

# 向かい風の強さがランニング中のエネルギー 消費量, 体温調節反応に及ぼす影響

大阪体育大学 豊岡 示朗

(共同研究者) 大阪城南女子短期大学 高橋 篤志

## Effects of Windspeed on Oxygen Intake and Thermoregulatory Responses during Treadmill Running

by

Jiro Toyooka

*Osaka College of Physical Education*

Atsushi Takahashi

*Osaka Jonan Women's Junior College*

### ABSTRACT

Metabolic and thermoregulatory responses during treadmill running have been investigated at different wind-speeds in a controlled climatic chamber (10°C, 50% humidity). Five distance runners were tested twice at wind-speed of 2.5 ~ 7.67 m/sec. Following 20-minutes rest and 3 min warm-up, 80 minutes running was applied by a treadmill, with which the wind speed was increased by a step of 1.5 m/sec every 20 minutes. The values of oxygen intake at any speed, were determined at the termination of every 20 min, were not found to be affected by differences ranging wind speed of 2.5 ~ 7.67m/sec.

Mean skin temperature and a thermal sensation decreased as the speed of wind movement increased. Heat loss increased sharply at a wind speed of about 4 m/sec. During 80-min running, body heat storage were only -20 to 20 kcal/m<sup>2</sup> · h at any wind-speed. From these results it is suggested that jogger and athletes should have gloves, warmer of forearm and a thin short pants at training and race during winter season.

## 要 旨

気温が低く、風の強い冬季における長距離走のトレーニングやレースでは、向かい風の影響により記録の達成が妨げられたり、思っていたトレーニング内容を消化できないこともある。また、身体の冷えから腕が振れなくなったり、けいれんを起こしたりする例も見られる。

日本の冬場（1～2月）のマラソンやロードレース時の気温を調べると5～10℃前後が多い<sup>6)</sup>。本研究では、そのような気温条件下での向かい風の影響に着目し、人工気候室にて種々の強さの向かい風を設定し、Submaximalなスピード走行におけるエネルギー消費量や身体各部位の皮膚温、深部体温がどのような影響を受けるかを明らかにしようとした。

## 1. 方 法

### 1.1 被験者

大学陸上競技部に所属している男子長距離選手5名（年齢18～22歳）である。彼らの身長は、165.8～175.2 cm、体重は50.96～58.52 kg、5000 mの自己最高記録は14分42秒～16分10秒の範囲であった。

### 1.2 実験条件

室温10℃、湿度50%の環境条件を大阪体育大人工気候室にて設定し、各ランニング中に被験者の1 m前面より吹き出る気流の速さを、毎秒0～7.67 m/sの範囲内で20分ごとに変化させた。この風速の校正は、西ドイツ製・ANEMO DEUTAにて行なった。

トレッドミルスピードは、2.67 m/sec～4.67 m/secの範囲であり、1人につき2種類のスピードで実験を行なった。全走行時間は1回当たり80分（4条件×20分、手袋着用）とした。なお、この4条件は①気流0 m/sec、②ランニングスピード（m/sec）と同じ気流速度、③②の条件+1.5 m/

sec、④②の実験条件+3.0 m/secであり、いずれの走行の場合とも、①からはじめ、20分ごとに②→③→④へ進む実験条件で実施した。

本実験に当り、被験者はトレーニングウェア（長そで、長ズボン）着用で入室（10℃、湿度50%）し、直腸温用および皮膚温用サミスター素子を装着した後、20分間の椅座位安静をとった。この間に心電図用電極や呼気採取用マスクをとりつけ、安静終末3分間に安静時値を記録した。続いて毎分200 mのスピードで3分間のWarm-upを行ない、2分間の休息をはさんだ後、所定のスピードでの80分間走（4条件×20分）に入った。なお、走行時の服装は、ランニングパンツ、ランニングシャツとした。

### 1.3 測定項目と方法

換気量と酸素摂取量は、ミナト社製エアロモニターAE・280とMG—360、心拍数はキャノン社製スポーツテスターにて、ウォームアップ開始から運動終了時まで毎分測定した。直腸温はサミスター素子の先端を直腸内に約15 cm挿入し、皮膚温は、皮膚温用サミスター素子（平板型）を、胸部（乳頭より2～3 cm上）、上腕（中央部外側）、大腿（中央部前面）、下腿（中央部やや外側）の4点に貼布してその変化を記録し、Ramanathanによる次式で平均皮膚温（ $T_s$ ）を算出した<sup>7)</sup>。

$$T_s = 0.3（胸部+上腕）+ 0.2（大腿+下腿）$$

主観的寒さは、安静時の状態を10とした10段階の尺度を任意に作成し（表1）、各条件下での走行19～20分目に表1を被験者に呈示して、数字を求めた。

## 2. 結 果

### 2.1 向かい風の強さとエネルギー消費量について

ジョギングのスピードから、レースペースに近い速度（相対強度で50～80%  $\dot{V}O_{2max}$ ）で走行した際の酸素摂取量の値（各プロットとも種々の条件

