

黒毛和種の一卵性双子の話

はじめに

鳥取牧場を含め(独)家畜改良センターの肉用牛牧場では肉用牛の育種改良や調査試験を行っています。特に一卵性双子を人為的に作り、これを利用しての業務を進めています。そこで、主に黒毛和種の一卵性双子に関連して、鳥取牧場や他の家畜改良センターの牧場が行った調査研究結果あるいはいろいろな研究機関等から出されている報告などをこれまでこの HP 上に連載の形式で掲載してきました。今回、これらの連載をまとめて「黒毛和種の一卵性双子の話」として掲載することにしました。

(文責：業務課 小西一之。なお、一部コメントにつきましては著者の個人的意見が含まれていることをご容赦下さい)

(文中の赤字は注釈を示し、※○と<参考○>の一部は各段落の後にその説明を示しました。表○および写真○と<参考○>の多くは別に示す図表集にまとめ p.○としてそのページを示しました。青字の数字は最後に掲げる引用文献の番号を示します)

1. 双子の出現頻度と一卵性双子の作出方法

1-a. 双子の出現頻度

牛は人同様、本来 1 回の分娩で 1 頭の子牛を産みますが、まれに双子を産むことがあります。双子分娩の頻度は牛の品種によって若干異なると言われていています。ホルスタイン種を中心とする乳用種では分娩全体の 2-5%程度で、肉用種ではそれよりやや低いようです。肉用種である黒毛和種では 0.1%という報告があります(1)。この場合の双子は二卵性も一卵性も含めての数字です。乳用種の報告では一卵性双子は二卵性双子の 1/5-1/10 くらいとするものがあり、乳用種では一卵性双子の出現頻度は分娩全体の 0.1-0.5%と考えられます(2)。これをそのまま(1)の報告にあてはめると黒毛和種の一

卵性双子の自然状態での出現は 1 万回の分娩で 1 組程度であると考えられます。二卵性双子は通常の兄弟と一緒に生まれたという状態であり、2 頭の子牛は遺伝的に異なります。それに対し、一卵性双子は遺伝的には全く同じであるため、姿や能力も通常の兄弟以上に似通ってきます。このことにより一卵性双子は育種改良や調査試験に様々な利用が考えられます。これまで一卵性双子は自然状態での出現を待つのみでしたが、受精卵移植技術の開発により人為的に高い割合で得ることが可能になっています。

1-b-1. 一卵性双子の作り方 <1>

鳥取牧場など(独)家畜改良センターの肉用牛牧場では、一卵性双子を受精卵移植により人為的に作っています。その方法を簡単に説明します。

牛は普通 1 回の発情で 1 個排卵しますが、卵胞をたくさん作るホルモン(主に FSH：卵胞刺激ホルモン)などを投与して一度にたくさん排卵させます。この時、人工授精を行いません。人工授精をしてから 7 日目くらいに子宮を洗うと**受精卵(※1、写真 1 (p.1))**を得ることができます。この受精卵を顕微鏡下で微細な刃を用いて**2 等分(<参考 1>受精卵の切断 2 分離 (p.2)参照)**し、それを受卵牛(借り腹牛)に移植します。2 頭を受卵牛に**1/2 胚(※1)**ずつ(1 つの受精卵を 2 つに切ったうちの 1 つを 1/2 胚ということにします)移植する場合と**1/2 胚*2 個(2 つに切ったときの 1/2 胚を 2 つ、をこのように書くことにします)**を 1 頭を受卵牛に移植する場合があります(**図 1 (p.3)**)。生産率については、10 個の新鮮な良質受精卵を 2 分離して(1/2 胚*2 個が 10 組になります)、**図 1**のように移植しますと元気な一卵性双子が平均的に 1 組(約 10%)得られたとする報告**(3)**があります。また、鳥取牧場における最近 5 年間の成績を集計したところ、109 個の受精卵を切断 2 分離後**図 1**のように移植して元気な一卵性双子が 23 組(21.1%)得られています。

※1：受精卵は正式には胚といますが、一般には受精卵の方になじみがあると思いますので、この原稿では受精卵という言葉を中心に用いることにします。1/2 胚の時は胚という言葉を用いることにします。

