



(MBL奨励講演)

ウェアラブルセンサを用いた 運動中の深部体温推定法

濱谷尚志, 内山彰, 東野輝夫

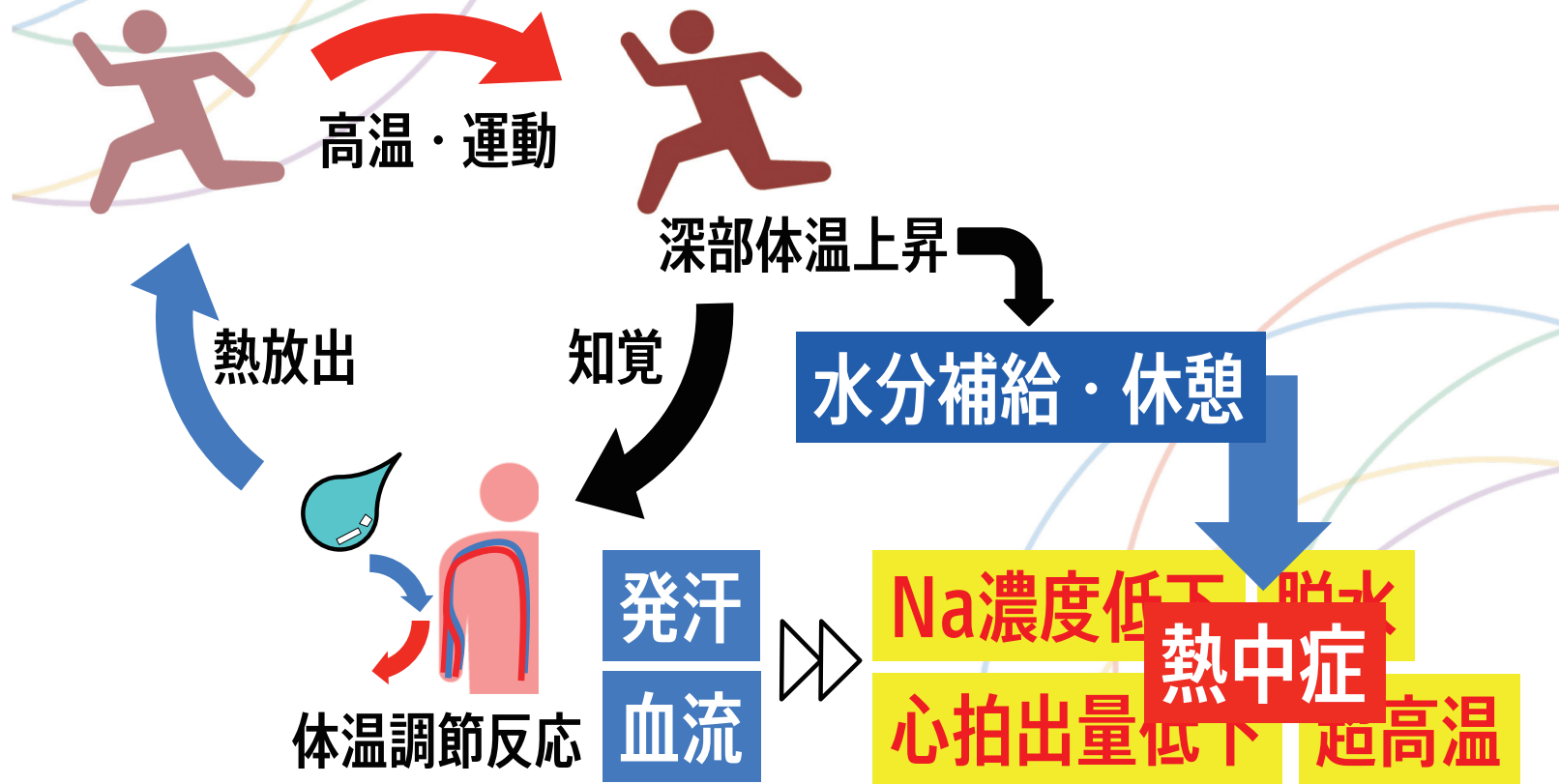
大阪大学 大学院情報科学研究科

Presented by TAKASHI HAMATANI @ IPSJ MBL80/CDS17 at SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY



深部体温

= 身体深部の体温 (≒ 直腸温・食道温・鼓膜温)



現在の問題

熱中症対策が不十分



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



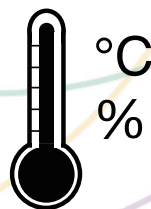
OPEN 2021

H26年度救急搬送者数

55852人

**休憩や給水タイミングの参考にはなるが
個人の細かいコンディションの違いを考慮できない**

解決方法

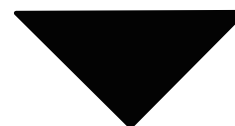


環境センサ



BPM

ウェアラブルセンサ



環境条件+各人のコンディションを考慮した
熱中症リスク(=深部体温上昇)推定



手法の概要

This diagram illustrates the input data collection process. It features three main components: 1) A digital thermometer measuring temperature in degrees Celsius (°C) and percentage (%). 2) A wrist-worn device displaying '1035' and 'BPM' (Beats Per Minute), accompanied by a heart rate icon. 3) A person icon with a shirt, labeled 'cm kg' and '安静' (quiet), with a heart rate icon next to it.

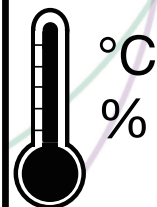
+

This diagram illustrates the 2-node model and its parameters. It features a central circular diagram with a red starburst in the center, representing the 2-node model. Below it, the text '2 ノードモデル' (2-node model) is displayed. The parameters are shown as circles containing the symbols α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , β_1 , and β_2 , with a multiplier '230,400x' below them. At the bottom, icons of a man, woman, child, and person with a cane represent '体温調節機能' (thermoregulation function) and 'パラメータ' (parameters).

This diagram illustrates the output temperature types. It features a black box with the text '体温' (body temperature) in white. Below it, a white box contains the text '深部体温' (core body temperature) in red and '体表温' (skin temperature) in red.



入出力



運動環境に設置したセンサ

気温・湿度・(日射量・風量)



BPM

腕時計型・胸ベルト型

心拍・体表温度(初期値)



T_{core}

赤外線鼓膜温度計

深部体温(初期値)



