北海道産黒毛和種の死産に対する表型的要因および近交係数の影響

前田さくら¹・古川勇一²・米川 武²・口田圭吾¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 十勝池田町農業協同組合, 北海道池田町 083-0034

(2013. 10. 2 受付, 2013. 12. 3 受理)

要 約 黒毛和種の死産に影響を与える要因の調査を目的として、産子の近交係数やその他の環境要因が死産に影響を与えているか調査した。2009年1月から2012年2月までの北海道池田町における分娩記録2,878頭を用いて、ロジスティック回帰分析を行った。調査の結果、死産の平均発生率は2.12%と低い値であることがわかった。また双子分娩、産次、妊娠期間、近交係数が死産に影響を与えていた。特に、双子分娩では、単子分娩と比較した際のオッズ比が10.66と高い値を示し、死産に強く影響していると推察された。産次数では、3-4産目のクラスで死産のリスクが低かった（初産と比較した際のオッズ比0.28）。妊娠期間については、平均妊娠期間（289日）よりも11日以上妊娠期間が短いまたは長い時に死産のリスクが高くなった。また、産子の近交係数は15%以上になると死産のリスクが高くなることから、近交係数が15%以下となるような交配が望ましいと思われた。

日本畜産学会報 85 (1), 27-32, 2014

死産は産子および繁殖雌牛の死亡による収入の減少や、母体の損傷による繁殖性の低下を引き起こす。そのため、死産の発生を抑制することは個体の繁殖性および経済性の面から家畜において重要な課題である。特に黒毛和種では平均子牛価格が41万円/頭（農畜産業振興機構2013）と高額であることから、子牛の死亡による収入の減少は繁殖農家にとって大きな経済的損失となる。また家畜改良増殖目標（農林水産省2010）では1年1産を理想とした繁殖性向上のため、子牛生産指数を用いて黒毛和種の繁殖性に着目した改良を目標としている。しかし、流産および死産した繁殖雌牛では、空胎日数が長くなる傾向があり（岡野ら1984）、死産が起こることで繁殖サイクルに遅れが生じ、子牛生産指数を低くする要因となる。そのため、死産は黒毛和種の繁殖性向上という点においても重要な形質である。

黒毛和種とホルスタイン種との交雑種を用いた調査では、黒毛和種を交配したホルスタイン雌牛の初産分娩における死産率は1990年以降増加傾向にあり、2000年以降に誕生した黒毛和種雄牛では死産の危険性がやや高いと報告されており（北海道ホルスタイン農業協同組合2013）、黒毛和種産子においても死産の増加が懸念される。また、黒毛和種では集団の近交係数が上昇しており、遺伝的多様性の低下が問題視されている（徳永ら2011）、過度な近親交配は繁殖性を低下させることが知られており、死産率を高める要因となるかもしれない。しかし黒毛和種では、

先天異常（平賀ら1987）や出生時体重との関連性（小形ら1995）など死産した子牛に関する報告がある一方で、獣医学的観点からなされた症例報告にとどまり、大規模な黒毛和種産子の記録を用いた死産要因の検討は行われてこなかった。

そのため本研究では、黒毛和種の死産に影響を与える要因の発見を目的として、黒毛和種産子の分娩記録を用いて、産子の近交係数やその他の環境要因が死産に影響しているか調査した。

材料および方法

1. データ

十勝池田町農業協同組合が収集した2009年1月から2012年2月の黒毛和種分娩記録、（一社）北海道酪農畜産協会が集積した血統記録を用いた。収集した3,611頭の分娩記録のうち、受精卵移植による産子、産次数の記録が得られない産子、3代祖まで血統を遡ることができない産子、妊娠期間が3 σ 範囲外（ $\sigma = 6.83$ 日）の産子についてはデータセットから削除した。その結果、得られた2,878頭の分娩記録を分析に利用した。産子の近交係数は血統記録を5代祖まで遡り、inbhプログラム（増田2005）を用いて、SargolzaeiとIwaisaki（2005）の方法にしたがい算出した。近交係数の算出に使用した総個体数は9,273頭であった。また本研究においては、出生日に産子が死亡した場合を死産として定義して、1日以上生存した

