

X線 Computed Tomography (CT) 画像による牛部分肉の 脂肪交雑形状の評価とその精度

□田圭吾¹・高長拓也¹・山下直樹¹・山口 悠¹・李 奇子¹・山田一孝¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

(2014. 2. 2 受付, 2014. 5. 8 受理)

要 約 X線 Computed Tomography (CT) 画像から牛部分肉における脂肪交雑の評価の可能性およびその精度を検証した。供試牛2頭から胸最長筋を含む8つのブロック肉を採取しCT撮影を行った。その後、ブロック肉を厚さ2cm間隔でスライスし、ミラー型撮影装置を用いて高精細画像を得た。CT画像および高精細画像(同一面60組)をそれぞれ画像解析し、画像解析4形質(筋肉面積、脂肪面積割合、あらさ指数、細かさ指数)について、それぞれの相関関係を調査した。CT画像と高精細画像から算出した筋肉面積($r = 0.991$)、脂肪面積割合($r = 0.927$)およびあらさ指数($r = 0.861$)の相関係数は有意に高い正の値を示した($P < 0.01$)。細かさ指数では低い相関係数($r = 0.329$, $P < 0.05$)が算出された。X線CT法は、非破壊的に脂肪交雑の面積割合やあらさをある程度、評価することが可能であった。

日本畜産学会報 85 (3), 345-350, 2014

現在、我が国における牛枝肉の脂肪交雑は、公益社団法人日本食肉格付協会の格付員によって、主に第6-7肋骨間切開面(以下、第6-7切開面)に現れる胸最長筋および頭半棘筋、背半棘筋などの周囲筋において評価される(日本食肉格付協会 1996)。しかしさまざまな部位における脂肪交雑の程度が第6-7切開面の胸最長筋と同等とは限らないため(中橋ら 2007a)、買参人らはモモ抜けや枝肉内面など他の部位を含め総合的に評価し、枝肉価格を決定している。

浜崎ら(2005)はホルスタイン種の胸最長筋を連続的に切断することで画像解析による脂肪交雑の形状変化に関する調査を行い、近接する横断面でも脂肪面積割合が大きく異なる場合があるということを報告した。また中橋ら(2007b)も黒毛和種の胸最長筋を2cm間隔でスライスし、画像解析の手法を用いることで脂肪交雑の量やあらさなどがスライス部位によってどのように変化しているかを調査し、第6-7切開面以外における脂肪交雑の状態の追加情報の必要性を報告した。さらに中橋ら(2007a)は、画像解析の手法を用いて胸最長筋と他の筋肉の関連性について調査し、第6-7切開面胸最長筋から他の筋肉における脂肪面積割合の評価は可能であるが、あらさや細かさに関する評価は難しいと報告した。このことから、第6~7切開面以外の部位についても詳細な評価が望まれるが、新たに切開面を増やすことは費用面、労力面において現実的ではない。仮に枝肉を切断することなく様々な筋肉の脂肪交雑の評価が可能であれば、第6-7切開面以外の部位に

についても詳細な調査が可能となり、育種改良や肥育試験にとって有益な情報が得られるだろう。

枝肉を非破壊的に調査する方法として、Computed Tomography(CT)(Navajasら 2010)、超音波(Williams 2002)、MRI(Baulain 1997)などがある。中でもCT撮影は、空間分解能に優れ、MRIと比較して撮影時間が短時間であることから注目されつつある。CT撮影を用いた羊枝肉構成の推定は、過去10年間数カ国で調査されてきており、イギリスやノルウェーおよびニュージーランドではCT撮影で得た情報が育種計画に加えられている(Nicollら 2002; KvameとVangen 2006; MacFarlaneら 2006)。また最近の研究では、ヒツジだけでなくウシにおいてもCT撮影が用いられ、Navajasら(2010)は牛枝肉からの部分肉にCT撮影を用いて解析することで、牛枝肉組成の非常に正確な情報獲得の可能性を示した。

