎の重量についての比較

副腎の重量について考察すると，0日目の5.93mgに対して，3日目が8.64mgと著しく増加し，本実験の最高値を示し，4日目，5日目，6日目と減少し，7日目には8.28mgと再び増加し，以後減少し，12日目に再度上昇している結果を示した。

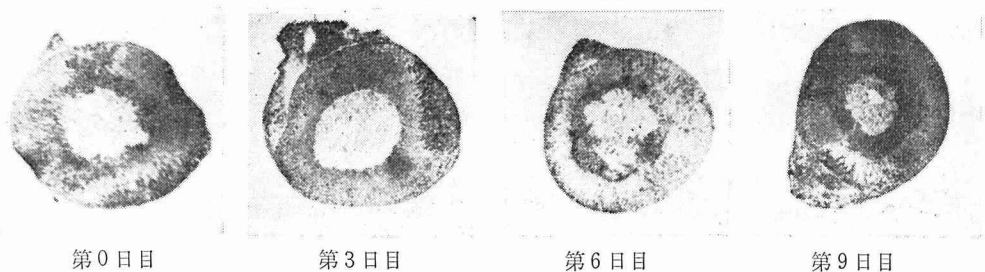
10℃飼育マウスと比較すると，10℃飼育マウスの方は，徐々に増加しているのに対して，5℃飼育マウスの方は，3日目が最高に増加し，以後減少する結果を示し，凍死時間と同じ傾向を示した。

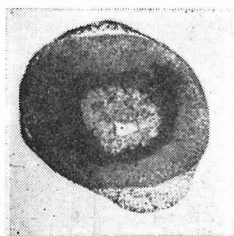
副腎の比体重についても副腎重と全く同じ結果を示した。

また10℃飼育マウスと同じように飼育日数の経過に対して3日～4日位の周期をもって順応してゆくようである。

c 副腎皮質のプレパラートを作製し，組織を比較すると写真5のとおりである。

写真5 5℃飼育マウスの飼育日数の経過に対する副腎皮質の変化





第12日目

副腎皮質の組織を比較すると3日目までは網状層が急激に厚く発達し、5日目頃に再び網状層が発達するようである。10日目以後は網状層が束状層、球状層に滲透するようである。

以上3つの結果より、寒冷限界温度で飼育することは、その寒冷の程度が強過ぎたために、6日目までは強い異状環境に適応するために、急激な凍死時間の延長がみられ、副腎重についても、10℃飼育でみられなかった急激な増加を示したが、6日以降はその異状環境が強過ぎたために減少する結果となったものと推測される。なお6日までに19匹の自然死亡をみたことも、このような寒冷のストレッサーが強過ぎたために適応できなくて死亡したものと推測される。この自然死亡のマウスの副腎の重量を計測

してみると、総べて5mg程度の重量に止っていることも興味のある結果である。

従って寒冷の度合いの強い刺激を加えるときは5日～6日ぐらい負荷したら休息を入れ、日数をおいてまた加えるようにし、持続的に負荷することは望ましいことではなく、さけるべきである。

3 温度差飼育(20℃, 10℃)における身体トレーニングの影響

1, 2, の実験と同じように、バッテリー育雛器及び寒冷低温室をもちい、マウスの1群を適温飼育の20℃に、他の1群を低温飼育の10℃にそれぞれ飼育し、試作のトレッドミルで、各群の半数のマウスを1分間24mのスピードで、1日、20分づつ走行させ、身体トレーニングを負荷し、0日目、4日目、7日目、11日目、15日目にそれぞれ-20℃の冷凍ショーケースに入れて凍死させ、そのときの凍死時間、副腎の重量副腎の比体重を計測して比較すると同時に、体重の増減の日変化について計測した。

