

全館冷暖房校舎の温度条件と空気性状が
児童生徒の心身に及ぼす影響に
関する実証的研究

	東京学芸大学	鈴木路子
(共同研究者)	同	木村康一
	同	藤沢多嘉央
	同	高島二郎

**Effect of the Thermal and Air Quality
of Central Air-Conditioned School Buildings
on the Health of School Children**

by

Michiko Suzuki, Koichi Kimura,
Takahiro Fujisawa, Jiro Takashima
*Department of Health and Physical Education,
Tokyo Gakugei University*

ABSTRACT

In order to examine the effect of thermal environment and air quality produced by central air-conditioned school buildings on the health of school children, we conducted a field survey (Part 1) and an experimental study (Part 2). The results obtained can be summarized as follows:

(Part 1) Field survey: Environmental survey of some schools in Aomori Prefecture and Tokyo

1) Central heating room with double windows made of ferroconcrete was found to have a higher temperature and lower humidity in winter. Skin temperature of children stayed in this room were high, thus the temperature gradient from surface to core became lower. This type of distribution of body temperature is the representative one seen in winter. Sickness absence rate of the children was higher, while those stayed in

the classroom made of wood and heated moderately with stove had lower limb temperature and uneven skin and core temperature. This distribution of core and skin temperature is an adapted condition to cold environment. The sickness absence rate was lower in the latter case than that of school children in the former in a central heating room.

2) In summer, we surveyed the thermal environment and air quality of central air conditioned school building in Tokyo in 1982. In some cases, we found considerably low room temperature of E.T. 17.7°C in a cooling classroom and a constant high speed air draft of 0.9m/sec in high summer season. The conditions may give some adverse health effect.

(Part 2) Experimental study in an artificial climate chamber at Tokyo Gakugei University:

The authors tried to examine the effect of abrupt out door exercise in hot summer season of maximum daily temperature 30-33°C after staying in the cooling room taking the physiological indices such as skin and core temperatures, blood pressure, O₂ consumption, and subjective thermal sensation. we carried out the experiment under the following three protocols; (1) at rest under the hot summer environment after staying in the cooling room for 50 min., (2) physical exercise of bicycle ergometer after staying in the cooling room for 50 min., and (3) physical exercise of bicycle ergometer without staying in the cooling room.

The results obtained are as follows:

1) Entered into the cooling room, skin and core temperature depressed rapidly, and the minimum blood pressure was raised. And then exposed to the hot summer environment, skin temperature increased rapidly but core temperatures unchanged, especially leg core temperature continued to decrease for about 20 min., This tendency was more pronounced in children than in adult.

2) Loading physical exercise in hot summer environment after the stay in the cooling room, leg core temperature showed a tendency of decrease but began to increase after loading bicycle ergometer. Core and skin temperatures continued to be unbalanced.

3) Physical activity in hot summer environment without staying in cooler environment requires higher O₂ consumption and shows lower blood pressure raise than the case after staying in cooler environment.

緒 言

騒音、大気汚染など地域公害対策の一環として設立された気密な校舎にとって、冷暖房空調設備の導入は不可欠な条件である。温湿度と換気量が自動的に制御される空調設備は、すでに設計段階で在室者の人数・年齢・活動量によって生じる熱エネルギー、発塵量などの予測変量をとり込み、機械側の制御機能が決定されていくわけであるが、そのための基本となる主体側の生活場面におけるデータは非常に乏しいのが現状である。とくに学校での空調と児童の健康管理に際して、主体側の諸反応と環境温度条件とのかかわりあいを明らかにすることは、必要な条件であるとともに、すでに決定されてしまっている人工温度環境下での学校生活が、生徒の健康・安全を阻外しないための健康管理・指導に関する具体的対策を提言することは、今後ますます重要な課題となろう。

本研究はこのような視点にたつて、実際の教育現場でのいくつかの調査と、人工気候室を用いた基礎実験とを組み合わせ、以下、2つの課題のもとに調査結果の概要を報告する。

1. 冬季暖房時および夏季冷房時の教室内温度条件と空気性状に関する環境保健調査
(担当：木村康一、藤沢多嘉央)

2. 温度環境の急激な変化が皮膚温、深部温、血圧および酸素消費量に及ぼす影響に関する実験的研究——とくに夏季冷房教室下での学習が暑熱環境下での児童の体育授業時の生体に及ぼす影響に視点をあてて

(担当：木村康一、藤沢多嘉央、高島二郎、柳井恵子、丸子勝彦)

なお、1. については、学校保健研究、24 (11) 1982に投稿済みである。

第1部 冬季暖房時・夏季冷房時の教室内温度条件と空気性状に関する環境保健調査

(その1) 冬季暖房時の教室内環境と児童の心身

状態に関する調査

寒冷地青森県において、冬季暖房時の全館冷暖房二重窓防音校舎(M小)と、木造平屋ストーブ暖房校舎(N小)の小学校を対象に選定し、比較検討するとともに、家庭での室内温度条件の把握も試みた。ここではとくに、冬季暖房時の教室内環境として、温湿度、気流輻射熱、落下細菌、空中浮遊細菌、生体側として児童における咽頭粘膜のブドウ球菌保有率、さらに1学級2名ずつの児童の学習中の皮膚温、深部温、心拍数の継続的変動の測定を行った。

その結果は以下のとおりである。

1) 全館冷暖房二重窓防音校舎の青森県M市M小学校は、気密な二重窓で廊下や外気と全く隔離された、いわゆる保温性の高い建築様式のため、温度は30°Cを超え、相対湿度は20%台という高温低湿の状態であった。

2) このような高温低湿環境下で1日の大半を過ごすM小の児童の呼吸器粘膜は乾燥し、付着ブドウ球菌の保有率は高く60%であったのに対して、N小は35%であった。

3) 児童の温度感覚は、M小は暑熱感に傾き、とくに4時間目では74.1%の児童が暑すぎると訴えた。疲労感では、M小はN小に比べて4時間目に訴えの増加傾向が有意に高かった。

4) 軀幹(Core)および末梢(Shell)の深部温は、M小の児童は過剰暖房による負荷のため一様に高く、冬季という気象条件に適応した生体反応とは全く逆の様相を示した。

これらのことから、冬季の寒冷な自然環境と全くかけ離れた人工暖房、とくに過剰暖房は本来の目的を超え、ヒトを、病原体をはじめとする外界の環境刺激に対して、より敏感な感受性の高い素地を作り上げていくことが推察される。また過剰暖房のため、生体の皮膚温分布が夏型になることを強いられており、これは、冬季に寒冷順化しようとする生体に阻害因子としてはたらき、その結

果として、疾病に対する抵抗力が弱まるように思われる。さらに、今回の測定では明らかにされなかったが、高温低湿の環境は微生物の生存率を高めることが予想される。

このように、主体-環境の両側面から問題のあることが示唆され、今後、学習環境としての温熱環境管理の適切な検討は、学校教育の場として特に緊急な課題と言えよう。

(その2) 都内の某全館冷暖房二重窓校舎の事例より

ここでは、夏季に冷房されている学校で生活する生徒は、実際に冷房環境下で、どのような温熱条件下で学習しているのかを明らかにするため、生徒の下校後に教室内の環境測定を行い、若干の知見を得た。なお温度、湿度、気流を測定し、さらにこれから E.T. (感覚温度: Effective Temperature) を算出した。