□田ら(2002, 2006)は高精細枝肉撮影装置と牛枝肉画像解析ソフトウェアを開発し、得られた鮮明な画像を解析することにより、脂肪面積割合、脂肪交雑粒子のあらさや細かさなどといった、脂肪交雑に関係する様々な特徴量を、高い精度で数値化することに成功した。しかし、一般的に画質のあらいCT画像を解析することで、和牛の重要な評価基準である脂肪交雑量だけでなく、脂肪交雑のあらさや細かさ等の評価が可能かどうかは検証されていない。そこで本研究では、CT画像から胸最長筋の脂肪交雑の評価が可能であるか、またその精度を検証することを目的とした。

連絡者: □田圭吾 (fax: 0155-49-5462, e-mail: kuchida@obihiro.ac.jp)

材料および方法

1. CT 画像ならびに高精細画像の撮影

供試牛には、同じ場所で、同一の環境下で肥育された黒毛和種去勢牛 2 頭を用いた。供試牛は 30 カ月齢で屠畜され、8 つのブロック肉（第 6-7 切開面より頭側の最長筋、第 6-7 切開面より尾側の最長筋、大腰筋、棘上筋、中臀筋および大腿二頭筋近位部、大腿四頭筋および大腿筋膜張筋、半膜様筋、半腱様筋）が採取された。そのうち、第 6-7 切開面より尾側の最長筋についてと畜から約 2 週間後に 4 列多列検出器を有する X 線 CT 装置（Asteion Super 4；東芝、東京：以下、CT 装置）を用いて撮影した。なお、対象となるブロック肉の大きさに合わせて撮影範囲を調整した。スライス厚による精度の変化を検討するために、CT のスライス厚は 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mm として画像を得た。

CT 撮影後、ブロック肉を 2 cm 間隔でスライスし、ミラー型牛枝肉横断面撮影装置（HK-333；早坂理工、札幌市）を用いて撮影し、高精細画像を得た。さらに撮影した CT 画像および高精細画像から、同一のスライス面と思われる画像（対応する画像）を目視にて選択し、スライス厚 0.5 mm の CT 画像 60 枚、高精細画像 60 枚について以下に示す画像解析を行った。

2. CT 画像の画像解析

CT 撮影で得た画像（512×512 画素）は、筋肉が高輝度、脂肪が低輝度で表現されている。後述する高精細画像の画像解析結果との比較を容易にするため、Photoshop（Adobe Systems, Inc., California, USA）を用いて階調反転した。□田ら（1997）が開発した画像解析アルゴリズムを用いて筋肉の輪郭を半自動で抽出し、輪郭が適切に描画されなかった場合には手動で補正した。筋肉の輪郭を抽出、2 値化後、筋肉面積、脂肪面積割合、あざさ指数および細かさ指数を算出した。また、CT 画像と高精細画像の違い（画素数や CT 画像の縮尺）を考慮し、各形質を補正した。CT 画像解析の手順を図 1 に示した。また各形質の詳細な解析方法は以下の通りである。

筋肉面積：CT 画像は各筋肉部位で縮尺が異なるため、以下に示すような方法で筋肉面積値を補正した。この縮尺の違いを各 CT 画像の縮尺値とした。

筋肉面積（cm²）＝ 筋肉面積画素数×1 画素あたりの長さ（cm）の 2 乗

脂肪面積割合：Beef Analyzer II（早坂理工、札幌市）では 2 値化の閾値を判別分析 2 値化法により自動的に決定しているが、階調反転した CT 画像では脂肪部分と筋肉部分のコントラストが不明瞭であるため判別分析 2 値化法が適切に実行できなかった。そこで画像解析ソフトウェ

