

家畜の温熱環境生理学(16)

| | |
|-------|--------------------------|
| 誌名 | 畜産の研究 = Animal-husbandry |
| ISSN | 00093874 |
| 著者 | 山本, 禎紀 |
| 巻/号 | 66巻8号 |
| 掲載ページ | p. 838-843 |
| 発行年月 | 2012年8月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



家畜の温熱環境生理学(16)

—その内容と家畜管理学における役割—

山本 禎 紀 *

IX-1. はじめに

温熱環境を適切に管理するには、家畜に影響する温度だけでなく、湿度、風速などの作用についての知識を必要とするが、できれば温度(乾球温度)を基準とした尺度で、各要因を比べて把握できることが求められる。ここで取り上げる温熱環境要因の体感温度表示の試みは、この要求に応えることである。

体感温度表示が必要となる主な理由は、くり返しになるが、一つは温熱環境管理の主な方法が、送風、遮風、採光、遮光、断熱、粉霧、散水など、温度以外の要因の制御となるからであり、それらの制御には施設設備と共に、機器の運用と管理にエネルギーと経費を要するからである。

各家畜の体感温度表示が必要となる別の理由には、温熱要因を受け取る人の感覚と、家畜が受ける影響との間にかかなりのズレがあるはずであること、また、畜種ごとに受ける影響の大きさに差のあることなどがある。これらの理由と裏付けについては、すでに体熱の放散と体温の章で取り上げた(VIとVII)。

体感温度とは、温度、湿度、風速、放射熱、熱産生量などの要因を、2つ以上組み合わせる1つの式にまとめて表示する新たな尺度である。本章で取り上げる家畜の体感温度は、各温熱要因を生理反応で評価して表示することになり、人の感覚や暮らしを基に定められたものとは異なることになる。

人の体感温度表示には、温度と湿度を、それぞれ乾球温度(DBT)と湿球温度(WBT)の測定値から定める不快指数、または、温湿度指数(後で取り上げる)、DBTとWBTに風速を加えた実効(有効)温度、その他に放射熱や作業量を含めた作用温度といわれるものなどがある¹⁾。これらは人の感覚を基に等価の温熱環境を決め、数式や図に示したもので、家畜の環境管理や研究の参考になるとしても、そのまま利用することはできないはずである。それは家畜の温熱

要因の評価は、行動、生理、生産反応を基にして築くことになるからであり、家畜で必要になる体感温度は、畜種ごとであり、さらに、生産ステージに対応したものとなる可能性もあるからである。

家畜の体温調節に關与する温熱要因の数は多く、それぞれについてはすでに詳しく検討してきた(IIとIII)。また、温熱環境の作用は、常にいくつかの要因の複合作用であり、体感温度のような表示方法が必要なのであるが、この問題を解決するには、以下で取り上げるように、めんどろな課題をいくつも克服しなければならず、湿度を例にすれば、現実には高いか低いで済まされている。

体感温度表示では、個々の温熱要因の生体に対する作用の大きさを基に、要因間の比較検討を行い、各要因の作用割合を決めることになる。グラフ上に描かれる体感温度は、縦軸に反応量を表すとすると横軸そのものであり、その複合した作用は、作用割合を定めることで体感温度となる。しかしかりに体感温度が決められたとしても、その成果が理解され利用されるには、いくつもの関門や難題を克服しなければならない²⁾。

IX-2. 体感温度表示の対象となる温熱環境要因と解析方法

ここで紹介する温熱環境要因の体感温度表示は初歩的研究段階にすぎないが、求める温熱環境要因の体感温度表示は、次のようになることが期待される³⁾。

$$ETE (DBT, WBT, AM, RD, HP) = C_1 DBT + C_2 WBT + C_3 AM + C_4 RD + C_5 HP$$

ETE: 体感温熱環境温度, effective thermal environment, °C, DBT: 乾球温度, dry bulb temperature, °C, WBT: 湿球温度, wet bulb temperature, °C, AM: 風速, air movement, m/s, RD: 放射熱, heat of radiation, cal/cm² min, または, 黒球温度 (GT), black globe temperature, °C, HP: 熱産生量, metabolic heat production, kJ/kg^{0.75} h, または, 飼料(エネルギー)摂取

*広島大学名誉教授 (Sadaki Yamamoto)

