

家畜の温熱環境生理学(24)

誌名	畜産の研究 = Animal-husbandry
ISSN	00093874
著者	山本, 禎紀
巻/号	67巻4号
掲載ページ	p. 465-473
発行年月	2013年4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(24)

—その内容と家畜管理学における役割—

山本 禎 紀 *

XII. 温熱環境の管理

XII-1. はじめに

温熱環境と家畜の生理や生産との関係についての検討は、先の章までで終わった。環境作用による反応を捉えることで温熱環境管理の必要性を確認したのであるが、温熱要因の制御そのものが家畜管理学の一翼でもある。これまでの内容はこの環境管理の項で生かされるが、できれば寒冷や暑熱対策だけでなく、常温や適温とされる温域を含めた温熱管理としたい。

温熱環境管理の基本は、家畜の適応能力を十分に活かすことと、体温調節に加わる負担をできるだけ小さくすることにある。内容の一つは高い温域で生じる体温の上昇と関連する事項であり、他は適温以下の温域で生じるエネルギー消費量の増加と関連する事項である。

制御できる温熱要因はそれぞれ物理的特性を備えており、制御に要するエネルギー量も正確に把握できる。したがって温熱環境生理学を基にした環境制御効果の判断や評価も、これらに対応したものでなければならない。

なお温熱環境管理技術に関する内容の多くは、参考にした書物からの引用であることを、はじめにお断りしておきたい^{1)~5)}。

XII-2. 温熱環境の管理技術

温熱環境の制御に役立つ知識は、管理できる各温熱要因の測定、物理的性質と体感温度としての把握、改善による効果の判定や評価であり、いずれも温熱環境生理学の内容としてすでに取り上げた。

温熱要因の制御技術は、主に温度、湿度、放射熱、気流の4要因と結び付いた熱移動・交換系にあり、家畜との関係は複雑であったが、その基本は顕熱と潜熱に分けられ、前者は伝導、対流、放射、後者は

蒸発という物理法則に基づくもので、これらについても詳しく学んだ(ⅢとⅣ、畜研65(5)と(6-7)、2011)。防暑と防寒技術も家畜と環境との熱移動の促進と抑制に関係し、具体的な技術として顕熱の制御に関係するものは、畜舎の断熱、屋根や壁の色、畜舎の向き、庇、庇陰樹、夜間の屋外飼育、通風、送風、換気、防風林、凍結飼料や冷水の摂取などであり、潜熱の制御に関係する技術は、畜体への水の点滴、散水、噴霧、これらと送風との組み合わせ、気化冷却装置などである。

わが国における温熱環境管理技術を酪農場現場にみると、特に対策や工夫のない事例から、施設設備が整っているだけでなく、その運用に工夫されているものまでがある。しかし温熱環境管理技術の選択と運用に関する課題は、現場の地理的条件に左右されるだけでなく、経営や労働条件も関わり、その改善策や評価については、通常、原則ではすまない問題を含んでいる。

温熱環境管理技術は完成し定着しているわけではないが、技術に対する関心は畜産の発展と関連しており、すでに成長段階を過ぎたわが国では、生産現場から新たな開発が求められる可能性は低い。しかしながら現実には養鶏や養豚での寒冷対策や酪農場での暑熱対策が、今日でも毎年業界雑誌の特集記事として話題となるように、必ずしも技術が適切に選ばれ、正しく運用されているわけではない⁶⁾。

以下に畜舎を中心にした熱の移動と交換に関する基礎事項を、断熱、換気、気流、日射(放射熱)、水ならびに体熱産生量の制御として取り上げ、温熱環境管理技術の選択と運用の問題として考えてみたい。

XII-2-1. 断熱による制御

家畜と環境間の熱の移動・交換については、すでに示した図Ⅲ-1や図Ⅵ-1に見ることができるが、断熱は、建物や床を通して生じる熱の移動を遮断することである。

*広島大学名誉教授 (Sadaki Yamamoto)

頭熱による熱の移動は、伝導、対流、放射の3経路であるが、熱は空気と接する表面熱伝達と、物質を通過する熱貫流で捉えられる。熱の伝わり方は、前者では気流の速さにより、後者では素材の性質により大きく変わり、それぞれを表面熱伝達率と熱貫流率とで表示する。

舎内から舎外への頭熱移動(貫流)量 Q は、下記のように表すことができる。

$$Q = K_m \times A_s \times (t_i - t_o)$$

Q : 熱移動量 (kcal/m²h), K_m : 畜舎の平均熱通過率 (kcal/m²h°C), A_s : 畜舎の表面積 (m²), t_i : 舎内温 (°C), t_o : 舎外温 (°C)

ここでの熱通過(貫流)率 K_m には、壁や屋根材などの熱伝導率と畜舎外壁と内壁の熱伝達率が含まれている。熱通過率 K_m は、次のように算定(推定)される。

$$K_m = 1 / (1/\alpha_o + \Sigma 1/\lambda + 1/c + 1/\alpha_i)$$

K_m : 壁の熱通過率, α_o と α_i : 畜舎外壁と内壁の熱伝達率 (kcal/m²h°C), $1/\alpha_o$ と $1/\alpha_i$: 外壁と内壁の熱伝達抵抗 (m²h°C/kcal), $1/\lambda$: 壁体の熱伝導抵抗 (m²h°C/kcal), $\Sigma 1/\lambda$: 素材ごとの集計熱伝導抵抗 (m²h°C/kcal), c : 空気層の熱伝導率 (kcal/m²h°C)

