

## 陸上競技（持久性種目）の暑熱対策 これまでとこれから

伊藤 静夫

東京マラソン財団

### はじめに

『暑さ』は何人も経験するところではあるが、その感じ方や過ごし方は自ずと異なる。競技現場で行われている暑さ対策も多種多様である。その多種多様な暑さ対策を二つの方向性に分けてみる。

一つは、暑熱ストレスを軽減する方向性で、レース前・中の身体冷却などはその典型である。また、古くから馴染みの水分補給もこの中に含まれる。これらは言わば外因性のものであり、現場の選手やコーチもイメージしやすく、酷暑のもとで開催された2019年のドーハ世界陸上や2020年東京オリンピックの折にも積極的に試みられた(Racinais et al., 2021; Racinais et al., 2022; Racinais et al., 2023)。

もう一つは、暑さに強い体を作るという内因性の方向性である。暑熱ストレスを避けるのとは逆に暑熱ストレスを負荷してその耐性をつくるものである。短期的には、人工気候室などを利用して行う暑熱順化(heat acclimation)、長期的には自然環境を利用して行う暑熱馴化(heat acclimatization)、より長期的に自然環境に適応する暑熱適応(heat adaptation)がある。こうした暑熱耐性をねらったトレーニングを本稿では『暑熱トレーニング(heat training)』と呼ぶことにする。

暑熱トレーニングを通じた暑熱耐性の獲得、すなわち暑さに強い体をつくることは暑さ対策の核心である。ただし、古くからその実験的検証によるエビデンスの集積はあるものの、エリート選手を対象にした実践的検証は研究方法上の制約からごく限られる。本稿では、陸上競技の長距離、マラソン、競歩の持久性種目を対象に、これまでの暑熱トレーニングに関する知見をより実践的見地から概観し、今後の展望を議論してみたい。

### 暑さに強い選手（暑性耐性）

(1) 暑さに強い選手の評価；固定負荷からセルフペースへ

暑熱環境でのパフォーマンス低下は避けられないが、その程度は選手によって異なる。明らかに暑さに強い選手と弱い選手が存在する。その特性は古くからの関心事であり、運動生理学では専ら実験室において探究されてきた。環境条件、運動条件を厳密に規定して比較検証する必要があったからである。また運動条件では運動強度を一定にするため、陸上競技ならトレッドミルを用い、一定速度での歩行、走行による選手の体温調節機能や運動パフォーマンスを測定した。

こうした実験を通して明らかになってきたことの第一は、暑さに強い選手は一定速度に対して体温上昇はゆるやかで、それだけ持久時間が長くなる。そして、深部体温(直腸温)がほぼ40℃に達するといずれもが運動不能になることであった。こうした現象を見るにつけ、高体温が運動パフォーマンスを決めていると考えるようになり、この高体温をとくに「臨界体温」と呼んだ。暑さに強い選手とは過度に体温が上がらないことであった。

しかしながら、選手はトレッドミルテストに何かしらの違和感を覚えるのではないだろうか。トレッドミルを走るとトラックやロードを走るとでは、やはり感じが違う。何せ、地面は勝手に動いてくれないのであるから。

実験室のトレッドミルテストでは距離や時間を制限せず、固定速度でどこまで歩き、走ることができるかを評価する。こうした固定負荷による運動をオープンループ運動と呼ぶ。しかし実際の陸上競技では、決められた距離をいかに速く走るかを競う。このタイプはクローズドループ運動と呼ばれ、移動速度はあくまでも自分でつくり出すセルフペース運動である。パフォーマンスの規定因子を考えると、

