

連載コラム「熱中症」

東 彰子（岐阜産業保健総合支援センター）

柿花 宏信（神戸学院大学総合リハビリテーション学部）

西尾 久英（神戸大学医学部公衆衛生学教室 名誉教授）

井奈波良一（岐阜産業保健総合支援センター）

第 6 章 熱中症学の展開

要旨

本章では、まず現場における熱中症予防を取り上げ、次に医療機関における熱中症診療を概観し、さらに研究室における分子病態研究の発展を紹介します。熱中症学は、暑熱環境による健康障害の予防にとどまらず、発症後の早期対応、医療機関における診断と治療、さらに基礎研究による病態解明にまで広がる学際的な学問です。今回、私たちがこのような学問領域を熱中症学と名付けたのは、これを社会医学、臨床医学、基礎医学にまたがる独自の学問領域として位置づけ、今後さらに発展させたいと考えるからです。

1. 現場の熱中症学—厚生労働省の統計データと屋外労働者の熱中症予防

(1) 厚生労働省の統計データ

厚生労働省の集計によれば、職場における熱中症による死傷災害は、近年増加傾向にあります【文献1】。令和7年の確定値では、死亡者と休業4日以上之死傷者を合わせた人数は1,803人に達し、前年より546人増加しました。この1,803人は、過去最多です。ただし、死亡者数は19人で、前年より12人減少しました。死亡者数が前年より減少した背景には、気象条件や作業環境の変化に加え、令和7年6月から施行された熱中症対策の義務化など、複数の要因が影響した可能性があります。

職場における熱中症による死傷災害数を業種別にみると、建設業、製造業、運送業の占める割合が大きく、これらで全体の50%を占めています。死亡者数は、これらで全体の40%を占めています。

厚生労働省は、熱中症による死亡災害について、発症した人が重篤な状態になってから発見されたり、医療機関への搬送が遅れたりしていることが問題であるとしています。つまり、職場の熱中症では、暑熱環境そのものだけでなく、「異常を早く見つけられるか」「その場で適切な対応ができるか」「医療機関への搬送を適切なタイミングで判断できるか」が、その後の転帰を左右します。

したがって、職場における熱中症対策は、発症する前の予防から、発症した直後の観察と対応、そして医療機関への搬送までを含めて考える必要があります。近年、事業者に対して早期発見の体制や重篤化を防ぐための手順の整備が求められるようになったのも（企業の熱中症対策義務化）、このような背景があるためです。

現場の熱中症学の課題は、熱中症対策を単純な「暑さへの物理的対策」として考えるのではなく、人、作業、職場の仕組みを含めた総合的な安全衛生管理の問題として考える点にあります。

(2)屋外労働者の熱中症予防

屋外労働における死亡事例をみても、熱中症が建設作業のような典型的な高温作業だけの問題ではないことがわかります。

厚生労働省が公表した令和 6 年の死亡災害事例 [文献2]には、新聞配達業務に従事していた高齢労働者の事例があります。被災者は朝刊を配達した後、いったん帰宅し、午後に再び出勤して夕刊の配達を始めました。その後、15 時 30 分頃、公園のベンチで休んでいるところを発見され、医療機関に搬送されましたが、搬送当日に死亡しています。

令和 7 年の死亡災害事例 [文献 1]には、新聞営業業務に従事していた中年労働者の事例があります。被災者は新聞の営業を行うため、13 時 30 分から営業エリア内を自転車で移動していました。18 時頃、倒れているところを近隣の工事現場の者によって発見され、死亡が確認されています。

令和 6 年の死亡災害事例 [文献2]には、一般貨物自動車運送業で、中年労働者がトラック荷台の上で倒れているところを発見され、死亡した事例も報告されています。被災者は長距離の貨物輸送を行っており、10 トントラックへ建設資材の積み込み作業等を行っていました。その後、12 時 45 分頃にトラック荷台の荷の上で意識を失って倒れている状態で発見され、その後、救急搬送されましたが、7日後に死亡しました。