畜舎内壁と外壁の熱伝達率 α_o と α_i は、それぞれ 7-10 と 20-30 (kcal/m²h°C)、この逆数である熱伝達抵抗は、それぞれ 0.14-0.10 と 0.050-0.033 (m²h°C/kcal) 程度とされている。また、建築素材の熱伝導率 λ (kcal/mh°C) の値は、鉄板 38, コンクリート 1.3-2.0, 軽量コンクリート 0.4-0.6, 土 0.54, スギ板 0.11, 合板 0.11-0.13, グラスウール 0.036 などとなっており、数値は素材により著しく異なる。なお壁や屋根の内側に空気の層を加えると、上記の式に c として含まれているように、断熱性を大きく高められる¹⁾。

舎内では、家畜により温められた空気が上昇し循環するので、熱交換量は通気や換気だけでなく、屋根や天井の断熱性が関与する。特に天井の有無は舎内温だけでなく、換気と放射熱環境にも関係し、家畜の生活に影響する。

畜舎の断熱は、舎内温熱環境管理の基本となるが、

ここでは寒冷期に問題となる結露との関係を取り上げる。

結露とは、水蒸気が露点温度以下の物体にふれ凝結し水滴となる現象で、換気不足による舎内の高湿度と、壁、床、天井などの各部位表面温度の低下で生じる。露点温度は乾・湿球温度の測定値、あるいは乾球温度と相対湿度を用い、湿り空気線図(図III-3-2)から読み取れる。次の項で取り上げる図XII-1には、乾球温度 15°C、相対湿度 80%の位置が点 b で示されており、その露点温度(DPT)は 11.6°Cである。

結露による局所の湿りはカビの発生を助長し、建物を腐食させ耐用年数を短縮させるとともに、家畜や作業者の健康を脅かす。また厳寒期には床などに落ちた水滴が凍結し、滑る危険性も加わる。

舎内で温められた空気は、家畜、排泄物、飼料などからの水蒸気を多量に含み、結露しやすくなっている。これを防ぐには、①断熱に工夫し舎内の表面温度が下がらないようにする、②換気により過剰になりがちな水蒸気を適切に排除する、③暖房装置を導入し舎内温を上げるなどの方法となる。

舎内の暖かく湿った空気が、冷えた屋根裏や倉庫などに流入しない工夫も、畜舎の大切な管理項目となる。

XII-2-2. 換気による制御

換気方式は畜舎の型、すなわち側壁を持たない全開放、窓のある半開放、完全閉鎖の無窓などで大きく異なる。しかし換気そのものは舎内外の気圧や温度差で生じるもので、自然の力にまかせる自然換気と、換気扇や送風機で気流を作り出す機械換気に分けられる。また換気には熱と水蒸気(水)の移動が常に伴い、換気の制御は温熱環境管理の柱の一つとなっている。

XII-2-2-1. 自然換気

自然換気には風力換気と温度差(重力)換気があり、前者は、当然、無風時には生じない。この方式を利用するには、他の建物、樹木、置物との位置関係、棟の向き、壁や窓の大きさなどが関係するので配慮しなければならない。逆に、畜舎に当たる季節風などを弱めには、防風林や防風柵を設け、舎内に入り込む風を防ぐには、隙間などの開口部を小さくすることになる。

舎内外に生じる温度差による換気は、次のように推計される。

$$Q = 3600A_0\phi\sqrt{2gh \cdot \Delta t/T_0}$$

Q：換気量 (m³/時)，3600 (秒から時間に換算する係数)，A₀：排気口面積 (m²) φ：畜舎の形状などで決まる固有の係数，g：重力の加速度 (9.8m/s²，s：秒)，h：給排気口間の垂直距離 (m)，Δt：給排気気温差 (°C)，T₀：舎外気温 (絶対温度，°C)

畜舎の給(入)気部位は、開口した窓、扉、隙間となる。換気量を大きくするには、上記の A₀ と h を大きくすること、h に関しては給気部位を低くし、排気的位置を高くすることになる。また側壁を高くし屋根の勾配を大きくする、軒下開口部を広げることや、棟開口部や換気筒を設けることになる。また Δt (舎内外の温度差) を大きくする条件としては、建物の断熱性を高める、家畜の飼育密度を高める、給温し舎内温を高めるなどとなる。いずれも寒冷地域の冬期の換気に伴う問題と課題である²⁾。

XII-2-2-2. 機械換気

機械換気には、給気扇と排気扇を組み合わせた第1種機械換気、給気扇により陽圧換気とする第2種機械換気、排気扇による陰圧換気第3種機械換気がある。通常畜舎では第2ないし第3の方式が使用され、第2種機械換気が一般的であり、大型の閉鎖型畜舎では第3種のトンネル換気が普及してきている。

換気の役割は、舎内の汚れた空気を排出し、新鮮な外気を取り入れることにある。その内容は多様で、熱、水分、CO₂、臭気、病原微生物を含めた空気中浮遊物質、塵埃などの排除となるが、熱と水分以外の要因で必要となる換気量を決めることは難しい。