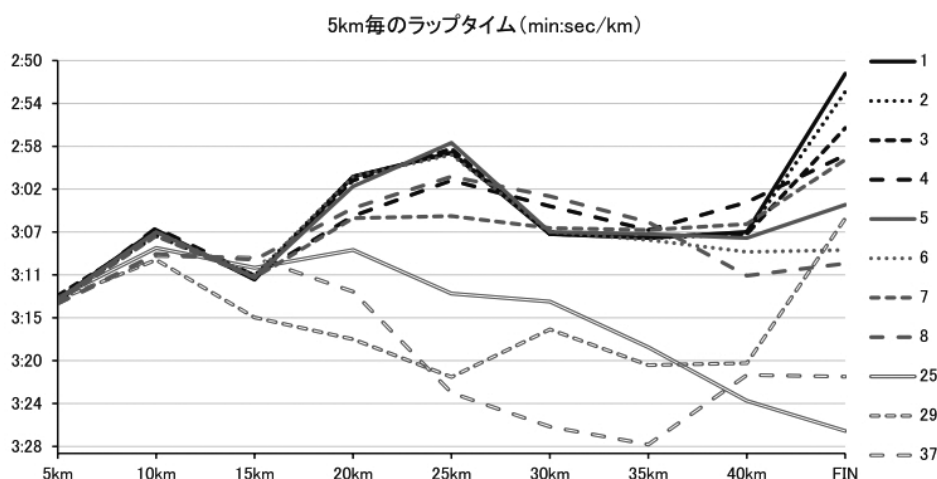


図1 2019年ドーハ世界陸上、男子マラソンの入賞者および日本代表選手（25、29、37位）の5km毎のラップタイム（岡崎, 2019から引用）

この二つの運動モデルによってその解釈が異なってくる。現在では、やはり実際の競技パフォーマンスを評価するためにはクローズドループのセルフペース運動、すなわちタイムトライアルによって評価すべきであるという考えに変わりつつある。そこで、何より実際のレースの様相を見てみたい。

図1は、2019年ドーハ世界陸上での男子マラソン入賞者及び日本代表選手の5kmごとのスプリットタイムを示したものである（岡崎, 2019）。成績の下位選手は早い段階でペースが低下し先頭集団から離れていった。このペースダウンの背景には、選手の暑熱耐性の良否も深く関わっていると推察できる。しかし、おそらくまだ臨界体温には達していない早い段階ですでにペース低下が起こっていることに注目したい。高体温が一義的にペースを決定すると考える還元論的なオープンループモデルでは、実際のレースに見られる早期のペースダウンは説明しづらい。そこには、中枢の関与を考えなければならない。この段階でペースダウンした選手たちも、仮に、ペースメーカーのようにレース途中での離脱が許されていたなら、なおしばらくはそのペースを維持できたであろう。実際のレースでは、意識にはのぼらなくても、選手たちは何より42km走破を前提に将来の見通しのもとにペースを決めている。そのうえで、体温や体液に関する情報はもとより、代謝、疲労などの末梢情報と、全力で頑張ろうとする意識を脳は総合的に判断してペースングを作り出していると解釈できる。見方を変えると、生体の安全をはかる抑制とレースを頑張る意欲との葛藤の結果としてペースが決められると言い換えてもいい。暑熱下では高体温がパフォーマンスを決定するというより、こうした総合的な制御機構の結果としてペー

シングすなわちパフォーマンスが決定されるのである。高体温はペースングへの影響因子であるが、あくまでもペースングの結果として捉える方が当たっているだろう。

このような運動パフォーマンス制御モデルの代表的なものにNoakes(2012)の提唱したCentral Governor Modelがある。本理論には現在も種々議論はあるが、ともあれ陸上競技持久性種目のパフォーマンスはペースングの総決算としてあらわれる。そのペースングは上記のような総合的な生体制御機構によって決められる。暑さに強い選手を考えると、このペースング決定に影響する因子を検討してみた。

## (2) 暑さに強い選手=放熱効率の良い選手

暑さに強い身体特性の一つとして、放熱効率が上げられる。放熱効率には形態特性が大きく影響する。すなわち、体重（産熱量）に比し体表面積の広いことが放熱上有利に働き、実際のマラソンレースにおいてもそれを裏付ける傾向が認められる（伊藤, 1990）。したがって、放熱効率の良否は上記の生体制御機構、ペースングにも強く影響していると考えられる。Marinoら（2003）は、このことを実験的に証明した。

アフリカ人と白人のランナーそれぞれ6人を被験者に選定し、トレッドミル上でセルフペースによる8kmのタイムトライアルを低温環境（15℃）と高温環境（35℃）において実施した（図2）。この二群の被験者選定の意図は最大酸素摂取量や走能力は変わらないが、形態に大きな差のあるランナーを比較したかったからである。体が大きくなるほど、体重に比し体表面積は相対的に小さくなる。アフリカ人ラ