1-b-2. 一卵性双子の作り方 <2>

(1-b-1)では現在行われている一般的な一卵性双子の作り方を述べましたが、体外受精の技術を用いて一卵性双子を作る試みもされています。

牛の体外受精では、食肉処理場で得られた卵巣の卵胞から未受精卵を取り出し(**※2**)、約 20 時間の成熟培養後、精子の入った溶液に入れ数時間培養し受精させます(これを媒精といいます)。その後、発生培地に移して、通常体外受精では 6-7 日間培養し胚盤胞と呼ばれる段階にまで発育させ、これを移植します。**(<参考 2> 体外受精技術 (p.4)参照)**

一卵性双子を作る場合は媒精後発育培地で 2-5 日間培養します。受精後 2-5 日目では細胞数は 2-16 個くらいになります(**※3**)。そこで、透明帯という受精卵の殻を除いた後、中の 2-16 個の細胞を細いピペットで吸ったり出したりして 1 個ずつバラバラにします(割球分離)。そのあとで、元が 8 個の細胞であったのなら 4 個ずつまとめて 3-4 日間培養すると(一卵性の)2 個の受精卵ができることとなります。この 2 個の受精卵を移植して一卵性双子を得ます(**図 2 (p.5)、図 2-2 (p.6)**)。

この方法を応用すると一卵性の受精卵が 3 個も 4 個もできる可能性(**<参考 3>一卵精多子生産のための割球分離 (p.7)参照**)もあります。これまでに一卵性 4 子の生産が報告されています(4)。

※2：牛は食肉処理場で食肉にされます。卵巣は内臓として扱われますが、一般的には食用としての価値はあまりありません。卵巣の表面にはたくさんの卵胞があります。卵胞 1 つに 1 個の未受精卵が

あり、これを吸い取るなどして体外受精に用います。

※3：生体ではこの時期（受精後 2-5 日目）の受精卵はまだ卵管にいて取り出すことが難しいのですが、体外受精ではシャーレの中で観察できます。生体では受精 6 日目以降なら受精卵は子宮まで下りてきていて比較的取り出しやすいのですが、細胞数が多くなりこのような処理（細胞をバラバラにした後再びまとめる）には不向きだと考えられます。

1-b-3. 一卵性双子の作り方 <3>

(1-b-2)の体外受精では食肉処理場から得られた卵巢が材料でしたが、OPU (Ovum Pick Up、卵子吸引)とよばれる方法で生きた牛から未受精卵を得ることもできるようになってきています(<参考 4>生体卵子吸引のための機材と実際 (p.8)参照)。OPU では超音波診断装置 (※4, 写真 2 (p.8)) のプローブ (※5, 写真 3,4 (p.8)) を腔内に挿入し、超音波の画像 (写真 5 (p.8)) を見ながら腔壁を通して吸引用の針で卵巢の卵胞から卵子 (未受精卵) を採取します (写真 6 (p.8))。1 回の処置で数個から 10 数個の未受精卵が得られ、この未受精卵を用いて(1-b-2)で述べた体外受精の方法で一卵性双子を作ります。鳥取牧場ではこの方法で一卵性双子が作出できています(5)。OPU は週に 1 回程度の割合で継続的に行うことができ、遺伝的に産肉能力が高く良い牛にもかかわらず、子宮等に異常があり子供が産めなくなった牛や(1-b-1)で述べた過剰排卵させるためのホルモンに反応しない牛などに適用しています。

※4：超音波を用いて(体や物体の)内部を調べる装置。人では妊娠診断や肝臓の検査など様々なことに使われています。牛でも専用の装置があり、生殖器などの検査や妊娠診断の他、生きたままでの肉質の診断にも用いられています。

※5：超音波診断装置にとりつける探索子。超音波を発信し、体の内部に当たり反射してくる超音波を受け取ります。用途により、形

状が異なり、今回の OPU では 40-50cm くらいの細長い形をしており、先端に超音波の発信・受信を行う部分に取り付けられています。また、OPU ではこのプローブに卵子吸引用の長い針が取り付けられています(写真 3,4)。

2. 一卵性双子の相似性について

一卵性双子は遺伝的に全く同一であるため、いろいろな点で非常に似ていると考えられます。牛でもこの非常に似ているということを前提に一卵性双子を利用しようと考えています。そこで、この相似性（似ているということ）について考えてみます。