例えば指標に CO₂ や臭気を用いると、測定方法とともに根拠に基づく達成目標値を定めなければならないからである。

舎内換気を計画的に実施するには、換気量とともに給排気口の位置と面積、理想とする換気輪道、気密性などが求められ、換気効率を高めるにはトンネル換気や無窓畜舎に行き着くことになる。

ここで換気に伴う畜舎からの熱と水の排出量の推計例を取り上げる。計算には舎内外の温湿度 (DBT/WBT, °C) と換気量で足り、熱の移動量はエンタルピー (i, kcal/kg, DA (乾燥空気))、水の移動量は絶対湿度

(kg/kg, DA) の変化量から求める。エンタルピーは、湿り空気線図から読み取れるが、次のように計算することもできる^{3~5)}。

$$i = 0.24 \times \text{DBT} + W \times (597.3 + 0.441 \times \text{DBT})$$

i：エンタルピー (kcal/kg, DA)，0.24：乾き空気 (DA) の定圧比熱 (kcal/kg°C)，DBT：乾球温度 (°C)，W：絶対湿度 (kg/kg, DA，ここでは空気線図から読み取る)，597.3：蒸発の潜熱 (kcal/kg)，0.441：水蒸気の比熱 (kcal/kg°C)

図 XII-1 に示した例では、点 a の給気温湿度は、乾球温度 (DBT) / 相対湿度 (RH) で 2°C/90%，点 b の排気温湿度は、15°C/80%，排気量は、15,000m³/時とした。給気 i と W は、それぞれ 2.87 と 0.004、排気では、それぞれ 8.73 と 0.0085 となる。排気量 15,000 m³/時は、比容積が 0.8275m³/kg であることから、18,127kg/時と補正される。これらから排気による熱排出量は (8.73 - 2.87) × 18,127 = 106,224 (kcal/時)、水排出量は (0.0085 - 0.004) × 18127 = 81.6 (kg/時) となる。

図 XII-1 の点 a と b から、それぞれ水平と垂直線を引き、交点 c を定めると、熱排気量 5.86 (kcal/kg, DA) は、顕熱と潜熱に分けられ、それぞれ 3.15 と 2.71 (kcal/kg DA) となる。このように温湿度と換気量の値から、換気に伴う顕熱と水 (潜熱) のおおよその放出量を知ることができる。先にふれたように必要換気量の指標に、CO₂ やアンモニアを用いることもできるが、発生量がかみにくいというえに、基準をどの程度にするかが定められないことから、実際に使用されることはないと思われる。

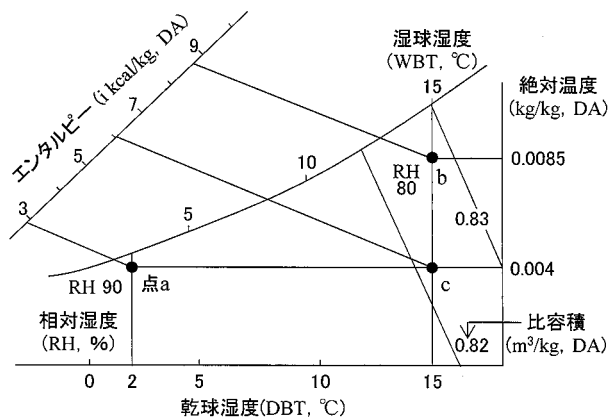


図 XII-1 湿り空気線図の見方 (本文参考図)

XII-2-3. 気流による制御

気流、すなわち風や送風による効果は、対流と蒸散による放熱の促進にあり、気流の方向や速さとともに、温度と湿度に影響される。実際には風の当たる表面温度、湿り具合、面積、構造などに左右され複雑であるが、技術的には、自然風の利用、扇風機、送風機、排気扇、圧力扇、ダクトなどによる畜体への風の誘導でなされる。

この作用と効果の特徴は、風が止まれば消滅することであり、自然換気では畜舎の向きや開口部の制御でなされ、自然まかせとなるが、機械換気や送風機の利用では、送風をいつ始めいつ止めるかという課題がつかまとう。

牛では数頭に1台の割合で大型の送風機が、豚では1豚房ごとに扇風機が設置されている例が少なくない。しかも送風機はほぼ同じような角度で舎内の高い位置に取り付けられており、送風なのか攪拌なのか、無駄に回転しているように見える例もあった。その理由をただすと、必要性から導入したのではなく、補助金を得て設置したので規格化されていることがわかった。送風機の役割は風を作り出し、家畜に効果的に当てることである。効率を上げるには、圧力扇と誘導ダクトの組み合わせがよく、効果を確かめながら設置している例では、必ずダクトが家畜に近づけられていて、業者まかせとの違いは明らかであった。

送風には貴重な電気エネルギーを使用するので、効果的な送風時間帯を設定することも大切である。この内容の検討は別に取り上げるが、送風の停止は時間や環境条件とするだけでなく、家畜の行動をよく観察して決めることが基本となる。なお風的作用については、気流を m/秒で表示し、家畜ごとに定められた風の体感温度表示が役立つはずである(IX-4)。

厳寒期には畜舎からの放熱を緩和するために、主に地域固有の季節風対策として防風林などが用いられる。畜舎自体の対策としては、断熱の強化と隙間風対策となる。

XII-2-4. 日射の制御

日射の制御は暑熱期における適切な排除と、寒冷期の有効な利用となり、いずれも畜舎を建てる前に定めることであるが、その効果は、畜舎の方位、窓の高さや大きさ、庇の長さ、周囲の建物や庇陰樹などと関係している^{2, 3)}。