結果は表4、表5、図4、図5のとおりである。

図4 20℃飼育マウスにトレーニング負荷した場合の凍死時間、副腎重の比較

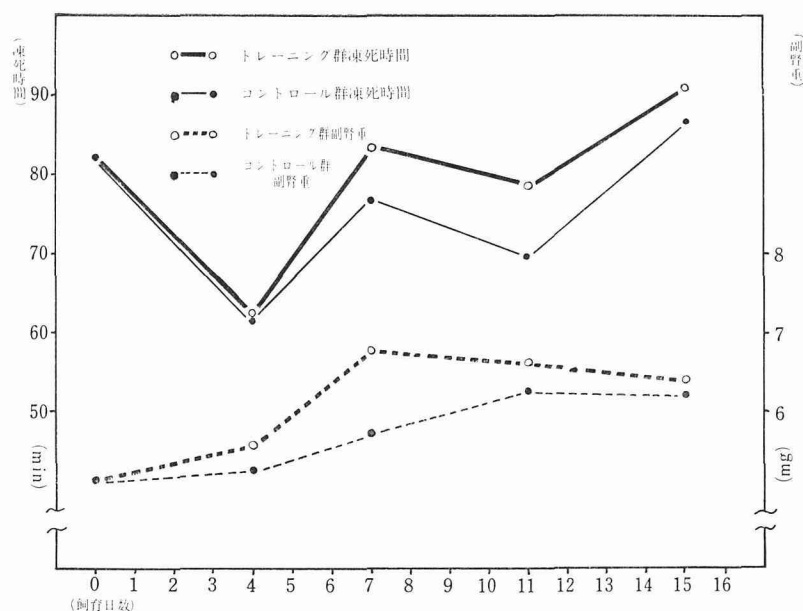


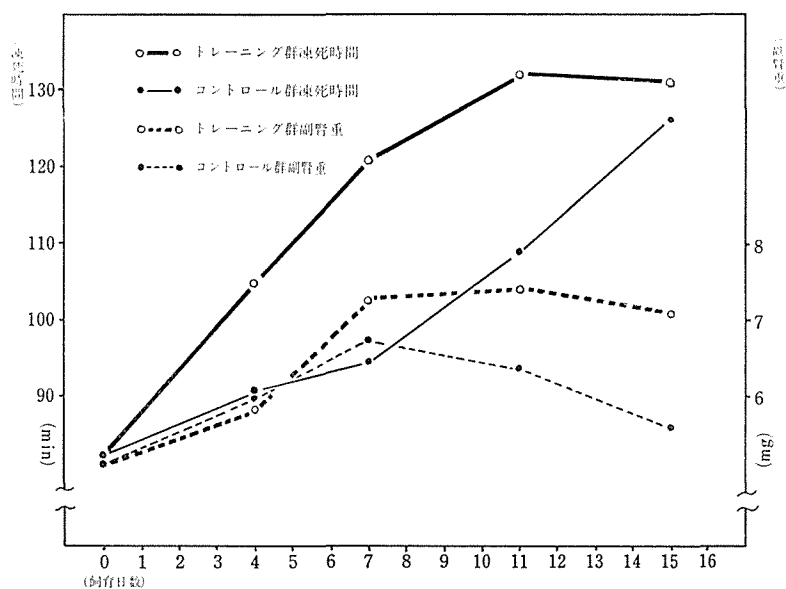
表4 20℃飼育マウスにトレーニングを負荷した場合の凍死時間、副腎重などの比較

項目		凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
N $\bar{X}$ σ		N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
項目	飼育日数												
コントロール群	0	5	82'07"	21.0'	5	5.14	0.41	5	15.14	1.28	5	0.0341	0.0035
	4	5	61'02"	15.1'	5	5.28	0.59	5	13.86	1.24	5	0.0382	0.0042
	7	5	76'58"	25.1'	5	5.72	0.59	5	14.88	1.41	5	0.0386	0.0042
	11	5	69'28"	4.8'	5	6.25	0.20	5	16.40	1.11	5	0.0384	0.0078
	15	6	85'17"	21.7'	6	6.20	0.94	6	19.25	2.27	6	0.0327	0.0068
トレーニング群	0	5	82'07"	21.0'	5	5.14	0.41	5	15.14	1.28	5	0.0341	0.0035
	4	5	61'30"	8.1'	5	5.60	0.59	5	14.33	0.60	5	0.0390	0.0049
	7	5	83'44"	34.1'	5	6.80	1.08	5	14.78	1.00	5	0.0461	0.0073
	11	6	78'29"	22.3'	6	6.62	1.19	6	15.77	1.05	5	0.0420	0.0038
	15	6	90'57"	22.3'	6	6.37	0.83	6	17.40	1.23	6	0.0366	0.0040