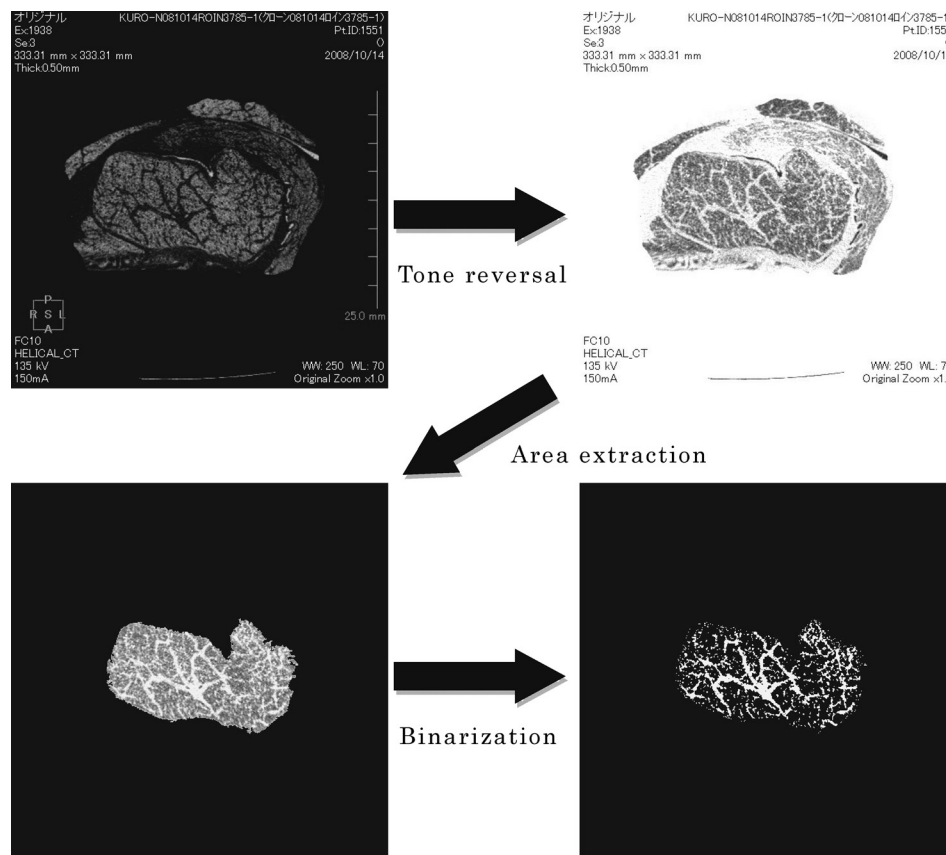


Figure 1 Image analysis procedure for the CT image to calculate image analysis traits.

ア (Popimaging; デジタル・ビーイング・キッズ, 横浜市) を用いて閾値を固定して 2 値化し, 脂肪交雑画素数を算出した。この脂肪交雑画素数を, 筋肉面積を算出する際に Beef Analyzer II から得た筋肉面積画素数で除して脂肪面積割合を算出した。

あらさ指数: 脂肪面積割合を算出するために 2 値化した画像を Beef Analyzer II を用いて細線化処理を行った。これはあらい脂肪交雑粒子のみを抽出するためであり, 処理後に線幅が 1 となるような細かな脂肪交雑を除去することで脂肪交雑のあらさを評価した。このとき, 細線化処理の回数を高精細画像では 10 回, CT 画像では 1 回に設定した。これは CT 画像の画素数が 512×512 と高精細画像に比べて非常に小さく, CT 画像では細線化処理 1 回につき削り取られる 1 画素あたりの長さを高精細画像ならびに CT 画像で同等とするためである。細線化および線幅 1 の細線除去後に得られる脂肪交雑の画素数を脂肪交雑全体の画素数で除し, それを 100 倍したものをあらさ指数とした。

細かさ指数: 脂肪面積割合を算出するために 2 値化した画像を Beef Analyzer II によって解析し, 細かさ指数を算出した。細線化処理によって線幅が 1 となる脂肪交雑粒子を細かな脂肪交雑とし, 胸最長筋単位面積当たりの個数を細かさ指数と定義した。細線化の際, 高精細画像と

CT 画像の画素数を考慮し, 細線化処理回数は高精細画像では 5 回, CT 画像では 1 回とした。

3. 高精細画像の画像解析

撮影したブロック肉画像の解析には Beef Analyzer II を用いた。ミラー型撮影装置で撮影した高精細画像は, $45 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ の範囲を 4500×3000 画素で表し, 1 cm あたり 100 画素となる。抽出した筋肉の画像を脂肪と筋肉に 2 値化した後, CT 画像と同様に筋肉面積, 脂肪面積割合, あらさ指数および細かさ指数の計 4 形質を算出した。