で走行した（19～20分目）を向かい風の強さとの関連で表したものを図1に示した。同じ印でプロットされたものはどの気流速度の場合においても、走っているスピードは同一である。9実験の

うち気流速度の増大により、酸素摂取量の増加が見られた例は、最も速いスピード（毎分280 m、図1中の●印）の場合のみであり、気流0 m/secと7.67 m/secで約3 ml/kg/分ほどの差がみられた。

他の実験例では、向かい風に伴う酸素摂取量の増加は、ほとんど見られなかった。ランニングスピードと種々の向かい風条件時での酸素摂取量を比較したものが図2である。向かい風が最も強い条件（○印）の場合に、酸素摂取量が最も多いという傾向はあるものの、統計的に有意差は認められなかった。また、毎分240 mまでの速度における各条件間の酸素摂取量の差は、約3 ml/kg/min以下であるが、ランニング速度の増大に伴ないその差も大きくなる傾向がみられた。

## 2.2 向かい風の強さと主観的寒さについて

図3に気流速度と主観的寒さの関係を示した。

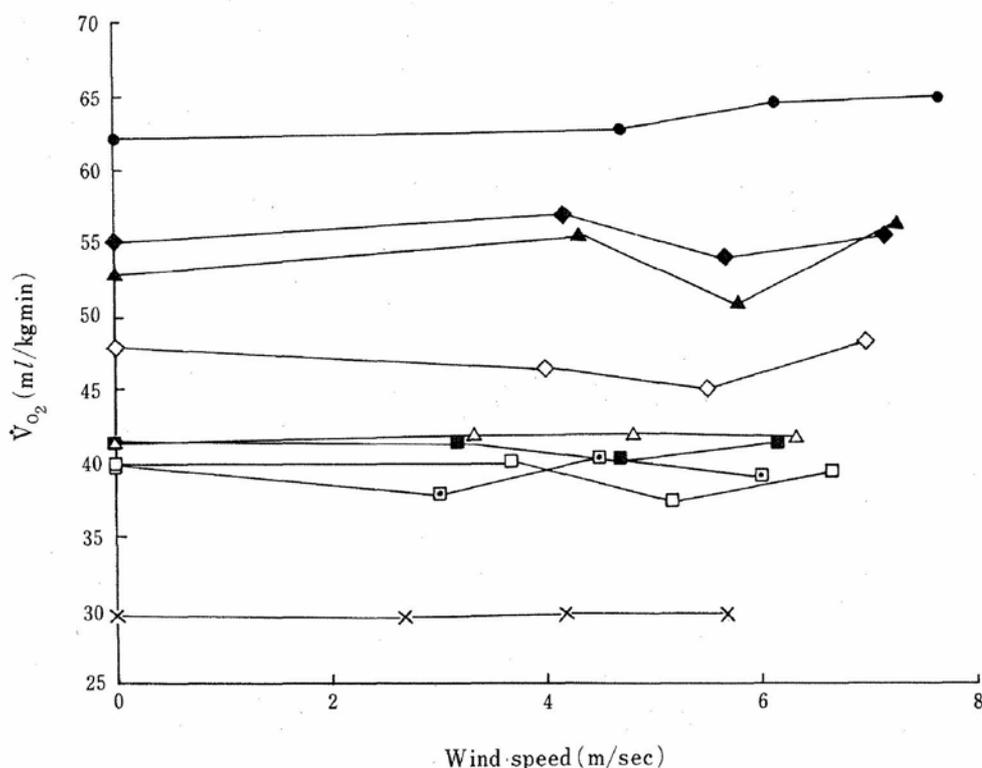


図1 種々のスピード走行中に、向かい風の強さを変えた場合の酸素摂取量の変化

寒さの感受性の面から個人差が見られたものの、向かい風の強さの増大に伴ない、主観的寒さも増加した。同一人で2種類の実験を行なった被験者では、いずれもランニングスピードが速い場合（向かい風が強くなる）の方が、主観的な寒さは高い値となった。

被験者の中で、気流スピードが7 m/secの時、「非常に寒い：17」と応答したS.U.の4条件での主観的寒さは、10→12→15→17と変動した。また、この被験者と同様に他の被験者の場合も、いずれのスピードで走行していた場合でも、向かい風が4 m/sec以上になると、主観的寒さが急速に増大する傾向が認められた。

### 2.3 向かい風の強さと平均皮膚温、直腸温について

種々の一定スピードで走行中の直腸温と平均皮膚温の変動を向かい風の強さとの関係で表したものが図4である。直腸温はどのスピードで走行し

ても37～38℃の間に分布し、ランニング速度が遅いほど低い傾向にあるものの、向かい風の強さによる影響は、見られなかった。しかしながら、平均皮膚温は、ランニングスピードが速く、向かい風が強い場合に低くなる傾向が認められ、毎秒3～7 mの向かい風の範囲では、1 m/secの向かい風の増大で平均約0.7℃の低下を示した。