表5 10℃飼育マウスにトレーニングを負荷した場合の凍死時間、副腎重などの比較

項目		凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
N $\bar{X}$ σ		N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
項目	飼育日数												
コントロール群	0	5	82'07"	21.0'	5	5.14	0.41	5	15.14	1.28	5	0.0341	0.0035
	4	5	90'26"	12.8'	5	6.08	0.81	5	14.00	1.14	5	0.0435	0.0050
	7	5	64'15"	57.3'	5	6.55	1.49	5	14.18	1.20	5	0.0458	0.0076
	11	5	109'10"	38.9'	5	6.38	0.51	5	14.76	0.70	5	0.0436	0.0059
	15	4	126'46"	28.8'	4	5.80	0.28	4	17.90	1.26	4	0.0326	0.0033
トレーニング群	0	5	82'07"	21.0'	5	5.14	0.41	5	15.14	1.28	5	0.0341	0.0035
	4	6	104'57"	33.0'	6	5.83	0.73	6	13.28	1.00	6	0.0443	0.0073
	7	5	121'00"	56.5'	5	7.27	1.83	5	15.43	0.49	5	0.0470	0.0012
	11	4	132'25"	48.4'	4	7.40	0.29	4	16.25	0.32	4	0.0456	0.0024
	15	4	131'07"	30.9'	4	7.07	0.93	4	16.90	1.85	4	0.0420	0.0050

図5 10℃飼育マウスにトレーニングを負荷した場合の凍死時間、副腎重の比較



a 20℃飼育マウスのトレーニングの影響について。

凍死時間についてコントロール群と、トレーニング群とを比較すると、両者とも4日目に凍死時間の短縮を示し、7日目～11日目とステージ状態をなし、15日目にかなりの増加を示した。また7日目で6分46秒、11日目で9分01秒、15日目で5分40秒とわずかではあるがトレーニング群がコントロール群に比し、凍死時間の延長を示す結果を得た。

副腎重について考察すると、コントロール群に比し、トレーニング群では4日目で0.32mg、7日目で1.08mg、11日目で0.37mg、15日目で0.17mgと高い値を示した。副腎の比体重についても副腎重と同じ傾向を示した。

b 10℃飼育マウスのトレーニングの効果について

凍死時間についてコントロール群とトレーニング群を比較すると、両者とも飼育日数の経過につれて凍死時間の延長がみられたが、コントロール群に比し、トレーニング群では4日目で

平均14分31秒、7日目で26分45秒、11日目で23分15秒、15日目で4分21秒と著しく凍死時間の延長がみられた。

副腎の重量及び副腎の比体重についても凍死時間と同様の結果を得た。

c 20℃飼育マウスと10℃飼育マウスの比較
凍死時間について比較すると、全般的に10℃飼育トレーニングマウスが他の飼育マウスの群に比し著しく凍死時間の延長を示し、次いで10℃のコントロールマウス、20℃のトレーニングマウス、20℃コントロールマウスの順に凍死時間の短縮がみられた。