安静

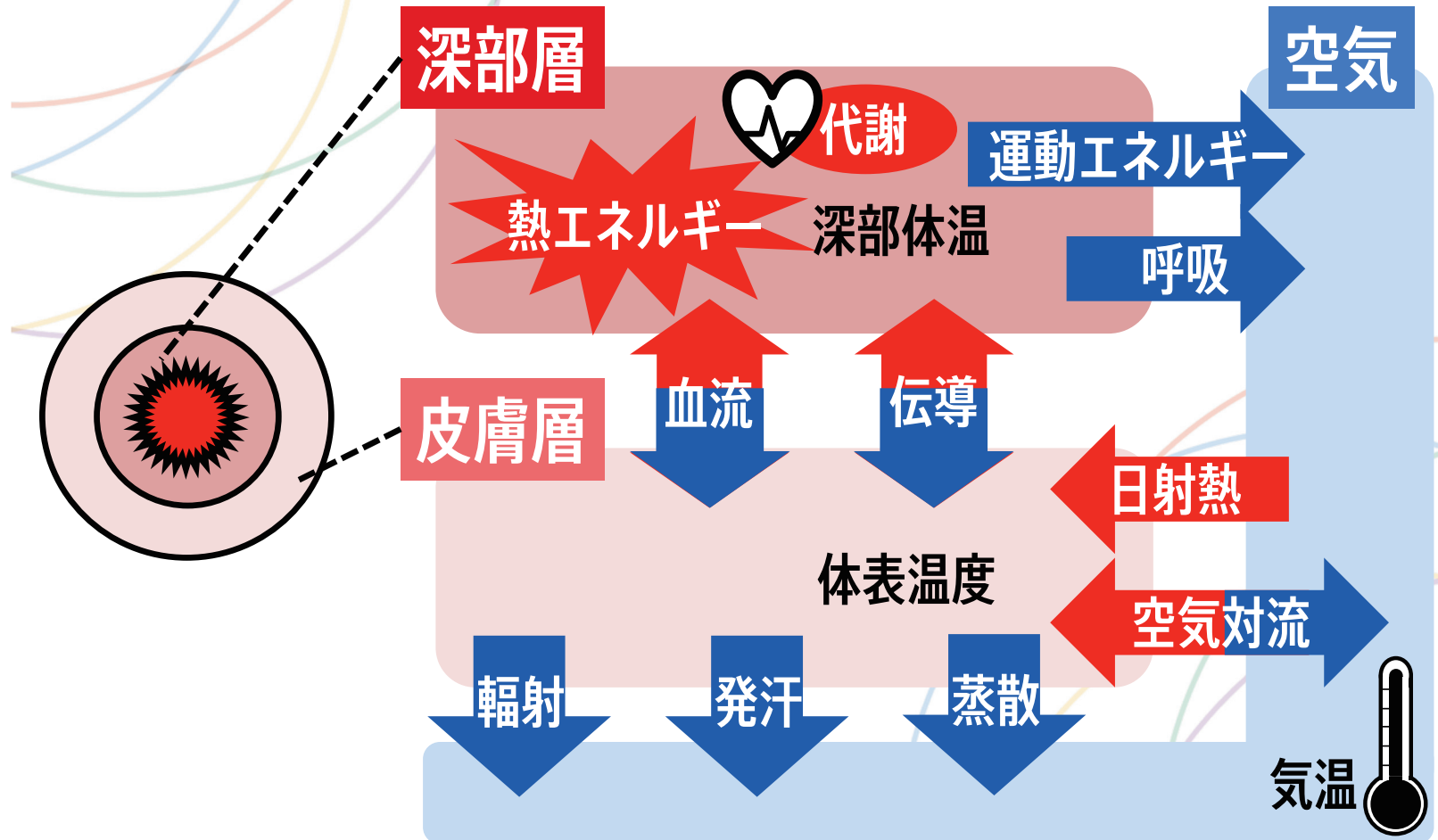


cm
kg

衣服熱抵抗・安静時心拍

身長・体重・年齢(代謝)

Gaggeの2ノードモデル



体温調節機能のパラメータ化



$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \beta_1 \beta_2 = 230,400$ 通り



血流量 $\alpha_1 \alpha_2 = 80$ 通り

$$\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (T_{core}^{t-\beta_2} - T_{core_ini})$$

先行研究で
安静時対象に提案

発汗量 $\alpha_3 \alpha_4 = 40$ 通り

$$\alpha_3 \cdot (T_{core}^{t-\beta_2} - T_{core_ini}) + \alpha_4 \cdot (T_{core}^{t-\beta_2} - T_{core_ini}) \cdot (T_{skin}^{t-\beta_2} - T_{skin_ini})$$