また、向かい風が毎秒4～5 mの条件下で、平均皮膚温が約30℃と高かった3名の被験者（△：T. I. 260 m/min, ▲：S. U. 250 m/min, ●：K. A. 280 m/minの速度）は、向かい風が1.5 m強くなった（5.5～6.5 m/sec）条件下で平均皮膚温は4～5℃の低下を示した。

図5に、被験者T. I.の毎分220 mスピードで走行中の各部位の皮膚温変化を示した。向かい風が3.67 m/secから6.67 m/secに変わると、各部位の皮膚温は徐々に低下し、上腕、下腿、大腿、前腕の順に皮膚温は低くなった。5分ごとに手袋

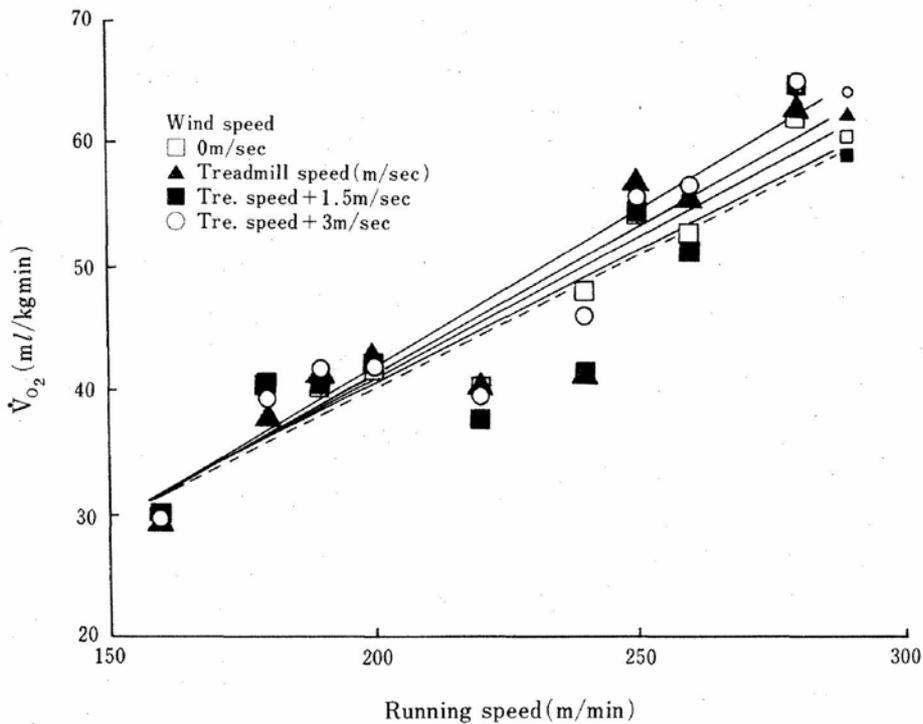


図2 種々の向かい風条件でのランニングスピードと酸素摂取量の関係（破線はPughのグランド走のデータを示す）

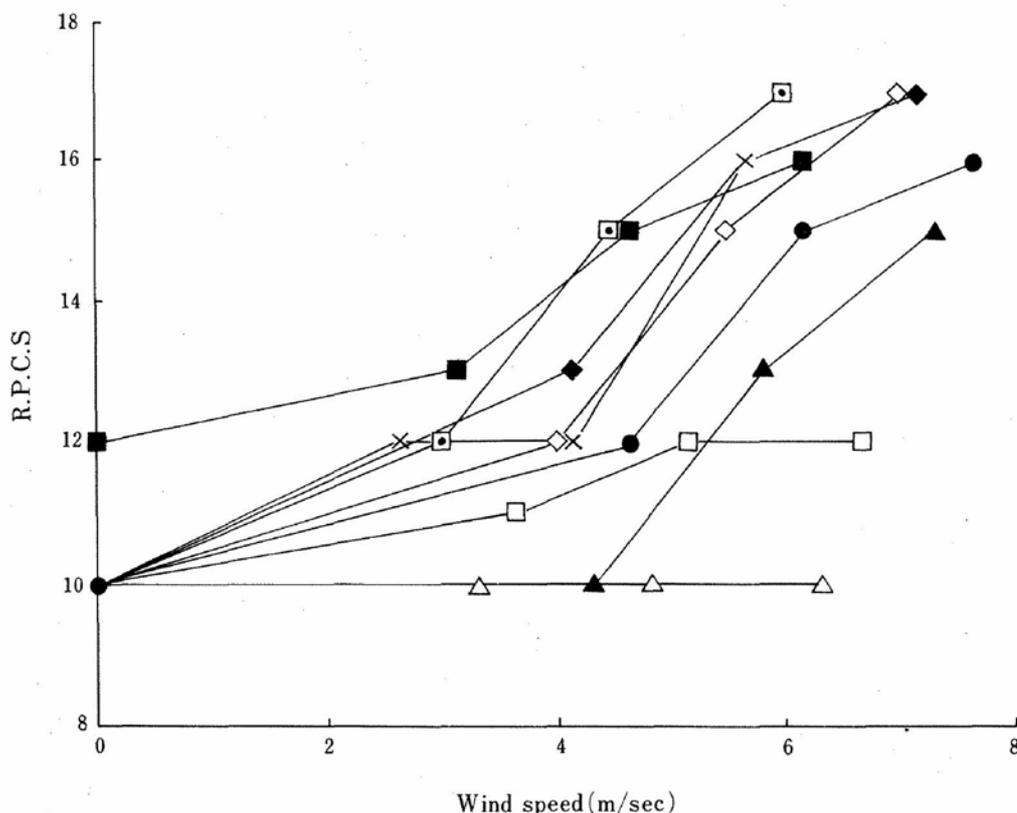


図3 向かい風の強さと主観的寒さの関係

を着脱して手背の皮膚温変化をみたところ、着脱により約0.5℃程、変動することがわかった。毎秒5.17 m以上の向かい風の場合、手袋がないと指がしびれてくるという自覚症状を示し、終末時の皮膚温は約14℃であった。

なお、ランニングという腕を振る動作だけで、気流0 mにおいて、前腕と手背の皮膚温は顕著な低下（それぞれ、2.5℃と5℃）を起し、向かい風以外の要因でも皮膚温の低下を示した。

