

牛ロース芯への新適応二値化処理を用いた画像解析による BMS の判定

深谷芽衣¹・阿佐玲奈¹・小林健一²・口田圭吾¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 一関工業高等専門学校, 一関市 021-8511

(2019. 4. 12 受付, 2019. 6. 27 受理)

要約 従来の画像解析ではロース芯内の肉色の濃淡により二値化に失敗し脂肪面積割合を過小評価する場合があった。本研究では、より高精度な新手法による画像解析を用いた BMS 判定を目的とした。2017 年 1 月から 12 月に北海道内の枝肉市場に上場された黒毛和種、乳用種、交雑種 2,508 頭の格付 BMS および新適応二値化処理（新手法）による画像解析形質を用いた。脂肪面積割合、あらし指数および新細かさ指数の組み合わせごとに格付 BMS の平均値を求め、最大あらし指数およびロース芯面積によって条件付きの補正を行うことで BMS を判定した。新手法を用いることで、従来法より適切に脂肪交雑を認識でき (58.0→69.0%)、推定 BMS と格付 BMS との差が ±1 以内の割合は 96.5% と高い値を示した。黒毛和種、交雑種および乳用種における ±1 以内割合は、それぞれ 95.9, 99.5 および 100% となった。

日本畜産学会報 90 (4), 315-320, 2019

キーワード：牛肉, 画像解析, 二値化, BMS 推定

現在、和牛を中心とした肉牛生産を行うわが国において、「脂肪交雑」はやわらかさや嗜好性（鈴木ら 2013）、枝肉単価に影響を与えているため（岡本ら 2003）非常に重要な肉質形質の一つである。牛枝肉の肉質評価は、牛枝肉左半丸の第 6-7 肋骨間横断面を（公社）日本食肉格付協会（2017）の格付員が目視によって検査することで決定され、脂肪交雑は 12 段階（1：「脂肪交雑がほとんどないもの」～12「脂肪交雑がかなり多いもの」）の牛脂肪交雑基準（Beef Marbling Standard : BMS）に基づいて評価されている。また、BMSNo. はセリにより決定される枝肉単価の決定に最も影響を与える形質であることが報告されている（広岡と松本 1998；岡本ら 2003）。

他方、コンピュータ画像解析は複雑な形状を認識し数値化することを可能にする手法であり（高木と下田 1991）、近年では牛枝肉の客観的な評価手法の一つとして用いられている（口田 2015）。画像解析において脂肪面積割合を正確に算出するうえで、二値化処理は非常に重要な工程である。本研究における二値化とは、閾値より輝度が高い場合「脂肪」、低い場合「筋肉」としてロース芯を区分して認識することを指す。これまで口田ら（2006）は、画像中の G 成分（緑色の成分）について大津の判別分析二値化法（大津 1980）を用いて二値化を行ってきた（従来法）。また、一般的な二値化処理における照明などの影響によるムラを解消するため、画像内を小領域に細分化し、領域ごとの閾値を基に二値化を行う適応二値化処理が考案された

（河田と南 1994）。しかしながら、従来法ではロース芯全体を一つの閾値で二値化していたため、ロース芯内の肉色の濃淡や照明の影響を受け脂肪面積を過小評価する場合があります。また適応二値化処理では同一処理領域に明るさの異なる脂肪交雑粒子が存在した場合、片方の粒子を過大評価、過小評価してしまう可能性があるため、どちらの二値化手法の場合においても十分な精度を確保できなかった。そこで本研究では、牛枝肉横断面画像を用いた画像解析における新たな二値化手法を導入し、より精度の高い BMS 推定法を確立することを目的とした。

材料および方法

1. 供試牛

2017 年 1 月から 2017 年 12 月にホクレン十勝枝肉市場に上場された黒毛和種、交雑種および乳用種の格付 BMS および画像解析形質を使用した。その際、ロース芯内にシコリがある個体は分析に適していないため除外し、最終的な個体数は 2,508 頭となった。格付 BMS は、牛枝肉取引規格に従って（公社）日本食肉格付協会の格付員により評価された。

