

潜在有効発汗量を使った東京オリンピック マラソン競技における熱中症リスクの評価

2019.9.13

工学部 環境工学科

准教授 高山 成

はじめに



図 2020年東京オリンピックのマラソンコース(フジテレビHPより)

暑熱 (WBGT) 計

- ・測定が簡便で実用的
- ・湿度, 放射, 気温を考慮している
- ・ISO 7243, JIS Z 8504 として規格化
- ・暑さ指数 (環境省) として推奨

ただし,

- ・運動強度, 活動時間, 服装, 体格などは考慮されず・

<http://shopping.c.yimg.jp/lib/imanando/6913-2.jpg>



2020年東京オリンピックは
8月の東京!

コースの暑熱環境評価に
基づいた(熱中症)対策
が検討されている

● 運動に関する指針

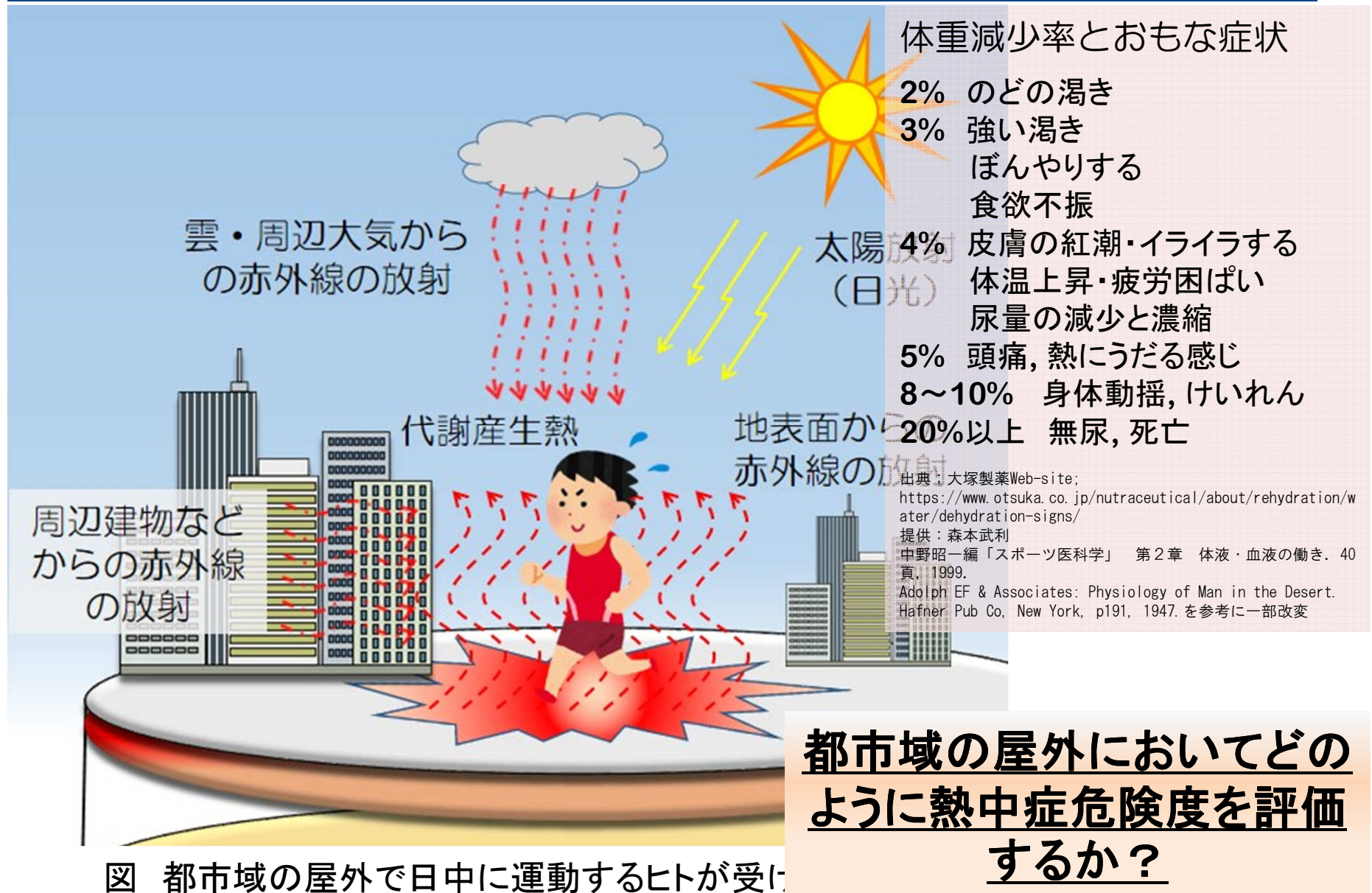
気温 (参考)	暑さ指数 (WBGT)	熱中症予防運動指針	
35℃以上	31℃以上	運動は原則中止	特別の場合以外は運動を中止する。 特に子どもの場合には中止すべき。
31~35℃	28~31℃	厳重警戒 (激しい運動は中止)	熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。 10~20分おきに休憩をとり水分・塩分の補給を行う。 暑さに弱い人は運動を軽減または中止。
28~31℃	25~28℃	警戒 (積極的に休憩)	熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。 激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
24~28℃	21~25℃	注意 (積極的に水分補給)	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。 熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
24℃未満	21℃未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)	通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。 市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