最も速いスピード条件で走った被験者 K.A. の皮膚温変化（図6）も図5とほぼ同様であり、直腸温は運動20分以後、ほとんど変わらず約38℃を保った。最も皮膚温の低下した部位は、前腕（運動終末時、18℃）であり、続いて大腿（終末時、24℃）の順となった。

### 3. 考察

かなり強い向かい風を受けてのランニングは、

身体が左右に揺れたり、フォームを前傾して走らないと走りにくい。そのようなコンディションの場合、他のランナーを風よけにして後方につくと、走りやすく、ペースを維持しやすい。

Pugh<sup>9)</sup> は、風洞内のランナーの前後にピトー管をおいて風圧の分布を測定し、ランナーの背後の風圧が前方の風圧に比べて著しく低いことを確かめている。空気抵抗の克服に要する酸素摂取量は、前方にだれもいない場合に比べて全酸素摂取量の6%も減少するという。マラソンレースでは、向かい風の場合、先頭ランナーが蛇行して走る機会も見られるが、後続ランナーに有利にさせない戦術のひとつと思われる。

本研究では、気流速度を遮断した状況（無風：屋外では静止した空气中を走行しても走者はそのスピードに応じた空気抵抗を受けるが、この場合は0 mであり、人工気候室特有の状態）から毎秒7.67 mまでの向かい風を設定してトレッドミル上