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

個体はすべて通常分娩として扱い分析を行った。

2. 統計解析

各効果における死産のリスクを評価するために、ロジスティック回帰分析を行った。仮定したモデルは以下の通りである。

$$\eta = g(\mu) = \mathbf{Xb}, \quad g(\mu_i) = \log\left(\frac{\mu_i}{1-\mu_i}\right)$$

この時、 $\mathbf{b}$ は母数効果のベクトル、 $\mathbf{X}$ は母数効果に関連付ける計画行列、 $g(\mu_i)$ は $\mathbf{b}$ を推定するためのリンク関数であり、 μ_i は i 番目のクラスにおける死産確率を示している。母数効果は、分娩季節（4水準）、産子の性別（2水準）、双子分娩の有無（2水準）、母牛の産次数（6水準）、妊娠期間（7水準）、産子の近交係数（6水準）として、母数効果ごとにロジスティック回帰分析を行った。分娩の季節は、気象庁（2013）が公表している十勝地方池田地点の気象データを利用して、月の平均気温が 0°C 以下の月を冬（1-3月、12月）、 0°C 以上 10°C 未満の月を春（4、5月）または秋（10、11月）、 10°C 以上の月を夏（6-9月）として分類した。妊娠期間および産子の近交係数は、連続変数ではあるが、死産率の推移が線形ではないことから（図2、3）、各クラスが50以上の記録を持つようにクラス分けを行い、母数効果として扱った。それぞれの母数効果におけるクラス分けの詳細は表2に示した通りである。

各効果内における死産に対するリスクを比較するために、オッズ比を算出した。オッズはある事象が起きた確率（ π_i ）と起きなかった確率（ $1-\pi_i$ ）の比であり：

$$\text{odds} = \frac{\pi_i}{1-\pi_i}$$

2つの条件間でオッズの比をとった値がオッズ比となる：

$$\text{odds ratio}(A \text{ vs } B) = \frac{\frac{\pi_A}{1-\pi_A}}{\frac{\pi_B}{1-\pi_B}}$$

本研究では、オッズ比が1の時、2つのクラス間で死産の起こりやすさが同程度。オッズ比が1より大きい時、条件AにおいてBより死産が起こりやすい。反対にオッズ比が1より小さい時、条件BにおいてAより死産が起こりやすいことを意味している。

分析にはSASのLOGISTICプロシジャ（SAS 2009）を用い、各母数効果における水準間の有意差検定は、Bonferroni法により有意水準を補正して行った。

結 果

黒毛和種の平均死産率は2.12%であり、2009年の3.22%を最大として2012年まで死産の減少傾向が認められた（表1）。また初産分娩における死産率は3.42%と全体平均よりもやや高い値であった。過去の研究における黒毛和種の死産率は2.4%（岡野ら1984）と本研究の結果と同程度の値であった。また、ホルスタイン種の初産における死産率は約10%、交雑種で約5%（北海道ホルスタイン農業協同組合2013）と報告されており、黒毛和種は比較的死産の少ない品種であることが示された。

次に死産率ごとの農家数を図1に示した。死産が1度も起きていない農家が26軒ある一方で、死産率が5%以上と平均値を上回る農家も9軒存在した。このうち3軒は分娩記録の数が20頭未満と少ないために、1回の死産によって死産率が高くなっていたが、死産が繰り返し観察

Table 1 Phenotypic trend of stillbirth rate

Year	Number of calves		Stillbirth rate (%)
	Alive	Stillbirth	
2009	901	30	3.22
2010	928	18	1.90
2011	931	13	1.38
2012	57	0	0.00

Figure 1 Histogram of farm-frequency by stillbirth rate.