※暑さに弱い人: 体力の低い人、肥満の人や暑さに慣れていない人など
(公財) 日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」(2019)より

【湿球黒球温度 WBGT;℃】

$$WBGT = 0.7 \times T_w + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T_a \quad (1)$$

T_w : 湿球温度 T_g : 黒球温度 T_a : 気温 (°C)



● 運動に関する指針

気温 (参考)	暑さ指数 (WBGT)	熱中症予防運動指針	
35℃以上	31℃以上	運動は原則中止	特別の場合以外は運動を中止する。 特に子どもの場合には中止すべき。
31～35℃	28～31℃	厳重警戒 (激しい運動は中止)	熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。 10～20分おきに休憩をとり水分・塩分の補給を行う。 暑さに弱い人※は運動を軽減または中止。
28～31℃	25～28℃	警戒 (積極的に休憩)	熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。 激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
24～28℃	21～25℃	注意 (積極的に水分補給)	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。 熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
24℃未満	21℃未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)	通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。 市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

※暑さに弱い人：体力の低い人、肥満の人や暑さに慣れていない人など

(公財) 日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」(2019) より

測定が簡便で実用的な反面、温熱生理・物理的な背景に乏しい

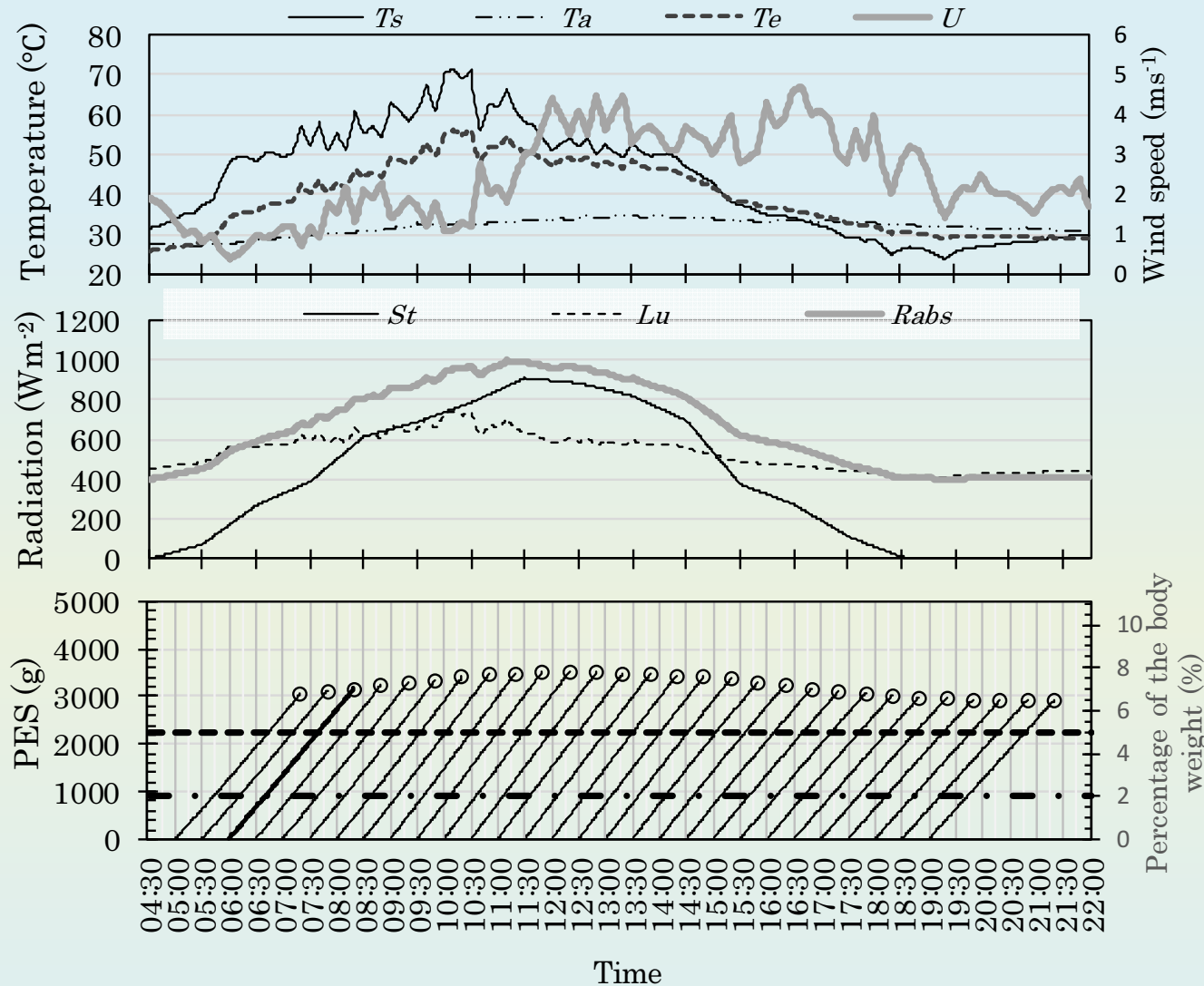
潜在有効発汗量(*PES*)による選手の熱中症危険度評価法を提案

【特徴】

- ① 携帯型機器で簡易に測定可能な気象要素，人体情報から算出可能であり，実用面でWBGTと大差がない。
- ② 人体熱収支をベースにしており，評価値の物理的な根拠が明確である。
- ③ 評価対象であるヒトの運動強度・時間，着衣量，体格などが考慮され，屋外活動時における熱ストレスを，正確かつ簡便に測定できる。

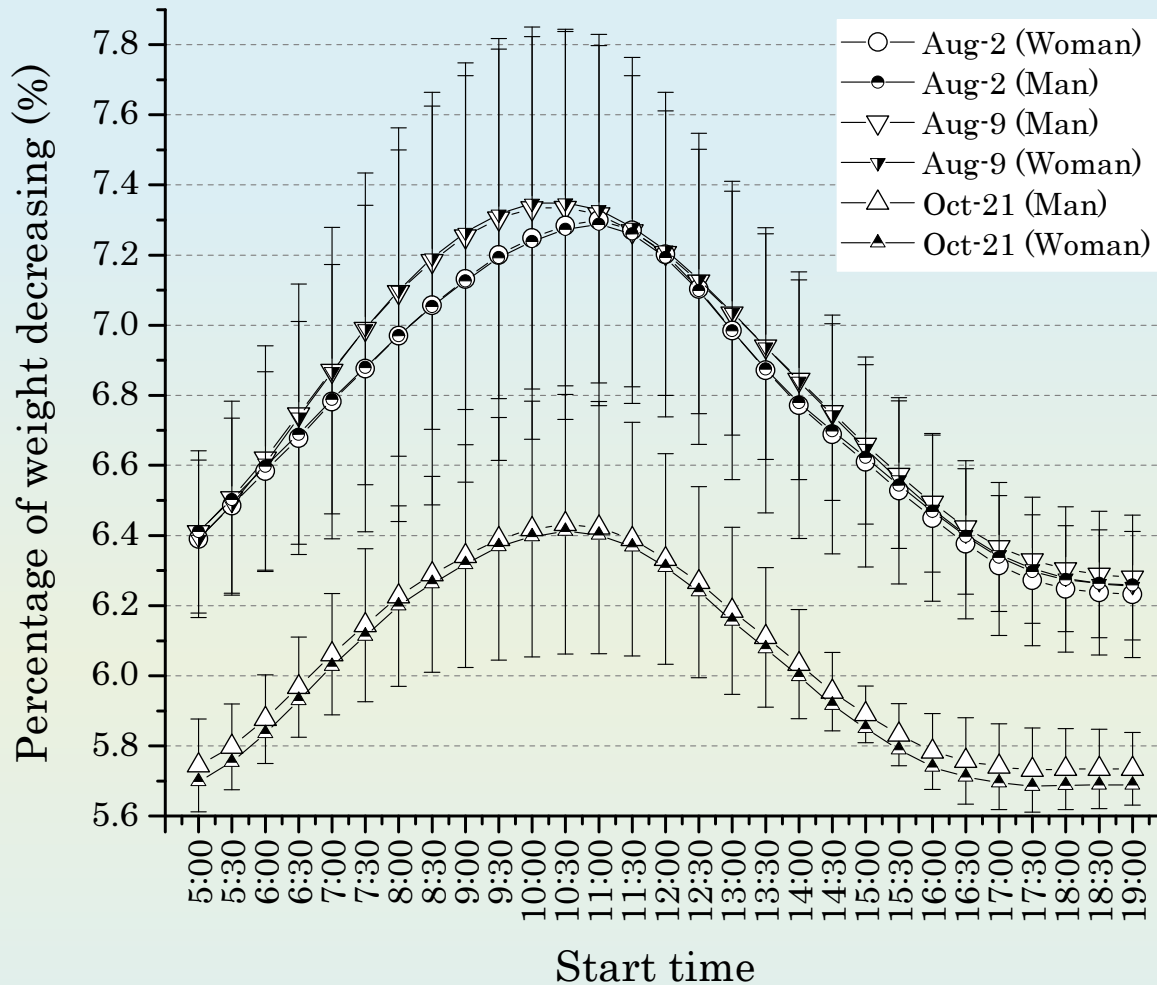
***PES* ; 屋外で運動する対象者が体温を一定に保つために
最低限必要な汗の蒸発量**