2-a-1. 相似性 <1>

一卵性双子は遺伝的に全く同一ですので、顔や体型、発育性、肉質など様々な点で 2 頭は似ていると考えられます。しかし、飼養される状況が違えば結果は違ってくるのではないかと考えられます。人の指紋にたとえられる鼻紋やホルスタイン種の白黒の斑紋は一卵性双子でも全く同一とはいえず、生まれる前の母胎環境が影響しているといわれています。発育についても一方が病気にかかるなどすると異なってきます。従って、一卵性双子の相似性を利用しようとするならば、いかに飼養環境を揃えていくかが大切になります。例えば肥育試験に用いるのならば肥育開始まではできるだけ同一条件で飼養する必要があります。また、どの程度条件を揃えれば相似性が保たれるかということも重要になってきます。

2-a-2. 相似性 <2>

相似性—つまり似ているということはどういうことでしょうか。人でも顔が似ている、性格が似ているなどと言いますが、数字で表せないようなことは一般的に見る人によって感じ方が変わり、本当に似ているとしてもそれを客観的に証明することは難しそうで

す。

一卵性双子の外貌についてできるだけ数値化することにより相似性を調べたものがあります。**表 1-1 (p.9)**は黒毛和種一卵性双子 2頭について**体表の旋毛の状況(※6)**や体全体の外貌を数値化し、比較したものです。**表 1-2, 図 3 (p.10)**は頭部の各部位間の長さを月齢を追って測定したものです。**図 4 (p.10)**は鼻紋を比べたものです。1組だけの調査で何とも言えませんが、この双子組についての外貌は実物を見なくともこれらの数値から似ているように思われます**(6)**。

※6：ホルスタイン種では斑紋から外貌の特徴がわかりやすいものとなっています。しかし、黒毛和種は体表一面黒色ないしはやや黒褐色で、外貌から特徴がはっきりしません。そこで、これまでは顔面、目のまわり、うなじ、胸部の背線（背骨）にできる旋毛（つむじ）について、それぞれの場所のどのあたりにあるか、いくつあるかを調べ特徴としてきました。なお、生物的な特徴とは離れますが、現在では牛の特徴は主に耳標として装着される個体識別番号が用いられています。

2-a-3. 相似性<3>

一卵性双子については遺伝的に全く同一ですので、元来顔にしても発育などにしても似ていて当然と考えてしまいます。一卵性双子を誕生から同じ牛群で育て、疾病なども無かった場合、体重や体高は同じように増加していくでしょう。このようなとき、この 2頭だけを取り上げて一卵性双子は相似性がある、と言ってしまいそうです。確かに似ているでしょうが、健康に育てば体重や体高は個体によって極端に差が出ることは少ないので、同じ牛群の同じような時期に生まれた任意の 2頭の発育を比べてみてもやはり一卵性双子と同じような増加をしている場合も多いのではないのでしょうか。

発育など数値で表されるものについて一卵性双子内で相似性があるということを正確に調べるために次のような統計学上の方法が

考えられます。

多くの一卵性双子を用意して、例えば体重ならば、双子組内—つまり双子 2 頭間の体重差（双子組内の差）と、双子組間の差（他の双子組との差）を求め、体重差のバラツキの程度が双子組内の差の方が双子組間の差よりも統計的に有意に小さければ一卵性双子に相似性がある（つまり双子同士は他の個体より似ている）とすることができるという方法です。このことについては約 50 年前にニュージーランドで試験がなされ、乳量や乳成分、発育などをはじめとして多くの形質について乳用牛や肉用牛の一卵性双子でどの程度似ているかが調べられています(7)。(なお、最近これらの報告の一部が訳されて紹介されています。〔「一卵性双子の相似性調査」畜産技術協会、2000 年、(7-2)〕