量, energy intake, kg or kJ/kg^{0.75} day, C₁~C₅:いずれも係数, factors

全体を確定することは、おそらく簡単ではないだろう。ここでは、2-3の要因、例えば、湿球温度の体感温度表示(ET(DBT, WBT, °C))、風速の体感温度表示(ET(DBT, WBT, AM, °C))などから始める。

解析方法は、初期の検討では、反応と温熱要因をいくつかのグラフに書き、好適な割合を定めた。その後、重回帰分析でそれぞれの要因におよぶ生理反応の大きさを定め、その比率から定め、さらに図で確認する方法を取った。また、豚の増体に及ぼす温湿度の影響をみるように、測定数値が論文にある場合、原著者が表示した環境評価の試みとは別に、ここで検討する方法で処理した(後述,表 IX-1と図 IX-5)。

ここに示した体感温度は不快指数のような表示ではなく、すべて DBT や WBT と同じ温度表示となっている。したがって湿度の場合、DBT と WBT を用いれば表示上の問題は生じないが、風速 (AM, m/s)、放射熱 (RD, cal/cm² min)、熱産生量 (HP, kJ/kg^{0.75} h)、日増体量 (DG, daily gain, kg/day)、産乳量 (MP, milk production, kg/day) などのように、次元の異なる単位の取り扱いには工夫する必要があった。具体的な処理や検討内容についてはそれぞれの項でふれた。

IX-3. 湿度の体感温度表示 (ET(DBT, WBT))

湿度には様々な表示方法があるが、体感温度表示に乾球温度 (DBT) と湿球温度 (WBT) を用いれば処理上の問題はない。牛について両者の作用割合をはじめに検討した Hannah 研究所の Bianca の報告には、この方法による人の体感温度が以下のように引用されていた⁴⁾。

人に対する温湿度の体感温度表示：
 $ET (DBT, WBT) = 0.15DBT + 0.85WBT$
 ET：体感温度, effective temperature, °C

牛の高温順化に伴う生理反応を検討していた Bianca にとって、この体感温度表示の試みは刺激的であったと思われる。彼は早速、図 IX-1 に示した DBT と WBT を組み合わせた条件に雄牛を感作して得た直腸温の値を図に描き、牛に対する温湿度の作用割合を定め、体感温度として表示した。

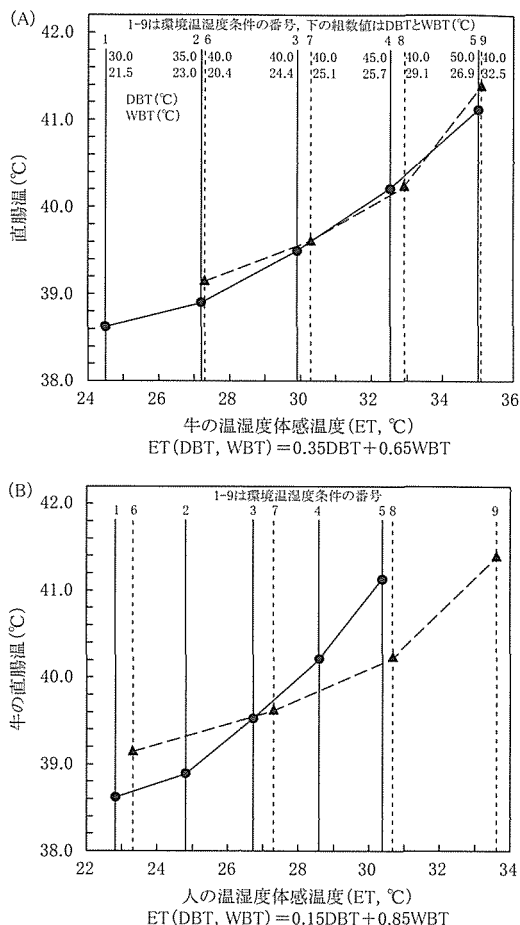


図 IX-1 (A). 育成牛の直腸温を生理指標にして提示された温湿度の体感温度表示 (Bianca, W. (1962)⁴⁾)