また、一般貨物自動車運送業で、中年労働者がすでに死亡しているところを発見された事例も報告されています [文献2]。被災者は段ボールの配送業務を行っており、16 時 30 分頃に配送先から帰社しました。その後、22 時 50 分頃に警備会社の労働者が事業場の施錠確認のために定刻の訪問巡視を実施した際、フォークリフト横に仰向けに倒れていた被災者を見ました。救急隊が到着した時点では、すでに死亡していました。

これらの死亡事例からは、配達や運送に従事する人の熱中症が、単に「暑い中で働いたから起こった」とは言えないことがわかります。そこには、**長時間の移動、荷物の積み下ろし、休憩、再出勤、単独作業、そして発見までの時間**など、さまざまな要素が重なっています。

特に重要なのは、単独で行動する時間が長い場合です。本人が体調不良を自覚していても、それを周囲に伝えられなかったり、周囲の人が異常に気づくまでに時間がかかったりすることがあります。熱中症では、意識障害などが急速に進行することもあるため、「本人が自分で助けを求めるだろう」と考えることには限界があります。

したがって、屋外労働の熱中症対策では、暑熱曝露そのものだけを見るのでは不十分です。誰が、どこで、どのような作業をし、体調が悪くなったときに誰がその異常を発見できるのかという、現場の人間関係や作業形態まで含めて考える必要があります。

この視点は、熱中症を防ぐうえで非常に重要です。熱中症対策は、温度計や WBGT 計だけで完結するものではありません。人と人とのつながりもまた、重要な安全装置の一つだからです。

さらに、個別の業種を対象とした調査研究からも、熱中症対策にはさまざまな側面があることがわかります。以下に、筆者の井奈波が、これまでに行ってきた研究を紹介します[文献3、4、5、6]。この中には15年以上前に行われたものもあり、研究を実施したときよりも状況はかなり改善されていると思われます。しかし、どの研究も、それぞれの現場の問題点を抽出しています。

路面標示作業者を対象とした調査では、日最高気温が 35℃を超える厳しい環境の中で、「頭や首に冷たい物を巻く」といった個人的な対策を行っている割合が、職長以上の労働者で高いことが示されています。これは、現場で長く働いてきた人が経験から身につけた冷却方法が、暑さへの対策として役立っている可能性を示すものです [文献3]。

建物解体作業者を対象とした調査では、夏期の作業中に「つらい」と感じたり、作業後に強い倦怠感を訴えたりする人が多くみられました。また、水分や塩分の補給を適切に行うことが、熱中症予防に有効であると考えられました [文献4]。

一方、花火打上事業場を対象とした調査では、専用作業服の貸与、作業時間の短縮、身体的負担の大きい作業を避けるといった、作業管理上の対策の実施率が低いことが明らかになりました。つまり、労働者が「暑くて危険だ」と感じていても、その危険認識が必ずしも職場の管理行動につながっているわけではありませんでした [文献5]。

また、埋蔵文化財の発掘調査現場を対象とした調査では、熱中症が発生した際の救急措置に関する教育の実施率が、50 人未満の小規模な機関で有意に低いことが示されました。これは、組織の規模によって教育や安全衛生管理の体制に差が生じる可能性を示しています [文献6]。

これらの研究からわかるのは、「熱中症対策は一つの方策があれば十分である」とは決して言えないということです。個人が身体を冷やすことも重要です。水分や塩分を適切に補給することも必要です。作業時間や作業内容を調整することも大切です。そして、それらを支える教育や組織の仕組みも欠かせません。

さらに言えば、それぞれの現場に、その現場ならではの問題点があり、どこの職場にも適応できる方策があるわけではありません。それぞれの職場で、もっとも適した方策を作り上げていかなければならないのです。

ここまでをまとめます。現場の熱中症学は、熱中症が発症した後の対応だけを研究する学問ではありません。个人防护、補水、作業管理、教育、組織体制、そして人と人とのつながりまでを含めて、熱中症をどう防ぐかを考える実践的な学問として発展していく必要があります。

2. 医療機関の熱中症学—重症度評価と合併症・後遺症対応

(1) 重症度評価、臨床転帰を予測する J-ERATO

現場で発見された熱中症患者が医療機関に搬送されると、次に重要になるのが「この患者はどの程度重症なのか」「これからどのように悪化する可能性があるのか」という判断です。そのための指標の一つとして提案されているのが、J-ERATO です。