代謝 $\beta_1 \beta_2 = 72$ 通り

$$M = \frac{1}{\beta_1} \sum_{j=t-\beta_1}^t M^j$$

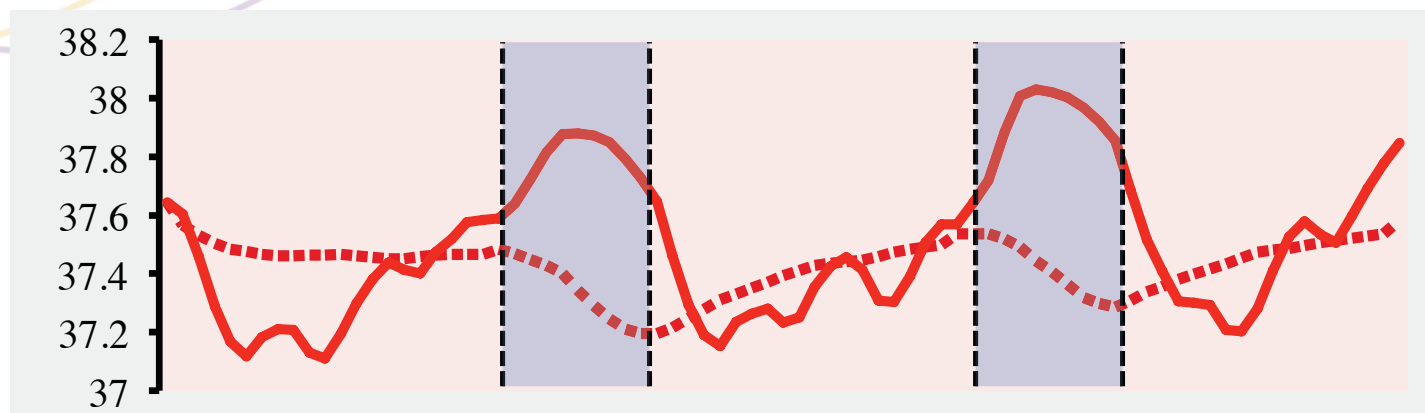
シミュレーションの追従性を
高めるため本研究で提案

休憩時・運動開始時の難しさ



運動開始直後の一過性の深部体温低下

休憩直後の高温・発汗・血流作用の継続



いずれの反応もシミュレーション反応の
遅延で表現できることを着想

休憩時・運動開始時への適応



遅延パラメータ β_1 β_2

体温上昇・下降の遅延

数分かって体温変化



β_1 分かって体温変化

$$M = \frac{1}{\beta_1} \sum_{j=t-\beta_1}^t M^j$$

発汗・血流反応の遅延

数分後に反応が始まる



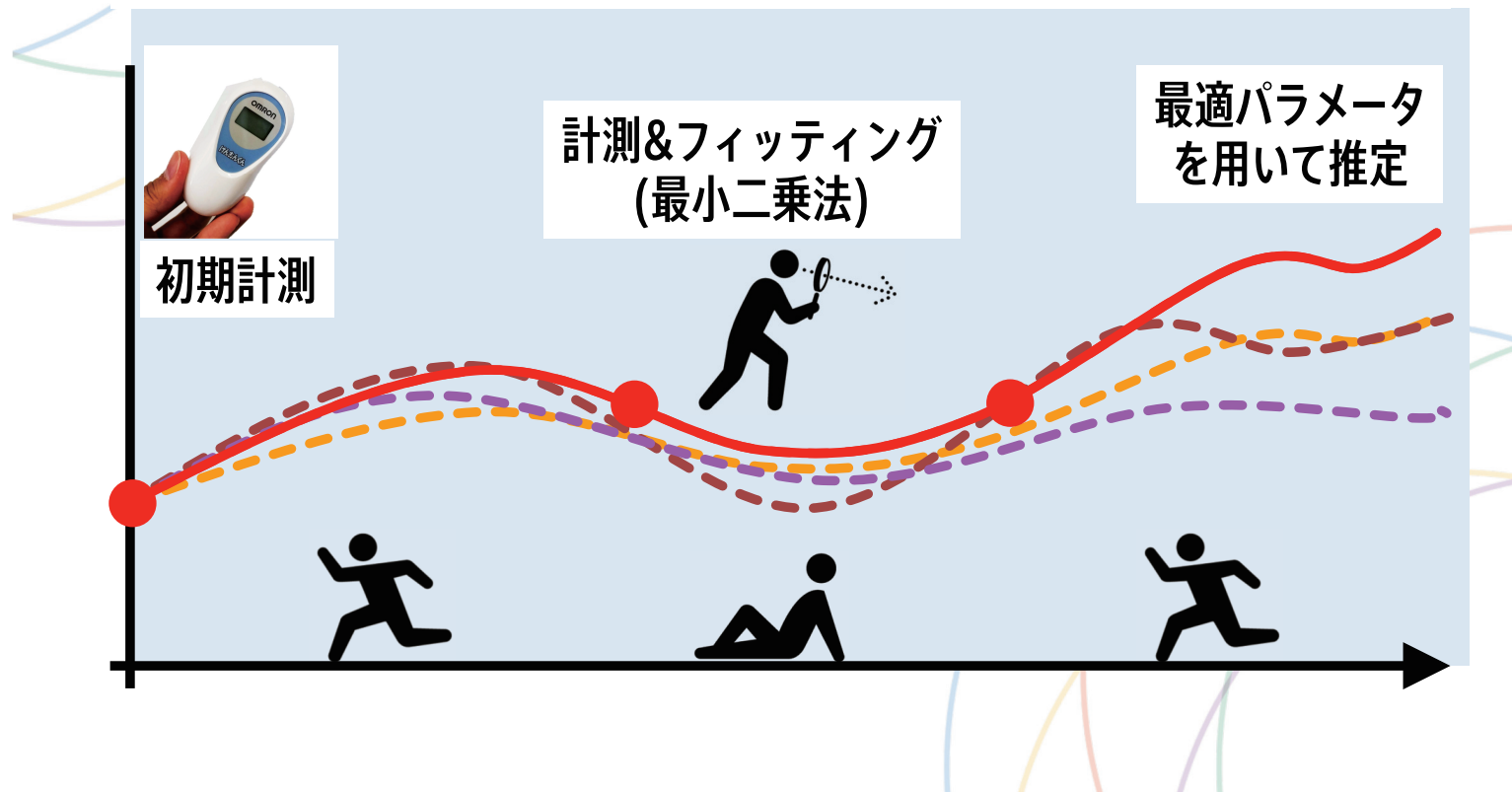
β_2 分後に反応が始まる

$$\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (T_{core}^{t-\beta_2} - T_{core_ini})$$

最適なパラメータの決定



休憩時に計測した深部体温を基にフィッティング





大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



OPEN 2021



性能評価





評価環境

評価指標

実測とシミュレーションの平均絶対誤差 (MAE)

実測値は赤外線鼓膜温度計を用いて計測

- 挿入式プローブ(連続計測)と温度計(瞬間計測)が存在

比較手法

休憩時実測を用いたパラメータ調整 (PROP)

全実測値を用いた最適パラメータ調整 (OPT)

GAGGEのモデル+通常パラメータ (GAGGE)

#1 ランニング・ウォーキング



日程

2015年7月~9月
合計10日間

被験者

20歳代 大学院生
男性 6名

内容

20分ランニング×4
または
30分ウォーキング×3
(いずれも間に休憩10分)

