

東京 2020 に合わせた「暑熱対策」ストーリーと今後の活動

杉田 正明
日本体育大学

東京 2020 までの過程と暑熱対策

2013年9月8日に国際オリンピック委員会（IOC）総会がアルゼンチン共和国の首都ブエノスアイレスで開催され、2020年オリンピック・パラリンピック夏季大会の開催地に、東京都を選定した。競歩・マラソンレース時の夏の猛暑が懸念され、3年後に控えたリオデジャネイロオリンピック（以下、リオ五輪）も暑さが懸念されることから、当時の宗猛、武富豊両マラソン部長、今村文男競歩コーチからの要請をうけるかたちで、2014年からマラソン・競歩における暑熱対策プロジェクトが杉田主導の下、岡崎和伸委員、松生香里委員らとともにスタートさせることになった。これまで、日本陸連では1991年の東京世界陸上やバルセロナ・アトランタオリンピックに向けた暑さ対策の取り組みを当時・科学委員長小林寛道先生が主導され大きな功績をあげていた。その際に当時委員になりたての筆者も諸活動に参加しており、その時の考え方や内容をベースに進めることとした。

2014年から両マラソン部長、競歩コーチをはじめ関係者の皆様の全面的なご協力のおかげで、実際のレースや合宿時にデータ収集を行い、マラソン・競歩の暑さ対策に関する調査研究・支援活動を精力的に行うことができた。特に2014年から2年間は以下の内容で実際のレースと合宿時にデータ収集を積極的に行い、その後も合宿支援活動は毎年実施してきている（マラソンは2016年度まで、競歩は継続中）。

- ・第69回びわ湖毎日マラソン（2014/3/2）
- ・第28回北海道マラソン（2014/8/31）
- ・第68回福岡国際マラソン（2014/12/7）
- ・第70回びわ湖毎日マラソン（2015/3/1）
- ・第29回士別ハーフマラソン（2015/7/26）
- ・第29回北海道マラソン（2015/8/30）
- ・第65回 別府大分毎日マラソン（2016/2/7）

- ・第54回延岡西日本マラソン（2016/2/14）
- ・第30回北海道マラソン（2016/8/28）
- ・競歩北海道合宿（千歳）（2014/8/2～11）
- ・競歩志賀高原合宿（長野）（2014/8/22-24）
- ・競歩北海道合宿（千歳）（2015/7/17～8/5）
- ・競歩宮崎合宿（宮崎）（2016/1/23～25）
- ・女子マラソンネルソン合宿（NZ）（2014/1/31～2/8）
- ・男子マラソン北海道合宿（釧路・士別）（2014/8/26～9/10）
- ・女子マラソンクライストチャーチ合宿（NZ）（2015/1/23～2/5）
- ・男子長距離・マラソン延岡合宿（宮崎）（2015/3/11～3/20）
- ・男子マラソン士別合宿（北海道）（2015/9/1～10）
- ・世界競歩チーム選手権（ローマ）（2016/5/8）
- ・第100回日本陸上競技選手権大会男子・女子20km競歩（神戸）（2017/2/19）
- ・第101回日本陸上競技選手権大会男子・女子20km競歩（神戸）（2018/2/17）
- ・第101回日本陸上競技選手権大会男子50km競歩（輪島）（2018/4/16）

これらの活動は、先述した委員に加え、科学委員会（含・当時）のメンバーとして、須永美歌子先生（日体大）、瀧澤一騎先生（アスリッツ・ラボ）、後藤一成先生（立命館大）、山口太一先生（酪農学園大）と研究室所属の学生さんらの協力を得て実施することができた。

マラソンレース時での測定項目としては、体重測定、耳管温（前日、レース前後）、尿検査（前日、レース前）、質問紙による給水量の聞き取り（レース後）であった。約2年間9レースの調査結果より明らかとなったのは、経年的にレース前の尿比重が低下傾向を示し、体内水分量の備蓄（ウォーターローディング）への意識が高まっていること、夏場のマラソ

ンの体重減少率は、男子5%、女子4%程度が理想的な水準であること、ゴール直後の耳管温が高い選手は記録が良い傾向にあった（追い込めている）こと、などであった。

それらを踏まえて、暑熱環境における実践的なポイントを以下の3つとした。

①深部体温を上げないこと、②脱水を防ぐこと、③汗で失われる電解質の損失を補うこと、である。そこで、実際のレースや合宿時に、我々は、レースや練習前後の体重を計測し、体重減少率を明らかにした。練習中の水分摂取量と突き合わせをしながら、個人の適正な水分摂取量を検討したのである。競歩では、レース中の給水の機会が多いため練習前後で体重減少率2%以内にするための摂取量を算出して選手ごとに提示した。机上の空論という受け止めもなくはなかったが、実際に試してみるとその効果を実感してくれたようで、競歩では1回あたりの給水量を増やす意識が高まり、給水戦略としてその後の改善につながった。