直腸温は、図中に記した DBT と WBT を組み合わせた 9 条件に、9 ヶ月齢の Ayrshire 種雄牛 4 頭を 5 時間暴露した平均値、▲印は、DBT40°C で、相対湿度 15~60% の 4 条件、●印の 5 条件は、DBT30~50°C までの低湿度条件、下に示した図 IX-1 (B) は同じ直腸温を、人の温湿度体感温度で描いたもので、▲と●の線は、図 (A) と比べて不具合になっている

牛に対する温湿度の体感温度表示：
 $ET (DBT, WBT) = 0.35DBT + 0.65WBT$

DBT と WBT に付いた係数は、このように図から導かれているが、重回帰分析の結果も当然一致した ($Y = 32.42 + 0.082X_1 + 0.162X_2$, Y: 直腸温, °C, X₁: DBT, °C, X₂: WBT, °C)。なお、ここでの DBT と WBT の作用割合は、先の人では 1:5.7, 牛では 1:1.9 (0.65/0.35) となり、両者間に大きな違いがあることに注目しておきたい。

同様の試みは育成豚で Babraham の Ingram によってなされた⁵⁾。そこでは直腸温の上昇率が生理指標とされ、図 IX-2 に示したように提示された。なお、ここでの DBT と WBT の作用割合は 1:0.5 となり、WBT の割合は牛よりさらに小さくなっていった。

$$ET (DBT, WBT) = 0.65DBT + 0.35WBT$$

次に、温度だけでなく湿度に対しても鋭敏に反応する呼吸数を判定指標にして、筆者らが定めた採卵鶏と羊での結果を、図 IX-3 と図 IX-4 に示した^{6, 7)}。

豚に対する温湿度の体感温度表示：

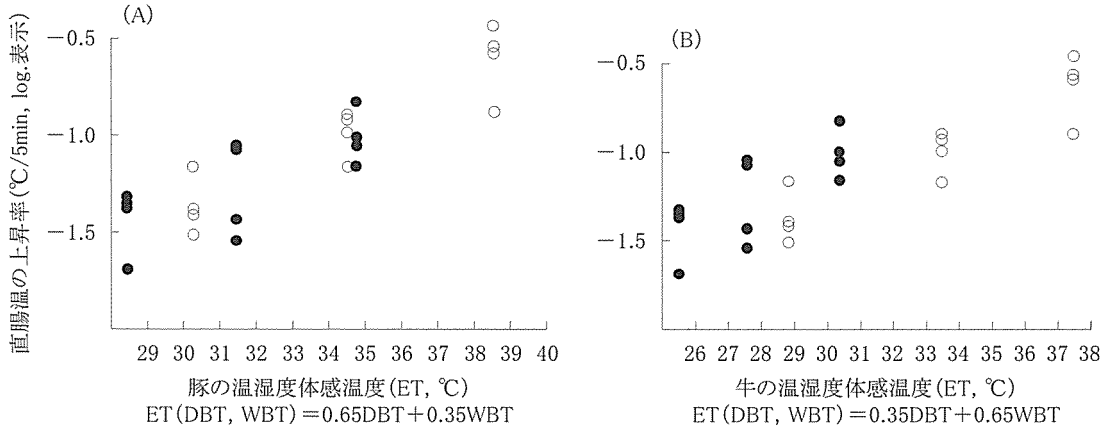


図 IX-2 (A). 育成豚の直腸温上昇率を指標にして提案された温湿度の体感温度表示 (Ingram, D. L. (1965)⁵⁾) 感作温湿度は 6 条件、DBT は 32, 36, 40°C, それぞれ低湿度 (●) での WBT は, 22, 23, 26°C, 高湿度 (○) での WBT は, 27, 32, 36°C, 直腸温が 41.5°C になるまで暴露, 5 分ごとの直腸温の上昇率は対数に変換されている。図 IX-2 (B) は, 牛の温湿度体感温度で描かれたもので, 図 (A) と比べて不具合になっている, なお, 各家畜の体感温度は図と本文に記した