副腎重については、10℃トレーニング群、20℃トレーニング群、10℃コントロール群、20℃コントロール群の順に軽減している結果を得た。

d トレーニング負荷による20℃、10℃飼育マウスの体重の日変化の比較

上記の実験をおこなった際、トレーニング前(午前9時～10時)にそれぞれの4群の飼育マウスの体重を計測して比較すると図6のようである。

図6 10℃、20℃飼育マウスにトレーニング負荷をおこなった場合の体重の比較

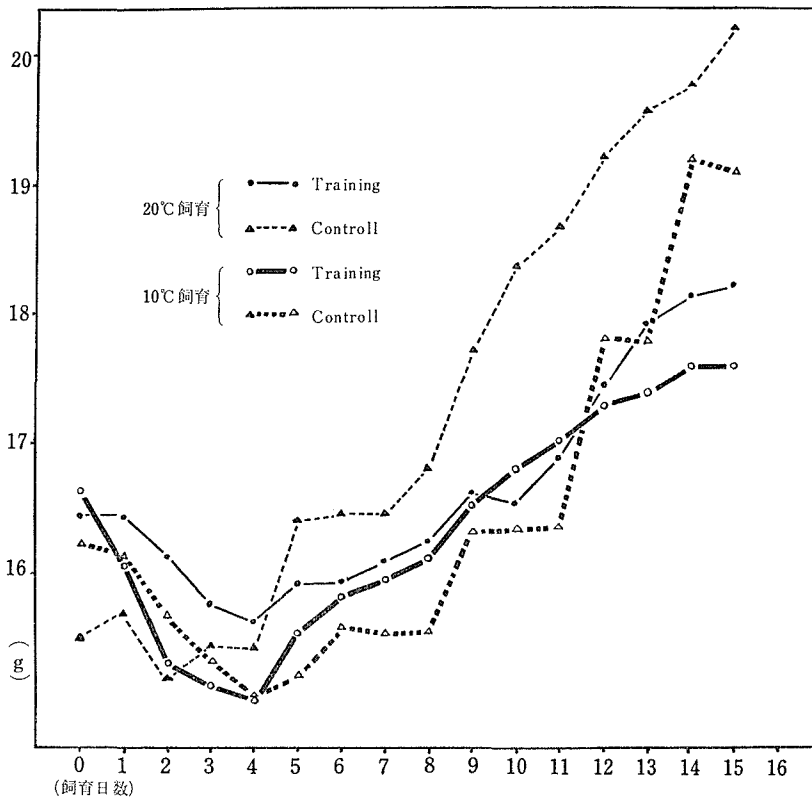


図6を考察すると、0日目より4日目までは各群とも減少し（個別に飼育する飼育箱に移して飼育したため）、5日目から増加している結果を得た。また4群を比較すると、20℃適温飼育のコントロールマウス群の発育が最も良く、次いで10℃低温飼育のコントロールマウス群といずれもトレーニング負荷をしなかったマウスの発育がよく、20℃、10℃飼育のトレーニングマウス群はいずれも体重の発育の悪い結果を示した。特に寒冷刺激とトレーニングを同時に負荷したマウス群の体重の発育が悪い結果を得た

以上4つの結果より、寒さに対する抵抗性をつけるために身体トレーニングをおこなう場合先づ第1に寒冷に身体を曝すことが先決で、その上身体トレーニングを負荷することにより更に抵抗性が強まるものと推測される。然し、20℃飼育のように暖かい状態でもわずかではあるが、トレーニング群に凍死時間の延長がみられたことは、身体トレーニングを負荷することが

凍死を防ぐ一つのファクターとなっていることを意味するものであろう。

B 凍死を促進させる条件についての研究

1 低温における風の影響

凍死を促進させる条件の主なものの一つとして風の影響が挙げられるが、このことについて検討するために、温度差飼育による風の影響、風速の変化と凍死との関係の二つについて実験をおこなった。

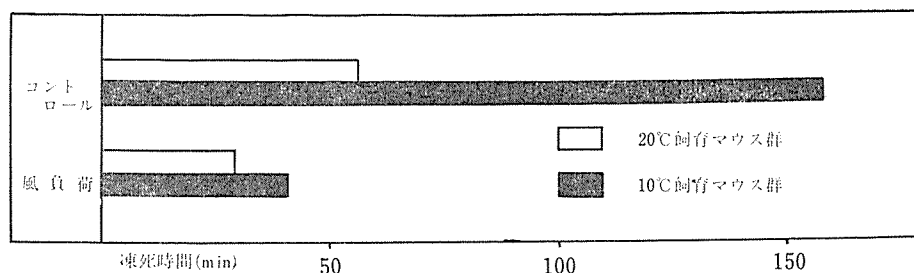
a 温度差飼育（20℃，10℃）マウスによる風の影響

適温飼育として20℃，低温飼育として10℃を選び、マウスを各々7日間飼育した後、-20℃の冷凍ショーケースに入れ、冷凍ショーケースの内部で風速9 m/secの風を換気扇で負荷し凍死させた。そしてそのときの凍死時間、副腎の重量、体重などを計測して比較した。結果は表6、図7のとおりである。

表6 温度差飼育（20℃，10℃）マウスにおける風の影響

飼育温度	項目	凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
		N $\bar{X}$ σ			N $\bar{X}$ σ			N $\bar{X}$ σ			N $\bar{X}$ σ		
		N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
20℃	コントロール	5	56'38"	11.7'	5	6.60	1.20	5	14.74	0.45	5	0.047	0.0097
	風 負 荷	7	29'31"	2.0'	7	7.28	2.09	7	15.07	1.37	7	0.046	0.0150
10℃	コントロール	6	158'28"	31.6'	6	7.00	0.87	6	13.47	1.50	6	0.052	0.0078
	風 負 荷	7	40'31"	5.5'	7	8.57	1.37	7	14.50	1.46	7	0.059	0.0078