その1 推定有効発汗量(PES)



- 人体熱収支モデルをベースに最小限必要な有効発汗量を算出
- 気象台で得られるデータ（気温・相対湿度・風速・日射量・大気放射量）を入力すれば，運動強度や体格に応じて評価が可能。

図 8月2日に競技開始時間を変えた場合の女子マラソンにおける脱水による体重減少率(2014年)



$$lE_s = M - \frac{C_p(g_{Ha} + g_r)(T_b - T_e)}{1 + \frac{g_{Hb}}{g_{Hb}}} \quad (1)$$

$$T_e = T_a + \frac{R_{abs} - \alpha_L \sigma (T_a + 273.15)^4}{C_p(g_{Ha} + g_r)} \quad (2)$$

$$M - lE_s = H + L_{be} - R_{abs} \quad (3)$$

t_{act} ; 活動時間(s) A_{body} ; 被験者の体表面積(m²)
 lE_s ; 推定潜熱放散速度(Wm⁻²)
 M ; 代謝産生熱速度(Wm⁻²)
 m ; 被験者の体重(kg) h ; 同身長(m)
 c_w ; 体組織の比熱(=4186Jkg⁻¹°C⁻¹)
 C_p ; 空気の定圧比熱(=29.3Jmol⁻¹K⁻¹)
 (コンダクタンス)
 g_{Ha} ; 熱輸送の境界層 g_r ; 放射 g_{Hb} ; 人体の熱輸送
 g_{Ht} ; 組織の熱輸送(=2.8) g_{Hc} ; 外皮の熱輸送
 g_{Hcl} ; 衣服の熱輸送(単位; molm⁻²s⁻¹)
 T_b ; 体芯部の温度(=37.5°C) T_e ; 作用温度
 T_a ; 気温(°C) α_L ; 赤外放射に対する人体の吸収率
 (=0.95) L_{be} ; 体表面から出ていく赤外放射フラックス
 R_{abs} ; 体表面が吸収する放射フラックス
 (Wm⁻²)

図 東京オリンピックマラソン競技を想定した選手の体重減少率の評価結果(2009年～2018年の気象データに基づく)

その2 黒球有効発汗量(PES_g)

携帯型機器で現場で測定できるようにしたい!