測定の結果、E.T. はどの教室でも 20°C 前後であったが、気流は各教室ごとに異なっており、吹出口からの冷気流速の大きい教室ほど教室内のバラツキが大きかった。ある教室においては、吹出口からの冷気流が 16.5m/sec もあり、ある座席では 0.9m/sec の気流が測定され、E.T. は 17.7°C とかなり低かった。

実際の授業時には40人近い生徒が教室にいることから、今回の測定結果よりいく分高い室内温度環境が予測されるものの、決まった座席で一定時間授業を受けることを余儀なくされている生徒の体熱収支、心身状態および学習意欲への影響が心配される。

第2部 温度環境の急激な変化が皮膚温、深部温、血圧および酸素消費量に及ぼす影響に関する実験的研究——とくに夏期冷房教室下での学習が暑熱環境下での体育授業時における児童の生体に及ぼす影響に視点をあてて

対象および方法

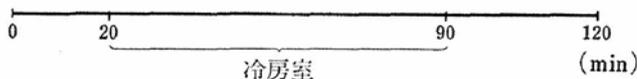
冷房教室で冷やされた児童生徒が、急激に 30°C 以上もある夏季の暑熱環境に出て運動をした際、生体にはどのような影響が及ぼされるものか。ここでは、実験的にコントロールされた人工気候室を用いて冷房教室内を想定し、そこに60~70分滞在させた後に 30~33°C の暑熱環境下に出たときの生理的諸反応、さらにそこで運動(エルゴ)した際の生理的諸反応の経時的変化を成人、中学生、小学生計6名を対象に測定を行った。

測定部位および方法

測定項目	測定部位	方 法
1. 皮膚温	後頭, 上腹 前腕, 指先 大腿, 下腿 膝, 足背 足趾	熱電対温度計を用いて5分間隔に測定。 なお、冷房室入退室による環境温の急変時には、その直前直後の測定を加えた。
2. 深部温	胸部, 前腕 下腿, 足背	熱補償法による連続記録(深部体温計)
3. 血 圧	右上腕	皮膚温と同時期に自動血圧計で測定。
4. 酸素消費量		ダグラスバック法により連続5分間ごとに採気(運動時には3分間)し、ただちにガスアナライザで分析。

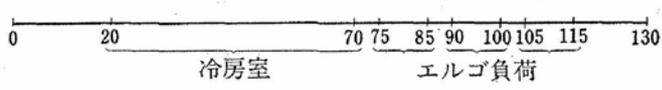
実験は以下の3群からなる。

1. 夏季冷房負荷が暑熱環境下での生理的諸反応に及ぼす影響(安静時)



(対象) 小4女子, 小6男子, 中1男子, 中3女子, 大学生男子2名

2. 冷房負荷が暑熱環境下での運動時の生体に及ぼす影響(冷房室出室後, 暑熱環境で運動負



荷)

(対象) 小6男子, 中1男子, 中
3女子, 大学生男子2名

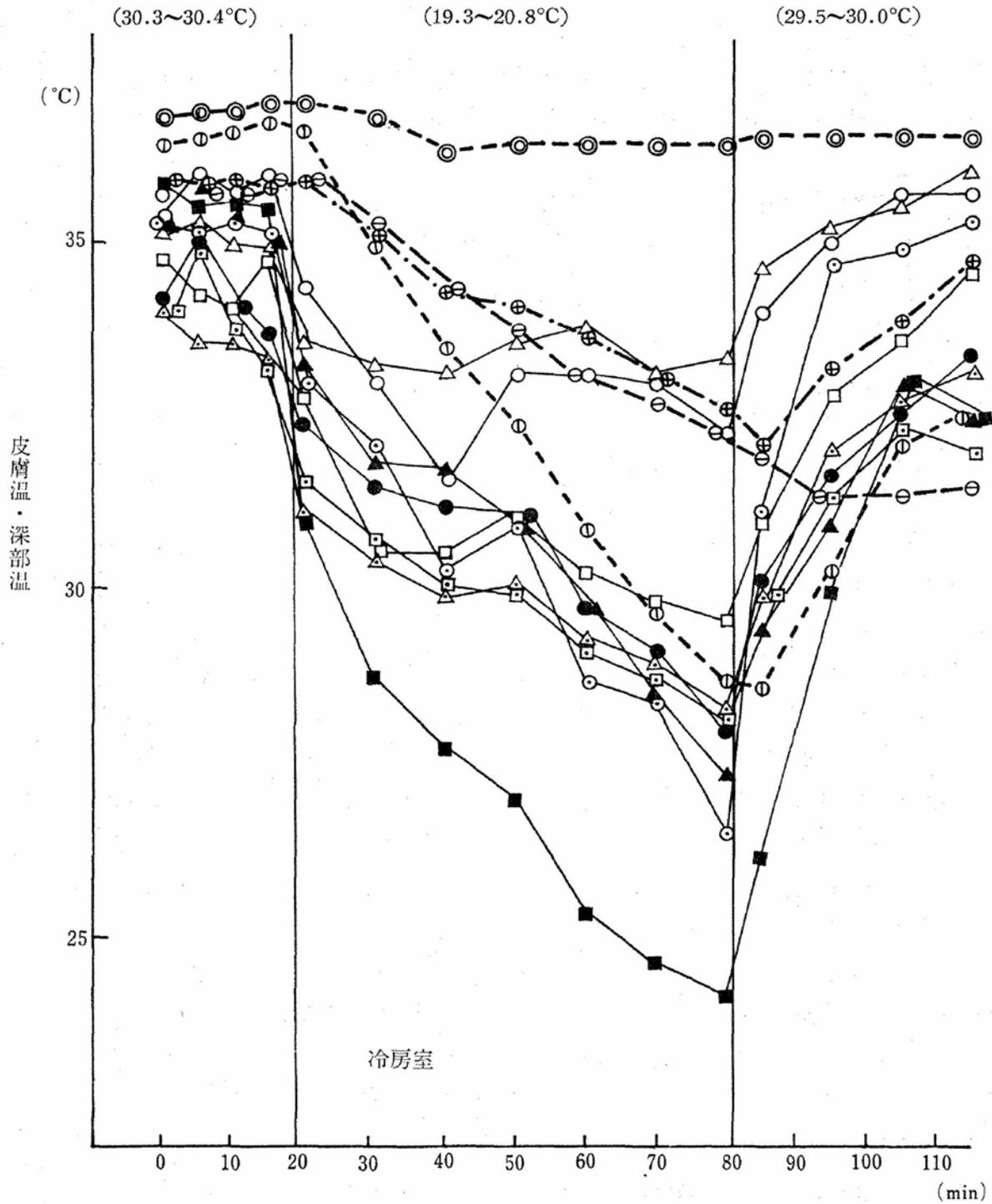
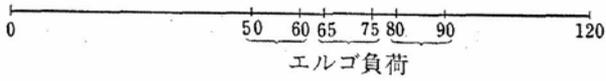


図1 夏季冷房負荷後の暑熱環境への転入が皮膚温・深部温に及ぼす影響について— (Sub. 小4女子)

- (皮膚温) ○ 後頭, △ 上腹, □ 前腕, ⊙ 指先, △ 大腿,
 ■ 下腿, ● 膝, ▲ 足背, ■ 足趾
 (深部温) ⊙ 胸部, ⊕ 前腕, ⊖ 下腿,
 ⊕ 足背 (深部温記号は太線つなぎ)