われわれも鳥取牧場で作成した多くの黒毛和種一卵性双子を用いて生時体重(45組)や発育(24組)について一卵性双子の相似性を調べています(8)。

2-a-4-1. 相似性<4>

(2-a-3)では一卵性双子の相似性—つまり似ているということ—は何組かの双子を用いれば統計的に示すことができると述べました。この他に、次のような方法でもいえるのではないかと思います。例えば、日本人では身長が 2m という人はかなり少ないと思われまます。仮に通常環境で同じように育てられた同じ年齢の二人の身長をみると、二人とも 2m である確率はかなり低いと思われまます。この二人が一卵性双子であるとしたらこの高い身長は遺伝的な部分が大いと考えられるのではないのでしょうか。この場合、何組もの双子を揃えなくとも身長は遺伝的な影響を受けると考えても良さそうです。しかし、これが 2m ではなく 1m70cm ならば遺伝的なものかどうかは？ということになりそうです。このような考え方をもとに受精卵移植で行う過剰排卵処理(1-b-1 参照)の反応性についての相似性を調べました。

2-a-4-2. 相似性<5>

牛では繁殖に関する形質は一般的に遺伝率が低いといわれています。これは、繁殖に関する形質は初回種付月齢、分娩間隔など長い期間観察されたあとに結果が出てくるものが多く、そのため飼養環境の影響を受けやすいためとも思われます。

牛の受精卵移植では、受精卵を採取するにあたり過剰排卵処理(※7)を行い、発情後人工授精を施し約7日目に子宮を洗うことにより受精卵を得ます。過剰排卵処理を行う牛の月齢や状態、飼養管理、ホルモンの量や投与方法、子宮を洗う術者の技術など様々な要因が絡み、排卵数・採取される受精卵の数・受精卵の質は過剰排卵処理して子宮を洗うたびに異なり、遺伝的な要因がどの程度関与するのかわかりませんでした。そこで、一卵性双子を用いて試験をしてみました。

一卵性双子3組を用いて、生まれてから過剰排卵処理ができる月齢まで同じ牛群で飼養し、過剰排卵処理の開始時期や方法、採卵日、子宮を洗う術者まで3組とも同じにし、採卵成績を調べました。

一卵性双子3組を用いた過剰排卵処理(2回分)の結果を表2(p.11)に示します(9)。3組いずれも回収卵数、正常胚数とも双子同士では同じような成績であることがわかります。この頃の我々の牧場において黒毛和種の過剰排卵処理では一般的に回収卵数、正常胚数が20個あるいは15個以上となるのは全体の5%以下となるのがわかっていましたので、(2-a-4-1)の考え方に沿えば、例えばC組(1回目)の2頭でともに回収卵数30個と23個、正常胚数も19個と18個という成績からみて、過剰排卵処理による反応には遺伝的要因がかなり影響すると考えてもよいのではないのでしょうか。このように、一卵性双子を用いることにより遺伝的要因を調べることができるのではないかと思われます。

※7: 牛は通常1回の発情で1個の卵子を排卵します。過剰排卵処

理では、卵巣から多くの卵子を排卵させるためのホルモン剤と人為的に発情を促すホルモン剤を投与します。

3. 繁殖に関する試験

3-a-1. 繁殖に関する試験<1>

(2-a-5)では牛の過剰排卵処理による受精卵の数や質には遺伝的要因がかなり影響するらしいということを示しました。では過剰排卵処理による受精卵の数や質を飼養管理により向上させることはできないでしょうか。

一卵性双子を試験区と対照区に分け(3組使用)、試験区には**脂肪酸カルシウム(※8)**というサプリメントを与え、対照区では与えないことにしました。脂肪酸カルシウムを与える試験区の牛では血中のコレステロール濃度が対照区の倍以上に上昇しますので、体内のエネルギーバランスがかなり変わると考え、過剰排卵処理成績の向上を期待しました。しかし、結果として過剰排卵処理成績は試験区も対照区もほとんど変わりませんでした(**表 3 (p.12)**)(10)。少なくとも脂肪酸カルシウムはサプリメントとして与えても個体が持つ過剰排卵処理に対する遺伝的な特性を変えられなかったこととなります。

※8：牛は人が栄養として利用できない草などを第一胃で微生物の助けを借りて消化吸収します。その一方、人が利用できる脂肪酸などエネルギー価値の高い栄養分も、第一胃に入ると微生物に分解され期待したエネルギーが得られません。そこで、カルシウムでコーティングし第一胃の微生物の作用を受けないようにして第4胃や腸で消化吸収できるようにした脂肪酸カルシウムなどのサプリメントが登場しています。