4. 2 値化の精度の検証と統計分析

CT 画像を解析する際に閾値を固定しなければならないが, 最適な閾値を調査する目的で, 閾値を 190~210 まで 5 ずつ値を変更して画像解析 3 形質 (脂肪面積割合, あらさ指数および細かさ指数) を算出し, 対応する高精細画像からの値との相関係数を求めた。

最適な閾値を決定したのち, 8 部位すべての CT 画像について, スライス厚 0.5 mm の CT 画像とそれに対応する高精細画像 60 組の画像解析形質間の相関係数を求めた。統計分析には SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) の CORR プロシジャを用いた。

結果および考察

CT 画像のスライス厚を $0.5 \text{ mm} \sim 5.0 \text{ mm}$ に設定して

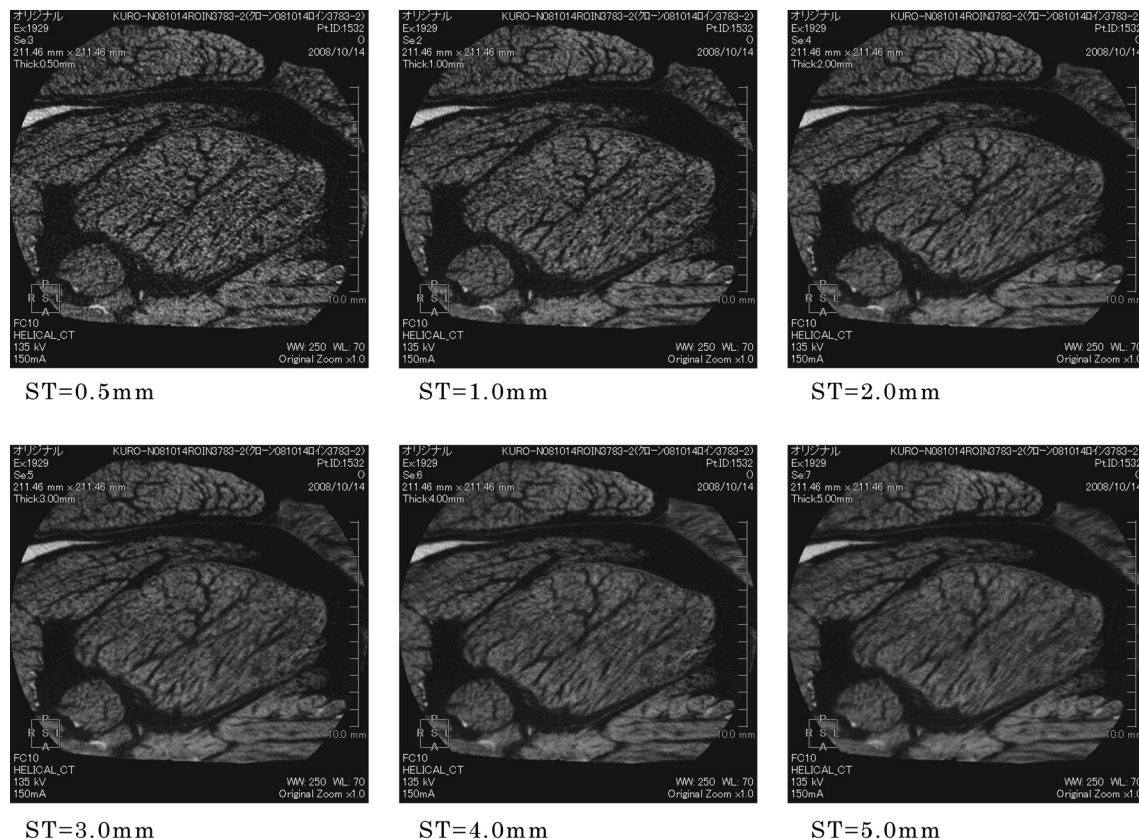


Figure 2 CT images of muscle taken by various slice thickness (ST).