される農家（2～7 回）もあり、農家ごとの死産の発生率には差がみられた。

表 2 に各効果における死産に対するオッズ比を示した。分娩の季節に関しては、全てのクラス間でオッズ比に有意な差は無く、季節の効果は認められなかった。また産子の性別に関しても、死産に対するリスクは雌雄で同程度であった。単子分娩に対する双子分娩のオッズ比は 10.66 と高い値を示し、双子分娩では単子分娩と比較して死産が起こりやすい結果となった ($P < 0.05$)。産次の効果では、初産を基準とした際に、2 産目以降のクラスでは死産のリスクが低い傾向が見られたが、オッズ比が有意に 1 と異なったのは 3-4 産目のクラスのみであった ($P < 0.05$)。妊娠期間ごとの死産率の推移では、平均妊娠期間を含むクラス（287-291 日）の死産率が 1.19% と最も低く、278 日以下のクラスで 11.5% と最も高い値であった（図 2）。また、ロジスティック回帰分析の結果では、妊娠期間が 287-291 日クラスを基準とした際、278 日以下のクラス

と 300 日以上で死産のリスクが高く、平均妊娠期間（289 日）との差が大きくなるほど死産のリスクが高くなっていった。特に、妊娠期間が 278 日以下のオッズ比は 10.85 (vs 287-291 日) と最も高く、妊娠期間が短すぎる時、より死産が起こりやすくなる傾向が示された。本研究における産子の平均近交係数は 4.7% と低い値であったが、20%を超える産子も数頭存在していた。クラスごとの死産率の推移では、近交係数が 15% までは、ほぼ同程度の死産率であったが、15% 以上のクラスでは死産率が 6.78% と高くなった（図 3）。同様に、クラス間で死産の危険性に有意な差は認められなかったものの、近交係数が 15% 以上のクラスでは死産の危険性が高い傾向にあった（3% 以下のクラスを基準とした際のオッズ比 3.15）。

考 察

Mee (2008) は、乳牛の難産において、産子の出生時

Table 2 Nuber of obseervations (*n*), Odds ratios and adjusted 95% confidence intervals (CI) for stillbirth by each fixed effect

Fixed effect	Class	<i>n</i>	Odds ratio	Adjusted 95% CI
Season	Spring (4-5) ^{Ref}	559	1.00	-
	Summer (6-9)	1118	0.91	0.34-1.80
	Autumn (10-11)	373	0.64	1.94-2.09
	Winter (1-3, 12)	828	0.78	0.39-2.16
Sex	Male ^{Ref}	1515	1.00	-
	Female	1363	1.15	0.69-1.91
Condition of calf calved	Single ^{Ref}	2824	1.00 ^a	-
	Twin	54	10.66 ^b	4.95-22.95
Parity	1 ^{Ref}	380	1.00 ^b	-
	2	388	0.59 ^{ab}	0.18-1.92
	3-4	722	0.28 ^a	0.08-0.94
	5-6	556	0.73 ^{ab}	0.27-2.00
	7-8	405	0.94 ^b	0.34-2.62
	9-	427	0.40 ^{ab}	0.11-1.45
Gestation length (days)	≤ 278	52	10.85 ^b	2.78-42.35
	279-282	219	2.75 ^{ab}	0.78-9.61
	283-286	587	1.44 ^a	0.47-4.41
	287-291 ^{Ref}	1094	1.00 ^a	-
	292-295	636	1.60 ^a	0.55-4.64
	296-299	238	2.89 ^{ab}	0.87-9.62
	300 ≤	52	8.85 ^b	2.09-37.47
Inbreeding coefficient of calves (%)	F < 3 ^{Ref}	1151	1.00	-
	3 ≤ F < 6	1009	0.88	0.43-1.90
	6 ≤ F < 9	358	0.86	0.29-2.61
	9 ≤ F < 12	245	0.54	0.11-2.61
	12 ≤ F < 15	56	0.79	0.06-11.12
	15 ≤ F	59	3.15	0.76-13.13

^{Ref} Referent for odds ratio within effect

^{a, b} Significantly different within column of each effect ($P < 0.05$)

Figure 2 Stillbirth rate of each gestation length class.

Figure 3 Stillbirth rate for each class of inbreeding coefficient of calves.