図7 温度差飼育（20℃，10℃）マウスにおける風負荷と凍死時間の関係



凍死時間について考察すると、20℃飼育マウスではコントロール群の56分38秒に対して風を負荷したマウス群では29分31秒と27分07秒の凍死時間の短縮を示し、10℃飼育マウスではコントロール群の158分28秒に対して風を負荷したマウス群では40分31秒と117分57秒の著しい凍死時間の短縮をみた。また10℃、20℃飼育マウスのコントロール間では20℃飼育マウス群に対し、10℃飼育マウス群が101分58秒と2.9倍もの凍死時間の延長を示したのに対して、風を負荷

したマウス群では11分、1.4倍とその差が短縮される結果を得た。しかし10℃の寒冷飼育マウスが20℃の適温飼育マウスに比して、いづれも高い値を示す結果を得た。

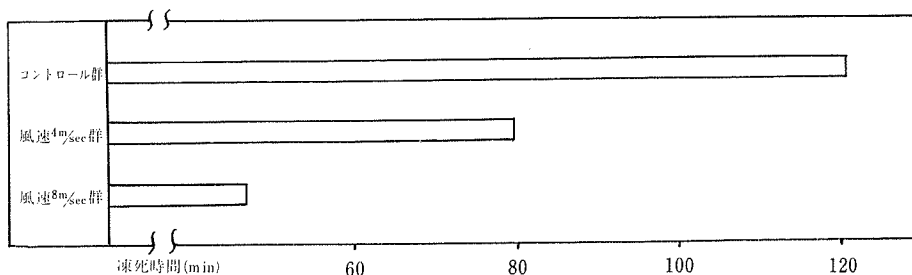
b 風速の変化と凍死との関係

10℃の低温で10日間飼育したマウスを-20℃の冷凍ショーケースに入れ、冷凍ショーケース内で2段切り換えの換気扇を回転させ、4m/sec, 8m/secの風を負荷して凍死させた。結果は表7、図8のとおりである。

表7 10℃飼育マウスによる風速の変化と凍死への影響

項目 N $\bar{X}$ σ	凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
項目	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
コントロール	7	120'49"	9.16'	7	7.14	0.74	7	19.66	1.17	7	0.0365	0.0051
風速 4m/sec	7	79'39"	8.45'	7	8.14	1.48	7	20.60	2.89	7	0.0400	0.0063
風速 8m/sec	7	46'52"	11.21'	7	7.07	0.82	7	18.71	3.34	7	0.0386	0.0060

図8 10℃飼育マウスによる風速の変化と凍死時間との関係



凍死時間について考察すると、コントロール群に比し、風速4m/secを負荷したマウス群では41分、8m/secを負荷したマウス群では74分と急激な凍死時間の短縮を示した。従って寒冷下に曝されて風速が増加することは、反比例的に凍死時間を短縮するものと解せられる。

2 低温における水ぬれの影響

凍死を促進する条件の主なものの一つとして汗や雨などによる体の水ぬれの影響が挙げられるがこのことについて実験をおこなった。

10℃、20℃にそれぞれ7日間飼育したマウスに20℃のぬるま湯をたっぷり(平均1.5g)しました後、-20℃の冷凍ショーケースに入れ凍死させた。凍死時間などの結果は表8、図9の

とおりである。

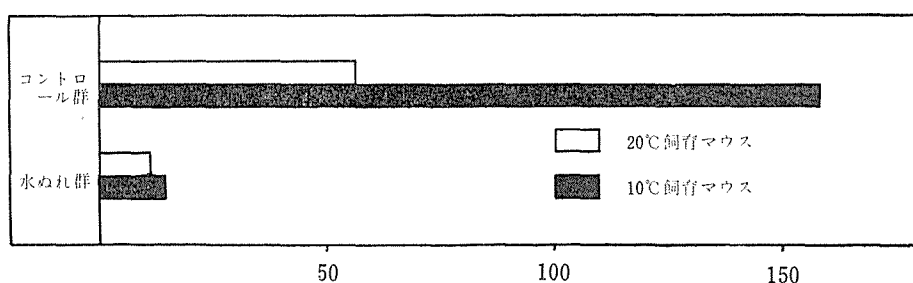
凍死時間について考察すると、前記風速の実験結果と同じく、20℃飼育マウスでは、コントロール群の56分38秒であるのに対して、水ぬれによるマウス群では10分51秒と45分40秒の凍死時間の短縮を示し、10℃飼育マウスでは、コントロール群では158分28秒であるのに対して、水ぬれによるマウス群では14分09秒と144分19秒の著しい凍死時間の短縮を示した。