J-ERATO は、熱中症患者の臨床転帰を、来院前の段階から予測するために提案された重症度予測スコアです [文献7]。病院に到着する前から患者の重症化リスクを評価し、現場と病院での診療をつなぐという意味で、病院の熱中症学を考えるうえで重要な概念です。

日本救急医学会の「熱中症診療ガイドライン 2024」では、日本救急医学会の熱中症重症度分類や Bouchama 基準などとともに、予後を判断するための指標の一つとして J-ERATO が扱われています [文献8]。

J-ERATO では、①呼吸数 22 回以上、②GCS(グラスゴー・コーマ・スケール:意識レベル尺度の一つ) 15 未満、③収縮期血圧 100 mmHg 未満、④心拍数 100 回以上、⑤体温 38℃以上、⑥年齢 65 歳以上、という 6 項目が評価されます。いずれも病院に到着する前から比較的把握しやすい情報です。

このスコアを用いることで、入院、ICU 入室、死亡といった転帰をある程度予測できるとされています。

ただし、J-ERATO を、それだけで治療方針を決めるための尺度と考えるべきではありません。むしろ、重症化する可能性の高い患者を早い段階で見つけ出し、迅速な冷却や必要な治療につなげるための実践的な指標として理解するのが適切です。

(2) 熱中症合併症・後遺症の対応

病院における熱中症診療では、患者が到着した時点で、すでに病態がかなり進行している場合があります。そのため、「体温が高い」という一つの所見だけを見るのではなく、全身の状態を評価しなければなりません。

重症熱中症は、単なる高体温や脱水として捉えることはできません。中枢神経系の障害を中心として、循環不全、腎障害、肝障害、凝固異常、横紋筋融解、急性呼吸不全など、さまざまな臓器障害が同時に起こりうる全身性の病態です。

そのため、日本救急医学会の「熱中症診療ガイドライン 2024」でも、深部体温や意識レベルだけではなく、急性期 DIC(播種性血管内凝固症候群)スコア、尿量、画像検査、各種バイオマーカーなどを組み合わせて、臓器障害の広がりや重症度を多面的に評価することの重要性が示されています [文献8]。

重症熱中症では DIC を合併することがあり、さらに、DIC を合併した患者では、合併しなかった患者より死亡率が高いことが報告されています [文献9]。しかし、DIC に対して用いられる薬剤については、現時点では予後を改善することを十分に裏づける根拠はありません [文献8]。

したがって、熱中症の治療では、特定の薬剤に頼るのではなく、できるだけ早く体温を下げること、循環を維持すること、呼吸を管理すること、腎障害などの臓器障害に対応することが基本となります [文献8]。

そして、熱中症診療では、患者を救命できればそれで終わりというわけではありません。重症熱中症では、救命された後にも中枢神経系の後遺症が残ることがあります。日本救急医学会の Heatstroke STUDY 2006 および 2008 の解析では、熱中症後の中枢神経系後遺症として高次脳機能障害、嚥下障害、小脳失調、失語、植物状態などが報告されています [文献10]。また、来院時の高度意識障害、高体温、代謝性アシドーシス、冷却終了までの長時間化が、これらの後遺症と関連していました [文献10]。

このことは、熱中症診療において「救命」と「後遺症を残さないこと」は別々の目標ではなく、できるだけ早い段階から同時に考える必要があることを示しています。

したがって、病院の熱中症学は、「救命」と「後遺症を残さない」をめざす学問です。少し、詳しく言えば、早期から全身の臓器障害を予測して治療し、救命するとともに、できるだけ神経学的後遺症を残さず、長期的な生活の質を改善することを目指す学問として位置づけることができます。

3. 研究室の熱中症学—熱ショック蛋白質と分子病態

(1)熱ショック蛋白質の発見

熱中症をさらに深く理解するためには、患者の症状や血液検査の結果を見るだけでは十分ではありません。「なぜ熱によって細胞が傷つくのか」「細胞は熱にさらされたとき、どのように自分を守ろうとするのか」「なぜ、ある人では軽症で済むのに、別の人では多臓器障害にまで進行するのか」こうした疑問に答えるためには、細胞や遺伝子のレベルまで研究を進める必要があります。