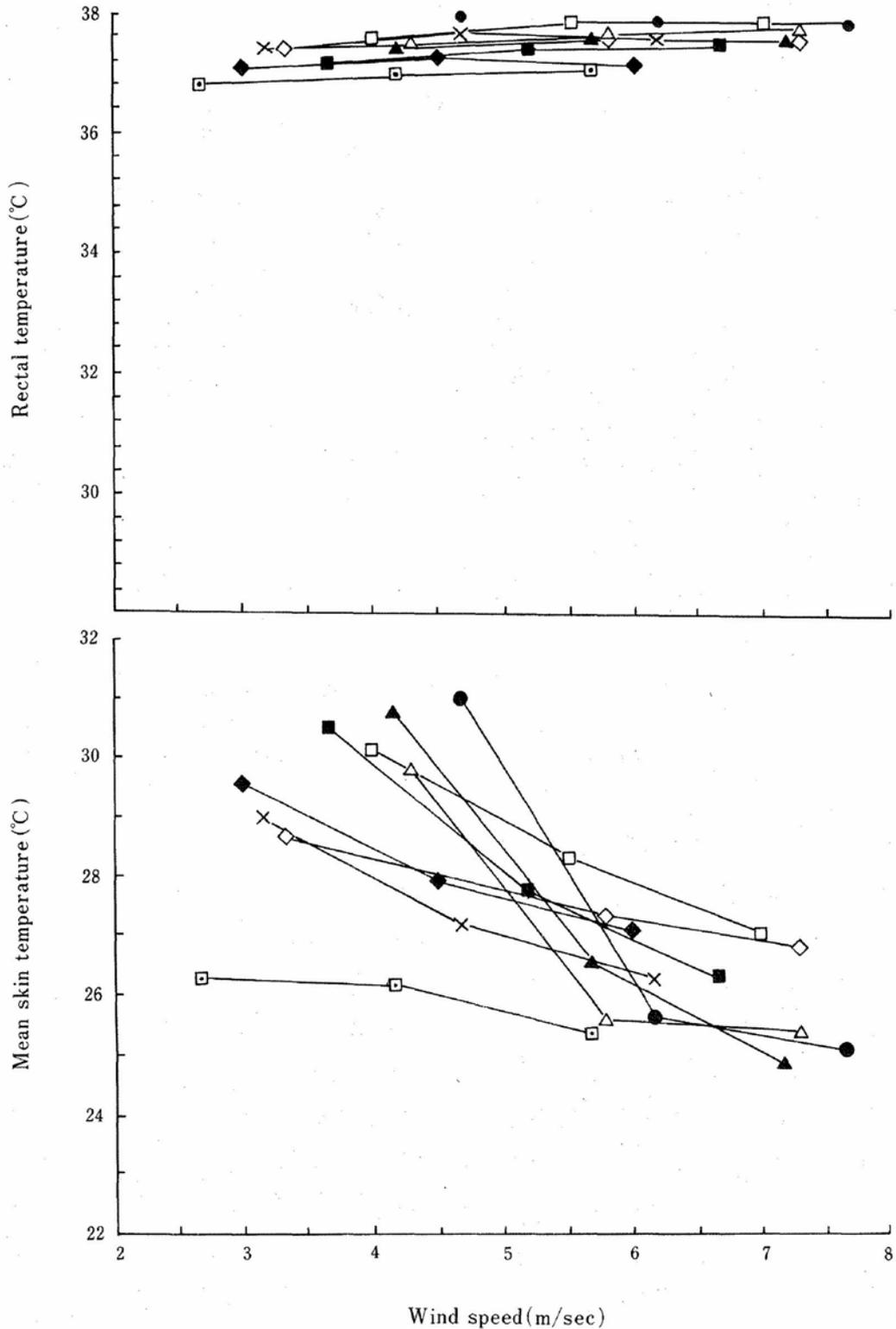


図4 向かい風の強さと直腸温, 平均皮膚温の関係

を走行したが, 毎分 160 m から 280 m という速度の範囲内では, 気流の強さの増大に伴う酸素摂取量の増加は認められなかった。

Pugh は風の影響を受けないトレッドミル走

と, 風の影響を受けるトラック走で酸素摂取量と走速度の関係を調べ, 走速度の増加につれトラック走の酸素摂取量が高まるのは, 空気抵抗に対して余分の仕事をするためと述べている<sup>1)</sup>。その

データを見ると、ランニング速度が遅い 200 m/min ~ 280 m/min では、両者の酸素摂取量の差が、0.1 ~ 3.1 ml/kg/min 程度である。ジョギングや中程度スピードの持続走では、空気抵抗によるエネルギー量の増大は測定誤差の範囲内に入ると思われる<sup>8)</sup>。

本研究でグラウンドを走っていることに相当するデータ (図2中▲印) は、いずれの速度の場合とも、図2で示した Pugh のグラウンド走の値よりわずかに高い酸素摂取量を示した。毎分 200 m の速度までは、ほぼ同じであり、それ以上の速度の場合でも、1 ~ 2 ml/kg/min、毎分 280 m で約 3 ml/kg/min の差異となった。すなわち、この範囲内の速度では、ほぼ同様の結果といえる。

本研究は向かい風の強さが、ランニング中の酸

素摂取量を多少とも高めるという予測で着手した訳であるが、ジョギングのスピードから毎分 250 m 前後のスピードの範囲では向かい風が 2.5 ~ 7 m/sec になっても、大きなエネルギー消費量の増大は認められなかった。向かい風の影響は、本データからみると、毎分 300 ~ 350 m 以上のスピードから明白になると思われる。

河合によれば、マラソンで熱平衡が保たれるのは 10 ~ 15°C (気温) であり、それ以上 25°C 以下なら 1 時間で体温が 2°C 上昇する計算になるという<sup>9)</sup>。本実験の直腸温と平均皮膚温のデータから Burton の式 [S = 0.83 W (0.9 ΔT<sub>re</sub> + 0.1 ΔT<sub>s</sub>)] により各実験条件での蓄熱量 (S) を求めた<sup>1)</sup>。