さらに、選手達の汗を収集し、その成分分析を行ってきた。中でも、汗の計測では練習やレース中にナトリウム、カルシウムだけでなく様々な成分が発汗によって体内から損失していることや、損失量には個人差があることがわかった。ただし、そこまで把握できるまで何度も測定を行う必要があり、千歳合宿時に競歩の選手からは汗を採るばかりでフィードバックが全然ない！とお叱りを受けたこともあった。

これらの取り組みから、個人に合わせたスポーツドリンク補給を考えたものの、市販品のスポーツドリンクの成分内容ではそれらをすべて補うことは十分でないことがわかった。そこでスポーツ庁委託事業・独立行政法人日本スポーツ振興センター再委託事業として、4年間かけて「発汗成分を基にしたスペシャルドリンク」の開発に取り組み、東京2020スペシャルドリンクを完成させたのである。

これは500mlの水に粉末を溶かして飲むかたちとし、安静時用（アイソトニック版）と運動時用（ハイポトニック版）の2種類を準備することができた。このドリンクは、オリンピック本大会中に、競歩やマラソンおよびトラック&フィールドの選手に限らず、さまざまな競技種目の選手たちに活用された。これらは、2021年9月に市販されている。

次に体温計測では、深部体温の上昇をどのように防ぐことができるかに取り組んだ。これまでの研究では、暑熱環境下においては運動中の体温上昇が40℃を超えると運動継続が困難になることが報告さ

れている（Gonzalez et al., 1999）。この研究は、運動前、運動中の体温上昇を抑えることが暑熱環境下で良いパフォーマンスを発揮するために重要であることを示唆している。

実際に、2015年の世界選手権北京大会では、ウォームアップエリアで各国の選手がアイスバスやアイスジャケットを活用していた。夏場のトレーニングやレースでは、運動前にいかに体温を下げて、かつ運動中も体温を上げないようにするかのクーリング戦略と、その具体的方法の確立が、その成否のカギを握る重要なポイントであると考えた。

そこで夏場に、オリンピックの競技時間に合わせて、荒川の河川敷で実際にマラソンや競歩の強化選手に30km走ったり歩いたりしてもらい、各選手における生理学的データの収集を2016年から2019年まで毎年行った。ピル型のセンサーを飲んで体温計測を行う深部体温計測装置(Core Temp:アメリカ製)を用いて深部体温の上昇の度合いを計測し、個々の特徴や個人差を把握することができた。

特に競歩では何度もデータを収集し、合宿のたびに夜のミーティングで即時フィードバックを行い、個人データからわかること、暑熱対策に関する考え方などの講義を行うことや、測定結果の総括説明会を味の素ナショナルトレーニングセンター(NTC)でマラソン、競歩ともに行うなどして理解を深めてもらう努力を重ねた。その結果、各選手が試合前後や試合中の局面において、パフォーマンスの最大化や疲労回復を目的としたクーリング戦略を実践してくれるようになった。

2018年のジャカルタ・アジア大会50km競歩で優勝した勝木隼人選手（自衛隊体育学校）は、給水のたびに帽子の中に氷を入れる方策を用いていた。これをサーモカメラで体表面を計測すると、他の選手よりも極端に低温を示していた。頭部、特に前額部皮膚は、皮膚血流はほとんどCVC調節（皮膚血管収縮神経）を受けず、冷刺激による血管収縮が起こらないので、理にかなった方法を用いていたことから、好事例としてロード種目関係者に情報共有を行うことができた。

また、体温が上昇した際に体温を調節するラジエータの働きをする動静脈吻合(AVA)と言われる手のひらや足の裏、頬にある部位に着目した。AVAの血管は、体温が上昇して熱を体外に逃す必要がある時に開く血流の閥門で、毛細血管に比べて直径は約10倍、単位長さ当りの血液の流量は約1万倍となるため、AVAのある手のひら、足裏、頬を効果的に冷やすことができれば、大量の血流が冷や

されて体内に戻ることになる。この効果に関する数多くのエビデンスを発表している Craig Heller 教授（スタンフォード大学）に相談をし、彼の考え方やエビデンスをもとに手のひらを冷却する物の開発に着手した。