畜舎の方位の原則は、東西棟、これを南東—北西方向にふると夏の北西方向からの西日の侵入を少なくできる。庇と窓の位置は、暖地と寒冷地で異なり、暖地では窓を低く、庇を長くするが、寒冷地では逆の設定がよいことになる。

庇陰樹や寒冷紗は日射を適度に和らげるが、屋根や壁に当たる日射の作用を減ずるには、反射して熱として吸収しないことである。物体の日射吸収率(As)は表面の色で大きく異なり、黒 0.85-0.98、コンクリート0.65-0.8、白色—クリーム色0.3-0.5、アルミ、トタン0.40-0.65などとなっている。

日射の当たる屋根などの表面温度は、通常気温より20-30℃ほど高くなり、この温度を相当外気温といい、舎内への熱移動量と関係し、次のように推定される。

$$t_c = t_o + AsJ/\alpha_o$$

t_c : 相当外気温(℃), t_o : 外気温(℃), As : 表面の日射吸収率, J : 表面に入射する日射量(kcal/m²h), α_o : 表面の熱伝達率(kcal/m²h℃)

日射の熱量は、図III-6(A)に見るように800-1400W/m²で、仮に1000W/m²とすると、日射量は1.43cal/cm²min, 858kcal/m²hとなり、外気温30℃、塗装色を白と黒の屋根にすると、相当外気温は白で約40℃、黒で60℃となる。このように屋根や壁の色を白くすることが極めて効果的であることがわかる。

日射からの受熱は、体に日光が当たっているか、屋根裏や天井の表面温度が体表温より高ければ生じる。後者の受熱を防ぐには、屋根裏面に断熱材を入れ内壁の表面温度を下げる、あるいは先にふれた屋根を白く塗装することが効果的である。また屋根に間欠的に散水し屋根の温度を下げることも行われている。いずれにせよこれらの効果は、舎内温を黒球温度計で測定し、気温と比べ確かめることである(III-3-4)。

日射が家畜に当たると大きな熱負荷となる。特に西日は舎内の家畜にも当たりやすく、気温と体温がともに高くなっている場合極めて危険となる。西日は庇では防ぎ難いので、庇陰樹、袖壁、よしず、寒冷紗などで工夫する。

XII-2-5. 水の利用による制御

水を用いた環境対策の多くは防暑技術であり、いずれも水の大きな比熱と気化熱を利用している。家畜を直接ぬらして冷やす方法には、噴霧と散水、つなぎ牛などには点滴もあり、電磁弁の利用による自動化、連動スタンションを用いた効率的利用方法も普及している。その他、牛に冷たい水を飲ませて体熱を効果的に奪い取る方法があり、冷水の確保には、井戸水、廃棄されたバルククーラや深夜電力の利用例もある。

防寒との関係では、給水システムの凍結防止、温めた水の給与などである。

XII-2-5-1. 散水などの効果の検討

水の気化熱は約 0.6kcal/g と大きく、この特性による家畜の機能は、汗と呼吸に伴う蒸散で、鶏と豚に発汗はなく、乳牛の発汗は体表をぬらすことはない。したがって噴霧、散水、点滴などで体表部をぬらせば、放熱量を増加させられる。ここでは水の節約と床をぬらさないことが求められ、フリーストール飼育では1日に何回か連動スタンションに牛を繋ぎ、体をぬらしてその場で乾かし、上昇した体温を降下させている。

舎内に水を細霧すると舎内温 (DBT) を下げられるが、適切に換気し舎内に気流を生じさせることが必要である。水の負荷は、舎内の顕熱を潜熱に置き換えることであり、湿度 (絶対湿度) の上昇を伴うからである。期待される効果を知るには、先にふれた、温湿度を DBT と WBT で測定し、空気線図上で確認することと、湿度の作用は畜種で異なるので、家畜ごとに定められた体感温度で捉えることである (IX-3)。なおこの効果の期待できる時間帯は、晴れて気温が高くなる湿度の低い日中となる。

XII-2-5-2. 冷水の飲水効果の検討

冷飲水の作用は、飲んだ水が体温にまで温められる熱の移動過程にあり、体熱の移動量は飲水温度とその量で決まるが、暑熱期に冷水を飲ませるには経費がかかるので、効果的に飲水させる工夫も必要となる。

暑熱下で育成牛に冷水を飲ませると、図 XII-2 に示したように、高くなっていた体温は降下し、増加していた呼吸数は減少する (図VIII

-8 参照)。これらは一時的に放熱反応が低下している状態を表している。気温が同じように高ければ、体温は徐々に回復し、呼吸数も同様に元のレベルに向けて増加する⁷⁾。なぜならば熱産生は持続しており、体熱を放散するには、いずれも必要不可欠な反応だからである。このように暑熱時の冷水給与は、牛を一休みさせることになるが、暑熱対策としてはたして有効なのか、簡単に判断することはできない。