W は体重 (kg) を表わし、人体の比熱を 0.83 と

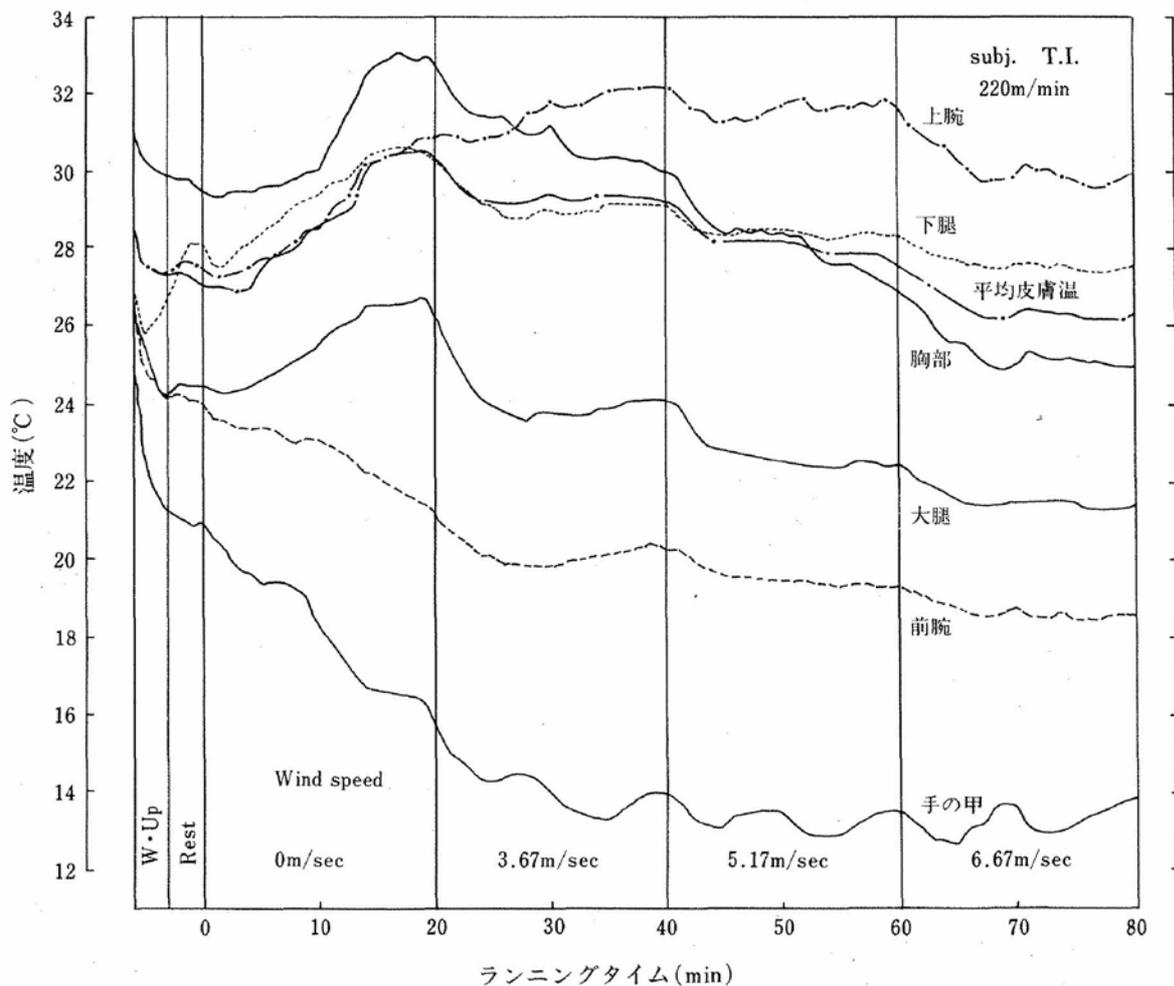


図5 ランニング中に向かい風の強さを増大した場合における各部位の皮膚温の変動

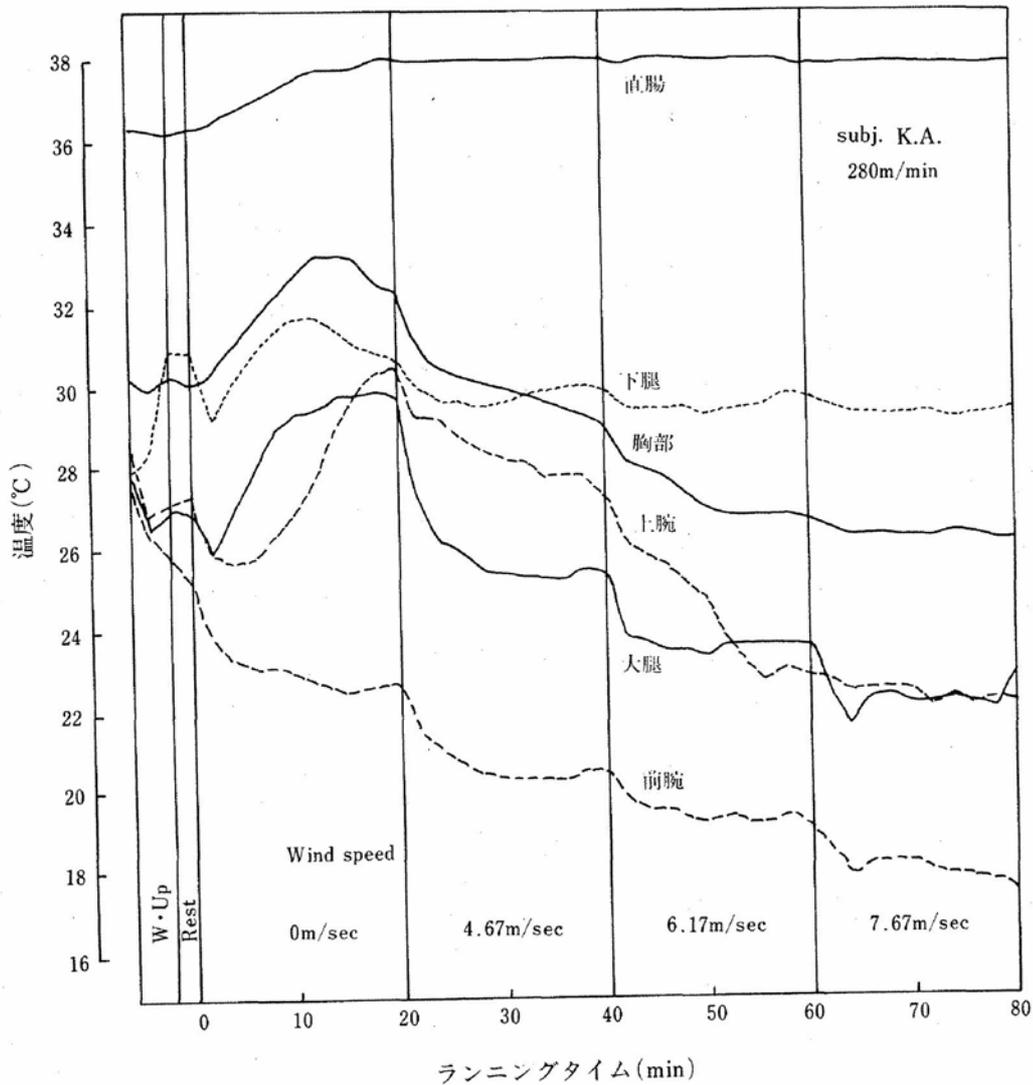


図6 ランニング中に向かい風の強さを増大した場合における直腸温、皮膚温の変動

した。また、平均体温については、皮膚温への重みづけを0.1とした<sup>3)</sup>。図7は各被験者が20分間づつ諸条件で走った際の蓄熱量を比較したものである。気流0 m/secの場合、最も速いスピード(280 m/min, ●印)で150 kcal/m<sup>2</sup>・h, 最も遅いスピード(160 m/min, ×印)の場合、20 kcal/m<sup>2</sup>・hという大きな蓄熱量の差を示した。

10°Cという環境条件下で無風の実験室内をトレッドミル走行する場合には、スピードによって著しく蓄熱量が異なることを示している。しかしながら、気流0 m/secという条件は、実験室内のみで生じる条件であり、屋外を走る場合には、たとえ無風であっても、ランニングスピードと同等

の向かい風を受ける。

向かい風2.5～7.67 m/secの条件下の蓄熱量は、20～20 kcal/m<sup>2</sup>・hとなり、向かい風の条件差や個体間差による影響は小さく、データ数の70%以上が負の蓄熱量を示した。

また、蓄熱量が走行経過につれて増大する傾向も認められないので、本実験の温度下では、ランニングの途中から向かい風が強くなったとしても、蓄熱量に大きな変化が生じないことを表している。それゆえ、10°C、湿度50%下で、屋外において、ランニングパンツ、ランニングシャツの服装でジョギングや毎分300 m以下の速度で持続走を行なっている場合、体熱の蓄積はほとんどない