2. 枝肉横断面の撮影と画像解析

画像解析形質はミラー型撮影装置（HK-333；早坂理工、札幌）を用いて牛枝肉第 6-7 肋骨間横断面画像を撮影し、口田ら（2006）が作成した専用の画像解析ソフト（BeefAnalyzer-G；CS ソリューション、札幌市）を用

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

いて画像解析値を算出した。本研究に用いた画像解析形質は、コース芯面積 (cm²)、脂肪面積割合 (%), あらさ指数 (%), 最大あらさ指数 (%) および新細かさ指数の 5 形質である。脂肪面積割合は、コース芯面積に対する脂肪交雑粒子の面積の割合を示す。あらさ指数は、コース芯内の脂肪交雑粒子のあらさの程度を示す指標であり、値が大きいほど筋肉内にあらい脂肪交雑粒子が多く存在することを示す。最大あらさ指数は、コース芯内の全脂肪交雑粒子のうち最大の脂肪交雑粒子のあらさの程度を示す指標であり、値が大きいほど筋肉内に大きくあらい脂肪交雑粒子が存在することを示す。新細かさ指数は、コース芯内の脂肪交雑粒子の細かさの程度を示す指標であり、値が大きいほど筋肉内に細かい脂肪交雑粒子が存在することを示す。これは、コース芯内の脂肪交雑粒子の全周囲長をコース芯面積の平方根で除した値である (口田と金井 2017)。

3. 新適応二値化処理

牛枝肉画像解析ソフトウェア (Beef Analyzer II ; 早坂理工, 札幌) を用い、解析対象となるコース芯の輪郭線を描画した。コース芯の輪郭線を抽出したのち、専用のソフトウェアを用いて適応二値化処理を行い「適応二値化画像」を作成した。この際、コース芯内を一辺が 50 pixel (2.92 mm) の正方形に細分化し、移動幅を 10 pixel (0.58 mm) として各領域において二値化処理を行い、1 画素につき 125 個の閾値が得られた。なお、画像上のノイズを除去する目的で 30 pixel (0.10 mm²) 未満の微小な粒子は削除し、輪郭線から内側 5 pixel (0.29 mm) の範囲の脂肪領域は削除した。さらに、画像処理ソフトウェア (ImageMagick ; ImageMagick StudioLLC, Landenberg,

PA, USA) を用いて、従来法の画像処理過程で得られる収縮画像を適応二値化画像の上に重ね合わせ合成する処理を行った。なお、収縮画像とは従来法で二値化を行ったのち、脂肪交雑領域を 0.1 mm 収縮させた画像を指す。合成された画像を「新適応二値化画像」とし、BeefAnalyzer-G を用いて画像解析値を算出した。

4. BMS 区分推定法

本研究では、従属変数を格付 BMS, 説明変数候補を画像解析形質 5 形質とする重回帰分析を行い、従来法の画像解析値を用いて BMS を推定するための重回帰式を作成した。統計解析には、SAS の REG プロシジャを用い、変数選択のオプションとしてステップワイズ法を用いた。ステップワイズ法の 3 変数制限により、コース芯面積 (cm²), 脂肪面積割合 (%), あらさ指数の 3 形質が選択された。

これに対し、新適応二値化画像を用いた BMS 推定には、新たに BMS 区分推定法を用いた。脂肪面積割合 (0.1 刻み), あらさ指数 (3~33 : 6 区分) および新細かさ指数 (46~126 : 6 区分) を組み合わせ (図 1), 各区分における格付 BMS の平均値を算出し、推定 BMS 区分を作成した。この際、脂肪面積割合が大きく、あらさ指数が小さく、新細かさ指数が大きい組み合わせほど格付 BMS が高い傾向が見られたため、全体の流れに矛盾するものには微調整を行い「補正前 BMS」とした (表 1)。さらに、最大あらさ指数およびコース芯面積を用いて、補正前 BMS に対し補正を行った。各補正前 BMS において、格付の差が +1 となった個体の最大あらさ指数およびコース芯面積の平均値を基準値とし、「最大あらさ指数の基準値未満, かつコース芯面積の基準値以上」の場合にのみ補正前 BMS に対し