冷飲水による体から水への熱の移動量は、飲水温度と飲水量で算出できる ($Q_w = (T_b - T_w) \times W$, Q_w : 飲んだ水で奪える熱量 (kcal), T_b : 体温 (°C), T_w : 水温 (°C), W : 飲水量 (kg))。また体温を 1°C 下げのために必要な熱量 (Q_t , kcal) は、体重 (BW, kg) と体比熱 (0.83kcal/kg) の積となる ($Q_t = 0.83 \times BW$)。したがって飲んだ水で降下する体温 (°C) は、 Q_w/Q_t である。ここで体重 600kg、体温 40°C の乳牛が、15°C の水 20 リットルを飲むと、計算では $(40 - 15) \times 20 / (0.83 \times 600) = 1.004$ となり、体温が約 1°C 降下することになる。実際には、時間をかけて熱交換が行われることと、第 1 胃内温は直腸温よりやや高いので、測定値は飲水後 15-30 分の値で、0.8°C 程度の降下となるだろう。

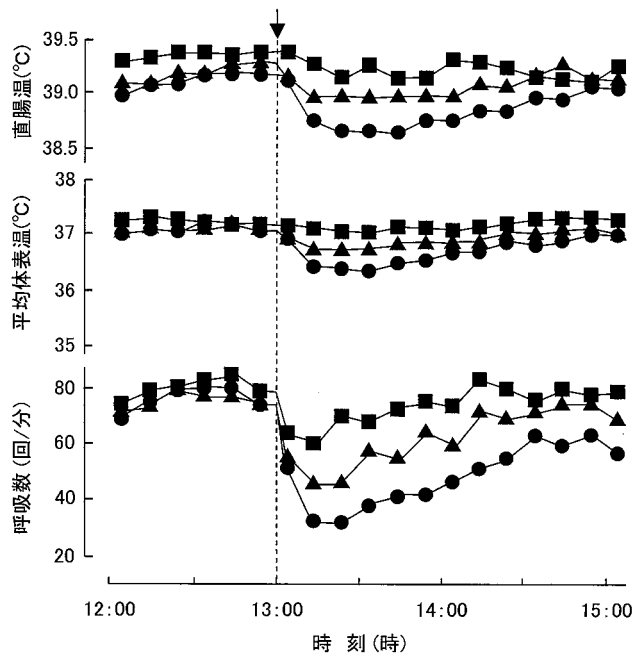


図 XII-2 高温下での育成牛の飲水前・後の生理反応 (Purwanto, B. P. ら (1996)⁷⁾ 改変)

供試牛は、ホルスタイン種 4 頭、平均体重 167kg、各飲水量 8kg、飲水温度 10 (●), 20 (▲), 30 (■, °C), 飲水時刻 13 時、実験環境温度 34°C

いずれにせよ乳牛の飲水量は、産乳量や採食量によって変わるが、仮に1日に100リットル飲むとすれば、水温が15℃と20℃では、それぞれ2,500と2,000kcalの放熱量となる。この熱量は、搾乳牛の総産熱量の10%以上に達する。またこの熱を汗や呼吸で蒸散するには、3.3-4.2リットルの水量となる。このように冷飲水の効果は大きく、放熱に要する労力を相当量軽減できることになる。

家畜の飲水量は水温にも影響されるが、基本的には乾物摂取量と関係している。飲水回数は反芻家畜の場合1日1回でも耐えられるとされているが、飲水回数と1回の飲水量を適切にコントロールすることが管理技術でもある。搾乳牛で飲水により体温を1℃程度下げたい場合、15℃程度の水温であれば20リットルであり、1日5回程度まで可能となる。1日2回の制限給水とする場合、1回40~50リットルの飲水となり、水温を20℃程度にしなければ飲めないだろう。飲水させたい時間が決められれば、その前に数時間断水すれば効果的に飲水行動を誘導できる。後で検討する暑熱対策としての効果的な冷水給与時間は、気温の下がった夜間とするが、これは高い体温が持続している個体の体温を一気に正常に戻せることと、一端下がった体温が再び上昇しないからである。

XII-2-6. 体熱産生量の制御

家畜は大量の飼料を摂取し、生産をするとともに相当量の体熱を産生する。体熱は基礎代謝の全量の他に、飼料の摂取と咀嚼、発酵、栄養素の消化、吸収、代謝過程などで産生される(IV)。総熱発生量は摂取したエネルギーから、生産、蓄積、排泄されたエネルギーを除いた全てとなるが(図IV-1とIV-2)、体内で発生する熱量と発生速度は、摂取量だけでなく、飼料の種類や性質と関係するとされている。また暑熱下で上昇した体温そのものが、代謝を亢進させ、体熱を余分に産生させることになり、この現象は生産効率を低下させるだけでなく、いわゆる悪循環をまねくとされている(IV-2, VII-4など)。

このようなことから、飼料の給与量や質だけでなく、給与する時間や給与回数の制御が防暑効果や寒冷対策と関係し、役立てられると信じられている。例えば、暑い季節には粗繊維含量の低い濃厚飼料とともに良質の粗飼料が推奨される、給餌は一度に多量に与えず分割する多回給餌がよいとされる、ある

いは暑熱期の給餌は、外気温の下がる夜間や気温の低い早朝がよいとされる、などである。しかしこれらの提案には残念ながら確証がなされていないだけでなく、根拠や説明にも納得できない問題を含んでいる。ここでは主に乳牛に限られるが、これらの問題を取り上げ検討したい。