体重と母牛の骨盤のサイズが影響していると報告しているが、黒毛和種の死産においても同様に、出生時体重など産子由来の要因と、母牛の繁殖能力など母牛由来の要因が考えられる。出生時体重に関して、小形ら（1995）は黒毛和種では、母体内における胎児の発育障害により産子の死亡率が高くなると報告しており、出生時体重が20 kg以下の時、産子の虚弱による死産や周産期死亡の危険性が高いことを指摘している。出生時体重を軽くする要因としては、まず妊娠期間の不足が挙げられる。ホルスタイン種において、平均妊娠期間との差が大きくなるにつれて子牛の周産期死亡が増え、特に妊娠期間が短い場合に、より死亡率が高くなると報告されており（小形 1995；Johanson と Berger 2003；Hansen ら 2004）、この傾向は本研究の結果と一致していた。本研究では、特に妊娠期間が278日以下のクラスで死産のリスクが高いことから、妊娠期間が平均（289日）より11日以上短い時は、胎児の発育が

不十分である可能性が高いと推察された。

母牛の産次も、産子の出生時体重に影響する要因である。品種にかかわらず、初産の死産率が高いことは、多くの研究で指摘されてきたが（Philipsson 1976a；McDermott ら 1990；Johanson と Berger 2003；Atashi ら 2012）、本研究においても初産における死産のリスクは高く、過去の研究と同様の傾向を示していた。Johanson と Berger（2003）はホルスタイン種において、初産の個体では、母牛の体重が経産牛と比較して平均132 kg 軽く、生まれた産子の出生時体重も3.5 kg 軽いことを報告しているが、初産では、母牛自体が成熟していないために、妊娠による母体への負荷が大きく、胎児の成長が不十分になるために、死産率が高くなると考えられる。本研究では、初産以降、3-4産目で最も死産のリスクが低くなった。これは母牛が成熟することで胎児が十分に発育できるようになったこと、初産で繁殖成績が悪い母牛が淘汰されたことが要因と

して考えられる。一方で、5-6産目からは死産のリスクが増加に転じていた。黒毛和種において加齢に伴う子宮内組織の異常や子宮萎縮が報告されており（山内 1964；岡野ら 1984）、このような加齢による繁殖能力の低下が死産の増加に影響しているのではないかと推察された。9産目以降のクラスでは再び死産のリスクが低下する傾向が見られた。これは繁殖能力の低下した雌牛が淘汰されていき、繁殖能力の高い雌牛が選択された結果であると考えられる。

Johanson と Berger (2003) はホルスタイン種において、小形ら (1995) とは逆に、産子の出生時体重が重いほど周産期死亡が増加すると指摘しており、産子の死亡率は出生時体重が 35 kg 以上でゆるやかに増加しはじめ、47 kg 以上になると急激に増加すると予測した。これは、産子の出生時体重が軽い場合、産子の未発達が原因で死産が引き起こされるが、産子の体重が重い場合、母体への負荷が大きく、分娩時の事故が増加するためである。本研究では妊娠期間が 300 日以上のに死産のリスクが増加していたが、これは分娩が平均 (289 日) より 11 日以上遅延した場合、母牛が産子の成長に耐え切れない可能性が高いことを意味している。

いくつかの研究では、産子が雄の場合に死産率が高くなると報告しているが (Philipsson 1976b；Ghavi Hossein-Zadeh ら 2008)、本研究では産子の性別間で死産のリスクに差は認められなかった。雄産子の死産が多くなるのは雄の出生時体重が雌よりも重いためだが、黒毛和種においても平均出生時体重は雄で 39.9 kg、雌で 29.9 kg とおよそ 10 kg の差が報告されている (農業・食肉産業技術総合研究機構 2008)。しかし、Johanson と Berger (2003) は出生時体重が 30 kg と 40 kg を比較した場合、周産期死亡率の差は 1% 未満であると予測していることから、黒毛和種では出生時体重が 40 kg 以下と比較的軽い品種であるため、性別が死産に影響しにくかったと考えられる。しかし、新しい年代の繁殖雌牛では枝肉重量の育種価が増加傾向にあり (Sasaki ら 2006；全国和牛登録協会 2012)、胸囲や体重の増加が改良目標とされていることから (農林水産省 2010)、黒毛和種の体型に関する改良がより進むことで、産子の性別が死産に与える影響が強くなる可能性がある。

産子が双子であった場合の死産率は、単子分娩と比べて非常に高い値であった。双子分娩では、妊娠期間が短くなり、単子分娩と比較して出生時体重は軽くなるが、母牛にかかる負担は大きいので、母牛と産子の両方の要因から死産率が急激に高くなる。本研究における双子の発生率は 1.87% と低い値だが、双子産子のうち 16.7% が死産、さらに 7.4% のペアでは両個体とも死産であったことから、双子分娩の減少は死産率の低下に効果的であると考えられる。ホルスタイン種では双子率の推定遺伝率 (0.18) および反復率 (0.19) から、双子に関する遺伝的改良が可