効果的な手のひら冷却の方法を目指し、指掛けタイプやスリットタイプなどの装着方法や保冷パックの原料を変えるなど、試行錯誤を重ねた。その結果、特殊保冷剤（7℃、0℃、-10℃）をメッシュ生地内に包み、手のひらや首、頭に装着できる形状にした冷却用装着物を2019年の夏前に完成させることができた。

その後に開催された2019年の世界選手権ドーハ大会で、新たに開発したドリンクや手のひら冷却装着物を選手たちが活用し、男子競歩20km、50kmでそれぞれ金メダルを獲得したことは、これまで取り組んできた暑熱対策の考え方が正しいことを証明してくれたこともあり、大いに自信を深めることができた。

暑熱対策の基本的な取り組みのポイントは、深部体温を上げずに適切な（栄養・水温の）給水を行うこと、さらに個々に応じた暑熱対策を講じることであり、1年延期・札幌開催となったが、どのような環境となっても各選手が自分に合う暑熱対策を1年かけて最適化していくことが重要であることを関係者とは確認し合っていた。

2020年からの活動内容

札幌の気象データについては、1年延期となった2020年夏にオリンピックでのマラソン・競歩の競技の日時に合わせた気象計測を行うことができた。この年の期間中は雨模様で気温も低く寒さが心配される状況であった。急遽、翌週も調査を重ねたところ暑さが心配される水準を示し、数日ずれるだけで札幌は、寒くもなるし暑くもなる気象の状況であった。

2021年のオリンピック本番の競技開始の1週間前から毎日、レース時刻に合わせて、支援スタッフ3人が大通公園周辺で環境調査・計測を行い、その結果を関係者全員にメールおよびグループLINE（23名）を用いて情報の共有を行った。

計測は、WBGT、気温、湿度および黒球温度とし、三脚に装着した暑熱環境計（WBGT計）を用いて測定し、1分ごとに本体に記録した。走路上の路面温度は放射温度計で測定し、赤外線サーモカメラを用いて路面の温度状態の撮影も実施した。また、レー

ス実施時間内にコース上の動画を撮り、コース上の日向と日陰の状況についても調査を行った。レース当日の状況も同様の調査を実施した。

大会期間中は、ウェザーニュースの協力により、TEAMJAPAN向けの特別気象サイト（トラック&フィールド版とマラソン・競歩版の2種類）を準備し、大会開始日の2週間前からいつでも競技ごとに1時間ごとの天候、気温、湿度、風速などが確認できる仕組みを設けた。これは7月15日に開催された陸上競技の東京2020日本代表選手団Webミーティングにて、特別気象サイトの開設を伝達するとともに、ラニーニャ現象が終息した後の2021年の夏は、平年よりも暑くなり、猛暑となる見解であること、2021年と類似傾向の2018年は、例年よりも暑く、午前7時台から30℃を超え、深夜まで続いた日もあったことや、朝夕は湿度が高くなるなど、暑熱対策の重要性に関する注意喚起を行った。これまでの暑熱対策に関する内容は、陸上競技研究紀要の科学委員会活動報告（2015～2022年）にて詳報されているので参照されたい。

レース本番のスタート前のテントでの他国の選手の様子や、ウォーミングアップの状況、レースを観察することができたが、オリンピックの1年延期によって、結果的にドーハを経験した他国のその後の暑熱対策の充実ぶりが際立っていたように感じた。それだけ他国の選手達のさまざまな工夫や事前の対策がより発展したものに進化していたように思われた。しかし、日本のマラソン、競歩の選手はスペシャルドリンクを練習中、レース時に使うとともに、レース前、レース中に手のひらや首の冷却装着物を活用したり、氷を入れた帽子を給水毎に取り換え頭部を効果的に冷やすなどこれまでの取り組みを実践し、好結果につなげてくれた。

東京2020の経験を活かした今後の取り組み

これまでの東京2020に向けたサポート活動は、日本陸連予算に加えて、国からの委託事業費に頼るところが大きかった。4×100mリレーの男子短距離、競歩については、ハイパフォーマンス・サポート事業による支援があり、これは、メダルの獲得が期待される競技をターゲットとして、多方面から専門的かつ高度な支援を戦略的・包括的に行うもので、合宿や競技会などに帯同し、さまざまなデータ収集、フィードバックが大きな助けになったということは言うまでもない。

また、スポーツ庁委託事業・独立行政法人日本ス

ポーツ振興センター再委託事業・ハイパフォーマンススポーツセンターの基盤整備（スポーツ技術・開発事業）の一環として「屋外競技における暑熱対策の総合的研究開発」（代表：杉田正明）を2017年度～2020年度において受託できたことも暑熱対策に取り組む上で大きな力となった。手厚く充実した科学サポートを実施するためにはどうしても予算措置が必要であることを実感した。