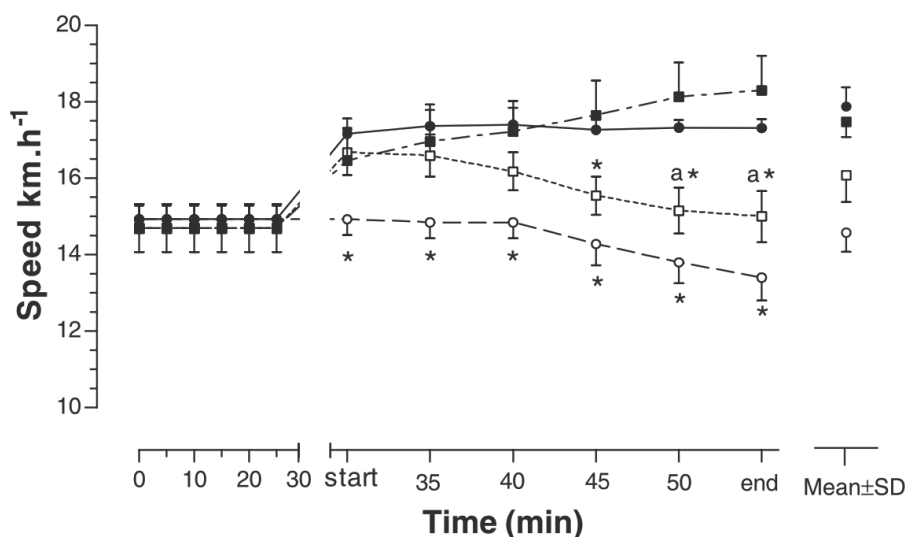


図2 アフリカ人ランナーと白人ランナーについて、低温環境下と高温環境下でのタイムトライアルの比較。トレッドミル最大速度の70%相当のスピードで30分間の走行を行った後、8kmのタイムトライアルを実施。■アフリカ人(15°C)、●白人(15°C)、□アフリカ人(35°C)、○白人(35°C) ★ P<0.001 アフリカ人および白人についてそれぞれ低温環境との比較 a P<0.01 高温環境の白人との比較 (Marino et al., 2004 から引用)

ランナーは身長が低く(167 vs 183cm)体重も軽い(59 vs 77kg)ので、体重当たりの体表面積比は白人ランナーに比べ顕著に大きくなり(280 vs 248cm<sup>2</sup>/kg)、より放熱効率が低いことになる。この放熱効率の差が暑熱下でのタイムトライアルに明瞭に現れている。低温環境でのタイムトライアルでは両群に差がなかったが、暑熱下ではアフリカ人ランナーが比較的安定して走破したのに対し、白人ランナーは早い段階からペースダウンした。アフリカ人ランナーは熱放散に優れ蓄熱量が少なく、その情報が中枢を介して安定したペーシングに反映された一方、白人ランナーではより早い段階から体熱ストレス情報が過剰となり抑制的なペーシングに反映されたと Marino ら(2003)は説明している。

Marino ら(2003)の実験結果から、暑さに強い選手の背景に放熱効率の良否を考慮することができる。体表面積体重比はひとえに選手の体型に依存する因子であり暑熱トレーニングの目標にはなりにくいだろうが、少なくとも汗のかき方、汗の蒸散効率といった熱放散に関わる特性は暑熱トレーニングによって向上することが期待できよう。

### (3) 暑さに強い選手=運動エコノミーの高い選手

アフリカ人ランナーの特質としてよく取り上げられるのがランニングエコノミーである(榎本, 2013)。次に、この運動効率あるいは運動エコノミーを暑熱耐性に関与する要因としてあげておき

たい。従来、運動エコノミーと体温調節を関連付けた研究は見られなかったが、これに関しても興味深い報告を紹介したい。

運動効率が良くなれば、同じ運動をしても消費エネルギーは少なくなり、比例的に代謝産熱は下がり体温上昇も低減する。したがって、運動効率と体温調節は密接な関係にあるはずである。Smoljanić ら(2014)はここに注目して、厳密な基準のもとに被験者を選定しランニングエコノミーと体温調節反応との関係を検討した。なお、本研究では有酸素性能力全般と体温調節反応の関係を検討しているが、本稿では特にランニングエコノミーに関する箇所を抜き出して紹介する。

被験者選定では、最大酸素摂取量が同じでランニングエコノミーの高い選手と低い選手とを選んでいく。ランニングエコノミーの高い群はよく鍛錬されたランナーから、低い群は球技種目などから選ぶといった工夫がされている。

図3は二つのテスト結果を示したものであり、上段は同一走速度で走ったときの直腸温の変化である。実際のレースでは、異なる能力(ランニングエコノミー)の選手たちが集団を形成し競い合うが、図上段はちょうどこのイメージである。ランニングエコノミーの低いものほど産熱量は大きく、直腸温の上昇も大きい。これに対して、ランニングエコノミーの高いランナーの直腸温上昇は低く抑えられている。集団を走るランナーを想定すれば、ランニン