このような研究の出発点の一つとなったのが、1962年にイタリアの遺伝学者 Ritossa がショウジョウバエで行った観察です [文献11]。Ritossa は、ショウジョウバエの唾液腺の染色体を観察しているとき、熱を加えた後に染色体の一部がふくらんで見える不思議な変化を発見しました。このふくらみは「パフ (puff)」と呼ばれています。図1に、熱刺激によってパフが出現する様子を示します。



ショウジョウバエ 唾液腺染色体

熱刺激の前

熱刺激の後

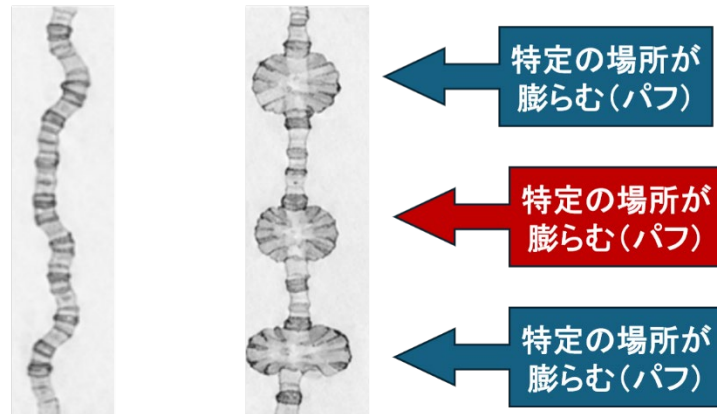


図1 ショウジョウバエ唾液腺染色体のパフの出現

このパフは、単なる染色体の形の変化ではありませんでした。熱を受けた細胞の中で、特定の遺伝子が急に活発に働き始めたことを示していたのです。この発見は、熱が生物の細胞を一方向的に傷つけるだけでなく、細胞の側にも、熱から自分自身を守ろうとする仕組みが備わっていることを示す重要な発見でした。その後、この反応に伴って作られる蛋白質が次々と発見され、「熱ショック蛋白質」と呼ばれるようになりました。

熱中症研究にとって、この発見が持つ意味は大きなものでした。それまで熱というのは、主として「生体に障害を与えるもの」と考えられていました。しかし、熱にさらされた細胞は、ただ壊れていくわけではありません。細胞自身が危険を察知し、蛋白質の損傷を防いだり、傷ついた蛋白質を修復したりする仕組みを働かせるのです。つまり、生体では、熱による障害と、それに対抗して生体を守ろうとする反応が同時に起こっているのです。

(2)熱中症の分子病態:「腸管のバリア機能の破綻」という病態仮説か

らトランスクリプトーム研究へ

Ritossa による 1962 年のショウジョウバエの観察は、熱ショック反応研究の出発点とされています。その後の研究によって、熱によって誘導される遺伝子や蛋白質の働きが次々に明らかになり、熱ストレスに対する細胞の防御機構が理解されるようになりました。この発見をきっかけに、熱中症研究は大きく広がりました。研究者たちは、体温が上昇するという表面上の現象だけではなく、「熱を受けた体の中で何が起きているのか」を調べるようになりました。そして、高体温によって、肝臓や腸管などの内臓組織に循環障害や低酸素ストレスが生じることが明らかになってきました[文献12]。その中で重要な考え方の一つが、腸管のバリア機能の破綻です[文献13]。

強い暑熱にさらされると、体は熱を逃がすために皮膚の血流を増やします。しかし、その一方で、腸管への血流が減少し、腸の粘膜が傷つきやすくなると考えられています。腸管は、単に食物を消化・吸収するための器官ではありません。腸の内側には多数の細菌が存在しており、それらが体内に入り込まないようにする「バリア」としての役割も果たしています。

ところが、熱ストレスによってこのバリア機能が低下すると、本来は腸管内にとどまっているはずの細菌由来成分などが、血液中に入りやすくなる可能性があります。その結果、全身の炎症反応が強まり、さらに循環障害や臓器障害が進行する可能性があります。この考え方は、熱中症を単なる「高体温」や「脱水」だけでは説明できない病態として理解するうえで重要です。