撮影を行い、得られた画像を用いて最適なスライス厚の検証を行った。得られた画像を図2に示した。スライス厚を大きくするにつれ、部分容積効果により、脂肪交雑と筋肉の境界が不明瞭となり、脂肪交雑を認識しづらくなっていることが確認できる（図2）。このため0.5mm間隔で撮影したCT画像が、画像解析を行う上で最も妥当であると判断し、本研究では0.5mm間隔で撮影したCT画像のみを使用した。

脂肪面積割合、あらさ指数および細かさ指数について、閾値を190～210まで5ずつ変更してCT画像を解析して得られた値と、対応する高精細画像の解析値との相関係数を算出し、表1に示した。なお、この結果は最長筋のみを用いたものである。あらさ指数では閾値205、210が閾値200よりわずかに相関係数が高かったが、脂肪面積割合および細かさ指数では閾値200で最も高かった。2

形質で最も相関係数が高く、また、あらさ指数についても相関係数に大きな差はないため、本研究では、閾値200が解析する上で最も妥当な閾値であると判断した。

閾値比較の結果を考慮し、閾値を200に固定して解析した8部位のCT画像およびそれに対応する高精細画像間の画像解析形質の相関係数を算出した（図3）。筋肉面積で $r = 0.991$ ($P < 0.01$)と非常に高い相関係数を得た（図3-a）。また、脂肪面積割合でも高い相関係数 $r = 0.927$ ($P < 0.01$)を得ることができ（図3-b）、CT画像からロース芯内の脂肪面積割合を高い精度で認識できることが示された。しかしながら図3-bの直線回帰式は、 $y = 0.7295x + 26.3$ であり、 $y = x$ とはかなりの乖離が認められた。このことは、CTの空間分解能の限界ではないかと推察された。あらさ指数では中程度の相関係数（ $r = 0.861$, $P < 0.01$; 図3-c）が得られた。図3-cのプロットを見ると、

Table 1 Correlation coefficients between the image analysis traits obtained CT and high quality digital image by threshold level (190～210)

Traits ¹	Threshold level				
	190	195	200	205	210
MP	0.915**	0.914**	0.922**	0.902**	0.893**
CIM	0.879**	0.905**	0.913**	0.919**	0.918**
FIM	0.298*	0.361*	0.366*	0.334*	0.320*

* : $P < 0.05$ ** : $P < 0.01$

¹ MP = marbling percent ; CIM = coarseness index of marbling ; FIM = fineness index of marbling.

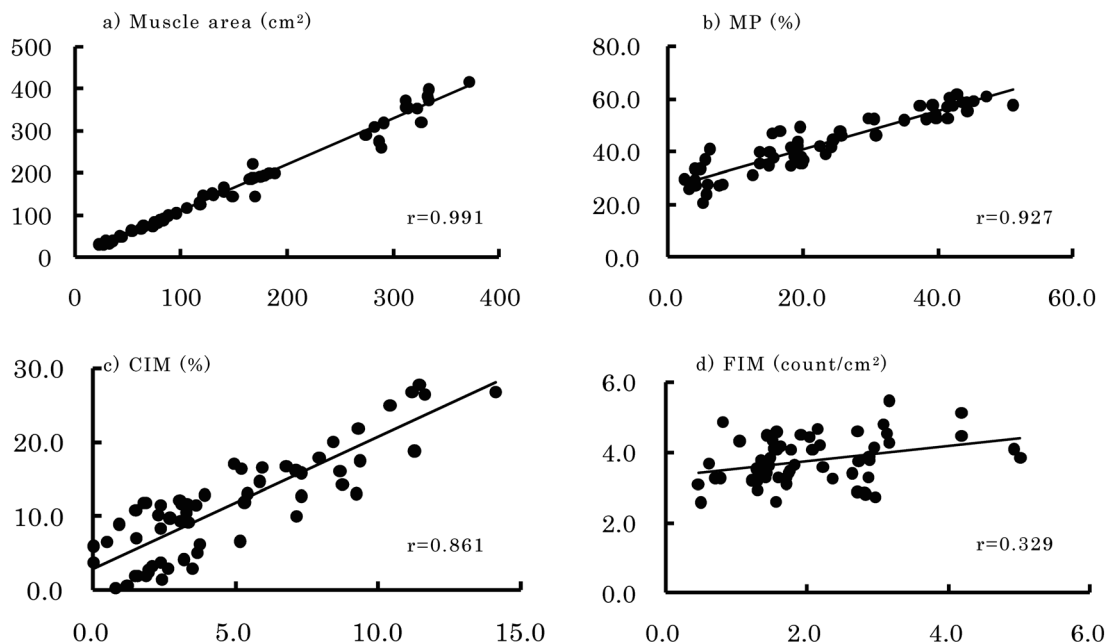


Figure 3 Relationships between the values obtained from CT image (x-axis) and high quality digital image (y-axis) for four image analysis traits.