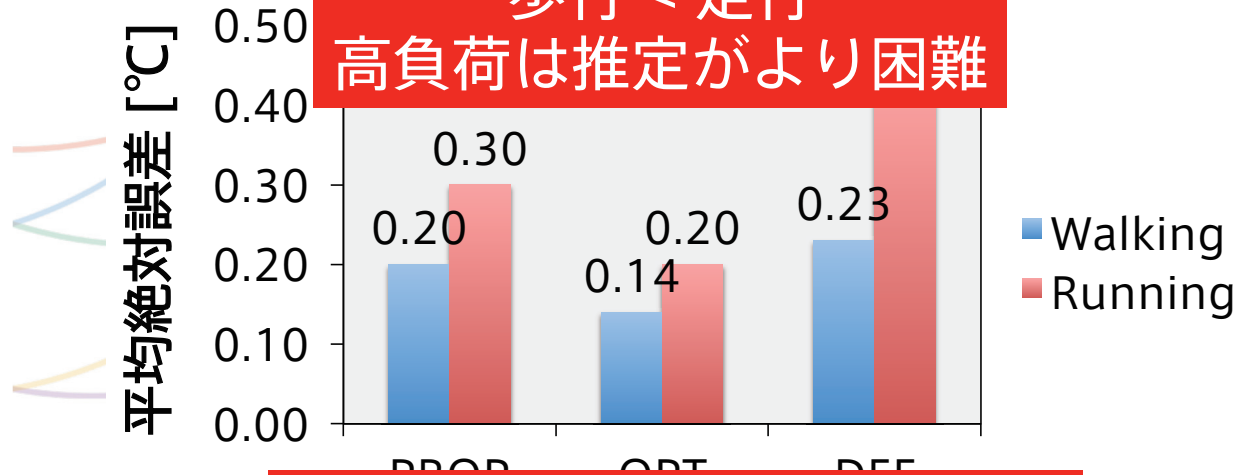
環境

平均 33.3℃・45.6%
休憩時に水分補給を実施

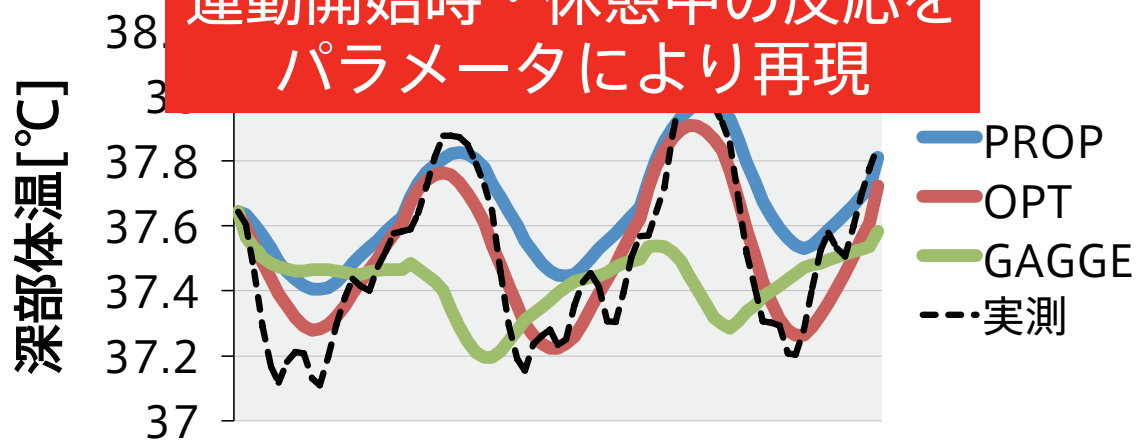


#1 結果

歩行 < 走行
高負荷は推定がより困難



運動開始時・休憩中の反応を
パラメータにより再現



#2 経験者テニス練習



日程

2015年8月
1日

被験者

50歳代 女性4名
テニス歴10年以上

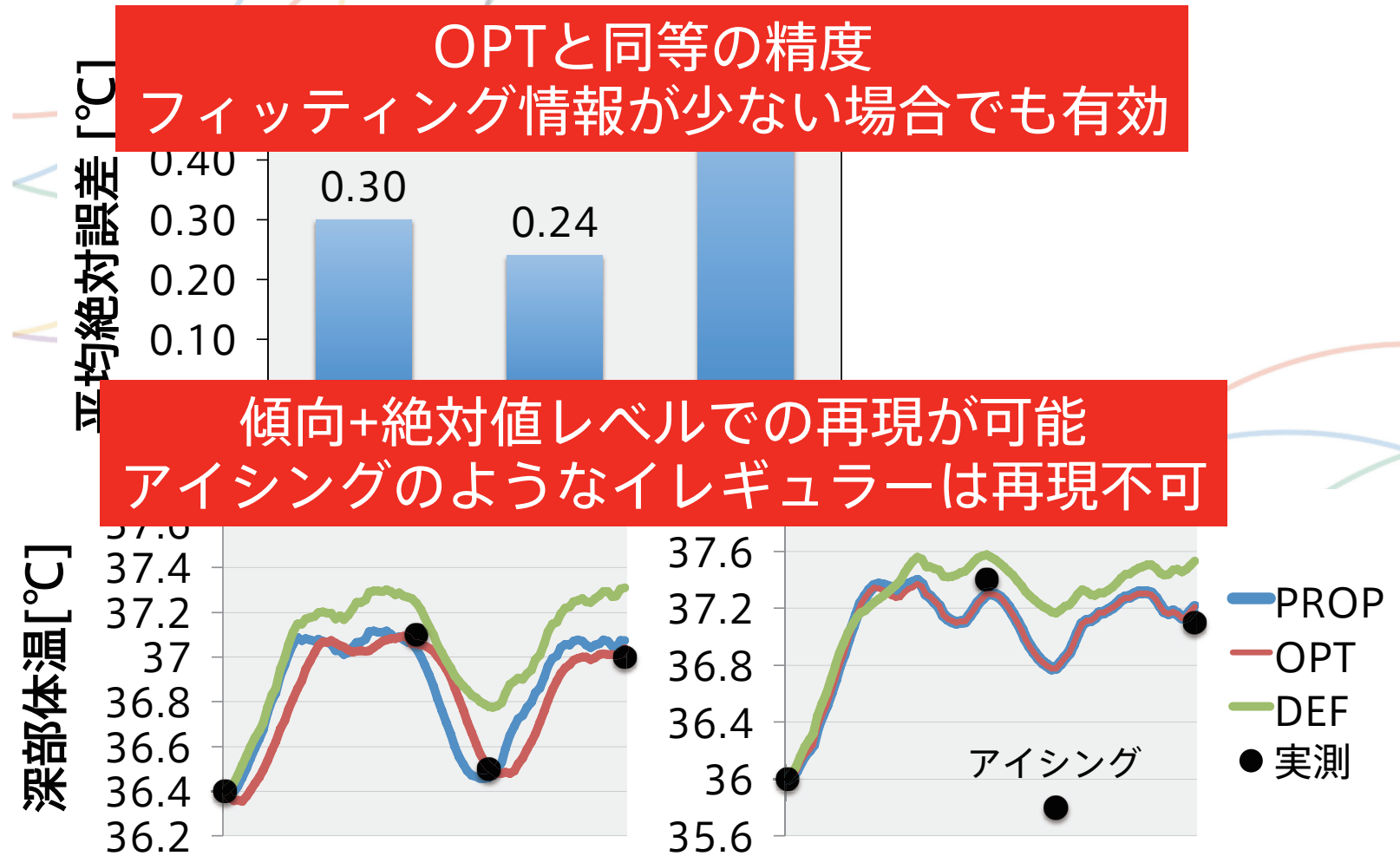
内容

90分基礎練習
40分ダブルス試合×2

環境

平均 38.3℃・38.4%