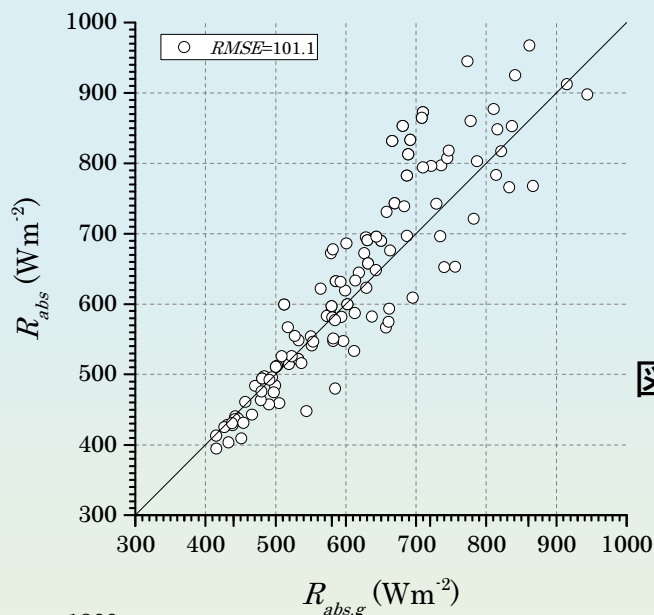
暑熱計



風速計



http://www.tech-jam.com/items_image/products.phtml?tmp_product_id=testo410-1



体表面が吸収する放射量を黒球温度の測定値から推定

図 体表面吸収放射量の黒球による推定値と放射計による測定値との関係



図 学生による熱負荷暴露実験の風景

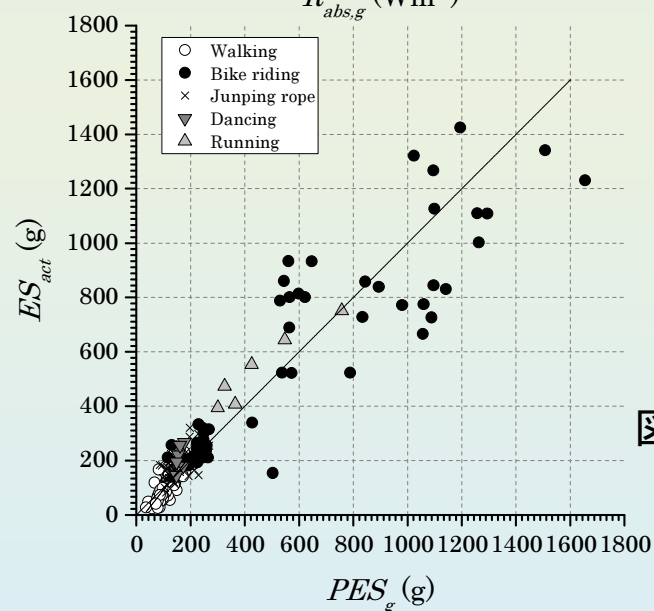


図 黒球有効発汗量と被験者の実有効発汗量との関係

その3 WBGT有効発汗量(PES_{WBGT}) **もっと便利にWBGT測定値だけから!**

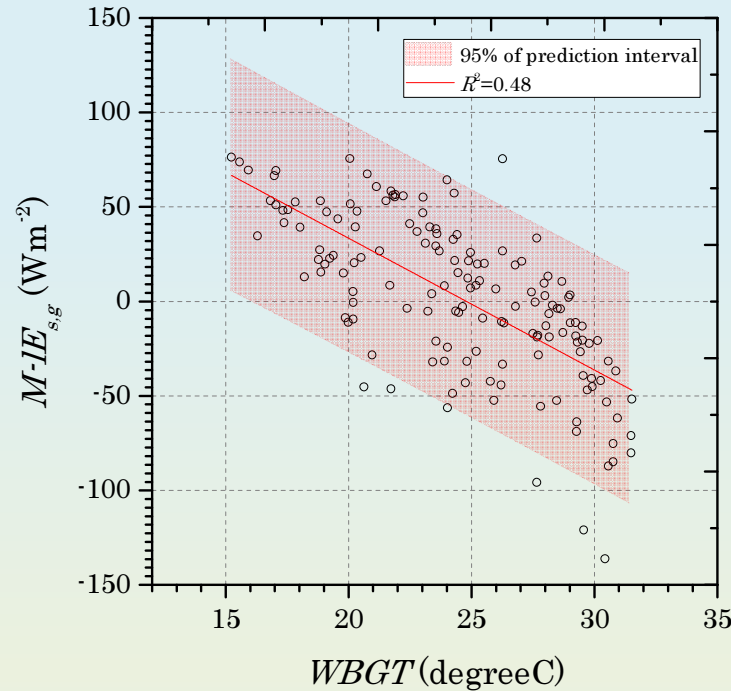


図 WBGTと $M-IE_{s,g}$ との関係

$$M - IE_{s,g} = H + L_{be} - R_{abs,g}$$

「正味の放射と顕熱交換による人体に対する熱負荷に相当（負が受熱）」

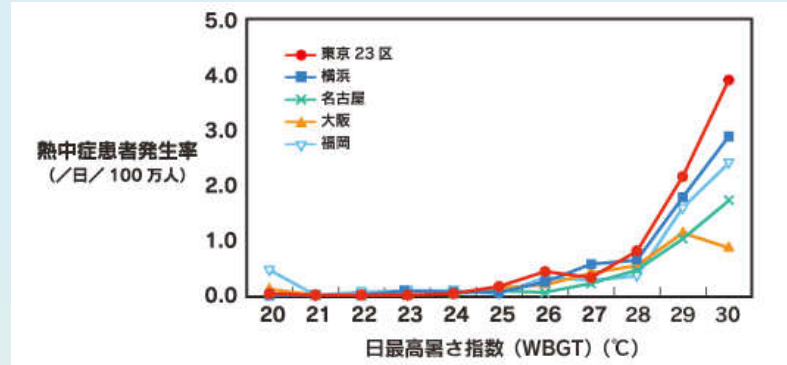