注) 記号は図1~図9共通

3. 高温環境下での運動負荷時の生体反応（冷房負荷なし）



(対象) 大学生男子 2 名

結果および考察

1) 冷房入室後および暑熱環境への転入が皮膚温・深部温，血圧， O_2 消費量に与える影響——とくに Cold Shock, Heat Shock に視点を置いて（実験 1 群の結果より）

- 皮膚温・深部温に及ぼす影響

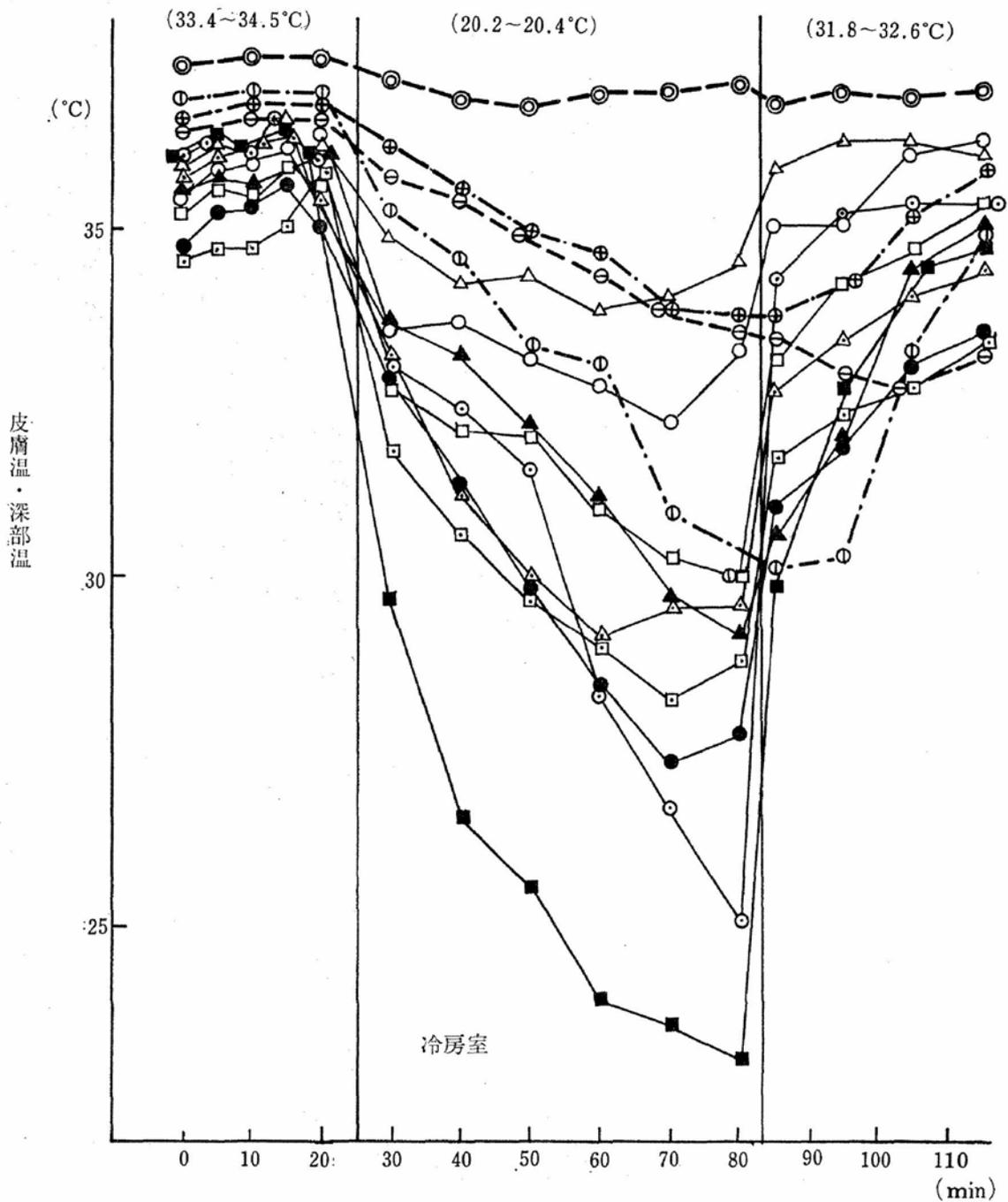


図2 夏季冷房負荷後の暑熱環境への転入が皮膚温・深部温に及ぼす影響について— (Sub. 小6男子)

急激な温度変化によって最もすばやく反応するのは、末端部の皮膚温においてである。

図1~5にみるように、冷房室入室後の皮膚温低下については、成人より小児の方が大であり、また末梢ほど低下度は大きい。

暑熱環境への転入時に受ける Heat Schock は、急激な高温ストレスによる末梢血管の拡張で血流

量の動態が変化し、その結果、深部温 (Core) の方が皮膚温 (Shell) よりも一時的に低くなる現象が認められた。とくに身体運動の際の主要な部位である下腿の深部温は、冷房下から暑熱環境下へ転入すると、他部位に比して低下の一途をたどることに注目したい。それに対して、前腕の深部温の冷房下での低下度は下腿と同じレベルである