また20℃、10℃飼育マウスのコントロール間では20℃飼育マウス群に対して、10℃飼育マウス群が101分58秒、2.9倍と著しく凍死時間が延長しているのに対して、水ぬれによるマウス群では、3分15秒、1.3倍とその差が短縮される

表8 温度差飼育(20℃, 10℃)マウスにおける水ぬれの影響

飼育温度	項目	凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
		N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
20℃	コントロール	5	56'38"	11.7'	5	6.60	1.20	5	14.74	0.45	5	0.047	0.0097
	水 ぬ れ	7	10'51"	0.7'	7	7.57	0.56	7	16.44	1.17	7	0.046	0.0046
10℃	コントロール	6	158'25"	31.6'	6	7.00	0.87	6	13.47	1.50	6	0.052	0.0078
	水 ぬ れ	7	14'09"	1.6'	7	9.57	0.94	7	15.54	1.05	7	0.062	0.0044

図9 温度差飼育(20℃, 10℃)マウスにおける水ぬれと凍死時間との関係



結果を得たが、10℃の寒冷飼育マウス群が、20℃の適温飼育マウス群に比し高い値を示す結果を得た。

上記風速の実験と合せて考察すると、風や水ぬれによって凍死時間が著しく短縮することが明らかになったと同時に寒さに対してかなり高い抵抗性を有する場合でも、風速が増し、汗や雨で体がぬれた場合などでは予想以上に凍死時間が短縮するから、冬山やスキーツアーをおこなう場合などは、寒さに対する抵抗性のない人は勿論のこと、かなり抵抗性のある人でも、体をぬれさないように注意し、風をさけることが

大切であろう。

3 低温における身体運動負荷の影響

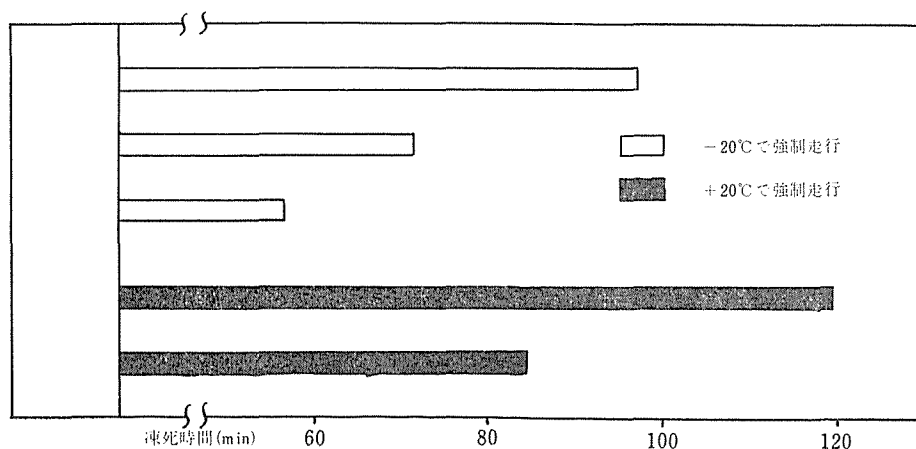
凍死を促進する条件の一つとして、寒冷中で身体運動(むやみに動きまわる)をおこなうことが挙げられるが、このことについて実験をおこなった。

前記実験と同じように10℃の低温で12日間飼育したマウスを-20℃の冷凍ショーケースに入れ、冷凍ショーケース内で1分間14mのスピードで走行できるトレッドミルを試作して、15分間及び30分間の走行を強制負荷した後、凍死させた。結果は表9、図10のとおりである。

表9 10℃飼育マウスの強制運動負荷と凍死の関係

飼育温度	項目	凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
		N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ	N	$\bar{X}$	σ
-20℃で強制走行	コントロール	7	96'59"	19.20'	7	6.36	0.51	7	20.55	1.76	7	0.0312	0.0038
	15分間	5	71'21"	12.93'	5	7.40	0.48	5	20.83	0.86	5	0.0359	0.0016
	30分間	5	56'12"	7.13'	5	6.70	1.40	5	20.35	1.29	5	0.0327	0.0058
+20℃で強制走行	コントロール	9	119'20"	48.56'	9	6.78	0.16	9	20.79	3.59	9	0.0317	0.0026
	60分間	6	84'34"	18.31'	6	6.83	0.90	6	18.82	2.80	6	0.0366	0.0045