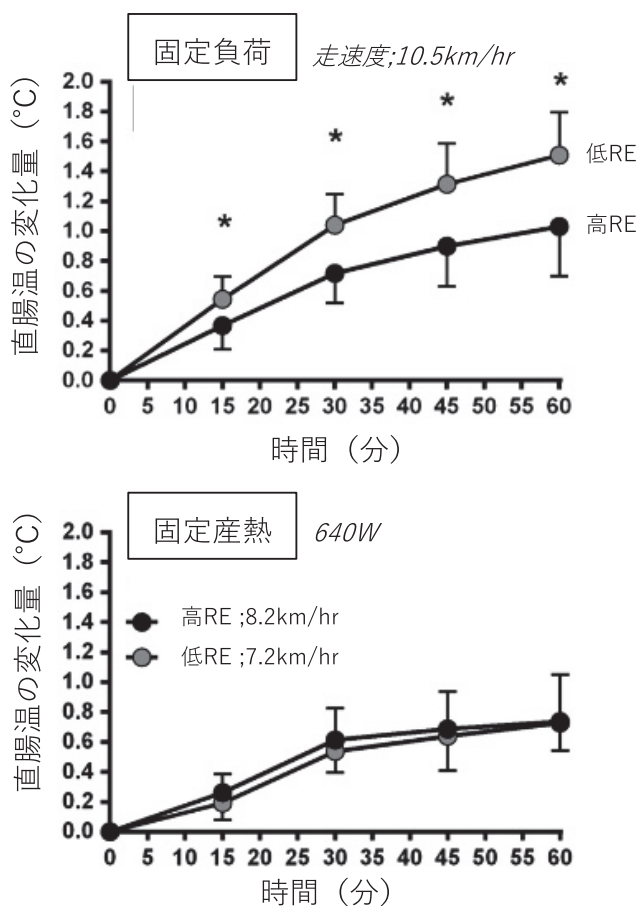


図3 高ランニングエコノミー (RE) 群と低ランニングエコノミー群について同一負荷で走行したとき (上段)、および一定の産熱相当の走速度で走行したとき (下段) の直腸温の比較。(Smoljanić et al., 2014 の図を一部改変)

グエコノミーの高いランナーの深部温上昇はより少なく体熱ストレスも少ないことになるだろう。それだけ余裕を持って走っていることになる。

次に、同一産熱量相当の走行速度で走らせると (図下段)、ランニングエコノミーの高い群はより速い速度で走るようになるが、両群の深部体温上昇度は同じになった。実際のレースに当てはめれば、同じ体熱ストレスを受けても、ランニングエコノミーの高いランナーではより速いペースを維持できることになり、より高いパフォーマンスに結びつく。

暑熱下でのレースでは、とりわけ体熱ストレス情報がペーシングに大きく影響することを論じてきた。ここで紹介した実験結果は、ランニングエコノミーの高いことがレース中に受ける体熱ストレスをより低くし、それだけ速いスピードの獲得が期待できることを示唆するものであった。先の Marino ら (2004) の実験ではランニングエコノミーを測定していないが、アフリカ人ランナーが暑熱下で高いペースを維持できたのも、放熱効率に加えてランニ

ングエコノミーに優れていたことも一因であったのかも知れない。

これまでの暑熱対策においては熱射病予防の観点から過剰な体温上昇を回避すべきとする言説が一般的である。しかし競技現場では、選手たちはより速いスピードを追求する。それはより高い体温上昇を追求することでもある。実際、レースにおいて深部体温が 41°C を超えることもまれではない (Racinais et al. 2019)。エリート選手たちは、優れた運動エコノミーの利点を活かしてより速いスピード、より高い体温上昇をめざすのである。暑さに強い選手の深部体温をめぐる、こうした二律背反の背景を見逃してはならないだろう。

### 脱水に強い選手 (脱水耐性)

#### (1) エリートランナーの水分補給

暑熱耐性への理解には、実験室と実際の競技現場とでズレが見られ、深部体温については上述したとおりであるが、同様のことは飲水量、発汗量、脱水率についても言える。

スポーツ活動時には水分補給によってできるだけ脱水を防ぐことが奨励されてきた。しかし実際のマラソンレースでは、パフォーマンスに優れた選手ほど脱水率が高いという逆の結果が観察されている (Zouhal et al., 2011)。

飲水量については、映像から飲水動作を分析して飲水量を推定した方法で主要なマラソンレース優勝者の水分補給量を調べた研究がある (Beis et al., 2012)。優勝者の平均タイムが 2 時間 06 分とハイレベルなものであったが、推定飲水量の平均は 550ml/hr と少なく、推定脱水率は 8.8% にも及んだ。また 1 例だけレース前後の体重を実測している。対象者は以前の世界記録保持者のエチオピアのゲブレシラシエ (優勝タイム; 2 時間 5 分 29 秒) であり、飲水量は 830ml/hr と平均より多いが、それでも脱水率は 9.8% という驚異的なものになっている。このような結果から、エリートランナーには強い脱水耐性が想起される。

アフリカのランナーのトレーニング時の水分補給を調査した結果では、彼らはトレーニング中ほとんど水を飲まないという (Beis et al., 2011)。また 2019 年ドーハ世界陸上での調査結果では、他地域の選手の脱水率が 2.0% に対し、アフリカ選手の脱水率は 3.9% と 2 倍であり、水分補給量の少なかったことが推測される (Racinais et al., 2021)。この研究ではレース前のアンケート調査において各選