図 WBGTと熱中症搬送者数との関連(環境省HP)

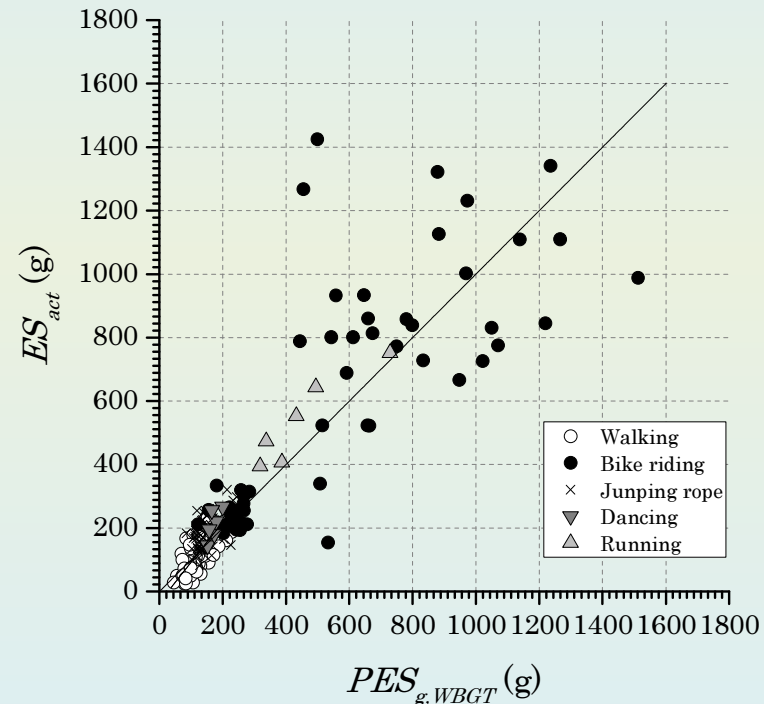


図 WBGT有効発汗量と実有効発汗量との関係

まとめ

- 潜在有効発汗量 PES による屋外運動の熱中症リスク評価法を提案した. PES は「屋外で活動するヒトが体温を一定に保つために最小限必要な有効発汗量」を意味し、対象とするヒトの身長・体重，服装，運動強度を設定すれば，気象台で観測された気象要素から容易に算出できる.
- 気温，相対湿度，黒球温度，風速から算出可能な黒球潜在有効発汗量 PES_q およびWBGT値から算出可能なWBGT潜在有効発汗量 PES_{WBGT} を併せて提案した. これらを使えば携帯型の機器により現場で容易に潜在有効発汗量の測定が可能で，熱中症危険度をより正確に把握できる.
- 女子マラソンが開催される8月2日に，最も体重減少率が大きかったのは11:00スタートで，女子で平均7.30%，最大8.09%だった. 一方，8月9日では10:30スタートが平均的に最も体重減少率が大きく，男子で7.34%だった.