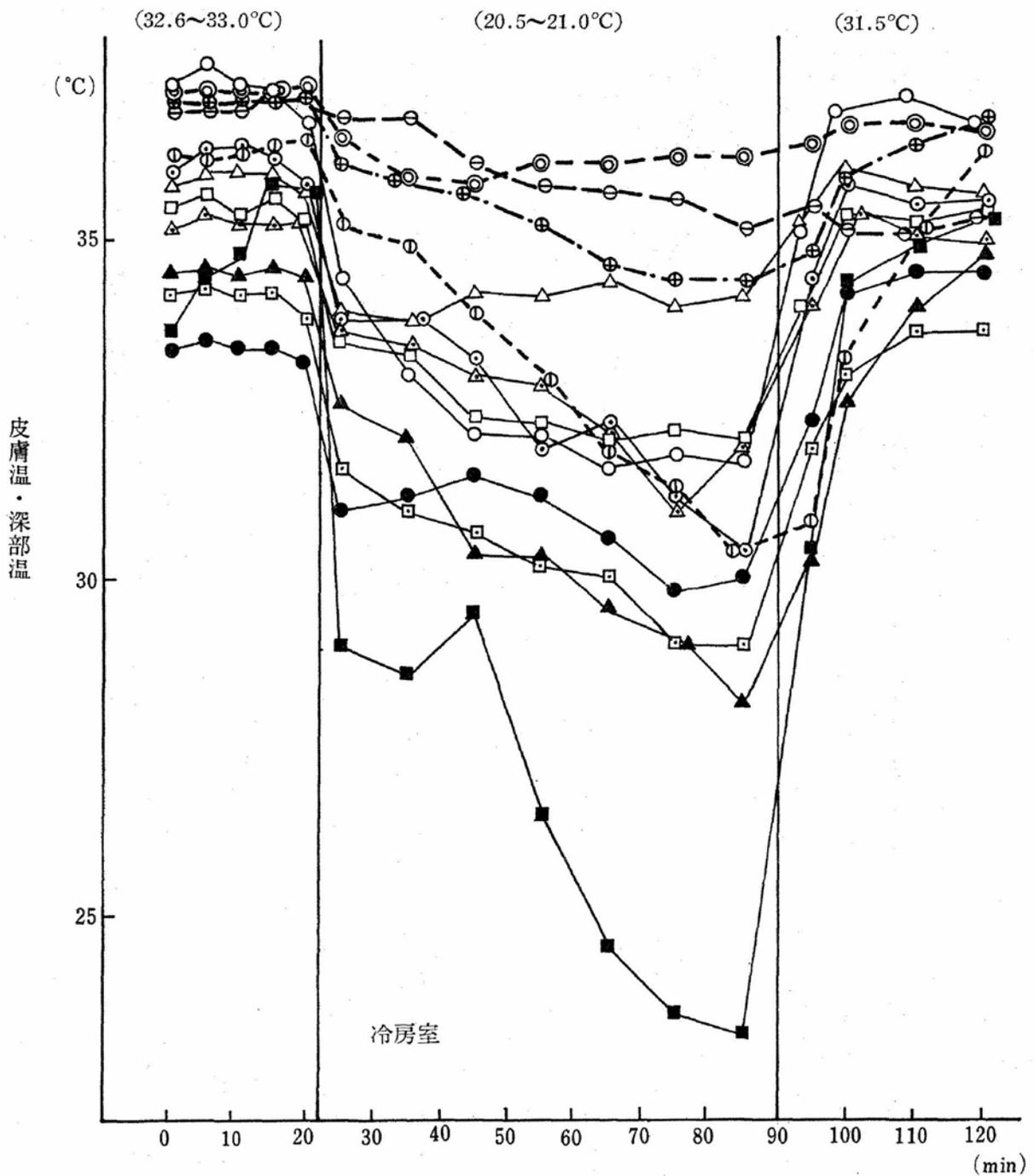


図3 夏季冷房負荷後の暑熱環境への転入が皮膚温・深部温に及ぼす影響について (Sub. 中1男子)

が、退出後は比較的早く上昇する。このことから、上肢の方が下肢よりも温度環境の急変に対してすばやく追随するといえよう。下肢における筋温は、高温環境下への転入によってさらに低下する。これは下肢が、末梢の皮膚血管の急激なる拡張によって血液が末梢に移動し、その結果として

もたらされる一時的虚血状態に最も陥りやすい部位であることを示していると思われる。このことは、急激な温度環境変化時に、急激に運動をすることは、Heat Shock による血液分布の変動の流れと全く逆の生理現象を要求することになる。そして、その傾向は図からも明らかなように、成

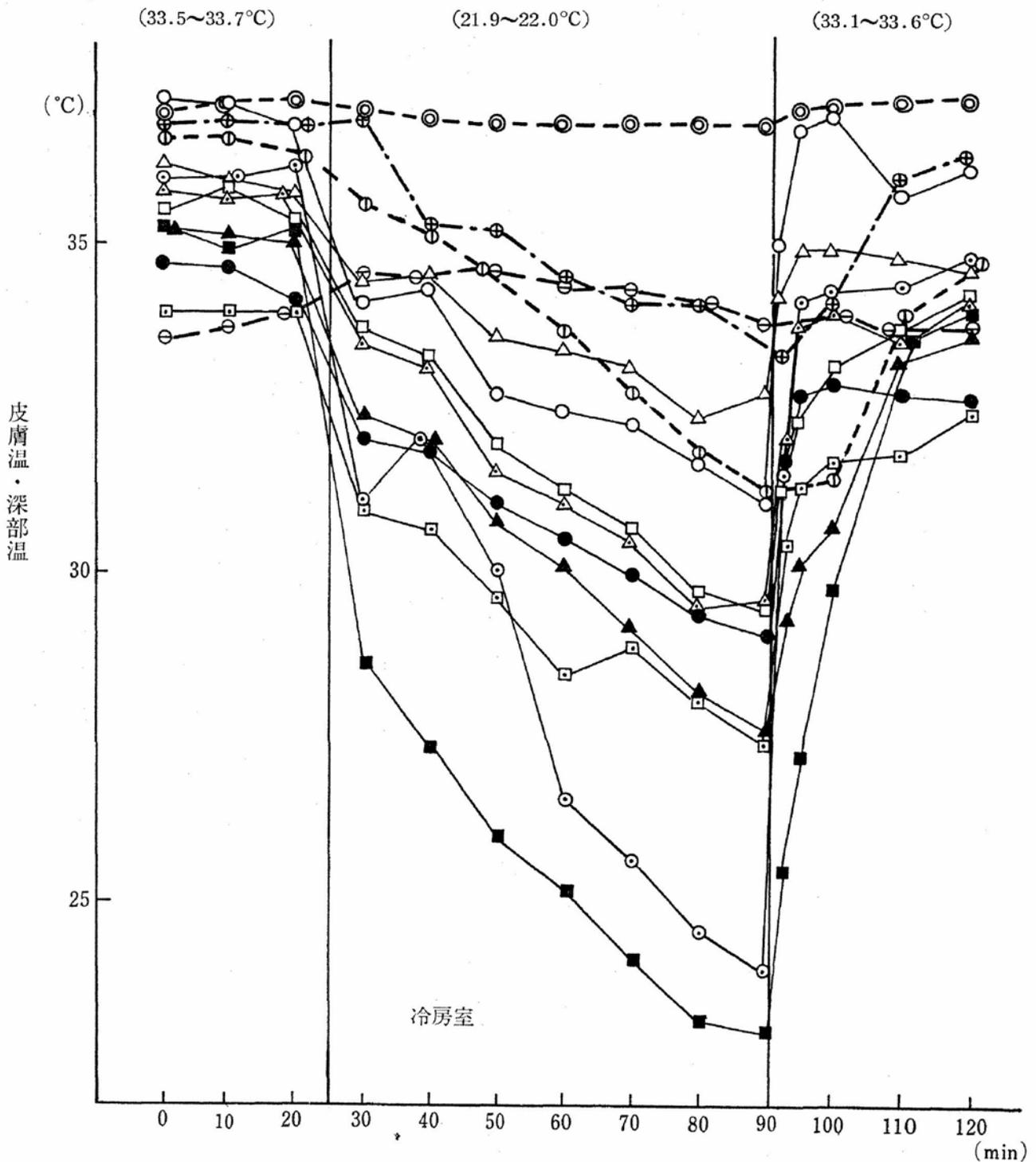


図4 夏季冷房負荷後の暑熱環境への転入が皮膚温・深部温に及ぼす影響について一 (Sub. 中3女子)

人よりも中学生の方が、また中学生よりも小学生の方が大である。

2) 冷房負荷をした場合としない場合における

暑熱環境下での運動負荷による生理的反応
(実験2, 3群の結果より)