手の水分補給計画を聞いているが、ほとんどの選手(93%)が事前に水分補給を計画しているのに対し、アフリカのマラソンランナー7名中2名はレース中に水分補給はしないかと回答している。アフリカランナーの飲水習慣、体液調節などについての系統立った研究は見られないが、諸外国の選手とはかなり趣を異にしているようであり、それが彼らの脱水耐性という特性を反映しているものなのか興味深い。

## (2) エリートマラソンランナーの脱水と体温上昇

運動中の脱水率が2%を超えるとパフォーマンスが低下し、深部体温が臨界体温40℃を超えると運動不能になると言われてきた。また、脱水進行にともなう深部体温の上昇は熱射病の発症リスクを高めるとも警鐘されてきた。こうした脱水率2%、臨界体温40℃は、体の安全を確保するためのリミッターのような閾値として認識されてきただろう。しかしながら、実際のレースでは選手たちはこの閾値を超えながらも支障なくレースを戦っていることはすでに述べたとおりである。生体の安全確保は脳を中心とする総合的な制御機構が担っていると考えた方が実態に合っているように思える。とりわけ酷暑のもとでの競技会であれば、この実態を理解した上で暑熱対策を考えなければならないだろう。

図4は、特にエリートマラソンについて脱水率と深部体温の関係をイメージしてみたものである。マラソンを2時間で走るためには多大なエネルギー出力を必要とするが、同時に相応の産熱をとめない、相応の放熱能力すなわち多量発汗能力が要求されることになる。当然、汗によって多量の水分が体内から失われるが、上述の通り、レース中に行われる水分補給では到底追いつかず2%をはるかに超えた脱水となる。つまり、マラソンを速く走るとは、大きな体液不足に耐える脱水耐性によってはじめて可能になるはずである。

しかしながら、これまで脱水防止という考えは広く受け入れられてきたが、脱水耐性を高めるための方策という発想は希薄であった。改めて、脱水耐性という身体能力に注目してみたい。

## (3) 脱水耐性の背景

レース時の水分の出納は専ら体重変化で推定するが、体重減少分がすべて体液不足を表すわけではない。貯蔵グリコーゲンの消費にともなって生ずる結合水あるいは代謝水の行方はまだ十分解明されていないが、漸次不足して行く体液の調節に使われる可

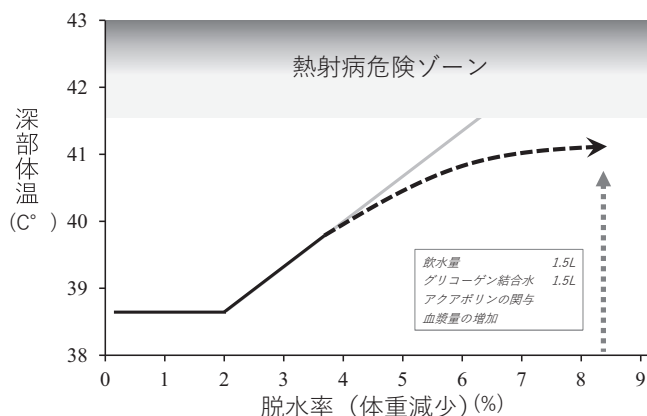


図4 エリートランナーのマラソンレース中の脱水率と直腸温の関係=エリートランナーは強い脱水耐性を発揮し直腸温上昇を抑えている(伊藤, 2022より改変)

能性はあるだろう。また、運動トレーニング、とりわけ暑熱下でのトレーニングによって血漿量の増加が見込まれる(岡崎, 2018)。このような体液動態は選手の脱水耐性に大きく関わってくるだろう。

体液をコントロールする上で近年注目されているのが水チャンネル(アクアポリン)の存在である。腎臓の尿細管をはじめ多くの水をすばやく通過させなければならない部位の細胞膜にはアクアポリンというタンパク質が存在し、水を選択的、能動的に透過させる水チャンネルの役割を担う。運動中にも、全身でダイナミックな水の移動が起こるが、その体液動態にアクアポリンが関与し運動パフォーマンスに影響することは十分考えられよう。現在のところこの分野の研究はごく限られてはいるが、そのなかで毛細血管内皮、赤血球、腎近位尿細管などに分布するアクアポリン1の遺伝子多型について、ヒスパニック系男子長距離選手を対象に調べた研究がある(Rivera et al., 2011)。その結果、運動時の体液不足に耐性を示す遺伝子特性が示唆され、その遺伝子特性を有するランナーでは発汗量は多いが水分補給量が少なく、脱水率は高くなるが競技成績がよいという特徴がみられた。すでに述べた実際のレースでみられる優秀ランナーの飲水や脱水率の実態と符号する。まだ例数も少なくにわかに結論づけられないが、脱水耐性と水チャンネルの関係についても注視して行きたい。