熱中症では、高体温によって循環が変化し、腸管を含む各臓器への血流が変化し、炎症反応が起こり、それらが互いに影響し合いながら病態が進行することがわかってきました。つまり、熱中症は一つの原因から一つの障害が起こる病気ではなく、さまざまな生体反応が複雑につながりながら、多臓器障害へ進んでいく病態として理解する必要があります。

近年はさらに、トランスクリプトーム解析という新しい研究手法も用いられるようになりました。トランスクリプトームとは、細胞や組織の中で、どの遺伝子がどの程度働いているのかを、全体として調べる方法です。熱ストレスを受けたときに、どの遺伝子の働きが強くなり、どの遺伝子の働きが弱くなるのかを調べることで、熱に対して生体がどのように反応しているのかを、より広い視野から理解できるようになってきました。Bouchama らのトランスクリプトーム解析研究では、熱中症患者では熱ショック蛋白質遺伝子が高度に発現していることが示されました[文献14]。このような研究をきっかけに、炎症、代謝、血管障害、細胞の防御や修復など、熱ストレスによって引き起こされるさまざまな変化が少しずつ明らかになっています。

このように考えると、研究室の熱中症学は、単に「なぜ暑さで人が倒れるのか」を説明するだけの学問ではありません。研究室の熱中症学は、「なぜ熱によって生体の恒常性が崩れるのか。そして、その崩れに対して生体はどのように抵抗し、どこでその抵抗が破綻するのか」を

理解することで、熱中症の予防や治療につながる新しい方法を見つけることを目指している学問なのです。

おわりに

本章では、熱中症学を「現場」「医療機関」「研究室」という三つの視点から見てきました。

現場では、熱中症をいかに予防し、早く発見し、重症化を防ぐかが重要な課題となります。そのためには、WBGT などの環境条件だけでなく、作業内容、休憩、補水、教育、組織体制、そして一緒に働く人たちの存在まで考える必要があります。

医療機関では、患者の重症度を迅速に判断し、冷却と全身管理を行いながら、救命とともに後遺症をできる限り少なくすることが重要です。

研究室では、熱ショック蛋白質の発見を出発点として、細胞の防御機構、腸管バリアの破綻、炎症反応、遺伝子発現の変化などの研究を通じて、熱ストレスによって生体の恒常性がどのように維持され、どの段階で破綻するのかが明らかにされつつあります。

この三つの視点は、独立したものではありません。現場や病院で生じた疑問や課題が研究室での病態解明につながり、そこで得られた知見が、再び現場での予防や病院での診療に生かされていく。このような循環によって、熱中症学は発展してきました。

そして、熱中症を学ぶことは、単に「暑さから身を守る方法」を学ぶことではありません。熱中症を通して、私たちは改めて、環境と人間との関わりについて考えることになります。気候変動によって暑熱環境が変化すれば、これまで問題なく過ごしていた生活や労働の環境にも、新たな健康リスクが生じる可能性があります。

また、職場の熱中症は、人と人とのつながりの大切さも教えてくれます。体調が悪くなったときに声をかけてくれる人がいるか、異常に気づいてくれる人がいるか。そのことが、時には生死を分けることもあります。一方、細胞や遺伝子のレベルに目を向けると、人の身体には、外界の変化に適応し、自らを守ろうとする精緻な仕組みが備わっていることがわかります。

私たちの身体は、暑くなれば汗をかき、皮膚の血流を増やして熱を逃がします。細胞もまた、熱による傷害から自らを守るための仕組みを働かせます。しかし、その防御能力を超える熱ストレスが加われば、こうした仕組みは次第に破綻し、多臓器障害へと進んでいきます。熱中症

は、人の身体が環境に適応しながら生きていること、そしてその適応には限界があることを、私たちに明瞭に示してくれる疾患でもあります。

これから、気候変動や高齢化が進み、働き方や生活様式もさらに多様になっていくでしょう。そのような社会において、熱中症学には、熱中症の予防や診療にとどまらず、変化する環境の中で、人がどのように健康を保ちながら安全に生活し、働いていくことができるのかを考える学問としての役割が期待されます。