XII-2-6-1. 暑熱対策としての夜間給餌は有効か

乳牛は産乳のために維持量の3-4倍のエネルギーを摂取し、維持量の2倍以上の体熱を産生する。これは生産のために摂取した代謝エネルギー量の約1/3が代謝過程で熱として消費され、その量は生産量に応じて増加することを意味している。

産熱量は飼料の種類と質により違いがあると予測されているが、それがどのぐらいの量で、どのような経過で生ずるのかなど、環境管理上知りたい情報はいまだに実測されていない。この状況下で夜間給餌が奨められているのであり、すでに検討したように(VII-4-3) & 4)、家畜には体温調節特性があり、単純でないことを改めて指摘しておきたい。牛の体温調節の特性は、朝から昼にかけて温度変化に対する感受性が高く、体温の大きな上昇を伴わずに体熱放散(体温調節)ができ、夕方から夜半にかけては、体温が高めに推移することからわかるように、感受性は逆に低下し、放熱機能を高めるにはより高い体温を必要とする。この体温調節特性の説明を受け入れるならば、暑熱期における夕方から夜間にかけての飼料給与は、むしろ抑制することになるだろう。高体温には様々な生理的障害が伴うからである。

日常的に気付くことであるが、牛は高い体温が持続する夜間には立ち続け、横臥し休息することは少ない。昼食べなかった飼料を夜与えれば摂取するが、発生する体熱は体温をより高くし休息の妨げとなる。夜間の休息が大切だと考えるならば、夕刻から夜半に上昇する体温をできるだけ早く下げ、横臥休息に入れるように管理するはずであり、ここでも暑熱期の夜間給餌はむしろ避けることになる。

XII-2-6-2. 暑熱対策としての分割給餌は有効か

次に暑熱対策としてしばしば奨められる多回分割給餌について検討する。この内容は、大量の飼料を摂取しなければならない乳牛に対し、1日2回ではなく多回に分割して給餌することで、摂取量を増加させられるだけでなく、体熱産生の平準化になり、

暑熱対策として有効と考え奨められている。反芻動物の栄養生理学では、第1胃内の安定(恒常性)を重視し、1日数回の給餌よりも多回給餌がすぐれているとみなされているからである。しかし体温や活動と休息には固有のリズムがあり、これらも生理的健全性を表す重要な指標で、平準化がよりよいとする考えに必ずしも加担できない。特に分割給餌では夜間の採食が入ることになり、先の体温調節特性からも合意できない。また別の理由をあげると、よく知られた牛の分娩時刻を昼間に誘導する方法に、分娩前の飼料摂取を夜間に集中させることで達成する技術があり、給餌そのものが牛固有のリズムに強く影響するからである。

XII-3. 寒冷対策と暑熱対策

— 環境制御技術とその運用 —

寒冷や暑熱の影響を受ける家畜に、何が起きているかについては、すでにふれた。家畜生産には防寒と防暑対策が必要になるが、両者はいずれも温熱環境管理の中心技術となる。技術を活用するには、経験や知識が役立ち必要であるが、効果は成果と効率で確認しなければならない。

温熱環境管理には、これまでに検討した体温調節、温熱環境要因、個々の要因の制御技術に関する確かな知識と応用する力が求められ、ここでは防寒と防暑技術について、その内容、運用、効果について検討する。

XII-3-1. 寒冷対策

家畜を野外で飼育する場合、寒冷に対する家畜の適応能力を期待するが、舎内に収容する場合でも寒さの厳しい時間帯をもつわが国では、この環境適応能力を十分に利用したい。環境適応は行動と形態に表れるが、栄養摂取水準を増大することで、寒冷に対する抵抗性を著しく強化できることも知られている。寒冷対策は、寒冷下で死の転機をとりやすい雛や子豚、あるいは寒冷の影響を受けやすいとされる子牛で注目されているが、他の多くの家畜は寒さに強く、影響はごく小さいものと思込まれており、関心がうすいことも確かである。飼育規模が小さな段階においては、餌の損失や増給の問題は見過ごされがちであったが、成果と効率が厳しく求められる段階では、これらこそが問われている主題だと気付かされている。

家畜に対する温熱環境管理技術の一つは、増給をなくしたり、増給量を減らすことにある。環境改善技術の導入の判断は、効果や効率との関係で決まるからである。技術は常に進歩し変動するので、環境改善による効果の判断と評価が、それらに的確に応えられる内容でなくてはならないことになる。

これまで温熱環境の判定指標として飼料摂取量が最も信頼できるとし、同時に生産量が計測できれば飼料要求率として効率を、さらに環境要因との関係を変化率で求めることにもふれた(XI-2-3-1)。また臨界温度については、体温調節やエネルギー代謝との関係で注目されているが、いくつかの問題を抱えており(IV-5-1-3)、温熱環境作用の理解や説明に役立つとしても、実用には耐えられないように思えた。

寒冷期に舎内を温めるには、家畜が産出する顕熱を利用するか、あるいはボイラー、ガスの燃焼、電気ヒータなどの暖房器機を用いる。大規模経営では様々な事例があるが、小規模経営での技術は局所的な対応に留まっている。器機を導入し給気温を高めることは、同時に湿度を下げることになり、床の乾燥を促し、換気量を増やせるなどの効果を発揮する。ボイラーには重油だけでなく乾燥糞や敷料などの廃棄物を利用できるものもあり、導入を検討する価値があると指摘されている。