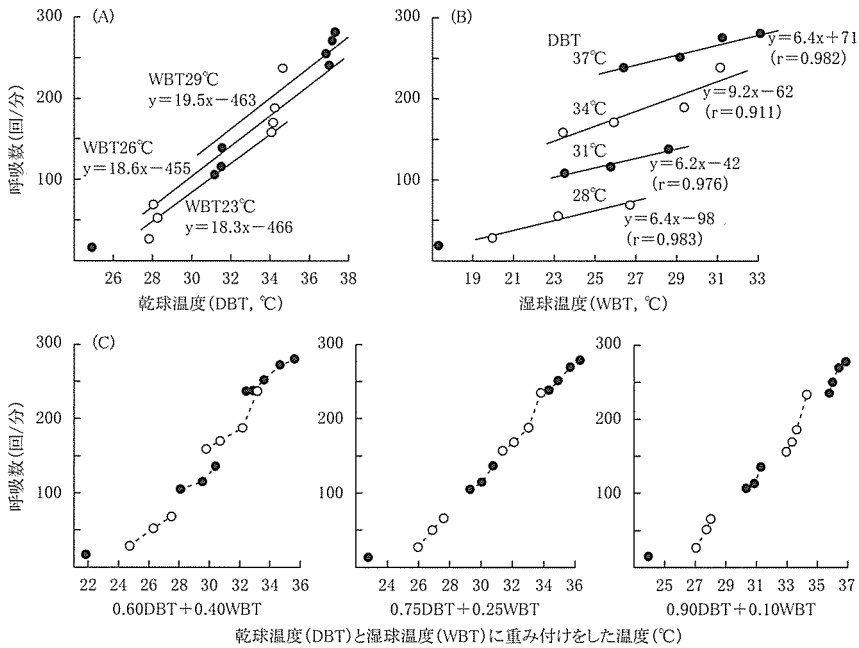


図 IX-3. 採卵鶏の呼吸数を指標にして定めた湿度の体感温度表示 (山本禎紀ら (1975)⁶⁾) 図 (A) と (B) から呼吸数の増加率 (回/°C) は, DBT で 18-19, WBT で 6-9 となり, DBT で大きいことがわかる。図 (C) には, DBT と WBT の作用割合を変えて呼吸数を描き適切な割合を定めた

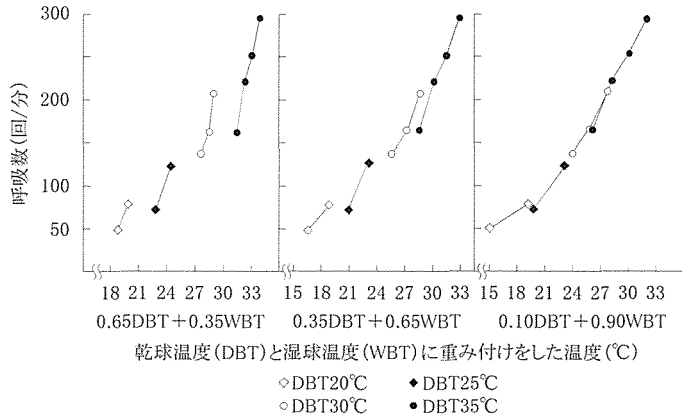


図 IX-4. 羊の呼吸数を指標にして定めた温湿度の体感温度表示 (山本禎紀ら(1967)⁷⁾
DBT と WBT の重みを変えた尺度の体感温度で呼吸数を描き、適切な作用割合を決めた

表 IX-1. 育成-肥育豚の生産と生理反応におよぼす温度と湿度の影響 (Morrison ら一部改変(1962)¹⁰⁾)

| | MGT (22.2°C) | | | MGT + 5.5°C | | | MGT + 11.1°C | | |
|--------------|--------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| 相対湿度, % | 45 | 70 | 95 | 30 | 60 | 90 | 20 | 50 | 80 |
| 湿球温度, °C | 14.9 | 18.6 | 21.8 | 16.4 | 21.8 | 26.5 | 17.9 | 24.8 | 30.2 |
| 増体量, kg/日 | 0.715 | 0.675 | 0.672 | 0.581 | 0.529 | 0.486 | 0.347 | 0.316 | 0.246 |
| 飼料摂取量, kg/日 | 2.55 | 2.45 | 2.45 | 2.03 | 1.86 | 1.79 | 1.35 | 1.27 | 1.16 |
| 飼料要求率, kg/kg | 3.57 | 3.63 | 3.64 | 3.50 | 3.52 | 3.68 | 3.89 | 4.02 | 4.72 |
| 増体減少率 | 1.000 | 0.973 | 0.939 | 0.825 | 0.754 | 0.682 | 0.556 | 0.445 | 0.336 |
| 直腸温, °C | 39.83 | 39.72 | 39.76 | 39.98 | 40.16 | 40.19 | 40.63 | 40.60 | 40.79 |
| 体表温, °C | 33.66 | 33.39 | 33.22 | 34.96 | 34.66 | 35.05 | 37.08 | 36.52 | 36.18 |