競歩は、男女・種目の別なく、宮崎、千歳、志賀高原などで強化選手が一緒になって合宿を継続的に実施してきたため、サポートが大変やりやすかったという利点があげられる。同じ期間に代表候補選手がほぼ全員が集まるので、我々スタッフも日程を手分けしてできる限り全期間サポートできる体制を取りやすかったからである。また、様々なデータ収集がしやすいばかりでなく、フィードバックを合宿中に必ず行い、全員が自分だけでなく他の選手のデータと比較しながら理解を深めたことやそれらに対して意見交換や議論ができたことも選手、コーチングスタッフ全員の暑熱対策に対する理解度を高めたことに大きく役立ったといえる。2016年リオ五輪後に士別で実業団の強化合宿をしている宗部長と酒井勝充ディレクターを訪ねて、これまでの取り組みの御礼をお伝えするとともに、暑熱対策の総括を合宿参加者に話す機会をいただいた。その際に宗部長からはリオ五輪に向けた中で「もっと科学的な取り組みをやって欲しかった」との言葉が寄せられた。我々の取り組みが足りなかったことを反省しつつ、取り組んできた考え方や内容に間違いはなかったことも分かり、東京に向けてはより充実した活動を実施する必要性を感じ取った。リオ五輪では、男女のマラソンは入賞を果たすことができなかった危機感もあり、東京2020オリンピックプロジェクトをリオ五輪直後、早々に立ち上げ、2016年8月23～25日の日程で荒川の河川敷を活用して、蒸し暑い環境下での30km走時のデータ収集を行うなど取り組みをスタートさせた。この時、参加してくれた選手は小原怜選手、桑原彩選手、岩出玲亜選手、田中華絵選手の4名であり、マラソン強化スタッフの廣瀬永和さんと長沼祥吾さんにご尽力いただいた。科学委員会は、私と松生委員とで研究室の学生を補助者として何とか対応することができた。このデータが基礎となり、関係者の理解が深まり、その後の本格的な暑熱対策プロジェクトに繋がっていったことは印象深い。また、暑さ対策は、レース時の対策だけではなく、夏場のトレーニングや暑熱順化も重要なポイントとなる。例えば、涼しい北海道・千歳で直前

までトレーニングを行い、どうやって暑熱順化を図り東京へ移動して、オリンピックレースに臨むかも課題であった。完璧な暑熱順化には2週間必要であるため、千歳市の協力を得て、トレーニングルーム1室にストーブ、加湿器全部で6台稼働させ、気温約35℃、湿度約60%の暑熱環境（ヒートルーム）をつくってヒートトレーニングを実施（2018年アジア大会前からマラソン、競歩）し、その効果も検証することができていた。

2022年にオレゴンで開催された世界陸上競技選手権でもこれらのノウハウが利用されて、男女競歩で素晴らしい成績を得ることができた。高温多湿の夏に競技を行う必要があるオリンピックや世界陸上における日本選手の国際競技力の維持、向上のためには暑熱対策の研究・支援は引き続き必要不可欠であるといえる。パリオリンピックに向けても既に支援活動を開始しており、今後の成果を期待したい。これまでの実践的研究と支援活動を継続的に進めることができたのは選手、指導者との信頼関係のもとに成り立つ協働作業のおかげであり、2014年から7年以上にわたりご協力いただいた選手、指導者、チーム関係者の皆様と、献身的なサポートをいただいた日本陸連事務局の皆様、科学委員会の全メンバー、協力してくれた皆様に感謝申し上げます。今後も強化と科学の持続可能な協働作業に基づく選手強化支援活動の継続に尽力したいと思います。

参考文献

- 浅田佳津雄ら：第18回アジア競技大会（競歩）における気象情報の活用．陸上競技研究紀要 Vol.14：171-174，2019.
- 浅田佳津雄ら：2019年夏における気象観測に関して．陸上競技研究紀要 Vol.15：271-275，2020.
- 浅田佳津雄ら：2020年夏における気象観測に関して．陸上競技研究紀要 vol.16:232-240，2021.
- González-Alonso J, et.al. : Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. J Appl Physiol. 86(3): 1032-1039, 1999.
- 橋本峻，杉田正明：カプセル式深部体温測定器における妥当性の検討．日本体育大学紀要 49:3021-3025，2020.
- 橋本峻，杉田正明：簡易測定器（LAQUAtwin）を用いた汗中Ca濃度測定における妥当性の検討．日本体育大学スポーツ科学研究 Vol.9:24-29，2020.
- 橋本峻ら：Core Control を用いた運動前の手掌冷