寒冷期の野外飼育では、避難舎、防風林、越冬飼料の確保などを必要とする。畜舎の冷却を防ぐ防風林などについては先にふれたが、水は凍結するので、凍結防止策を講じた保温給水槽などが必要になる。凍結は飲水を不能にするだけでなく、機械器具を不具合にし、排泄物の処理を難しくするなど、作業や牛の歩行までを阻害し危険にする。

XII-3-2. 暑熱対策—防暑技術の選択と運用

防暑技術は防寒技術と異なり、様々な方法がくり返し検討されてきており、依然として課題があるとすれば、個々の技術が経営に適しているか、あるいは適切に使用されているかにあり、問題は技術の選択や組み合わせ、あるいは運用上にあると思われる。

防暑技術の選択と運用、および成果の判断と評価には、暑熱対策についての明瞭な目的と目標が必要になる。例えば、飼料摂取量や生産量の維持なのか、さらなる向上を求めるのか、繁殖障害の克服や受胎率の改善なのか、あるいは体温上昇の抑制、高体温

の持続時間の短縮, 明瞭な体温リズムの形成などのいずれなのか, などである。実際にはこのような項目から, いくつかを目標に定め, 対策を実施し, 達成度を判断し評価することになる。

体温上昇の抑制を目指す場合, しばしばふれた牛の体温調節特性からすると, 暑熱対策の中心となる時間帯は, 夕方から夜半にかけてとなる。節電のため送風時間を短縮するには, 夜間送風の打ち切りがなされがちであるが, そうではなく, 日中に止めてでも夕から夜半に送風する, となる。

同様に冷水給与を効果的に行なう期間と時間帯は, すでに記したように, 高い体温が持続している夜間となる。高い体温をできるだけ早く下げたい時間帯であり, 下がった体温がもとにもどる心配も少ないからである。また冷水を短時間に効率よく飲ませるには, 給水前に何時間か断水とすることと, 給水時間を定め学習させることになる。

暑くなることで有名な熊本で, 暑さの影響が全くと豪語する酪農家の防暑技術は, 繋ぎ飼い方式では, 冷たい井戸水の不断給与, 舎内への間歇的水の噴霧と送風の組み合わせ, 庇陰樹による畜舎の日射からの防護, 屋根への散水であり, フリーストール方式では, 廃棄パルククーラを利用した冷水の不断給与, 連動スタンションでの牛体への散水と送風, この運用は朝と夕の飼料摂取後になされ, 体が乾いた時点で牛を開放するであった。

XII-4. 温熱環境対策の評価

生産現場での防暑技術に対する効果の判断や評価は, 乳量, 乳質, 繁殖成績, 乳房炎発症率などになされ, いずれも確かな基準となる。試験研究ではしばしばこれらの反応を抜きにして, 家畜の行動や生理反応の中から指標を選ぶことがあり, これらによる成果が納得できる情報となっているかが, 問われ続けている。研究や技術の開発では実質的な成果をあげるだけでなく, 達成過程の解析と考察が求められ, 重視されているからである。

温熱環境の作用については, 環境側と生体側の捉え方から取り上げ, エネルギーや熱の収支を解析の基盤にすることが畜産にふさわしいという立場で説明した。全温域にかかわる指標として, 飼料摂取量と平均体温に期待し, 特に低温域では前者は定量的な反応となり, 乳牛などでは難しい要求となるが, 鶏で

はME表示がより望ましいこともみた(図XI-2-6)。生産物情報も乳や卵のように毎日確実に得られるものもあるが, 成長や肥育では同じように得ることは難しく, 効率に至る解析の難しさにもふれた。

体温, 心拍数, 呼吸数, 血液諸成分などの生理反応は比較的簡単に測定できるが, 瞬時に得られる値を集め, どのように読み解き有用な指標とするのか, しばしば知識や経験だけでは解消できない難問となっている。採食, 飲水, 休息(横臥, 起立), 反芻などの行動は, 説明や参考資料として役立つが, 観察と整理に手間取ることも覚悟しなければならない。

環境対策の効果を判断し評価するには, いずれにしても明確な目的や目標を必要とする。冷水給与を例に検討すると, 冷飲水の効果は, 先にふれたように牛の放熱反応を一時的に抑制し, 一休みさせることであった。酪農家の目的が牛に休息を与えるためであればそれですむが, 生産の向上を期待するのであれば, 体温の降下や呼吸数の減少でなく, 産乳量の増加や減少の回復, あるいは少なくとも飼料摂取量の回復や増加でなければならないからである。

送風は放熱を促進し, 散水や噴霧との組み合わせで効果は増大する。冷水給与は飲水量の多い乳牛に著しい効果をもたらしていた。さらに効果や効率を求めるとすれば, 適切な技術の組み合わせを試み, 運用時間帯の検討, 運転時間の短縮などを求めることになり, その根拠も説明しなければならない。ここでは体温上昇の抑制にこだわることなく, 体温のリズムを活かした試みも必要になるだろう。