図6, 7に、同一被験者である大学生男子に、

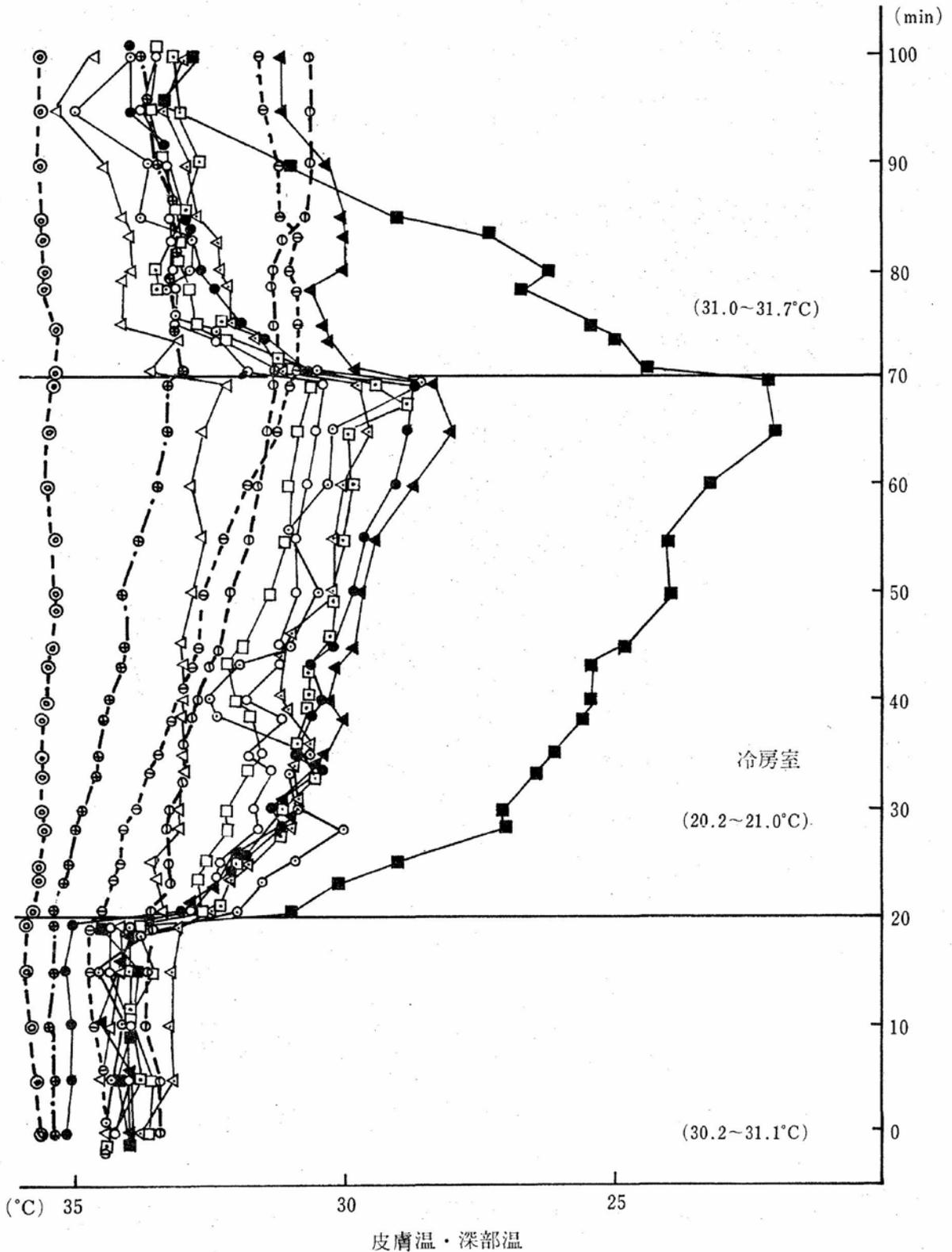


図5 夏季冷房負荷後の暑熱環境への転入が皮膚温・深部温に及ぼす影響について— (Sub. 大1男子)

暑熱環境下で運動を負荷した場合と、暑熱環境下から一たん冷房室に入り、再び暑熱環境下に戻った時点で運動を負荷した際の生理的变化を示した。

ここで注目される点は、運動負荷終了後の皮膚温・深部温の様相である。

暑熱環境下で行った実験では、運動負荷終了5分後からは大きな変化をみせないばかりでなく、どの深部温もすべての皮膚温を上回り、運動負荷前の安静時の様相と一致しているのがわかる。これに対し、一たん冷房室に入った後、暑熱環境に転入した実験では、皮膚温が急激な温度環境の変化によって急上昇するため、全体的に高く、下腿の深部温と同レベルにまで達している。このことは皮膚の末梢血管が拡張し、血流量がShell部分に移行したことを示し、したがってCore部分が虚血状態になるため、心送血量が減ることになり心臓機能の負担を大きくする。また、下腿の深部温が低く、虚血状態になっていることを加えれば、こういった身体の状態は、運動を行うに適した状態ではないといえよう。

夏季の高温環境に順化しようとする生体に対し、冷房は逆の適応反応を強いていることになり、冷房室入室直後のこのような生体の状態で、屋外の暑熱環境ですぐに運動を行うことは、環境の変化に対する適応と、運動負荷に対する適応とが強いられ、生体は二重の負荷を負うことになり、急性循環虚脱などの危険性を伴うことが予測される。

なお、血圧、O₂消費量の面からみると、運動中の血圧上昇が大きいのは、冷房負荷がなされた時であり、O₂消費量が多いのは、冷房負荷がなかった時であった。つまり、循環器系の面では、冷房負荷をした方が大きな負荷となり、代謝系の面では冷房負荷をしない方が大きな負荷となることが示された。(図8, 9)

3) 冷房負荷後の暑熱環境下における生理的反

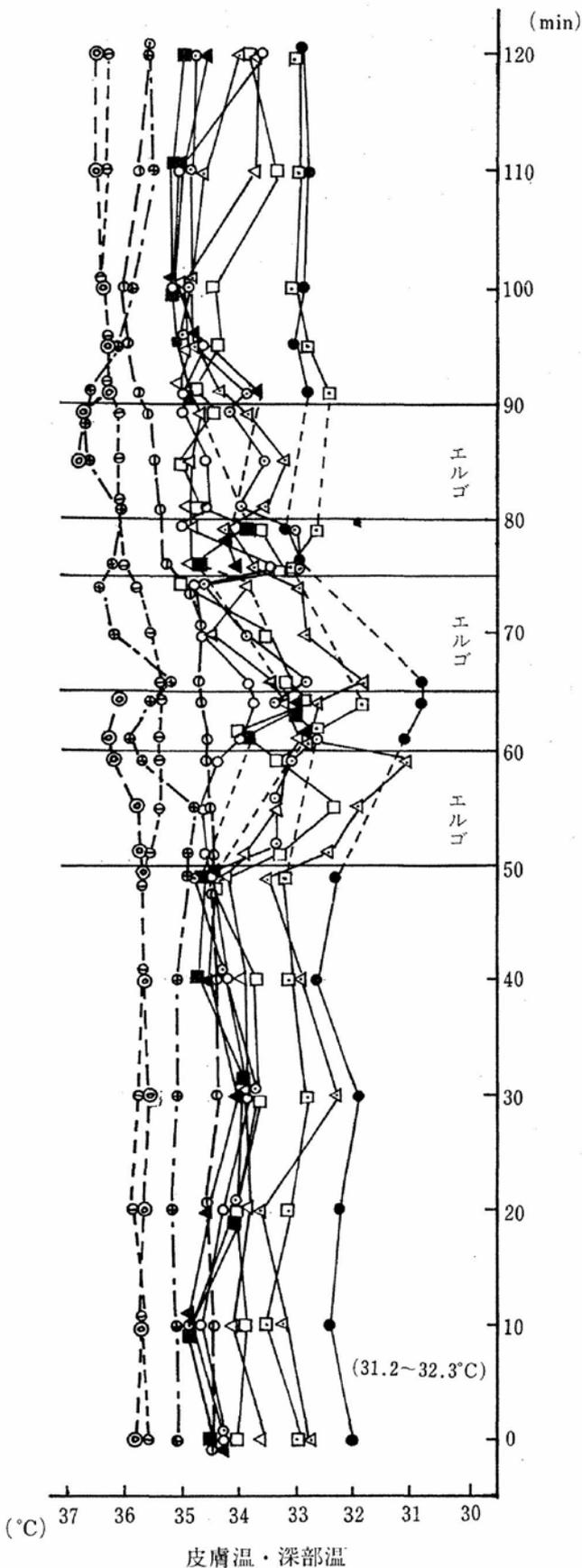


図6 暑熱環境での運動が皮膚温・深部温に及ぼす影響について (Sub. 大1男子)

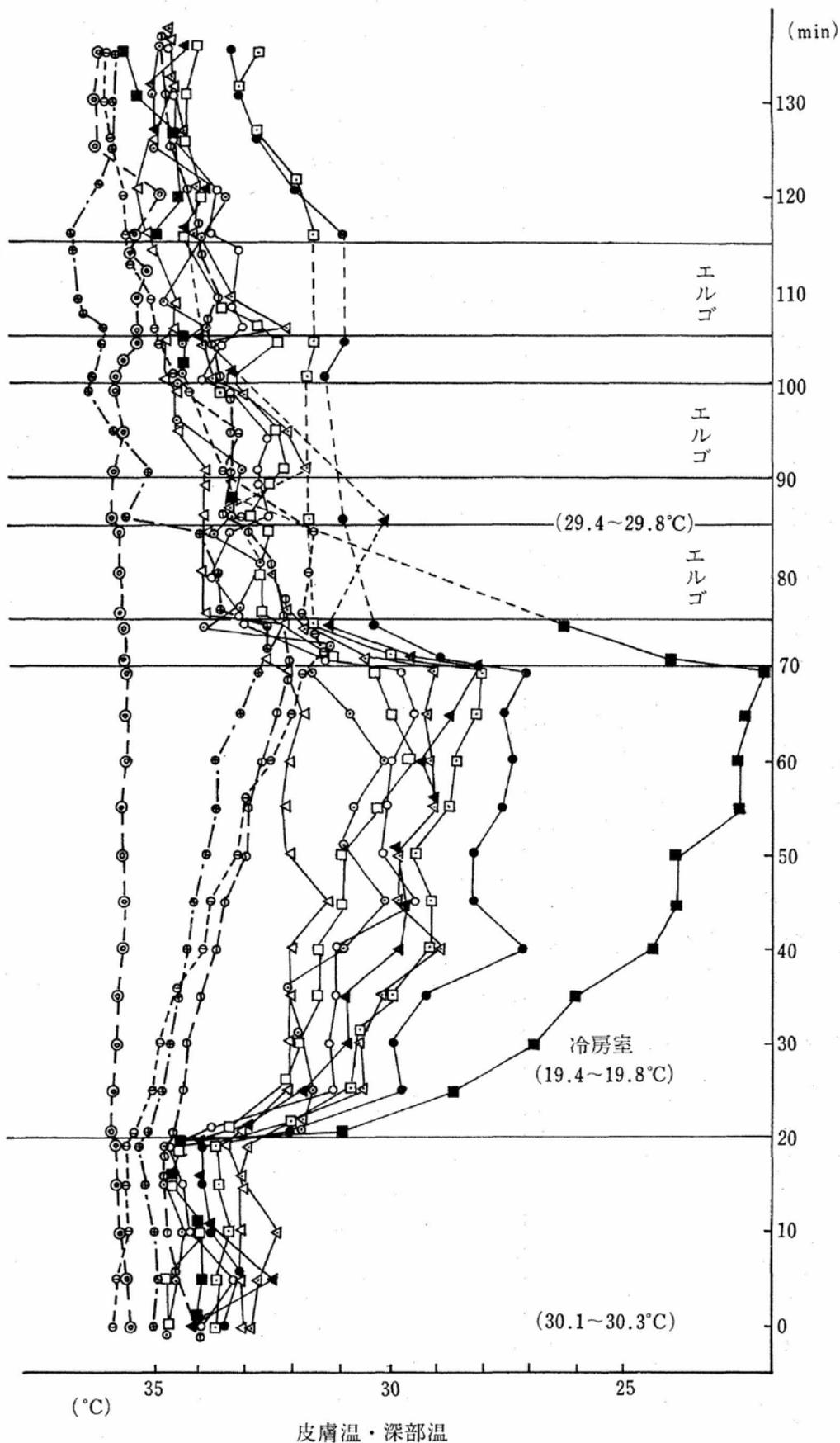


図7 夏季冷房負荷後に暑熱環境での運動が皮膚温・深部温に及ぼす影響について一 (Sub. 大1男子)

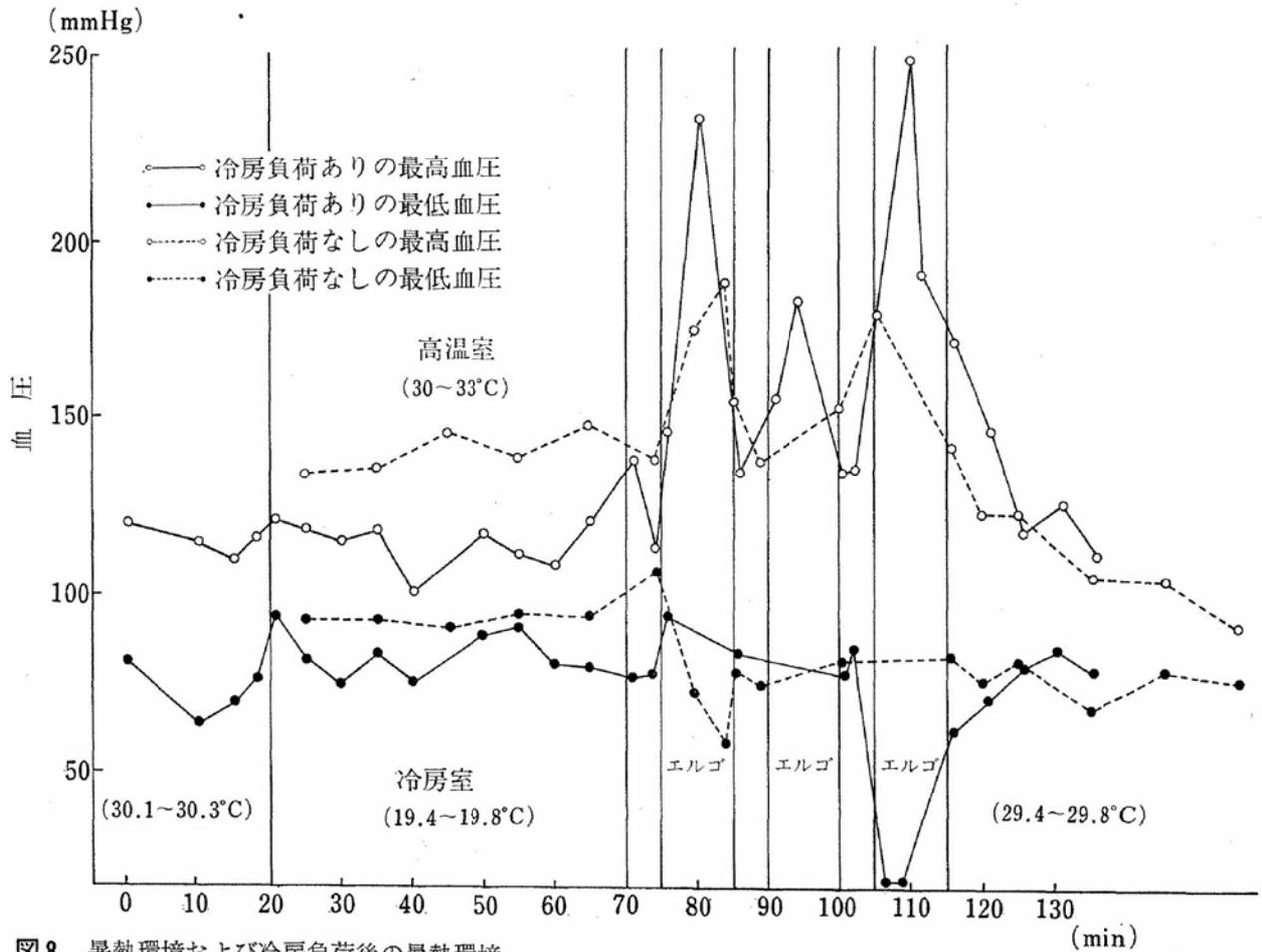


図8 暑熱環境および冷房負荷後の暑熱環境で、運動が血圧に及ぼす影響について (Sub. 大1男子)

応と冷房負荷後の運動負荷による生理的反応 (実験1, 3群の結果より)

図5に、大学生男子が暑熱環境から一たん冷房室に入り、再び暑熱環境に戻った際の皮膚温・深部温の変動を示した。また図7には、同一被験者に冷房室出室後、運動を負荷した際の皮膚温・深部温の様相を示した。

運動を負荷しない場合の皮膚温は、冷房室退出後25分位ではほぼ回復するが、深部温はやや上昇するものの、ほとんど回復しておらず、下腿に至っては逆に低下し続けている。

これに対して運動した場合は、皮膚温は出室後10分ほどで回復し、深部温では、下

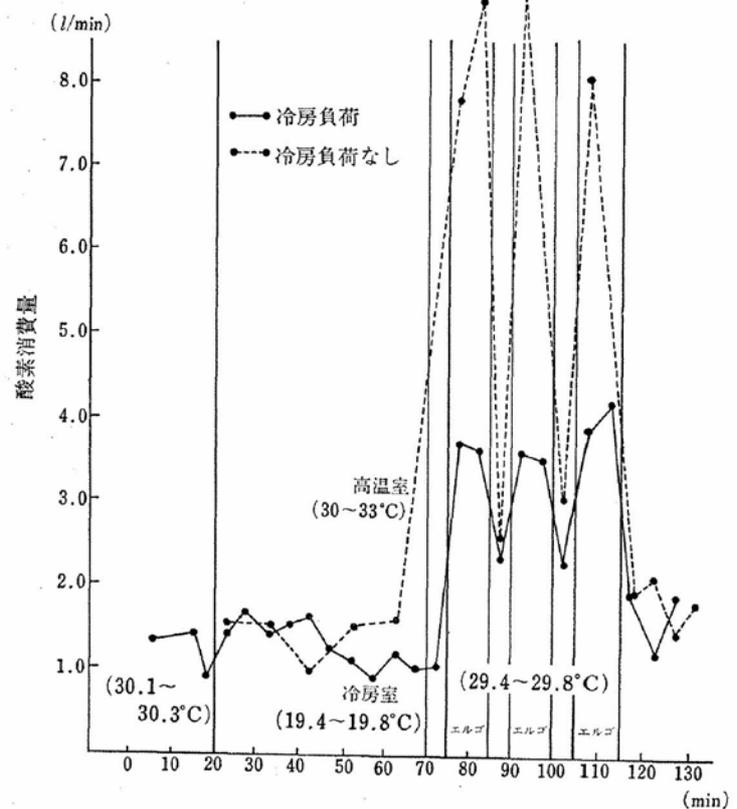


図9 暑熱環境および冷房負荷後の暑熱環境で、運動がO₂消費量に及ぼす影響について (Sub. 大1男子)

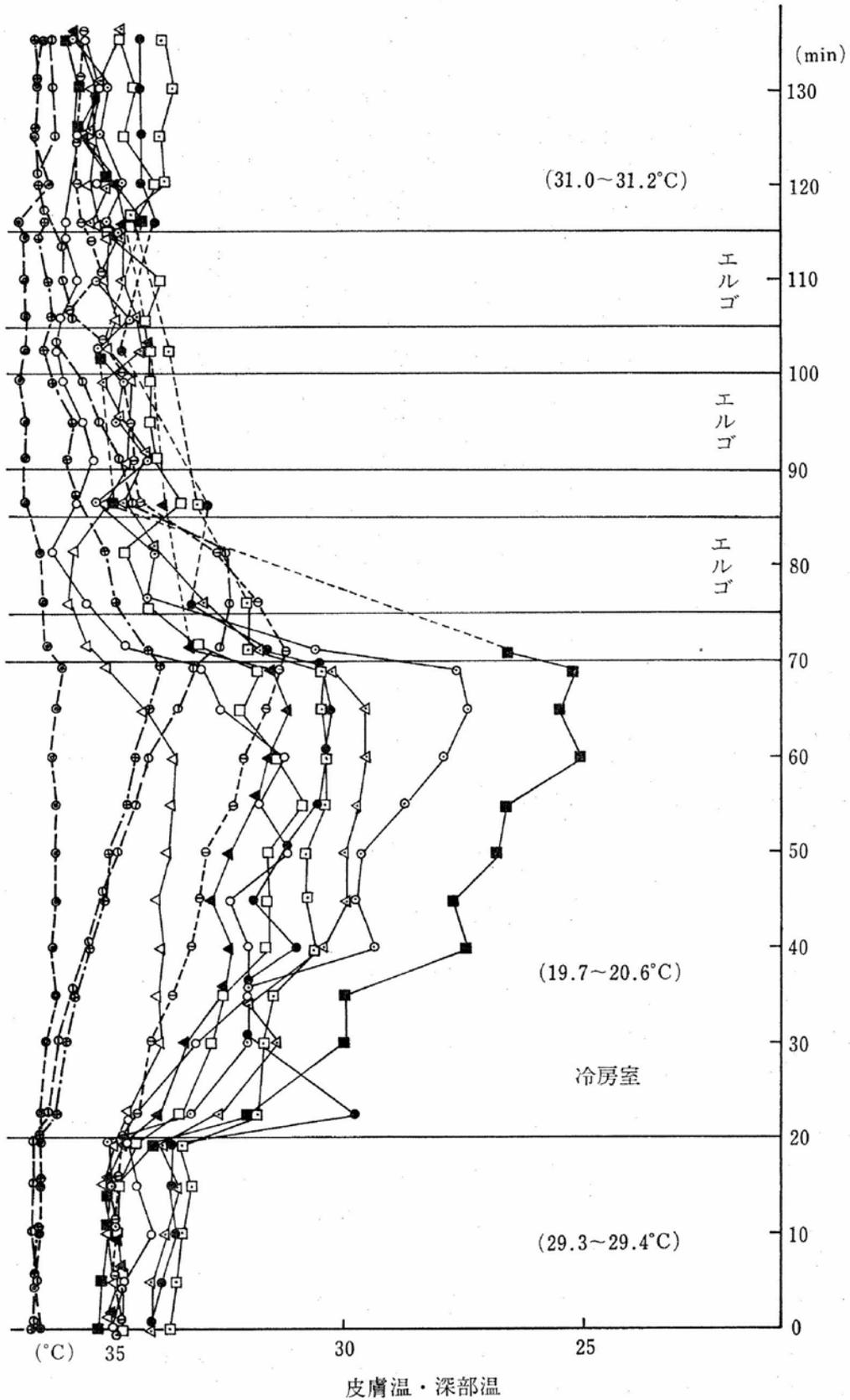


図10 夏季冷房負荷後に暑熱環境での運動が皮膚温・深部温に及ぼす影響について一 (Sub. 小6男子)

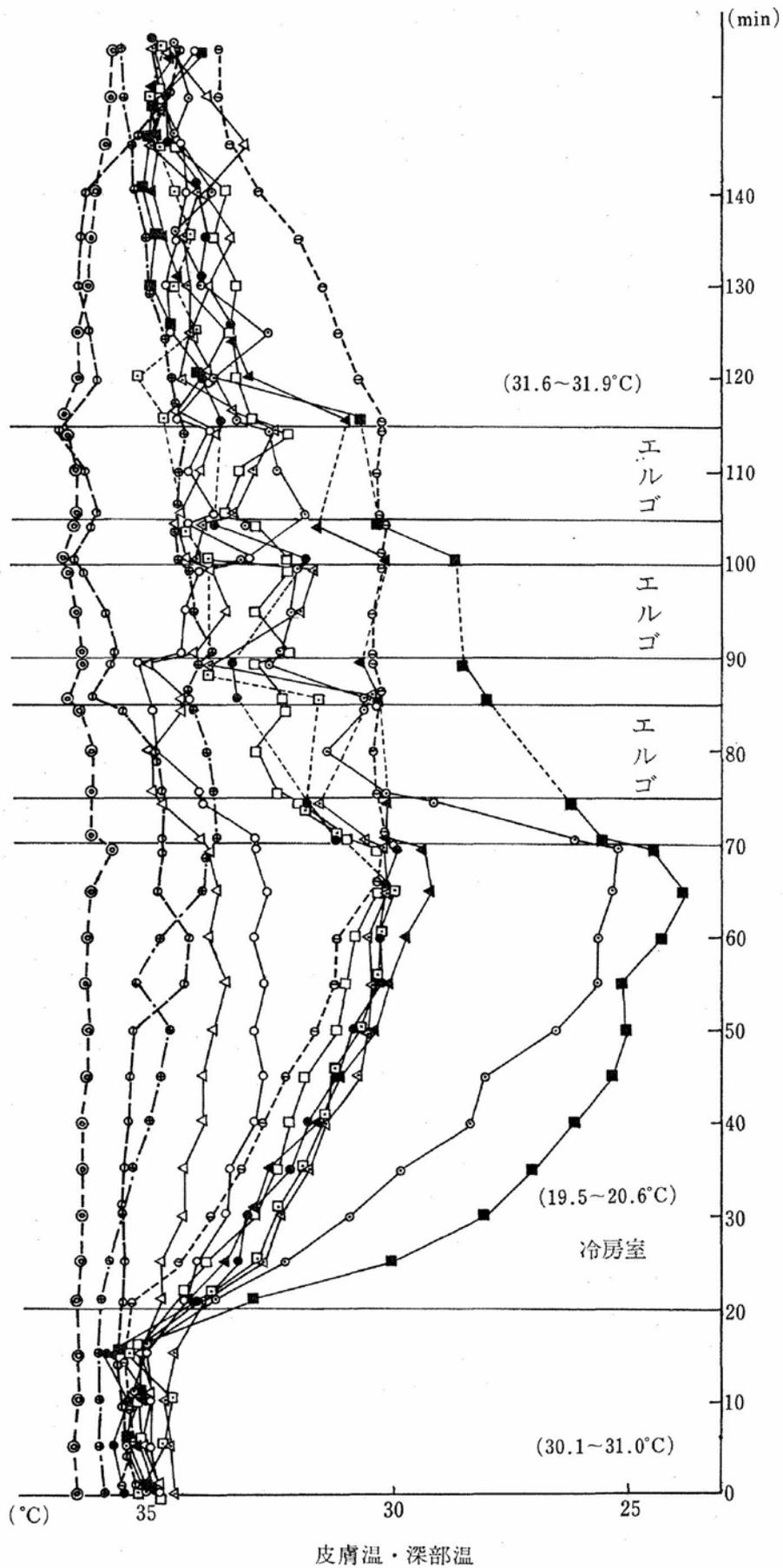


図11 夏季冷房負荷後に暑熱環境での運動が皮膚温・深部温に及ぼす影響について一 (Sub. 中3女子)

腿が10分ほど遅れるものの、すべてが上昇に転じ、30分後にはほぼ回復している。

ここで下腿の深部温に注目すると、運動負荷が、先ほど述べた下腿部の深部温の低下現象を緩和し、上昇に転じさせることがどの被験者についても認められる。(図10, 11)

これらのことから、冷房室から暑熱環境に移ったその直後を除き、運動をすることは、いち早く生体をその暑熱環境に適応させるのに貢献しうると推定できる。

以上のことを総合的に考察すると、冷房室から暑熱環境に出た生体に対して運動をすることは、安静にしているよりも、皮膚温や深部温の回復を早めることになり、暑熱環境に適した生体反応がおこる。しかし、冷房室入室直後は Core が虚血状態になっているため、激しい運動をするのに適した状態ではないと思われる。

そこで、現場における体育指導では、冷房室から出てきた児童・生徒にいきなり激しい運動をさせるのではなく、十分なウォーミングアップ、とくに回復が遅く、しかも運動の主要部である下腿部を中心に行わせるべきと考える。なお、その際の詳細な処方は今後の課題としたい。

結 語

I. 寒冷地青森県下の全館冷暖房二重窓防音校舎(M小)と木造平屋ストーブ暖房校舎(N小)の環境調査と、在室児童の皮膚温・深部温の経時的变化などの測定を行った。その結果、

1) M小では、教室内温が 30°C 以上、20%台

の相対湿度という極端な高温低湿環境が認められ、在室児童の皮膚温・深部温は一様に上昇し、夏型の生体反応を示した。

2) N小では、外気温との差が少なく、児童の生体も冬に適応した体内温度分布であった。

II. 夏季冷房時の東京都某中学校の教室内環境の測定を行った結果、ある座席においては、生体への影響が予想される 0.9m/sec の一定流量・一定方向の気流が当たっており、E.T. 17.7°C という例が認められた。

III. 夏季冷房教室下で学習していた児童が、急に戸外の暑熱環境下で体育の授業を受けた時の、冷房が身体に及ぼす影響を明らかにするために人工気候室を用いて実験を試みた。

その結果、冷房室から急に暑熱環境に出た時、皮膚表面温度は急激に上昇するが、深部温の上昇は遅く、とりわけ下腿の深部温は入室後10分余り低下し続けることが明らかになった。

このように、筋温が低下している状態と血液の体内分布の逆転現象とを考えあわせると、冷房室入室直後に激しい運動をすることは、生体に大きな負担をかけることが予想される。

しかし、冷房室入室後に暑熱環境下で安静にしていた場合と運動を负荷した場合とでは、運動を负荷した場合の方が、皮膚温や深部温の回復は早く、暑熱環境に適した生体反応を示す。

これらのことから、冷房室入室直後は深部温の上昇を促すウォーミングアップを十分に行い、そのあと運動を负荷すれば、冷房による生体への影響は緩和できるように思われる。