熱中症学は、社会医学領域(公衆衛生学、環境医学、労働衛生学、母子保健、学校保健、老人保健等)、臨床医学領域(救急医学、内科学等)、基礎医学領域(生理学、病理学、分子生物学等)にまたがる学問です。その中心にあるのは、暑熱という環境に対して、生体がどのように適応し、どこでその恒常性が破綻するのかという、きわめて基本的な問いです。この問いを追究することは、熱中症の理解を深めるだけでなく、人間と環境とのよりよい関係を考えていくことにもつながるでしょう。

参考文献

1. 厚生労働省. 2025 年(令和7年)職場における熱中症による死傷災害の発生状況(確定値)<https://www.mhlw.go.jp/content/11303000/001705024.pdf>(2026 年 8 月 27 日閲覧)
2. 厚生労働省. 2024 年(令和 6 年)職場における熱中症による死傷災害の発生状況(確定値)<https://www.mhlw.go.jp/content/11303000/001496511.pdf>(2026 年 8 月 27 日閲覧)
3. 井奈波良一 他. 路面標示作業者の夏期の自覚症状と暑熱対策(2005)日本職業・災害医学会会誌 53(3): 141-147.
4. 井奈波良一 他. 建物解体作業者の夏期の自覚症状と暑熱対策(2009)日本職業・災害医学会会誌 57(2):66-72.
5. 井奈波良一. 花火打ち揚げ事業場における熱中症予防対策実施状況(2013)日本職業・災害医学会会誌 561(6):393-399.
6. 井奈波良一 他. 埋蔵文化財発掘調査機関における熱中症予防対策実施状況(2013)日

本職業・災害医学会会誌, 61:225—231.

7. Hayashida, K., Kondo, Y., Hifumi, T., Shimazaki, J., Oda, Y., Shiraishi, S., Fukuda, T., Sasaki, J., & Shimizu, K. (2018). A novel early risk assessment tool for detecting clinical outcomes in patients with heat-related illness (J-ERATO score): Development and validation in independent cohorts in Japan. *PloS one*, 13(5), e0197032.

8. 熱中症診療ガイドライン 2024

https://www.jaam.jp/info/2024/files/20240725_2024.pdf (2026 年 8 月 27 日閲覧)

9. Iba, T., Connors, J. M., Levi, M., & Levy, J. H. (2022). Heatstroke-induced coagulopathy: Biomarkers, mechanistic insights, and patient management. *EClinicalMedicine*, 44, 101276.

10. 中村 俊介, 三宅 康史, 土肥 謙二, 福田 賢一郎, 田中 幸太郎, 森川 健太郎, 有賀 徹
熱中症による中枢神経系後遺症－Heatstroke STUDY 2006, Heatstroke STUDY 2008 の結果分析－2011 年 日本救急医学会雑誌 22 巻 7 号 p. 312-318

11. De Maio, A., Santoro, M. G., Tanguay, R. M., & Hightower, L. E. (2012). Ferruccio Ritossa's scientific legacy 50 years after his discovery of the heat shock response: a new view of biology, a new society, and a new journal. *Cell stress & chaperones*, 17(2), 139-143.

12. Hall, D. M., Baumgardner, K. R., Oberley, T. D., & Gisolfi, C. V. (1999). Splanchnic tissues undergo hypoxic stress during whole body hyperthermia. *The American journal of physiology*, 276(5), G1195-G1203.

13. Bouchama, A., & Knochel, J. P. (2002). Heat stroke. *The New England journal of medicine*, 346(25), 1978-1988.

14. Bouchama, A., Rashid, M., Malik, S. S., Al Mahri, S., Yassin, Y., Abdullah, M., Abdulmalek, N., Maashi, F., Mashi, A., Khan, A., Alotaibi, B., Lehe, C., Mohammad, S., Alkadi, H., Alwadaani, D., & Yezli, S. (2023). Whole genome transcriptomic reveals heat stroke molecular signatures

in humans. The Journal of physiology, 601(12), 2407-2423.