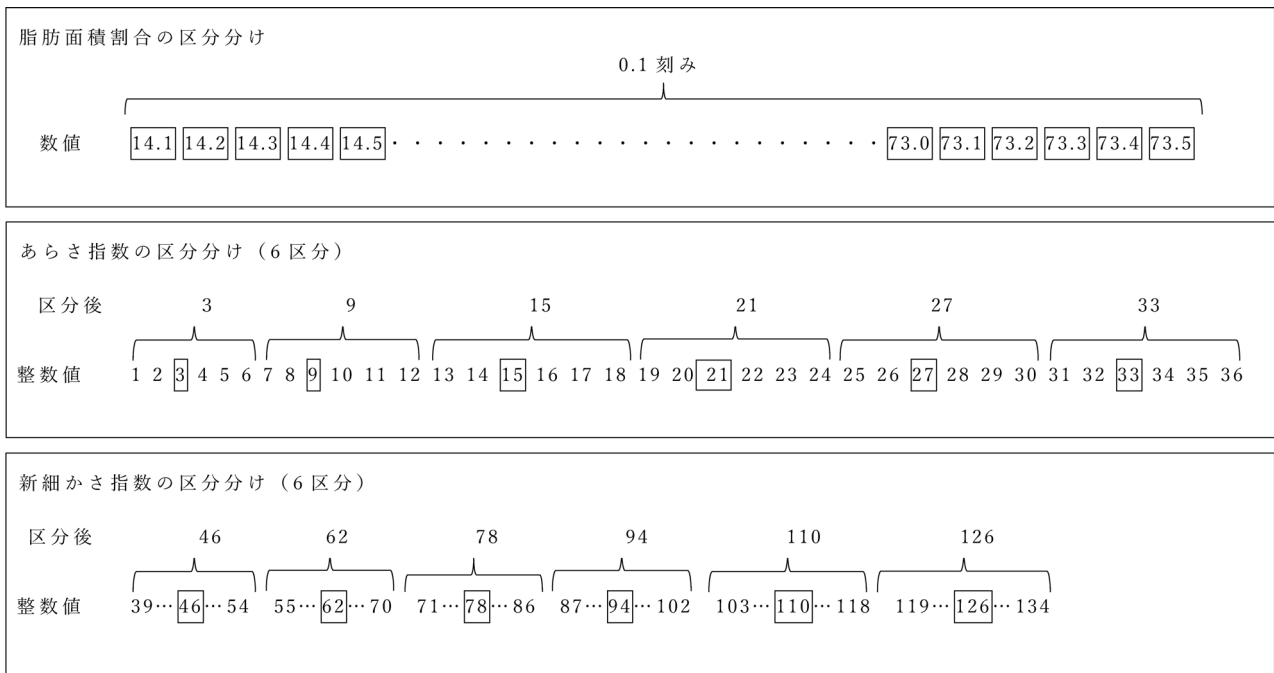


図 1 BMS 区分推定法における各形質の区分分け

-1 補正し、最終的な「推定 BMS」とした。なお補正前 BMS が 2 と推定された個体において、格付の差が +1 と なった個体が存在しなかったため補正は行わなかった。用

いた最大あらし指数およびロース芯面積の基準値を表 2 に示した。

結果および考察

適応二値化処理により図 2-a のような画像が得られ、この画像と収縮画像（図 2-b）と重ね合わせることで図 2-c のような新適応二値化画像が得られた。従来法ではロース芯全体を一つの閾値で二値化していたため、ロース芯内の肉色の極端な濃淡の違いや照明の影響を受け二値化に失敗する場合があった。しかしながら、新適応二値化では適応二値化処理により細かく二値化することができ、従来法で大きく過小評価されたロース芯の脂肪面積割合が適切に評価された（図 3）。また、適応二値化処理を用いることで、大きい脂肪交雑内の同一処理領域で脂肪色に濃淡の差が生じた場合、一部を筋肉として誤認識してしまい過剰な二値化が行われる場合があった。これは同一処理領域に明るさの異なる脂肪交雑粒子が存在した場合、片方の粒子を過大評価、過小評価してしまうためである（口田ら 1997）。しかしながら、新適応二値化処理で収縮画像を合成することで、大きい脂肪交雑内でも適切な二値化処理が可能になった（図 4）。

従来法と比較し新適応二値化により得られた脂肪面積割合が 5.0%以上変化した個体数は 227 頭であり、全体の 9.0%を占めた。これらのうちほとんどが、従来法で過小評価されたが新適応二値化で適切に二値化された個体であった。正しく評価された個体のうち脂肪面積割合が最も変化した個体では、従来法による評価値が 58.0%であったのに対し、新適応二値化処理では 69.0%となり 11.0%増加した。従来法と比較し新適応二値化により得られた脂肪面積割合が低くなった個体は 11 頭であったが、脂肪面積割合の減少は -0.04~-0.93% であり誤差の範囲内であると考えられる。しかしながら、一部の個体では脂肪面

表 1 BMS 区分の一例

脂肪面積割合 (%)	あらし指数 (%)	新細かさ指数	補正前 BMS
53.0	31~36	39~54	5
53.0	31~36	55~70	5
53.0	31~36	71~86	6
53.0	31~36	87~102	6
53.0	31~36	103~118	7
53.0	31~36	119~134	8
53.0	25~30	39~54	5
53.0	25~30	55~70	5
53.0	25~30	71~86	6
53.0	25~30	87~102	6
53.0	25~30	103~118	7
53.0	25~30	119~134	8

表 2 補正前 BMS ごとの最大あらし指数およびロース芯面積の基準値

補正前 BMS	最大あらし指数 (%)	ロース芯面積 (cm ²)
3	5.10	41.7
4	4.40	50.3
5	4.60	52.4
6	3.50	53.2
7	2.90	55.9
8	3.50	58.1
9	3.60	61.1
10	3.20	61.5
11	3.60	66.6
12	3.70	68.9

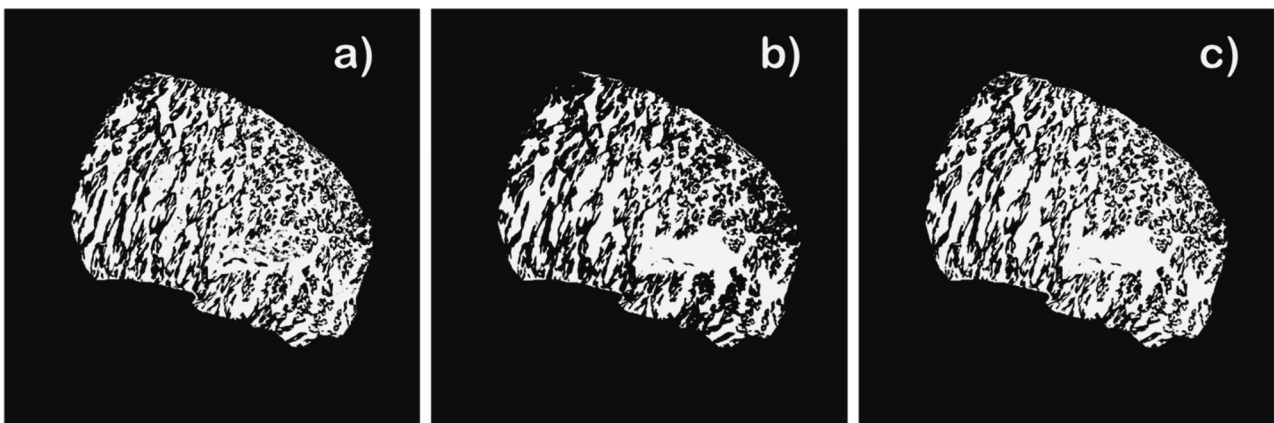


図 2 新適応二値化処理法

a-適応二値化（河田と南 1994）処理により作成された二値化画像

b-従来法（大津 1980）で二値化を行ったのち、脂肪交雑領域を 0.1 mm 収縮させた収縮画像

c-a および b を重ね合わせ作成した新適応二値化画像

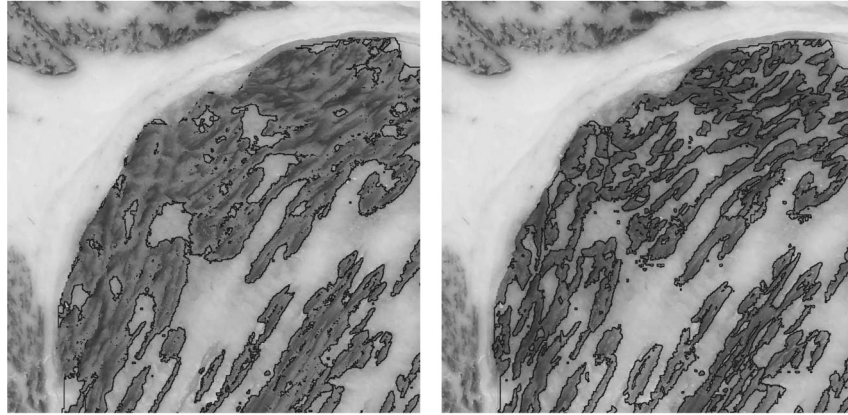


図 3 同一個体における二値化後の筋肉と脂肪の境界を示した画像（従来法（左）、新適応二値化（右））

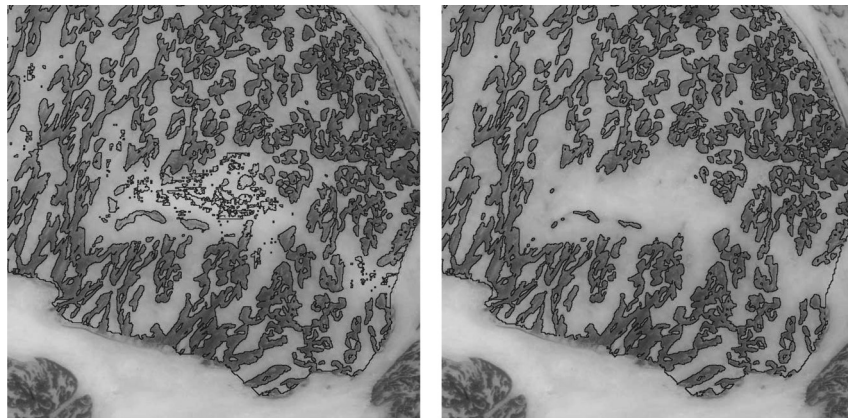


図 4 同一個体における二値化後の筋肉と脂肪の境界を示した画像（適応二値化（左）、新適応二値化（右））

積割合が増加し過大評価されたものも存在した。これらの個体の多くは脂肪交雑量が少ない乳用種や経産牛であり、筋肉部分に生じた照明の反射を脂肪交雑として誤認識してしまったため二値化に失敗した。このような二値化の失敗を防ぐため、撮影時に照明の反射が起きないように注意して撮影する必要があると考えられる。

従来法画像に対し BMS を推定した際に用いた重回帰式は下記の通りであった。

$$\begin{aligned} \text{従来法の推定 BMS} = & -4.68 + 0.0505 \times \text{ロース芯面積} \\ & + 0.195 \times \text{脂肪面積割合} \\ & + (-5.82) \times \text{あさ指指数} \end{aligned}$$

新適応二値化画像に対し BMS 区分推定法を用いて算出した時の格付の差が ± 1 以内の割合は 96.4% であり、従来法画像の ± 1 以内の割合 (86.0%) よりも大幅に改善された (表 3)。過去の報告 (白仁田ら 1999 ; Kuchida ら 1999 ; 口田ら 2000 ; 口田ら 2001 ; 長谷川ら 2003) において画像解析形質を用いて BMS を推定する場合、主に重回帰分析が用いられた。Kuchida ら (1999), 口田ら (2000) および長谷川ら (2003) の報告における格付の差

表 3 重回帰式により算出した従来法二値化画像における格付の差および BMS 区分推定法により算出した新適応二値化画像における格付の差の比較

格付の差	従来法		新適応二値化	
	個体数(頭)	割合 (%)	個体数(頭)	割合 (%)
-4	4	0.2	—	—
-3	38	1.5	—	—
-2	191	7.6	52	2.1
-1	447	17.8	553	22.0
0	980	39.1	1,360	54.2
1	729	29.1	506	20.2
2	112	4.5	37	1.5
3	7	0.3	—	—
総計	2,508	100.0	2,508	100.0

が ± 1 以内の割合は、それぞれ、91.5, 96.0 および 92.4% であり、本研究の結果は過去の報告より高い結果となった。また、口田ら (2001) が行った BMSNo. の推定においては、格付の差が ± 1 以内である割合は 97.0% と十

表 4 新適応二値化処理画像の画像解析値を BMS 区分推定法を用いて推定した格付の差が±1 以内の割合 (品種, 格付 BMS ごと)

格付 BMS	黒毛和種		交雑種		乳用種	
	個体数 (頭)	±1 以内割合 (%)	個体数 (頭)	±1 以内割合 (%)	個体数 (頭)	±1 以内割合 (%)
2	33	100.0	14	100.0	53	100.0
3	86	98.8	146	100.0	9	100.0
4	184	98.4	129	99.2	—	—
5	222	95.9	44	100.0	—	—
6	304	97.7	20	95.0	—	—
7	432	97.0	8	100.0	—	—
8	231	93.1	2	100.0	—	—
9	238	96.2	—	—	—	—
10	159	89.9	1	100.0	—	—
11	118	93.2	—	—	—	—
12	75	94.7	—	—	—	—
	2,082	95.9	364	99.5	62	100.0

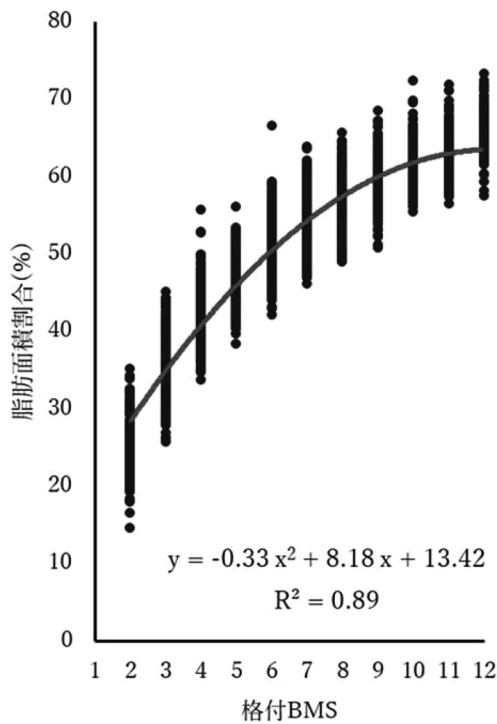


図 5 格付 BMS と脂肪面積割合との関係性

分に高い値であった。しかしながら、口田ら (2001) は画像解析形質 6 形質を用いて推定を行ったのに対し、本研究で用いられた画像解析形質は 3 形質であったことから、本研究の手法はより容易にかつ安定した推定が可能であることが示唆された。

品種, 格付 BMS ごとの格付の差が±1 以内の割合を表 4 に示した。品種別では、黒毛和種, 交雑種および乳用種において、それぞれ 95.9, 99.5, 100 % となり、乳用種が最も高かった。また、格付 BMS が高くなるにつれ格付

の差が±1 以内の割合が低くなる傾向が見られた。このことから、脂肪交雑量が多く細かい個体に対しては解析精度がわずかに低くなるものの、脂肪交雑量が少ない個体に対しては十分に精度が高くなることが示唆された。格付 BMS が高くなるにつれ格付の差が±1 以内の割合が低くなった原因として、格付 BMS が高くなるほど脂肪交雑粒子の形状が格付に与える影響が大きくなることが挙げられる。図 5 に格付 BMS と脂肪面積割合との関係性を示した。BMSNo. 1~8 においては BMS が高くなるにつれて脂肪面積割合が直線的に増加しているが、BMSNo. 9~12 においてはその傾向が弱くなった。すなわち、BMS を正確に推定するためには、格付 BMS に影響を及ぼす粒子の形状の変化に応じるためのより細かい区分を作成することが必要である。非常に細かい区分の脂肪面積割合 (14.1~73.5% : 0.1 刻み) と比較し、あらさ指数 (3~33 : 6 区分) および新細かさ指数 (46~126 : 6 区分) の区分はやや粗く、これをより細分化することで粒子の形状に対してより詳細な評価が可能になると考えられる。

以上より、新適応二値化処理および BMS 区分推定法を用いることで、画像解析による BMS 推定の精度が大幅に改善され、肉質に対してより高精度な客観的評価が可能になることが示唆された。今後、説明変数の区分を細分化しデータを充実させることで、さらに高精度な評価が可能になるだろう。

文 献

- 長谷川未央, 口田圭吾, 佃 秀雄, 加藤浩二, 鈴木三義, 三好俊三. 2003. 脂肪交雑粒子のあらさおよび胸最長筋の形状に関する画像解析値を用いた BMS ナンバーの推定. 日本畜産学会報 **75**, 53-60.
- 広岡博之, 松本道夫. 1998. わが国の牛枝肉市場における価格決定に関する要因. 農業経済研究 **69**, 229-235.

- 河田 聡, 南 茂夫. 1994. 科学計測のための画像データ処理 (パソコン/EWS 活用による画像計測 & 処理技術) 第 1 版. pp. 95-118. CQ 出版社, 東京.
- 口田圭吾. 2015. 牛肉の格付における小ザシの取り扱いと改良の可能性. 食肉の科学 **56**, 15-19.
- 口田圭吾, 金井俊夫. 2017. 食肉の脂肪交雑の評価法. 特許番号; 6032640.
- 口田圭吾, 加藤浩二, 鈴木三義, 三好俊三. 2000. 画像解析を用いた BMS ナンバー推定における頭および背半棘筋情報の利用. 日本畜産学会報 **71**, J305-J310.
- 口田圭吾, 栗原晃子, 鈴木三義, 三好俊三. 1997. 画像解析によるロース芯断面内脂肪割合の正確な算出法の開発. 日本畜産学会報 **68**, 853-859.
- 口田圭吾, 大沢剛史, 堀 武司, 小高仁重, 丸山 新. 2006. 画像解析による牛枝肉横断面の評価とその遺伝. 動物遺伝育種研究 **34**, 45-52.
- 口田圭吾, 鈴木三義, 三好俊三. 2001. 枝肉横断面撮影装置の開発と得られた画像を利用した BMS ナンバーの推定. 日本畜産学会報 **71**, J224-J231.
- Kuchida K, Tsuruta S, Van Vleck LD, Suzuki M, Miyoshi S. 1999. Prediction method of beef marbling standard number using parameters obtained from image analysis for beef ribeye. *Animal Science Journal* **73**, 107-112.
- 日本食肉格付協会. 2017. 牛枝肉取引規格の概要. (公社)日本食肉格付協会, 東京.
- 大津展之. 1980. 判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法. 電子通信学会論文誌 **J63-D**, 349-356.
- 岡本圭介, 口田圭吾, 加藤貴之, 鈴木三義, 三好俊三. 2003. 枝肉形質および画像解析形質が牛枝肉価格に与える影響. 日本畜産学会報 **74**, 475-482.
- 白仁田和彦, 林健一郎, 大坪昭文. 1999. 画像処理とニューラルネットワークによる牛枝肉の等級判定. 日本ファジィ学会誌 **11**, 1128-1134.
- 鈴木啓一, 横田祥子, 塩浦宏陽, 島津朋之, 飯田文子. 2013. 試食パネルによる黒毛和種牛肉の食味性に及ぼす肉質等級, 性と脂肪酸組成の影響の評価. 日本畜産学会報 **84**, 375-382.
- 高木幹夫, 下田陽久. 1991. 画像解析ハンドブック第 1 版. pp. 475-593. 東京大学出版会, 東京.