能であると報告されている (馬場ら 2012)。そのため、双子分娩を用いた繁殖雌牛の淘汰または選抜は死産を減少させる手段になると思われる。このように、出生時体重は軽すぎても重すぎても死産に強く影響を与えるため、胎児の発育状態の把握や出生時体重の記録は死産を減少させるための有益な情報となる。

近親交配は家畜を改良する上で有効な手段であるが、一方で重度の近親交配は、近交退化を起こすことが知られており (ファルコナー 1993)、黒毛和種においても近交係数と枝肉重量、日増体量との負の回帰が報告されている (内田と山岸 1993)。本研究の結果では、産子の近交係数が 15% 以上になる強い近親交配が行われたときに、死産のリスクが急激に高くなることから、目安として産子の近交係数が 15% 以下になるように交配することで、近親交配による死産の増加を防ぐことができると考えられた。

以上より、黒毛和種産子の死産には、双子分娩、妊娠期間、母牛の産次数および産子の近交係数が影響していた。これらの要因に留意することで、死産のリスクが高い分娩を回避または予測することが可能である。さらに死産に関する情報を今後も集積していくことは、死産を含めた黒毛和種の繁殖性向上に寄与するだろう。

文 献

- Atashi H, Zamiri MJ, Sayadnejad MB. 2012. The effect of maternal inbreeding on incidence of twinning, dystocia and stillbirth in Holstein cows of Iran. *Iranian Journal of Veterinary Research* **13**, 93-99.
- 馬場俊児, 金子 瞳, 増田 豊, 鈴木三義. 2012. 乳牛の双子率に対する表型および遺伝的要因. *日本畜産学会報* **83**, 125-132.
- ファルコナー DS. 1993. 量的遺伝学入門 (原書第 3 版). 田中善三, 野村哲郎 (訳). 蒼樹書房, 東京.
- Ghavi Hossein-Zadeh N, Nejati-Javaremi A, Miraei-Ashtiani SR, Kohram H. 2008. An Observational Analysis of Twin Births, Calf Stillbirth, Calf Sex Ratio, and Abortion in Iranian Holsteins. *Journal of Dairy Science* **91**, 4198-4205.
- Hansen M, Lund MS, Pedersen J, Christensen LG. 2004. Gestation length in Danish Holsteins has weak genetic associations with stillbirth, calving difficulty, and calf size. *Livestock Production Science* **94**, 23-33.
- 平賀武夫, 阿部光雄, 岩佐憲二. 1987. 過去 11 年間に北海道で観察されたウシの先天異常に関する形態学的研究. *酪農学園大学紀要* **12**, 257-268.
- 気象庁. 2013. 気象統計情報 [homepage on the Internet]. 気象庁, 東京; [cited 20 October 2013]. Available from URL : <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 北海道ホルスタイン農業協同組合. 2013. 北海道ホルスタイン農業協同組合 [homepage on the Internet]. 北海道ホルスタイン農業協同組合, 北海道. [cited 20 August 2013]. Available from URL : http://www.holstein.or.jp/hnac/kairyobv_review.pdf
- Johanson JM, Berger PJ. 2003. Birth Weight as a Predictor of Calving Ease and Perinatal Mortality in Holstein