積極的に水分補給

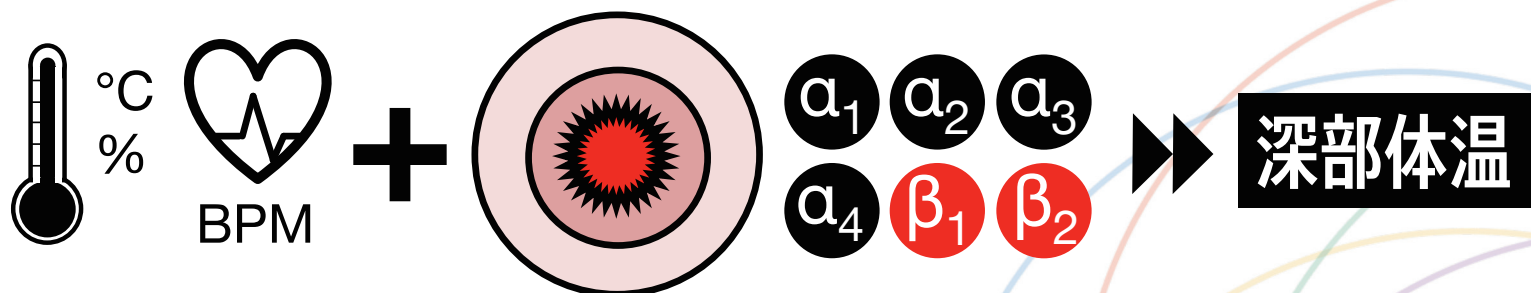
#2 結果



まとめ



複雑な負荷の運動にも適応した 深部体温推定法



今後の研究方針



疲労度・パフォーマンスとの相関を
分析・モデル化

パフォーマンス予測



熱ストレス・筋疲労

パフォーマンス予測

怪我防止



パフォーマンス・集中力

怪我リスク評価

Q&A



Presented by TAKASHI HAMATANI @ IPSJ MBL80/CDS17 at SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY