

赤外線サーモグラフィを用いた健康牛における体表各部の 表面温度解析及び左右差の検討

福井陽士¹⁾ 新井鐘蔵^{2)†} 榊原伸一³⁾ 澤田 浩²⁾

- 1) 千葉県中央家畜保健衛生所 (〒285-0072 佐倉市岩富町497)
 2) 独農業・食品産業技術総合研究機構動物衛生研究所 (〒305-0856 つくば市観音台3-1-5)
 3) 北海道十勝家畜保健衛生所 (〒089-1182 帯広市川西町基線59-6)

(2013年3月27日受付・2013年11月11日受理)

要 約

室温と湿度が一定の条件下で、赤外線サーモグラフィ (IRT) を用いて牛の体表各部の表面温度測定・解析手技を検討するとともに、平均体表温度の左右差の比較を行った。眼縁部の最高温度と臀部の平均温度の変動係数はおのおの0.7%及び0.5%で良好な再現性を示した。牛の眼縁部の最高温度は距離依存的に測定値の有意な低下が認められたが、臀部の平均温度は距離を変えてもおおむね同じ測定値を示した。牛の体表各部の表面温度に有意な左右差は認められなかった。眼縁部等の皮膚が露出した部位では、撮影ごとに常に同じ位置で最高温度が自動検出された。一方、臀部等の体毛が豊富な部位では、撮影ごとに最高温度や最低温度の位置がばらつきを示すため、一定面積の平均温度を算出することが体表温度の解析上妥当であると考えられた。

——キーワード：体表温度，牛，赤外線サーモグラフィ，左右差，測定距離。

----- 日獣会誌 67, 249～254 (2014)

赤外線サーモグラフィ (IRT) は、物体表面から放射される赤外線量を画像化する検査手法で、動物の体表温度を非接触で瞬時に測定することができる [1]。牛においては、IRTは乳房炎や呼吸器病の早期発見、発情の早期発見、ストレスの評価などへの活用例が報告されている [2-5]。IRTは比較的容易に測定結果が得られる反面、測定条件によって影響を受けやすい面があり、たとえば測定距離の違いがボニーの眼縁部のIRT測定値に影響を与えることが指摘されている [6]。また、牛に対するIRT測定方法としては、任意の体表領域の最高温度を検出する方法や一定面積の平均温度を算出する方法などさまざまな手法が報告されているが [5, 7]、測定手法の再現性や妥当性については不明な点が残されている。

正常人の体表面のサーモグラム (温度分布図) はほぼ左右対称とされており [8]、体表各部の左右差の比較が異常値の判断に用いられているが、牛においてはIRTを用いた体表各部の表面温度の左右差を比較検討した報告はない。野外において、牛の発熱や炎症等の早期発見に

IRTを活用するためには、まず再現性のよいIRTの測定手法を確立し、健康牛における体表各部の表面温度の正常値を把握することが重要である。

そこで本研究では、健康なホルスタイン種雌牛について、IRTを用いた体表各部の表面温度の測定・解析手技を検討するとともに、体表各部の表面温度の左右差について比較を行った。

材料及び方法

供試牛：健康なホルスタイン種雌牛9頭 (育成牛5頭、平均体重188kg、成牛4頭、平均体重530kg) を用いた。牛には乾草と市販の配合飼料を主体とした1日2回の制限給餌を行った。

なお、本研究は独農研機構動物衛生研究所動物実験委員会の承認を得て動物実験等実施要領に基づき実施した。

IRT測定における環境条件：今回のすべての試験は、動物衛生研究所内の大動物用環境制御室 (温湿度制御範

† 連絡責任者：新井鐘蔵 (独農業・食品産業技術総合研究機構動物衛生研究所)

〒305-0856 つくば市観音台3-1-5 ☎・FAX 029-838-7795 E-mail: sarai@affrc.go.jp

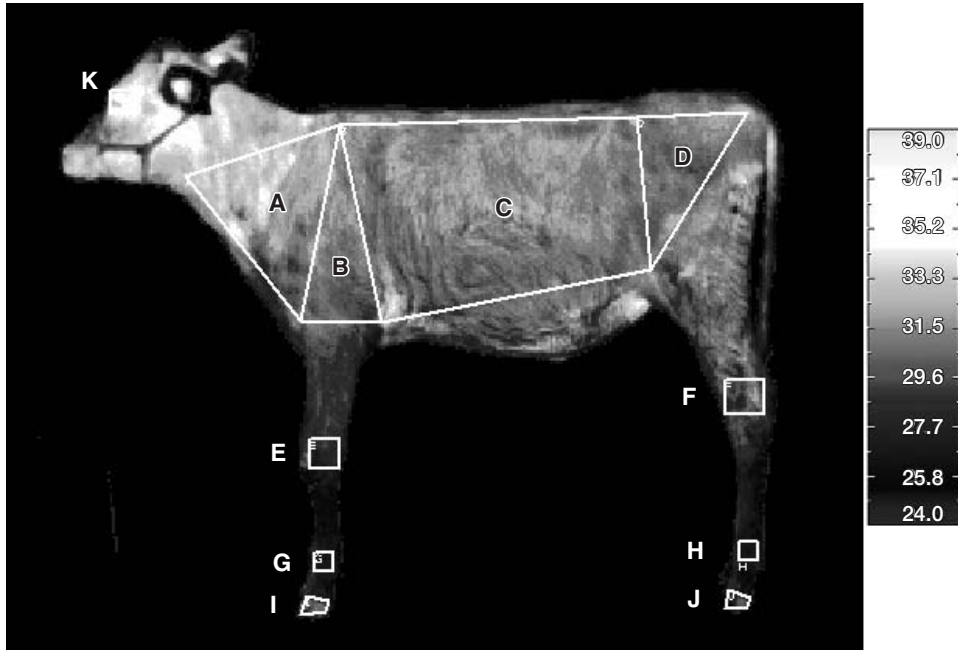


図1 健康牛における赤外線サーモグラフィの撮影像

測定距離3m 室温20℃ 湿度60%

A: 頸部 B: 肩部 C: 胸腹部 D: 臀部 E: 手関節 F: 足関節 G: 中手部遠位
H: 中足部遠位 I: 前肢蹄部 (蹄冠・蹄) J: 後肢蹄部 (蹄冠・蹄) K: 眼部

表1 牛の体表各部における体表温度の平均値と左右差

部 位	育成牛 (n=5)				成牛 (n=4)			
	左側(℃)	右側(℃)	左右差 ²⁾ (℃)	測定面積 (cm ²)	左側(℃)	右側(℃)	左右差 ²⁾ (℃)	測定面積 (cm ²)
頸 部	32.1±0.7	31.4±0.8	0.7	300	31.2±0.8	30.6±0.5	0.6	1200
肩 部	31.3±0.7	30.7±0.7	0.6	360	30.8±0.4	30.2±0.6	0.6	940
胸腹部	30.5±0.6	30.5±0.8	0	1760	30.7±0.1	30.2±0.1	0.5	3500
臀 部	30.1±0.6	29.7±0.5	0.4	360	29.8±0.8	29.4±0.5	0.4	940
手関節	27.7±0.8	27.1±0.8	0.6	30	26.6±1.3	26.4±1.0	0.2	40
足関節	29.2±1.0 ^{a)}	28.6±1.0 ^{a)}	0.6	60	26.4±1.4 ^{b)}	25.9±1.5 ^{b)}	0.5	80
中手部遠位	26.8±0.5 ^{a)}	26.8±1.4 ^{a)}	0	10	24.0±1.4 ^{b)}	23.5±1.5 ^{b)}	0.5	15
中足部遠位	27.0±1.0 ^{a)}	28.2±0.4 ^{a)}	-1.2	10	23.2±1.7 ^{b)}	23.5±2.2 ^{b)}	-0.3	15
前肢 蹄冠	29.1±2.2 ^{a)}	29.0±2.2 ^{a)}	0.1	5	23.0±1.0 ^{b)}	22.7±1.2 ^{b)}	0.3	7
前肢 蹄	28.0±2.5 ^{a)}	28.0±2.2 ^{a)}	0	5	22.5±0.8 ^{b)}	22.4±0.9 ^{b)}	0.1	7
後肢 蹄冠	29.1±2.4	31.3±1.3 ^{a)}	-2.2	5	24.5±4.2	24.6±4.0 ^{b)}	-0.1	7
後肢 蹄	27.8±2.8	30.2±1.1 ^{a)}	-2.4	5	23.3±3.2	24.1±3.4 ^{b)}	-0.8	7
眼 部	34.4±0.6	33.9±0.3	0.5	30	34.2±0.3	33.9±0.4	0.3	30
鼻 ¹⁾	30.9±2.8 ^{a)}			15	26.4±1.3 ^{b)}			15
肛 門 ¹⁾	35.8±0.2			30	36.0±1.3			30
外陰部 ¹⁾	34.3±0.7 ^{a)}			30	33.0±0.9 ^{b)}			30
直腸温	38.8±0.1				38.6±0.1			

平均値±標準偏差

1) 鼻は正面、肛門・外陰部は後方より測定 2) 左右差は (左側-右側) で算出 a, b) 異符号間に有意差あり (P<0.05)

囲0~40℃, 55~90% relative humidity (RH)) を用いて、室温20℃, 湿度60% RHの一定条件下でIRT測定を行った。供試牛をIRT撮影の3時間前に環境制御室に搬入して温度馴致を行い、撮影前に体表面の汚れや濡れた部位を拭きとった。IRT測定は13~17時の間で

行った。

IRT測定方法: IRT測定装置 (G100V, NEC Avio 赤外線テクノロジー(株), 東京) を環境温度に約30分馴致した後、環境反射補正を行い、撮影ごとにオートフォーカスとキャリブレーションを行った。撮影には三脚を用

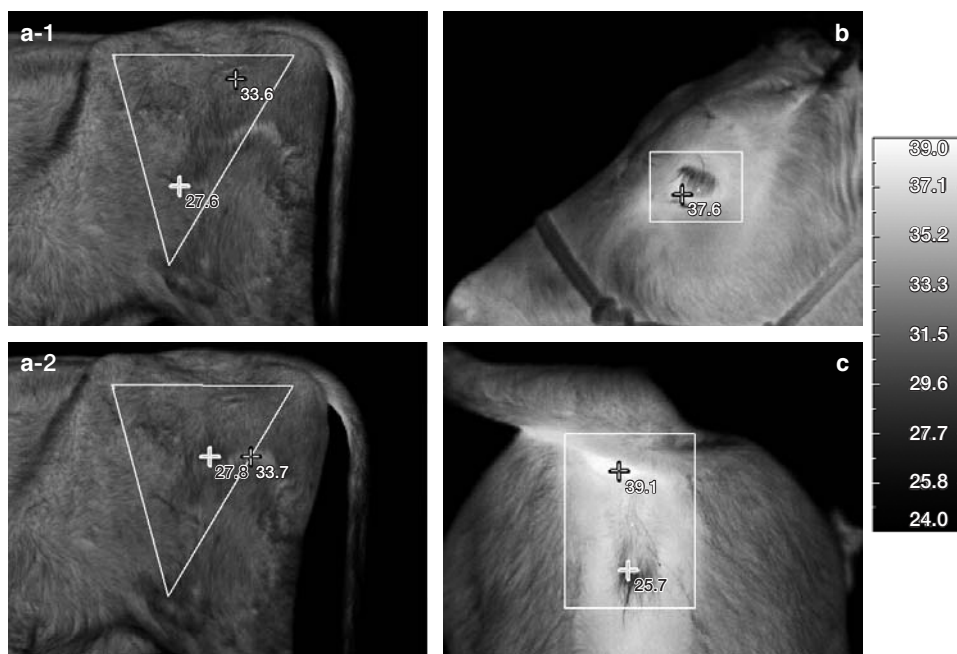


図2 体表各部における最高温度と最低温度の分布
 (a-1, 2) 臀部における最高温度と最低温度の分布 (同一部位を連続撮影)
 (b) 眼縁部及び (c) 肛門における最高温度と (c) 外陰部における最低温度の分布
 ⊕: 領域内最高温度 ⊖: 領域内最低温度

い、撮影部に対する角度は90度とし、放射率は1.0に設定した。

サーモグラムの解析: サーモグラムの解析はサーモグラム解析ソフト (InfRec Analyzer NS9500 Standard, NEC Avio 赤外線テクノロジー(株), 東京) を用いて、各体表部位における最高温度や最低温度及び一定面積の平均温度の算出を行った。

IRTの再現性試験: 育成牛1頭を用いて、IRTによる一定領域内の最高温度と平均温度の同時再現性を調べた。最高温度は眼縁部、平均温度は臀部についてIRT測定を実施した。眼縁部は眼球部を中心とした領域内(30cm²)で常に最高温度を示す部位(涙腺近傍の眼縁縁)を自動検出した。臀部は寛結節、膝蓋骨、坐骨結節で囲まれた領域(360cm²)について平均温度を算出した。眼縁部と臀部のIRTの同時再現性は、おのおの測定距離1mで同一条件により10回IRT測定し、得られた測定値について変動係数(CV)を算出した。

IRTにおける測定距離の影響の検討: 育成牛5頭を用いて、測定距離におけるIRT測定値の影響を調べた。測定距離は0.5~4.0mの間で、0.5m間隔で距離を変えて、左側の眼縁部及び臀部のIRT測定を行った。眼縁部については最高温度を測定し、臀部は上述の領域(360cm²)の平均温度を算出した。

IRTによる体表各部の表面温度測定と左右差の検討: 育成牛5頭と成牛4頭を用いて、体表各部(29カ所)のIRT測定と左右差の検討を実施した。頸部、肩部、胸腹

部、臀部についてはIRT測定装置の画面内に各対象部位が入る距離3mで測定を行い、その他の部位は既報[6, 7, 9, 10]を参考に1mの測定距離でIRT測定を行った。IRT測定部位として、頸部(下顎角, 肩甲骨上端, 胸骨柄に囲まれた領域), 肩部(肩甲骨上端, 胸骨柄, 肘頭隆起に囲まれた領域), 胸部(肩甲骨上端, 肘頭隆起, 膝蓋骨, 寛結節に囲まれた領域), 臀部(上述した領域), 手関節, 足関節, 中手部遠位及び中足部遠位, 前後肢の蹄部(蹄冠及び蹄), 眼部, 鼻, 肛門, 外陰部について一定面積の平均温度を測定・算出し、各部位の左右差について比較検討した(図1, 表1)。また、眼縁部及び肛門は最高温度, 外陰部については最低温度の自動検出も行った。

統計解析: IRT測定における測定距離の影響については、一元配置分散分析を行った。また、育成牛及び成牛における体表各部の表面温度の左右差の比較についてはStudent's-t検定を実施した。それぞれ危険率5%未満を有意な差とした。

成 績

眼縁部や肛門周囲等の体毛がない部位では、常に同じ場所で最高温度が自動検出された(図2b, c)。また、外陰部については、常に同じ場所で最低温度が自動検出された(図2c)。一方、体毛が豊富な臀部では、最高温度や最低温度の場所は撮影ごとにばらつきを示した(図2, a-1, a-2)。眼縁部の最高温度及び臀部の平均温度

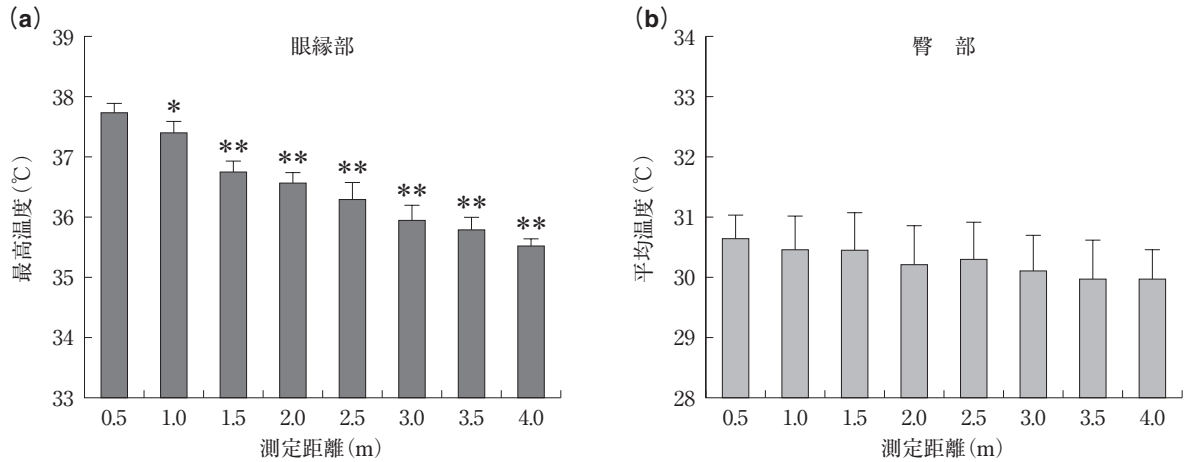


図3 (a)眼縁部最高温度及び (b)臀部平均温度の測定距離による違い
 平均値±標準偏差

* : 0.5mと比較して有意差あり (P<0.05) ** : 0.5mと比較して有意差あり (P<0.01)

表2 牛の体表各部における最高温度及び最低温度

部 位	育成牛 (n=5)			成牛 (n=4)		
	左側 (°C)	右側 (°C)	左右差 ³⁾ (°C)	左側 (°C)	右側 (°C)	左右差 ³⁾ (°C)
眼縁部 ¹⁾	37.4±0.2	37.1±0.4	0.3	37.2±0.4	37.2±0.3	0
肛 門 ¹⁾	38.4±0.3			37.9±0.9		
外陰部 ²⁾	25.9±2.6			23.5±3.5		
直腸温	38.8±0.1			38.6±0.1		

平均値±標準偏差

1) 眼縁部及び肛門は最高温度 2) 外陰部は最低温度

3) 左右差は (左側 - 右側) で算出

のCVは、おのおの0.7%及び0.5%で良好な再現性を示した。

眼縁部における最高温度は、測定距離0.5mの測定値と比較して、測定距離が1m以降になると距離依存的に有意な測定値の低下が認められた (図3a)。一方、臀部の平均温度は、測定距離を変えてもおおむね同じ測定値を示した (図3b)。

育成牛、成牛のいずれも体表で最も平均温度が高い領域は、肛門周囲と眼部で、次いで頸部、肩部、胸腹部、臀部、四肢の順に体表温度の低下が認められた (図1, 表1)。育成牛、成牛のいずれも、体表各部位 (頸部、肩部、胸腹部、臀部、手関節、足関節、中手部遠位、中足部遠位、前肢及び後肢の蹄部、眼部) の平均温度に有意な左右差は認められなかった (表1)。また、眼縁部の最高温度についても左右差は認められなかった (表2)。育成牛の手関節を除く四肢各部及び鼻と外陰部の平均温度は、成牛に比べて有意に高かった (表1)。

今回の実験時の大動物環境制御室内の室温は20.6 ± 0.2 °Cで、IRT測定による室内の鉄柱表面温度は20.8 ± 0.3 °Cであった。

考 察

体毛がなく皮膚が露出している牛の眼縁部や肛門周囲では、最高温度は同じ箇所でも自動検出された。眼縁部は毛細血管が豊富で、交感神経の刺激による血流の変化が起きやすく放熱が盛んなため [5]、頭部では眼部が最高温度を示すことが多く [11]、今回われわれも同様の結果が得られた。眼縁部の最高温度の変動係数は0.7%と良好な再現性を示すことから、皮膚が露出した部位では、最高温度の自動検出は妥当な測定・解析手技であると考えられた。一方、体毛が豊富な臀部では、最高温度や最低温度の位置は撮影ごとにばらつきを示した。温度分布のばらつきが見られる豚の体表面では、一定面積の平均温度を算出することで比較的安定した測定数値を得られるとの報告がある [12]。われわれも牛臀部の平均温度の変動係数を調べたところ、0.5%と良好な再現性を示すことから、体毛が豊富な部位では一定面積の平均温度の算出は妥当な測定・解析手技であると考えられた。

牛の眼縁部の最高温度は、距離依存的に有意な低下を示した。IRT装置は一定の画素数で構成されており、装置からの測定距離が離れるほど1画素で捉える範囲 (面積) が広がるため [13]、1画素の温度が周囲と平均化されて測定値の低下が生じると考えられる。今回の実験で用いたIRT装置は、測定距離1mの場合の1画素の範囲は1.8 × 1.8mmで、測定距離10mの場合の1画素の範囲は100倍の18 × 18mmとなり、最高温度を自動検知すると、この1画素の温度が表示される。このため、眼縁部のように皮膚の露出幅が2~3mm程度の狭い部位の最高温度を正確に測定するためには、1画素の径が2~3mm以内になる至近距離 (1~2m以内) からのIRT撮影が必要で、これまで報告された牛の眼縁部の

IRT 撮影距離も 2m 以内の実施例が多い [5, 9, 11]. 一方, 牛の臀部における一定面積の平均温度は, 測定距離を 4m まで変えてもおおむね同じ測定値を示した. 今回実施した育成牛の臀部平均温度の測定面積は 360cm² で, 測定距離 1m の場合の画素数は 11,350 画素で, 測定距離が 4m になると 708 画素と減少するものの, ある程度まとまった画素数の平均温度を算出しているため [12], 比較的安定した測定値が得られたものと考えられた.

室温 20℃, 湿度 60% の環境条件下では, 育成牛及び成牛ともに体表各部の表面温度に有意な左右差は認められず, 頭部や体幹に比べて四肢末端の体表温度は有意な低値を示した. 健康な人の体表面は左右ほぼ対称の温度分布を示し [8], 左右差は 0.5~1℃ 以下とされている [14]. 今回調べた牛の体幹部の体表温度の左右差は 0~0.7℃ であったが, 四肢末端の左右差は 0~2.4℃ と体幹部に比べて大きな左右差を示した. 環境温度が 15~25℃ の熱的中性圏の場合, 牛の四肢末端は皮下毛細血管の収縮と拡張が活発になり比較的大きな皮膚温変動を起こすことから [15], 体幹部に比べて体表温度の左右差や標準偏差 (SD) の数値の振れ幅が大きくなったものと考えられた. また, 体表温度 (SD : 0.1~4.2) に比べて直腸温 (SD : 0.1) のばらつきは非常に小さかった. 直腸温は前述したように体表面から放熱調整によって恒常性が維持されているため変動幅が小さくなると考えられた.

育成牛の四肢末端や鼻・外陰部の体表温度は, 成牛に比べて有意な高値を示した. 育成牛の体毛の深さは成牛に比べて短く, 体内の組織部の断熱性も育成牛の方が低い [15]. このため, 四肢末端や皮膚が露出している鼻・外陰部など, もともと放熱が盛んな部位での体表温度が成牛よりも高くなったものと考えられた.

IRT を用いた動物の体表温度測定を実施する際に, 動物への日射量, 皮膚表面の汚れの程度, 環境温度, 年齢, 性別, 行動量や怪我の有無などの要因を考慮した解析の必要性も指摘されている [10]. 今回の試験は, 室温 20℃, 湿度 60% の実験的な環境条件下で IRT を用いた牛の体表温度解析を実施したもので, これらの要因による影響を最小限にした場合の結果である. 今後, 牛の生産現場で IRT の活用を進めるためには, これらの環境要因も加味した解析の検討も重要になると考えられる.

引用文献

[1] Kastberger G, Stachl R : Infrared imaging technology and biological applications, *Behav Res Meth Ins C*, 35, 429-439 (2003)
 [2] Colak A, Polat B, Okumus Z, Kaya M, Yanmaz LE, Hayirli A : Early detection of mastitis using infrared

thermography in dairy cows, *J Dairy Sci*, 91, 4244-4248 (2008)
 [3] Schaefer AL, Cook NJ, Bench C, Chabot JB, Colyn J, Liu T, Okine EK, Stewart M, Webster JR : The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography, *Res Vet Sci*, 93, 928-935 (2012)
 [4] Hurnik JF, Webster AB, DeBoer S : An investigation of skin temperature differentials in relation to estrus in dairy cattle using a thermal infrared scanning technique, *J Anim Sci*, 61, 1095-1102 (1985)
 [5] Stewart M, Stafford KJ, Dowling SK, Schaefer AL, Webster JR : Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic, *Physiol Behav*, 93, 789-797 (2008)
 [6] Johnson SR, Rao S, Hussey SB, Morley PS, Traub-Dargatz JL : Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies, *J Equine Vet Sci*, 31, 63-66 (2011)
 [7] Shaefer AL, Cock N, Tessaro SV, Deregt D, Desroches G, Dubeski P, Tong AKW, Godson DL : Early detection and prediction of infection using infrared thermography, *Can J Anim Sci*, 84, 73-80 (2004)
 [8] 永江 学 : 正しい検査の仕方, 最新医用サーモグラフィ熱画像診断テキスト, 蟹江良一, 石垣武男編, 48-53, 日本サーモロジー学会, 東京 (1999)
 [9] Gloster J, Ebert K, Gubbins S, Bashiruddin J, Paton DJ : Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection, *BMC Vet Res*, 7, 73 (2011)
 [10] Dunbar MR, Johnson SR, Rhyon JC, McCollum M : Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (*Odocoileus hemionus*) experimentally infected with foot-and-mouth disease, *J Zoo Wildl Med*, 40, 296-301 (2009)
 [11] Rainwater-Lovett K, Pacheco JM, Packer C, Rodriguez LL : Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography, *Vet J*, 180, 317-324 (2009)
 [12] Loughmiller JA, Spire MF, Dritz SS, Fenwick BW, Hosni MH, Hogge SB : Relationship between mean body surface temperature measured by use of infrared thermography and ambient temperature in clinically normal pigs and pigs inoculated with *Actinobacillus pleuropneumoniae*, *Am J Vet Res*, 62, 676-681 (2001)
 [13] 小笠原永久 : 赤外線サーモグラフィ装置, 赤外線サーモグラフィ試験 I, (社)日本非破壊検査協会, 13-22, 阿部節夫, 東京 (2011)
 [14] 竹宮敏子, 山口晴子, 三浦康子, 杉下裕子, 山内照夫, 丸山勝一 : 自律神経機能検査としてのサーモグラフィとサーモメーター, 東京女子医科大学雑誌, 63, 68-74 (1993)
 [15] 山本禎紀 : 環境の作用と生産反応, 新乳牛の科学, 柴田章夫編, 207-237, (社)農山漁村文化協会, 東京 (1987)

Infrared Thermographic Analysis of Each Part of Body Surface Temperature
in Healthy Cattle, and a Study of the Difference between Left
and Right Skin Temperatures

Yoji FUKUI¹⁾, Shozo ARAI²⁾†, Shinichi SAKAKIBARA³⁾ and Hiroshi SAWADA²⁾

1) *Chiba Prefecture Chuo Livestock Hygiene Service Office, 497 Iwatomimachi, Sakura, 285-0072, Japan*

2) *National Institute of Animal Health, 3-1-5 Kannondai, Tsukuba, 305-0856, Japan*

3) *Hokkaido Tokachi Livestock Hygiene Service Center, 59-6 Kisen, Kawanishi, Obihiro, 089-1182, Japan*

SUMMARY

Under controlled temperature and humidity conditions, we examined a method of measuring skin temperature in cattle using infrared thermography (IRT), and compared left-and-right differences in mean skin temperature. The coefficient of variation for maximum orbital temperature and mean body hindquarters showed good reproducibility, at 0.7% and 0.5%, respectively. Depending on the measurement distance, there were significant reductions in the maximum orbital temperature of cattle. In contrast, even if the measurement distance for IRT varied, the mean temperature of the body hindquarters was the same. No significant difference was seen between left and right skin temperatures in cattle body surface parts. In sites with exposed skin, such as the orbital area, the maximum temperature was automatically detected by IRT in the same place. However, in cattle sites with thick hair coverage, such as the hindquarter region, maximum and minimum temperatures were not detected by IRT in the same place. Therefore, in order to perform IRT measurements with sufficient reproducibility on areas in cattle that have a lot of hair, it is considered necessary to calculate the mean temperature of the area.

— Key words : body surface temperature, cattle, infrared thermography, laterality, measurement distance.

† Correspondence to : Shozo ARAI (*National Institute of Animal Health*)

3-1-5 Kannondai, Tsukuba, 305-0856, Japan

TEL · FAX 029-838-7795 E-mail : sarai@affrc.go.jp

J. Jpn. Vet. Med. Assoc., 67, 249 ~ 254 (2014)