## (4) 脱水耐性を狙った脱水トレーニング

暑さに強い選手の背景には、脱水耐性という体温調節を支える特質の可能性について述べてきた。そうであれば、脱水耐性を高めるためのトレーニン

グについても関心もたれる。ごく最近になって、こうした観点からの研究が見られるようになった (Akerman et al., 2016 ; Travers et al., 2021)。あえて水分補給を制限し軽度の脱水 (permissive dehydration; 2 ~ 3%) のもとに暑熱トレーニングを実施させたもので、いずれも短期間の介入実験であるが、体温調節系、循環血液系、パフォーマンスに顕著な効果は認められていない。反面、従来なら否定された脱水をとまなうトレーニングであっても、特にマイナス効果も認められないというのが現在のところの概ねの観察結果である。

トレーニング中の水分補給をある程度制限したいいわゆる『脱水トレーニング』は、軽度の脱水からアフリカ人ランナーのように全く飲まないものまで様々な内容が考えられるが、従来の発想とは大きく異なり、また一昔前のトレーニング中の飲水を無闇に禁止した指導法への逆行も懸念されよう。しかし、脱水耐性を向上させるという観点から今一度『脱水』というトレーニング刺激の有効性を考えてみる価値はあるように思える。

## 暑熱トレーニングの実践

### (1) 日本の夏季トレーニング

汗の研究で知られる久野寧 (1963) の「汗の話」には次の記述がある。

「夏ともなれば、われわれの発汗中枢はその感受性を増し、汗腺は分泌力を増し、相携えて発汗機能を旺盛にするのである。そしてこのことは暑気的作用によって、迅速にしかも誰にもおこる鍛錬効果の一種とみるべきものであって、これは人類の夏を迎える準備ともいうことができる。われわれは襦を改め、衣を替えて夏を迎える用意をするのであるが、その頃には身体にもこのような迎夏準備が行われているのである。」 (p. 145)

とりわけ日本の夏の暑さは厳しい。日本の競技者は毎年夏には暑熱馴化トレーニングを経験していると言ってもいい。2019年のドーハ世界陸上の参加選手についてのアンケート調査において、暑熱トレーニングを経験して大会に臨んだマラソンランナーの83%がこのような自然環境の暑さ (natural outdoor heat) を利用してのものと回答している。古くは暑熱下で開催されたアトランタオリンピックへ向けてイギリスオリンピックチームが大会当日の気象条件に近いアメリカ・フロリダを合宿地に選定し、大会の2年前から夏季暑熱馴化キャンプを実施したことが報告されている (Maughan, 1977)。

諸外国から見れば、日本の夏のトレーニングは長期にわたる暑熱適応 (heat acclimatization) トレーニングに映るに違いない。その意味から、わが国の暑熱環境をむしろプラスに捉え、その特色を活かした暑さ対策のための暑熱トレーニングと位置づけては如何だろうか。

### (2) 運動ホルミシスという発想

我々のからだはさまざまなストレスにさらされているが、種々のストレス刺激に応じてプラスへの方向からマイナスへの方向へと二相性の応答をする。こうしたストレスに対応する二相性の生体応答を概念化し、ホルミシス (Hormesis) 現象と捉える考え方が提唱されている。

運動トレーニングの生体反応は、まさにホルミシス現象の典型事例と言える (Peake et al., 2015 ; Hill et al., 2024)。

図5は、運動ホルミシスの視点から、通常トレーニングと夏季トレーニングを見比べたイメージ図である。トレーニングは、運動ストレスが適量であれば狙い通りの効果が得られるが、それが過大になればオーバートレーニングとなり逆効果になる。特に夏季トレーニングでは通常のトレーニングに暑熱環境が加わり、運動 (酸化) ストレスと熱ストレスの複合ストレスとなる。トレーニング効果も、有酸素性能力 (特にランニングエコノミー) に加え暑熱耐性の向上、脱水耐性の向上が期待されるが、トレーニング刺激が過大になると一転してマイナス効果が顕著になる。

暑さ対策では、日本の夏季トレーニングを有効活用することを提唱したい。しかし反面、オーバートレーニングというマイナス効果も注意しなければならない。暑さ対策のトレーニングでは、オーバートレーニングの回避がとりわけ重要であることを以下に強調したい。