供試豚デュロック種, 合計80頭, 12-14週にわたる試験, 試験温度のMGT(maximum growth temperature)は、体重68kgで22.2°C, 増体減少率(GRF; gain reduction factor)は、相対湿度50%を基準にして推定された増体量の減少率, 図IX-5(A)参照

図 IX-3(A)には DBT に, (B)には WBT に反応した呼吸数であり, これらから両要因の作用割合の違いを推測することができる。図 IX-3(C)と図 IX-4 には, DBT と WBT への重み付けを変えた体感温度(新たな尺度)で呼吸数を描き, それぞれ適切な係数を図から選び, 確かめられることを示している。

筆者らは育成豚と乳牛についても直腸温と呼吸数を生理指標にして調べ, 乳牛では3年に及ぶ野外調査であったが, いずれでも指標には呼吸数が直腸温より優れていると判断され, また, それまでに提案されていた値に近い結果を得た^{8, 9)}。

以下に乾球温度 (DBT) と湿球温度 (WBT) との作用割合から定めた, 各家畜の温湿度の体感温度表示をまとめて示した。

各家畜の温湿度の体感温度表示:

羊⁷⁾: $ET(DBT, WBT) = 0.1DBT + 0.9WBT$

牛^{4, 9)}: $ET(DBT, WBT) = 0.35(0.4)DBT + 0.65(0.6)WBT$

豚^{5, 8)}: $ET(DBT, WBT) = 0.65(0.6)DBT + 35(0.4)WBT$

鶏⁶⁾: $ET(DBT, WBT) = 0.75(0.8)DBT + 0.25(0.2)WBT$

人⁴⁾: $ET(DBT, WBT) = 0.15DBT + 0.85WBT$

湿度の影響を受けやすいとされる羊の WBT の重み付けが最も大きく, 次いで人となり, 最も小さいのが鶏となっている。なお, これらの係数は研究報告として提案されたもので, 野外で適用できるか検証されたものではない。数値を確かなものとするには, 野外での検証を含めた検討の積み重ねが必要となる。

そこで提示した方法や表示が, はたして家畜の温熱環境管理に役立つことになるのか, 生理指標でなく増体や飼料摂取量をパラメータにして検討してみたい。

表 IX-1 は古いデータであるが、Morrison らが提示した育成-肥育期の豚に及ぼす温湿度の作用を調べた貴重な記録である¹⁰⁾。彼らの主な解析結果は、図 IX-5(A) に示したように、増体減少率 (gain reduction factor, GRF) として表されている。温度 (DBT) の影響を中心にまとめられており、まず適温 (22.2°C) より何度高いかで表示され、湿度の影響は図の横軸には含まれず、図中に線で描かれた相対湿度の位置から推測するようになっている。

これに対してここで紹介している体感温度表示法で GRF を処理して表すと、図 IX-5(B) のように、温度 (DBT) と湿度 (WBT) が一元化され、それぞれの係数は下記のようになった。なお、表にある日増体量 (daily gain, DG, kg/day)、飼料摂取量 (food intake, DFI, kg/day) についても同様の処理をして体感温度表示で示した³⁾。

豚の増体減少率 (GRF)、日増体量 (DG)、および、飼料摂取量 (DFI) を指標にした温湿度の体感温度表示：

$$\text{GRF} : \text{ET} (\text{DBT}, \text{WBT}) = 0.72\text{DBT} + 0.28\text{WBT}$$

$$\text{DG} : \text{ET} (\text{DBT}, \text{WBT}) = 0.79\text{DBT} + 0.21\text{WBT}$$

$$\text{DFI} : \text{ET} (\text{DBT}, \text{WBT}) = 0.85\text{DBT} + 0.15\text{WBT}$$

これらの体感温度表示における DBT と WBT の作用割合は、GRF で 1 : 0.39、DG で 1 : 0.27、DFI で 1 : 0.18 であり、WBT の作用割合が直腸温や呼吸数を指標にした値 (1 : 0.5-0.7) よりもさらに小さいのが特徴であった。