図10 10℃飼育マウスの強制運動負荷と凍死時間との関係



凍死時間について考察すると、コントロール群の96分59秒に比し15分間の強制走行を負荷したマウス群では71分21秒と25分38秒の凍死時間の短縮を示し、30分間の強制走行を負荷したマウス群では56分12秒と40分47秒の凍死時間の短縮を示した。

また実験日時は異なるが、10℃の低温で12日間飼育したマウスを20℃の適温で60分間、強制走行を負荷した後、直ちに-20℃の冷凍ショーケースに入れて凍死させると、コントロール群の119分20秒に対して、60分間の強制走行負荷のマウス群では84分34秒と34分46秒の凍死時間の短縮を示した。

従って適温や暖かい所でかなり長時間の運動を負荷して疲労することよりも、寒冷中で運動

を負荷することがより凍死を促進するものと推測される。登山などで寒冷中をむやみに歩きまわることとはさけるべきであろう。

4 低温における体表の一部の毛を除去した場合の影響

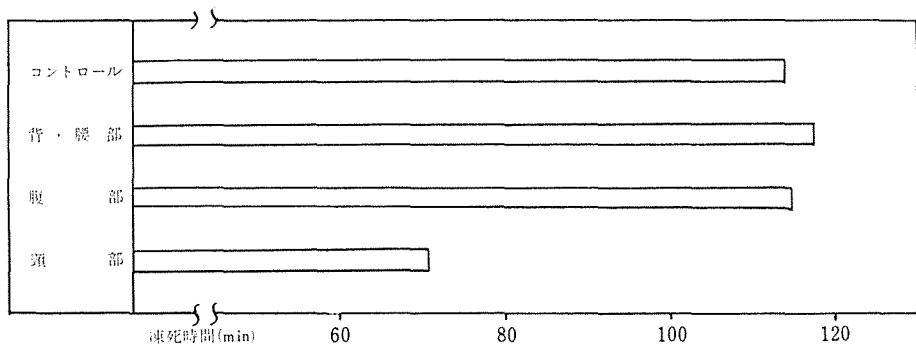
凍死を促進する条件の一つとして、身体表面の各部（頸部、腰部、腹部、背部等）が冷却されることが挙げられるが、その身体表面の冷却と凍死の関係について実験をおこなった。

寒冷飼育10℃で14日間飼育したマウスの各群に体表の一部として頸部、背腰部、腹部の身体表面の毛を直径1 cmづつ除去して-20℃の冷凍ショーケースに入れて凍死させた。結果は表10図11のとおりである。

表10 10℃飼育マウスの体表の一部の毛を除去した場合の影響

項 目 N X σ	凍死時間 (min)			副 腎 重 (mg)			体 重 (g)			副腎重/体重×100 (%)		
	N	X	σ	N	X	σ	N	X	σ	N	X	σ
コ ン ト ロール	16	113'35"	43.8'	16	6.56	1.44	16	19.85	1.87	16	0.0320	0.0065
背 腰 部	5	117'27"	32.1'	5	6.00	0.80	5	21.91	1.72	5	0.0276	0.0041
腹 部	5	114'36"	56.0'	5	6.80	0.80	5	18.50	2.61	5	0.0375	0.0069
頸 部	7	70'47"	11.9'	7	6.36	0.51	7	18.97	0.82	7	0.0360	0.0036

図11 10℃飼育マウスの体表の一部の毛を除去した場合の凍死時間との関係



凍死時間を考察するとコントロール群の113分35秒に比し、背部117分27秒、腹部114分36秒とほとんど差異は認められないが、頸部についてだけ約半分の70分47秒と急激な凍死時間の短縮をみた。

このことは頸部は延髄上部にあたるため、延髄麻痺を起こすものと推測させる。従って日常生活でも寒い時に頸を縮めたり、襟巻などをして頸部を保温することは重要な意味のあることであり、特に冬山やスキーツアーなどでは充分頸部を保温することが必要であると解せられる

Ⅳ 総括

1 寒冷に対する抵抗性について

a 温度差飼育による実験結果で明らかにように、10℃の低温飼育のマウス群が他の高温、適温飼育のマウス群に比して著しい凍死時間の延長を示す結果を得たことは、凍死という現象が身体を寒冷に曝らすことによって、副腎皮質などの機能が発達して抵抗性ができ、凍死を防ぐのに重要なファクターの一つとなっていることを意味するものであろう。

b 寒冷に対する抵抗性のできる日変化についての実験結果では、マウスの場合、低温飼育限界といわれている10℃で飼育した場合、凍死時間や副腎の重量、副腎皮質のプレパレートなどから考察して、大体3日位の周期を繰返しながら、10日～14日位の日数で順応し抵抗性ができるようである。従って3日、7日などの周期の谷間にあたる所では充分注意することが必要

であると同時に、日常生活において長期にわたって、寒冷に身体を曝らして抵抗性をつけておくことが必要であると解せられる。

また5℃のような極端に強い寒冷刺激を与えて飼育した場合、寒冷刺激が強いために、6日までは10℃飼育の数倍の凍死時間の延長を示す結果を得たが、反面6日までに19匹の自然死亡（自然凍死）をみたことでも明らかなように、寒冷刺激が強過ぎた場合は初期（6日まで）では急激な異状環境に順応しようとして抵抗性ができるが、以後その過度な異状刺激に抵抗できず減少する結果となったものと推測される。従って寒冷の度合の強い刺激を負荷して、抵抗性をつけるようにトレーニングする場合は6日～7日ぐらい負荷したら、一時休息して日数において再度加えるようにし、持続的に加えることは避けるべきであろう。

c 身体運動を負荷して、寒冷に対する抵抗性をつけようとする場合は、できるだけ寒冷に身体を曝らしながらトレーニングすることが望ましく、暖かい所で身体トレーニングを負荷しても、寒冷に対する抵抗性はほとんどできない結果を得た。

2 凍死を促進させる条件についての研究

a 寒冷中での風や、雨や汗による身体の水ぬれの影響は大きく、風の場合風速が増加することによって、凍死時間は反比例的に短縮し、凍死を促進させる重要な条件となっている。

またかなり寒冷に対して抵抗性を有する場合

でも、風や水ぬれの影響は大きく、10℃、20℃飼育マウスのコントロール間で凍死時間の差が約3倍であったのに対して、風を負荷した場合や体をぬらした場合には1.5倍の差に短縮したことからも、凍死を防ぐには風を避け、水ぬれを防ぐことが凍死を防ぐ重要なファクターとなっていることが明らかとなった。

b 寒冷中でむやみに行動することも、凍死を促進する大きな要因になっている。

均一な運動を負荷した場合、その時間が長ければ凍死時間は反比例的に短縮する結果を得た。

また適温で相当時間の運動を負荷して、疲労することよりも、寒冷中での運動負荷をした場合の方が、著しく凍死を促進する結果を得た。従って寒冷中でむやみに行動することは凍死を促進する重要なファクターとなっていることが明らかとなった。

c 体表の毛を除去した実験結果でも明らかのように頸部を冷却することも凍死を促進する重要なファクターであるから、寒冷中に曝された場合、充分頸部を保温することも必要なことであろう。

参 考 文 献

- 吉本寿人他 凍死に対する抵抗性について（凍死の本体に関する研究第1報）
日本生理学雑誌 Vol 23. No3 March 1961
- 柳 壮一： 寒さと人間 日本叢書 5
- 山本宗平： 寒冷ふるえ時の筋電図にみられる周期性放電及び持続性放電について。
生理学雑誌 Vol 28 No5 1966
- 今村純男他： 登山の生体負担度について
体力科学 9巻 3号 35.4
- 木村誠之： 精糖が生体に及ぼす影響の研究
第5報，第6報 体力科学第11巻第2号37年9月
- 横堀 栄他 マウス，ラットのトレッドミルトレーニング，とくに勾配別強制走行の体力怒限度について。体力科学 第15巻 第2号
- Mavrice Herzog ; La Montagne 1956
- Hans Selye ; The Stress of Life 1956
- 杉靖三郎： 生理学 1961
- 福田篤郎： 生理学大系 VIII 1966
- Jacques Gu : Herve; In vie en Haute Altitude.