MP = marbling percent ; CIM = coarseness index of marbling ; FIM = fineness index of marbling

近似直線より上部には最長筋、半膜様筋および半腱様筋が多く、下部には大腰筋や棘上筋が多かった。大腰筋や棘上筋は脂肪交雑がきめ細かく、X 線 CT 装置での画像化が、他よりもやや困難であることも原因の一つと推察した。細かさ指数で低い相関係数を得た ($r = 0.329$, $P < 0.05$; 図 3-d)。したがって、高精細画像と同様の方法で CT 画像から脂肪交雑の細かさを認識することは、現状では難しいことが示された。

以上までの結果により、CT 画像を用いた画像解析は、脂肪交雑の割合やあい脂肪交雑の評価に高い信頼性があり、細かい脂肪を評価することは難しいということが示唆された。脂肪交雑のあさは、現状では BMS 判定の明確な指標とはされていない。しかしながら、胸最長筋の中に極端に大きな脂肪交雑粒子が存在するもの、あるいは全体的にあい脂肪交雑粒子で構成されるものなどは、買参人から敬遠され、枝肉市場などにおいて安い価格で取り引きされる傾向にある。浜崎ら (2009) は、脂肪面積割合が高い場合、あさ指数と BMS ナンバーとの間には負の関連性があり、脂肪面積割合が高いほどその傾向が強いと報告した。CT 撮影による脂肪交雑の評価は、BMS ナンバーの評価に対して望ましくない影響を与えるあさ指数を、非破壊的で多数の部位で評価でき、この情報は育種改良や肥育試験などにとって非常に有益である。たとえば後代検定に供された枝肉のブロック肉を撮影することで、第 6-7 切開面胸最長筋の評価値が同程度の候補種雄牛の中から、あい脂肪交雑を作る種雄牛を淘汰することが可能となるだろう。さらに CT 撮影は画像からブロック肉の筋肉、脂肪および骨重量の算出が可能であり、枝肉組成の調査が容易にできる。Navajas ら (2010) が示したように、ブロック肉を非破壊的に評価可能であるというメリットは、選択的な育種改良に役立てることができると考えられる。

わずか 2 頭の結果ではあるものの、本研究により CT 撮影を用いることで非破壊的な脂肪交雑の調査がある程度は可能であることがわかった。しかし、同様の実験があまり行われてこなかったこともあり、本研究で示した値を他の文献と比較検討することができなかった。また、CT 画像の撮影を、縮尺を調節して行ったことにより、補正を行う必要が生じた。今後 CT 撮影を用いて脂肪交雑を評価するためには、画像解析の手法だけでなく、縮尺も含め最適な CT 画像の撮影条件も検討していく必要がある。また、消費者は家畜への CT 技術利用や放射線に関する正しい知識に乏しいと考えられるため、実用化するには消費者への理解および法整備を慎重に行うことも重要であると考えられる。

謝 辞

本研究は、平成 20 年度グローバル COE プログラム『アニマル・グローバル・ヘルス』開拓拠点一地球規模の畜産衛生管理に向けた高度専門家育成の一の経費で実施した。