### (3) オーバートレーニングの回避

オーバートレーニング発症の背景に、「エネルギー消費量制約モデル (Constrained Model of Total Energy Expenditure ; CMEE)」という仮説を考えておきたい。従来、1日の総エネルギー消費量は身体活動量に応じて加算的に積み上げられるものと理解されてきた。しかし、Pontzerら (2012) は、狩猟採集民と都市住民の測定を通して、総エネルギー消費量は身体活動量の多寡によらず一定していることを観察した。それは、身体活動量が過大になった場合、増加したエネルギー消費量分だけ基礎代謝量や

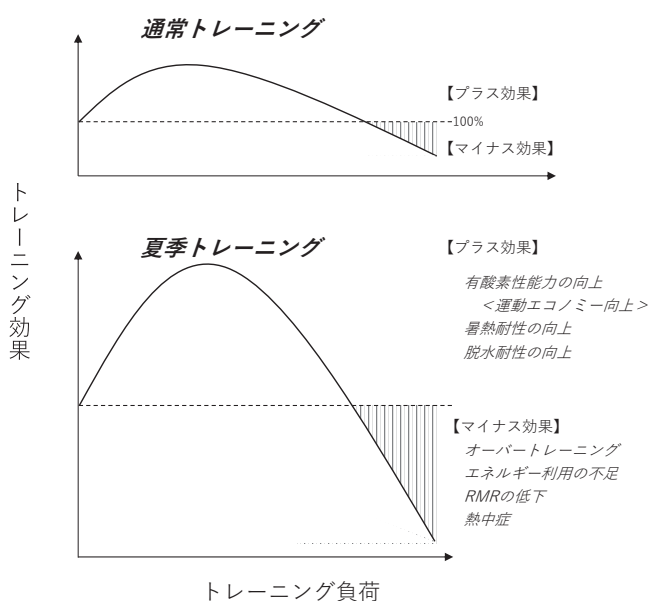


図5 ホルミシスの視点から見た通常トレーニングと夏季トレーニング

非活動的エネルギー消費量が代償的に減じられることを意味する。狩猟採集民の労働は現代人に比べ過酷ではあるが、それゆえ休めるときにはできるだけ休んでいる、ということであろうか。

提唱されて間もない仮説であり、エリートスポーツ選手にどこまで適用できるかは目下検討中であるが (Dolan et al., 2023)、オーバートレーニングに関連して参考になるところは多い。本稿で対象としている持久系種目の選手では、高強度あるいは高ボリュームのトレーニングに励む。それだけ、エネルギー代償作用として、トレーニング以外の生活でのエネルギーバランスへの影響は大きいだろう。狩猟採集民と同様、休めるときに休み、トレーニング後の回復、栄養、睡眠が極めて重要になってくることをこのエネルギー代償モデルは物語っているようである。

この点に関連した最近の報告事例を見ると、ボート選手を対象とした4週間の強化合宿を調査した結果では、かなりの疲労とパフォーマンスの低下が見られたが、同時に安静代謝も低下していた (Woods et al., 2017)。安静代謝の低下はオーバートレーニング徴候の一つと見なされるが、上記のエネルギー制約モデルにおけるエネルギー代償作用の表れとも解釈できよう。

さらに、栄養摂取の重要性も強調しなければならない。現在、スポーツ選手の利用可能エネルギー不足 (Low Energy Availability ; LEA) が大きな課題としてあがっている (Stellingwerff et al., 2023)。エネルギー制約モデルは消費エネルギー

間の総合的バランスの問題であったが、LEAでは消費エネルギーと摂取エネルギーとのバランスの問題となる。やはり、関連する研究事例を一つ紹介しておきたい。持久性男子スポーツ選手のLEAと内分泌系などの生体への影響に関する研究のメタ分析を行った報告である (Cupka et al., 2023)。LEAの選手では競技パフォーマンスが低下し、さらに内分泌系、特にテストステロンの低下が特徴的であった。トレーニング及び日常生活におけるエネルギー出納の総合的なバランスの破綻によって、パフォーマンスが低下するとともに基本的な健康が損なわれる危険性がうかがわれる。

暑さ対策として、日本の夏季トレーニングの有効活用を提唱した。夏のトレーニングと言えば、できるだけ暑さを避けやり過ぎと言った消極的な感触を抱く向きも多いのではないだろうか。しかしここで言う夏季トレーニングは、積極的に暑熱ストレス、あるいは脱水ストレスを課し、その適応能の向上を狙うものである。反面、オーバートレーニングのリスクと背中合わせでもある。従って夏季トレーニングでは、積極的にトレーニングに向かう姿勢と同時に、日常の健康管理を徹底させることが何より重要になるだろう。トレーニングと健康管理の両面にわたる配慮と工夫こそが、最も効果的な暑さ対策につながるのではないだろうか。

## まとめ

暑さ対策について、とくに暑熱トレーニングをとりあげ、これまでの見解を批判的にながめ、今後の展望を論じた。暑さに強い選手とは、暑熱耐性ならびに脱水耐性に優れた選手をいう。暑熱耐性には、放熱効率および運動効率 (運動エコノミー) が関与し、暑熱トレーニングの目標となる。脱水耐性では、発汗による体液減少に抗して体液調節ができる能力であり、脱水をとまなう暑熱トレーニングの可能性を論じた。暑熱トレーニングとして、日本の夏季トレーニングの有効利用を提唱した。その際、日常の健康管理の重要性を指摘した。

## 【文献】

- Akerman AP, et al. (2016) Heat stress and dehydration in adapting for performance: Good, bad, both, or neither?. *Temperature*. 3 : 412-436
- Beis LY, et al. (2011) Food and macronutrient

- intake of elite Ethiopian distance runners. *J Int Soc Sports Nutr.* 8:7
- Beis LY, et al. (2012) Drinking behaviors of elite male runners during marathon competition. *Clin J Sport Med.* 22 : 254-61
- Cupka M, et al. (2023) Hungry runners - low energy availability in male endurance athletes and its impact on performance and testosterone: mini-review. *Eur J Transl Myol.* 33 : 37052052
- Dolan E, et al. (2023) Energy constraint and compensation: Insights from endurance athletes. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 285 : 111500
- 榎本靖士 (2013) 長距離選手のランニングエコノミーに影響を及ぼす体力および技術的要因の検討. *筑波大学体育学紀要.* 36 : 137-140
- 岡崎和伸 (2018) 運動時の体液変化とその循環および体温調節への影響. *循環制御.* 39 : 82-90
- 岡崎和伸 (2019) 男女マラソン・競歩種目における国際パフォーマンスの現状とレース分析. *陸上研究紀要.* 15 : 31-42
- Hill Y, et al. (2024) Adaptation to stressors: Hormesis as a framework for human performance. *New Ideas in Psychology.* 101073
- 伊藤静夫 (1990) 耐暑性の性差—マラソンで女子は有利か—. *体育の科学.* 40 : 217-222
- 伊藤静夫 (2022) マラソンレース中の水分補給を考える. *体液・代謝管理.* 38 : 30-40
- 久野寧 (1963) 汗の話. *光生館.*
- Marino FE, et al. (2004) Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *J Appl Physiol.* 96 : 124-30
- Maughan R (1997) Heat acclimatisation and rehydration strategy. *Br J Sports Med.* 31 : 77
- Noakes TD (2012) Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. *Front Physiol.* 3 : 82
- Peake JM, et al. (2015) Modulating exercise-induced hormesis: Does less equal more?. *J Appl Physiol* (1985). 119 : 172-89
- Pontzer H, et al. (2012) Hunter-gatherer energetics and human obesity. *PLoS One.* 7 : e40503
- Racinais S, et al. (2019) Core temperature up to 41.5 C during the UCI Road Cycling World Championships in the heat. *Br J Sports Med.* 53 : 426-429
- Racinais S, et al. (2021) Hydration and cooling in elite athletes: relationship with performance, body mass loss and body temperatures during the Doha 2019 IAAF World Athletics Championships. *Br J Sports Med.* 55 : 1335-1341
- Racinais S, et al. (2022) Association between thermal responses, medical events, performance, heat acclimation and health status in male and female elite athletes during the 2019 Doha World Athletics Championships. *Br J Sports Med.* 56 : 439-445
- Racinais S, et al. (2023) IOC consensus statement on recommendations and regulations for sport events in the heat. *Br J Sports Med.* 57 : 8-25
- Rivera MA, et al. (2011) AQP-1 association with body fluid loss in 10-km runners. *Int J Sports Med.* 32 : 229-33
- Smoljanić J, et al. (2014) Running economy, not aerobic fitness, independently alters thermoregulatory responses during treadmill running. *J Appl Physiol.* 117 : 1451-9
- Stellingwerff T, et al. (2023) Review of the scientific rationale, development and validation of the International Olympic Committee Relative Energy Deficiency in Sport Clinical Assessment Tool: V.2 (IOC REDs CAT2)—by a subgroup of the IOC consensus on REDs. *Br J Sports Med.* 57 : 1109-1118
- Travers G, et al. (2021) Exercise heat acclimation with dehydration does not affect vascular and cardiac volumes or systemic hemodynamics during endurance exercise. *Front Physiol.* 12 : 740121
- Woods AL, et al. (2017) New approaches to determine fatigue in elite athletes during intensified training: Resting metabolic rate and pacing profile. *PLoS One.* 12 : e0173807
- Zouhal H, et al. (2011) Inverse relationship between percentage body weight change and finishing time in 643 forty-two-kilometre marathon runners. *Br J Sports Med.* 45 : 1101-5