- 却在暑熱環境下一定負荷運動時の生理応答に及ぼす影響. トレーニング科学 35(2):215-223, 2023.
- 橋本峻ら: ドーハ世界陸上における環境調査. 陸上競技研究紀要 Vol. 15: 268-270, 2020.
- 橋本峻ら: 東京 2020 オリンピックマラソンコースにおける環境調査. 陸上競技研究紀要 17: 221-223, 2022.
- 橋本峻ら: 東京 2020 オリンピック競歩コースにおける環境調査. 陸上競技研究紀要 17: 224-228, 2022.
- J D Périard et.al.: Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. Scand J Med Sci Sports. Suppl 1:20-38, 2015.
- Judelson DA et.al.: Hydration and muscular performance: Does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? Sports Med 37: 907-921, 2007.
- 小林寛道: マラソンの競技成績に影響を及ぼす因子～暑さ対策～. バイオメカニズム学会誌 16(2):69-76, 1992.
- Lindsay B. Baker, . et.al.: Comparison of regional patch collection vs. whole body washdown for measuring sweat sodium and potassium loss during exercise. J Appl Physiol 107: 887-895, 2009.
- Lissoway JB e.al.: Novel application of chemical cold packs for treatment of exercise-induced hyperthermia: a randomized controlled trial. Wilderness Environ Med. 2015 Jun;26(2):173-179.
- 松生香里ら: 第 29 回サフォークランド士別ハーフマラソン大会における調査. 陸上競技研究紀要 11: 58-62, 2016.
- 松生香里ら: リオデジャネイロオリンピック男子マラソン代表選手の事前合宿における暑熱コンディション サポート. 陸上競技研究紀要 12: 130-135, 2017.
- 岡崎和伸ら: 長距離および競歩選手における汗中の電解質濃度の分析. 陸上競技研究紀要 10: 146-149, 2015.
- 岡崎和伸ら: 競歩夏期合宿における調査について. 陸上競技研究紀要 11:78-82, 2016.
- 岡崎和伸ら: ジャカルタアジア競技大会男子 50km 競歩トップ選手のゼネラル使用状況. 陸上競技研究紀要 Vol. 14: 164-167, 2019.
- 日本陸連強化委員会: 東京五輪ゴールドプラン「ゴールターゲット」に成長した競歩. 月刊陸上競技 53(3):120-125, 2019.
- Petr Herman and J. Ching Lee: Functional Energetic Landscape in the Allosteric Regulation of Muscle Pyruvate Kinase III: Mechanism. Biochemistry. 48(40): 9466-9470. 2009.
- 杉田正明: 東京 2020 のマラソンの科学的対応について. Sportsmedicine No.207: 2-7, 2019.
- 杉田正明: 14 章 真夏の猛暑とパフォーマンスの関係―暑さに打ち勝つには―. 伊東浩司ら編. なるほど最新スポーツ科学入門. 化学同人, pp153-161. 2020.
- 杉田正明, 松生香里, 岡崎和伸: 2020 年に向けたマラソン・競歩の暑熱対策の取り組み. 臨床スポーツ医学, 35(7):690-696, 2018.
- 杉田正明: 東京 2020 オリンピック競技大会における選手村内での日本オリンピック委員会情報・科学サポートについて. Journal of High Performance Sport 9:59-67, 2022.
- 杉田正明ら: 北海道マラソンにおける調査について. 陸上競技研究紀要 10: 150-158, 2015.
- 杉田正明ら: 第 29 回北海道マラソンにおける調査について. 陸上競技研究紀要 11: 63-68, 2016.
- 杉田正明ら: 第 30 回北海道マラソンにおける調査について. 陸上競技研究紀要 12: 122-129, 2017.
- 杉田正明ら: 2020 年に向けたマラソンにおける暑熱対策の取り組み. 陸上競技研究紀要 Vol. 13: 200-204, 2018.
- 杉田正明ら: 2020 年に向けた男女マラソンにおける暑熱対策の取り組み. 陸上競技研究紀要 Vol. 14: 128-131, 2019.
- 杉田正明ら: マラソングランドチャンピオンシップ (MGC) における測定について. 陸上競技研究紀要 Vol. 15: 227-230, 2020.
- 瀧澤一騎ら: 国内トップ選手における 40km 走時の発汗と脱水状況の調査. 陸上競技研究紀要 11: 74-77, 2016.