また、DBT と WBT の作用割合に生理反応と生産反応による違いはあるが類似した傾向にあり、この方法の有用性が感じられた。したがって信頼性を高める検証が今後の課題となる。

人で開発された温湿度指数 (temperature humidity index, THI) は、わが国では不快指数 (discomfort index, DI) といわれ、一時期利用されたこともあった¹¹⁾。また、アメリカやオーストラリアの酪農分野では、研究だけでなく生産現場でも THI がそのまま利用されている^{11, 12)}。

$$\text{THI} (\text{DI}) = 0.72(\text{DBT} + \text{WBT}) + 40.6$$

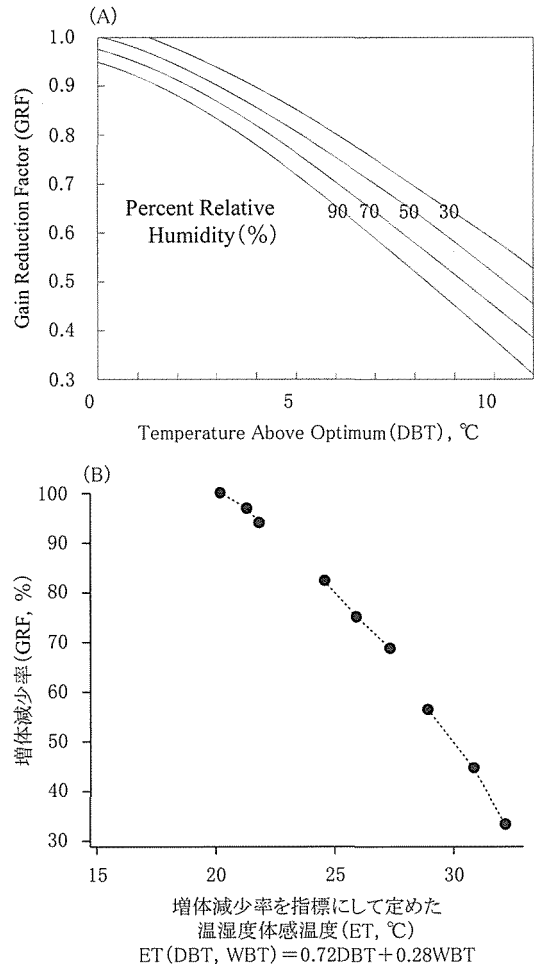


図 IX-5. 育成-肥育期の豚の増体減少率に及ぼす温度と湿度の影響 (Morrison ら (1962)¹⁰⁾)

図 (A) に原図を示した、Gain Reduction Factor (増体減少率)、Temperature Above Optimum (適温より高くなった温度 (DBT), °C)、Percent Relative Humidity (相対湿度, %), 数値は表 IX-1 参照, なお, 図 (B) に, これまでの方法で温湿度の体感温度を定め, 増体減少率を改めて描いた

ここでの DBT と WBT の作用割合は明らかに 1 : 1 であり, 先の指摘と大きく異なるだけでなく, アメリカやオーストラリアの酪農現場で利用されていることにも驚かされる。温度 (DBT) だけの表示では確かに 1 : 0 となり, これよりましだということなのだろうか。しかし, 牛に対する湿度の作用は, 人の 1 : 6 ではないにしても, 1 : 1 ではなく 1 : 2 程度の作用であるはずである。しかも, その大きさは, われわれが感じるものと比べればかなり小さいことも確かである。

さらに指摘しておきたいことは、温湿度指数 (THI) は温度表示でなく単に数字合わせをしたもので、係数の 0.72 と定数の 40.6 になんの意味もない¹⁾。人では、THI : 70-75 では不快と感ずる数が少ないなどとされているにすぎない。オーストラリアでは乳牛について、72 以下 : no stress, 72-79 : mild stress, 79-89 : stress, 89-98 : severe stress と規定している¹²⁾。これらから得られる教訓は、一度

確立された常識は、なかなか変えられないということであろう。

われわれがめざす体感温度表示が、かりに定められたとしても生産現場で利用するには、依然として課題がのこる。新たに定めた体感温度では、何度から、どのような影響が発現するのか、ということを明らかにしなければならないからであり、この作業はようやく始められようとしているにすぎない¹³⁾。