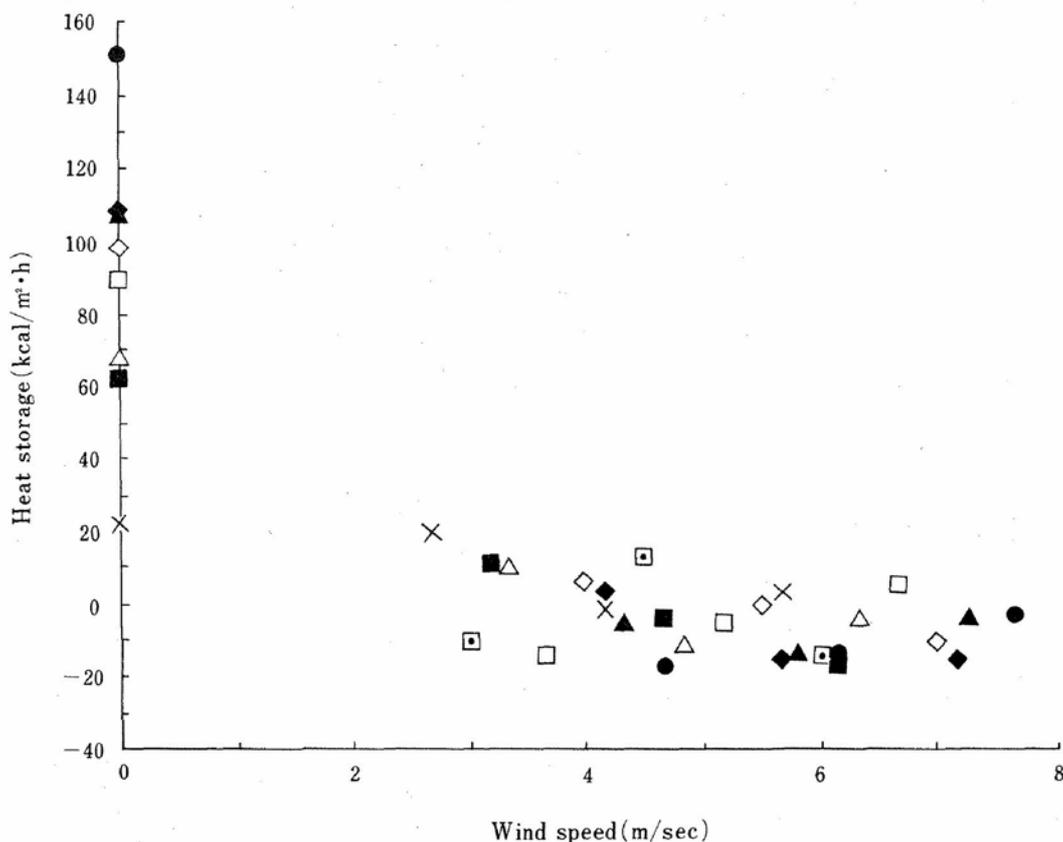


図7 向かい風の強さと蓄熱量の関係

と予測される。

本実験環境（冬のロードレース時に類似した気象状況）で見られた体温調節系の変化は次のようになった。

1) 直腸温は向かい風の影響を受けず 37 ~ 38°C をキープした。

2) 平均皮膚温は、向かい風の増大と共に低下し、毎秒 1 m の増大で平均約 0.7°C の低下を示した。また、ランニング速度が速くなると（毎分 250 m 以上）、毎秒 4 m 程の向かい風で平均皮膚温は急速に低下した。この現象は主観的寒さの増大とよく一致した。

3) 皮膚温の低下が著しい部位は前腕であり、主観的に最も冷たく感じる部位であった。なお、前腕が赤味を帯び、冷たさを訴える被験者もみられた。また、前腕の次に皮膚温の低下が生じた部位は大腿であった。

4) 手背の温度は、手袋の着脱で約 0.5°C 変化した。毎秒 5 m の向かい風で、この部位は 14°C まで低下し、手袋なしで 10 分間以上走れない状況となった。なお、0.5°C の温度差は、主観的にはもっと大きな差に感じたと被験者は述べていた。

5) 向かい風の状況下では蓄熱量は少なく、負の蓄熱量を示した例が多かった。

以上のような結果をもとに冬のジョギングやロードレース時の注意点を考えると次のようになると思われる。

イ) 向かい風が 4 m/sec 以上の場合、「寒く」感じるので、手袋は必ず着用し、前腕を覆うウォーマを準備すべきである。ジョギングの場合、長そで、手袋、ランニングタイツを着用する。

ロ) 初心者ややせ型のランナーの場合、レース時にはイ) の注意点に加え、脚の冷えを予防するため大腿部を覆う薄いタイツの着用も効果的かも

しれない。

#### 4. 要 約

大学陸上競技選手(長距離)5名(18~22歳)を対象に、10°C、湿度50%、向かい風2.5~7.67 m/secでの80分間トレッドミル持久走(傾斜0%、速度160~280 m/min)を課し、このときの体温と体謝反応を測定し、次のような結果を得た。

1) 毎分160~280 mのスピードでのランニング中、向かい風の強さの増大に伴う酸素摂取量の増加は認められなかった。しかしながら、毎分240 m以上のスピードの場合、最も向かい風の強い条件のときに酸素摂取量が高くなる傾向がみられた。

2) 向かい風の増大により平均皮膚温は著しく低下し、それに伴ない主観的寒さも増加した。

3) 最も冷たく感じる部位は、前腕であり、その部位の皮膚温の低下も顕著であった。

4) 手袋の着用は、手背皮膚温を約0.5°C増加させ、手指の主観的寒さを和らげた。

5) 蓄熱量は、気流0 m/secの場合を除くと $20 \sim 20 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ の範囲であり、本環境条件下で持続走をした場合、体熱の蓄積は非常に少ないことがわかった。

6) 以上の結果から、向かい風の強い冬のジョギングやレース時には、手袋、前腕ウォーマ、大

腿部のタイツ着用がのぞましいことが示唆された。

#### 謝 辞

本研究の共同研究者として石井好二郎氏(立命館大学非常勤講師)を追記したい。氏には実験補佐、データ分析で多大の援助を得た。

#### 文 献

- 1) Burton, A. C. ; The application of theory of heat flow to the study of energy metabolism, *J. Nutr.*, **5**, 497 (1934)
- 2) 河合正光; マラソン競走に及ぼす環境温度の影響について, *体力科学*, **5**, 62-66 (1955)
- 3) Nielsen ; Thermoregulation in rest and exercise, *Acta Physiol. scand. suppl.*, **323** (1969)
- 4) Pugh, L. G. C. E. ; Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance, *J. Physiol.*, **207**, 823-835 (1970)
- 5) Pugh, L. G. C. E. ; The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces, *J. Physiol.*, **213**, 255-276 (1971)
- 6) 大阪国際女子マラソン大会プログラム; 大阪国際女子マラソン組織委員会事務局, 大阪, 36-37 (1987)
- 7) Ramanathan, N. L. ; A new weighing system for mean surface temperature of the human body, *J. Appl. Physiol.*, **19**, 531-533 (1964)
- 8) 豊岡示朗, 金子公有; 最大酸素摂取量の個体内変動, *大阪体育大学紀要* Vol.10, 17-23 (1978)