文 献

- Baulain U. 1997. Magnetic resonance imaging for the in vivo determination of body composition in animal science. *Computers and Electronics in Agriculture* **17**, 189-203.
- 浜崎陽子, 口田圭吾, 日高 智, 島田謙一郎, 関川三男, 丸山 新. 2005. 画像解析によるホルスタイン種を用いた BMS ナンバー推定法ならびに異なる横断面の脂肪交雑特徴量の比較. *日本畜産学会報* **76**, 431-437.
- 浜崎陽子, 中橋良信, 村澤七月, 口田圭吾. 2009. 画像解析による黒毛和種および黒毛種×ホルスタイン種における BMS ナンバーの評価に影響を与える要因の調査. *日本畜産学会報* **80**, 333-340.
- Kvame T, Vangen O. 2006. In-vivo composition of carcass regions in lambs of two genetic lines, and selection of CT positions for estimation of each region. *Small Ruminant Research* **66**, 201-208.
- 口田圭吾, 栗原晃子, 鈴木三義, 三好俊三. 1997. 画像解析による筋肉断面内脂肪割合の正確な算出法の開発. *日本畜産学会報* **71**, 224-231.
- 口田圭吾, 大澤剛史, 堀 武司, 小高仁重, 丸山 新. 2006. 画像解析による牛枝肉横断の評価とその遺伝. *動物遺伝育種研究* **34**, 45-42.
- 口田圭吾, 鈴木三義, 三好俊三. 2002. 画像解析による牛胸最長筋内脂肪交雑粒子のあさに関する評価法の検討. *日本畜産学会報* **73**, 9-17.
- MacFarlane JM, Lewis RM, Emmans GC, Young MJ, Simm, G. 2006. Predicting carcass composition of terminal sire sheep using X-ray computed tomography. *Journal of Animal Science* **82**, 289-300.
- 中橋良信, 丸山 新, 関 晋司, 日高 智, 口田圭吾. 2007b. 黒毛和種コース芯内脂肪交雑の断面部位による変化の画像解析. *日本畜産学会報* **78**, 441-446.
- 中橋良信, 奥村寿章, 波田瑞乃, 藤嶋吉宏, 山内健治, 日高 智, 口田圭吾. 2007a. 黒毛和種における様々な骨格筋の画像解析特徴の推移. *日本畜産学会報* **79**, 403-411.
- Navajas EA, Glasbey CA, Fisher AV, Ross DW, Hyslop JJ, Richardson RI, Simm G, Roehe R. 2010. Assessing beef carcass tissue weights using computed tomography spirals of primal cuts. *Meat Science* **84**, 30-38.
- Nicolli GB, Jopson NB, McEwan JC. 2002. Contribution of CT scanning to genetic improvement in a terminal sire sheep breeding programme. In : *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production*. Armidale, Australia. CD-ROM communication no. 11-30.
- 日本食肉格付協会. 1996. 牛・豚枝肉取引規格解説書. pp. 12-18. (公社)日本食肉格付協会, 東京.
- Williams AR. 2002. Ultrasound applications in beef cattle carcass research and management. *Journal of Animal Science* **80**, 183-188.

Marbling evaluation by using X-ray computed tomography on beef primal cuts

Keigo KUCHIDA¹, Takuya TAKANAGA¹, Naoki YAMASHITA¹, Haruka YAMAGUCHI¹,
Ki-Ja LEE¹ and Kazutaka YAMADA¹

¹ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555, Japan

Corresponding : Keigo KUCHIDA (fax : +81 (0) 155-49-5462, e-mail : kuchida@obihiro.ac.jp)

Application potency of X-ray computed tomography (CT) method for the marbling evaluation was verified by comparing CT image and high quality digital image of beef muscle cross-sections. CT images were taken from primal cuts of 8 types including *M. longissimus dorsi*. Each primal cut was cut into 2 cm thick slices and digital images were taken by a mirror type carcass camera for each section ($n = 60$). Four image analysis traits (muscle area, marbling percent, coarseness index of marbling and fineness index of marbling) were calculated on the primal cuts of 8 types for both CT and high quality digital images by using the image analysis software (Beef Analyzer II ; Hayasaka Ricoh Co., LTD., Sapporo, Japan). Muscle area, marbling percent and coarseness index of marbling were highly correlated ($P < 0.01$) between CT and high quality digital image ($r = 0.991, 0.927$ and 0.861 , respectively), besides lowly correlated for fineness index of marbling ($r = 0.329, P < 0.05$). Consequently, the use of CT enabled the nondestructive evaluation of beef marbling.

Nihon Chikusan Gakkaiho 85 (3), 345-350, 2014

Key words : computed tomography, image analysis, Japanese Black.