反芻家畜の生理学や栄養学を基にした体温の上昇を抑える給餌法は, 先にふれたように, 夜間を含めた多回給餌を奨めることになる。しかし夜間, 牛が立ち続けていれば明らかに暑いからであり, 夜間給餌はできなくなるはずであり, 早朝給餌を選ぶことになる。高い体温をできるだけ早く正常に戻すことや, 高い体温を翌朝まで持ち越さないことが, 大切な管理技術だと確認されれば, 暑熱期の夜間給餌は奨められず, 防暑技術の主な運用時間帯は夕刻から夜半となるだろう。防暑技術を選択し運用する知識は, 牛の健全性の理解と把握に結びついている。これらには今後アニマルウェルフェアの視点からの判断と評価が加えられることになるだろう。

防暑技術に関する様々な提案には, それぞれ根拠と期待が込められている。その効果が実証され他の

技術と比較検討されなければ、酪農家に受け入れられる情報にはならないだろう。わが国ではこの検証する努力がなされていない。試験研究機関や関連学会には、単に決着をつけるということではなく、畜産に対する責任をはたすとする姿勢での役割と活動を期待したい。

XII-5. おわりに

改良された家畜の生産性は高く、各種の環境要因の影響も受けやすく気付かれやすい。しかしながらブロイラーや肥育豚のように温熱環境の影響を、飼料摂取量や日増体量として捉えやすいものから、泌乳牛のように乳量は確実に入手できても、生産期間が長い上に給与する飼料の種類と量が多く、同じように把握し難いものもある。

また暑熱期に認められる飼料摂取量、産乳量、繁殖障害などの発現には、それぞれ固有のメカニズムがあるが、いずれも共通して体温の上昇と関係していると捉えられている。このことからわが国では伝統的に「防暑の基本は体温の上昇を抑える」ことにおかれ、体温の上昇を防ぐことが防暑技術の要とされてきた。この説明や考え方を否定することはできないが、これに縛られていては新しい温熱環境管理技術を創造することは難しい。なぜならば牛は体温を周囲と体内の温熱環境に応じて、固有のリズムで変化させながら調節し、体熱平衡を維持しているからである。

温熱環境管理の必要性を喚起するには、それなりの調査と解析による情報の整備が必要であり、これらの成果が幅広く認識・共有されなければならない。知識や考え方を正しいと思いつくと、自由な考えができなくなるだけでなく、他者の意見、新しい知識や技術の受け入れを拒むようになる。この束縛から解放されるには、くり返し得られる成果と素直に向き合い、期待する予測や目的と目標を開示しながら取り組むことである。

核心や本質をつかむとは、現象にはじまり、実体をつかみ、本質を認識し直し確信することであるが、この過程での到達が、再び現象に直面したことに気付くはずである。なぜならば、認識する主体の知識、観察・洞察力が進歩するからであり、この過程は

くり返ししながら上昇する運動となる。畜産家と畜産を指導する者の喜びや楽しみは、考えること、同じ話題で話しあえる仲間を得ることであり、これらによって満たされるはずである。

謝辞：家畜の温熱環境生理学の主要な内容と付帯事項を、家畜管理学との関係でまとめることができました。このきっかけは、はじめに記したように長野實先生からの誘いに応じたことにあり、改めて深く感謝いたします。

内容については、わかりやすくすることと、読者にも参加してもらいたいと思い、できるだけ沢山の図表を引用する道を選びました。そのため編集と印刷を担った養賢堂に多大のご迷惑をおかけしました。出版社と読者の皆様のご協力に、心からお礼を申し上げます。

完成できたのは、すでに退職時に学部紀要に記したように⁸⁾、教育を受け、また職場であった大学での先生、先輩、同僚、学生、そして日本畜産学会、同関西支部会、日本家畜管理学会の皆様との深い交流と討論、留学先だった Hannah 研究所、WCAP、AAAP などでの国際交流で育まれた成果によるものでした。失礼にあたる内容も多々あったと思われませんが、曲がりなりにも完成できたことをご報告し、心からの謝辞といたします、ありがとうございます。

参考文献

- 1) 三村 耕・森田琢磨, 家畜管理学. 第 5 節環境制御の意義. pp. 103-140. 東京, 養賢堂, 1980.
- 2) 野附 巖・山本禎紀編, 家畜の管理. 2. 飼育環境の制御. pp. 49-67. 東京, 文永堂出版, 1998.
- 3) 立花一雄訳, MWPS-1, 畜産施設ハンドブック. 計画・環境篇 (第 1 分冊). 600 環境の基礎, 601 熱伝達論, 602 湿り空気. pp. 222-261. つくば市, 農業施設学会, 1988.
- 4) Esmay, M. L., Principle of animal environment. Chapter 4 Psychrometrics. pp. 53-64. Westport, The AVI Publishing Company Inc., 1978.
- 5) 文部省, 高等学校用 空気調和設備. 第 1 章 第 2 節 湿り空気と空気線図. pp. 6-30. 東京, 実教出版, 1979
- 6) 山本禎紀, わが国における乳牛の暑熱対策研究を振り返って. 酪農乳業史研究 2: 33-42. 2009.
- 7) Purwanto, B. P., M. Harada and S. Yamamoto, Effect of drinking-water temperature on heat balance and thermoregulatory responses in dairy heifers. Aust. J. Agric. Res., 47: 505-512. 1996.
- 8) 山本禎紀, 教育と研究に明け暮れた生活を振り返って. 生物生産学研究 (広島大学生物生産学部紀要) 38: 173-187. 2000.