- Cattle. *Journal of Dairy Science* **86**, 3745-3755.
- 増田 豊. 2005. 動物の遺伝・育種学と統計学 [homepage on the Internet]. 帯広畜産大学, 北海道. [cited 20 August 2013] Available from URL : http://www.obihiro.ac.jp/~suzukim/masuda/software_inbcoef.html
- McDermott JJ, Allen OB, Martin SW, Alves DM. 1990. Patterns of stillbirth and dystocia in Ontario cow-calf herds. *Canadian Journal of Veterinary Research* **56**, 47-55.
- Mee JF. 2008. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle : A review. *The Veterinary Journal* **176**, 93-101.
- 農畜産業振興機構. 2013. 独立行政法人農畜産業振興機構 [homepage on the Internet]. 農畜産業振興機構, 東京; [cited 7 August 2013]. Available from URL : http://www.alic.go.jp/n-koushi/niku03_000053.html
- 農業・食肉産業技術総合研究機構. 2008. 日本食肉使飼養標準肉用牛 (2008年版). pp. 194-197. 中央畜産会, 東京.
- 農林水産省. 2010. 家畜改良増殖目標. p. 11. 農林水産省, 東京.
- 小形芳美, 阿部浩之, 三澤 隆, 高橋浩吉, 伴 顕, 加藤敏英, 酒井淳一. 1995. 黒毛和種子牛における周産期脂肪の原因と出生時体重. *Journal of Reproduction and Development* **41**, 77-81.
- 岡野 彰, 島田和宏, 居在家義昭, 大石孝雄. 1984. 黒毛和種雌牛の生涯的な繁殖能力. *日本畜産学会報* **55**, 458-464.
- Philipsson J. 1976a. Studies on Calving Difficulty, Stillbirth and Associated Factors in Swedish Cattle Breeds. I. General Introduction and Breed Averages. *Acta Agriculturae Scandinavica* **26**, 151-164.
- Philipsson J. 1976b. Studies on Calving Difficulty, Stillbirth and Associated Factors in Swedish Cattle Breeds. II. Effects of Non-genetic Factors. *Acta Agriculturae Scandinavica* **26**, 165-174.
- Sargolzaei M, Iwaisaki H. 2005. Comparison of four direct algorithms for computing inbreeding coefficients. *Animal Science Journal* **76**, 401-406.
- SAS. 2009. *SAS/STAT (R) 9.2 User's Guide*, 2nd edn. pp. 3255-3474. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.
- Sasaki Y, Miyake T, Gaillard C, Oguni T, Matsumoto M, Ito M, Kurahara T, Sasae Y, Fujinaka K, Ohtagaki S, Dougo T. 2006. Comparison of genetic gains per year for carcass traits among breeding programs in the Japanese Brown and the Japanese Black cattle. *Journal of Animal Science* **84**, 317-323.
- 徳永忠昭, 下村麻衣, 石田孝史, 原田 宏. 2011. 黒毛和種繁殖雌牛集団における近交係数の年次推移と超音波測定による産肉形質の遺伝的趨勢. *日本暖地畜産学会報* **54**, 23-31.
- 内田 宏, 山岸敏宏. 1993. 黒毛和種の子牛市場成績, 体各部位測定値および肥育成績に及ぼす近親交配の影響. *日本畜産学会報* **64**, 819-825.
- 全国和牛登録協会. 2012. 育種価評価の現状. *和牛* **261**, 8-22.
- 山内昭二. 1964. 老牛の卵管および子宮の組織学的研究. *日本獣医学雑誌* **26**, 107-114.

Effects of phenotypic factors and inbreeding for stillbirth of Japanese Black Cattle in Hokkaido

Sakura MAEDA¹, Yuichi FURUKAWA², Takeshi YONEKAWA² and Keigo KUCHIDA¹

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

² Tokachi Ikeda-cho Agricultural Cooperatives, Ikeda, Hokkaido 083-0034, Japan

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

The purpose of this study was to investigate the effect of inbreeding and other phenotypic factor for stillbirth in Japanese Black cattle. We used 2,878 calving records from January 2009 to February 2012 in Hokkaido and their pedigree records. Analysis was conducted by logistic regression analysis with fixed effects (season, sex, twin, parity, gestation length, inbreeding coefficient of calf). Average stillbirth rate was 2.12%. From logistic regression analysis, twin, parity, gestation length and inbreeding affect stillbirth. Especially, odds ratio of twinning birth is high (vs. single birth is 10.66). For the effect of parity, class of 3th-4th parity is low risk of stillbirth (vs. 1st parity is 0.28). Risk of stillbirth become high when gestation length is less or more than 11 days from average (289 days). Also calves have over 15% inbreeding coefficient, stillbirth risk increase.

Nihon Chikusan Gakkaiho **85** (1), 27-32, 2014

Key words : inbreeding coefficient, Japanese Black cattle, stillbirth.