なお、この試験では個体を対象に単一のサプリメントを添加するだけのものでしたが、代謝プロファイルテストを取り入れて牛群

全体を対象に総合的な飼養管理（栄養管理）を行うことにより過剰排卵処理成績や移植成績などの繁殖成績が改善できることが報告されています(11,11-2~5)。

3-a-2. 繁殖に関する試験<2>

一卵性双子を用いた繁殖に関する興味ある試験があります。

雌の一卵性双子4組を用いて、双子の一方を肥育し、もう一方を繁殖牛として飼養します。当然のことながら肥育する方は繁殖牛とした方よりかなり多くの餌を食べ続けることになり、両者の飼養環境は全く別のものになります。10数カ月齢頃から肥育牛とした方も繁殖牛とした方も同じように(1-b-3)で述べたような OPU を週1回の割合で継続的に行い、採取した未受精卵は体外受精を行いました。試験前の予想は大量の餌を食べる肥育牛の方が採取できる卵子数が少なく、卵子の質も悪く、従って体外受精の成績は劣るだろうと考えていました。ところが結果は、OPU で採取される未受精卵数も体外受精の成績も同一の双子組内ではあまり変わりませんでした。その一方で双子組間では差がみられるものがあるという結果でした。遺伝的な影響の強さを考えさせられるものでした(表 4-1~2 (p.13)) (12,12-2)。同様に卵子や受精卵、体外受精に対しての遺伝的要因を示唆する報告を※9 に示します。

※9: OPU について、Heyman ら (2003) (12-3) は受精卵クローン牛において、同一胚細胞由来の受精卵クローン牛群と人工授精で生産された対照群の間には、採取される卵子の数や質、OPU 後の体外受精成績に差はないが、ばらつきの程度には有意な差がみられる場合があると報告しています。Machado ら (2006) (12-4) は OPU について、9組の一卵性双子を用いて調べ、採取卵子数において双子組内の差より双子組間が大きいことを示し、採取した卵子の質、体外受精後の胚盤胞発生率においても双子の斉一性がみられ、こ

これらの項目に遺伝的な要因の影響があることを示唆しています。小西ら(2011)(12-5)は同一胚細胞由来の体細胞クローン牛 5 頭と人工授精で生まれた対照牛 7 頭について過剰排卵処理成績や過剰排卵処理時の発情の状況などを調べ、体細胞クローン牛で相似性が高いことを報告しています。

これらの報告や今回の結果(表 4-1~2)は、同一ドナー細胞由来のクローン牛や一卵性双子の過剰排卵処理成績や OPU 成績は斉一性が高いことを示し、これらの繁殖形質では遺伝的要因が大きいことが考えられます。

4. 一卵性双子と肥育

4-a. はじめに

肥育試験における一卵性双子の利用について考えてみます。黒毛和種は肉用種で、牛肉の柔らかさやおいしさと関係の深い脂肪交雑が世界の牛の中でもよく入る品種とされており日本が世界に誇る牛です。しかし、黒毛和種だからといってどんな飼い方をしても脂肪交雑が入るわけではなく、繁殖農家、肥育農家の適切な飼養によってはじめて品種としての遺伝的特性が生きてきます。一般的に黒毛和種では肥育開始は 8-10 カ月齢から、肥育終了・屠殺は 28-32 カ月齢くらいです。できれば 25 カ月齢くらいで終了し、もっと少ないコストで仕上げ生産性を上げたいところです。肥育中は粗飼料と濃厚飼料の給与割合を肥育時期によって変える、など様々な工夫をして肉質および肉量の向上をはかろうとしています。このような肥育方法の試験を行うには一卵性双子が最適の材料となります。一般に脂肪交雑や増体は遺伝的な影響が大きいため、肥育試験を行う場合はできるだけ血統を揃えた試験牛群をつくる必要があります。一卵性双子の 2 頭は遺伝的には全く同一ですので、血統の影響を考えずに比較試験を行えます。

比較試験をみる前に、遺伝的に全く同一の一卵性双子を同じ条

件で飼養あるいは肥育した場合、増体や枝肉成績は同じになるかを見たいと思います。

4-b-1. 肥育成績の相似性<1>

一卵性双子を同じ条件で飼養あるいは肥育した場合の増体や枝肉成績についての相似性調査の事例を示します。

表 5 (p.14)は鳥取牧場で行った一卵性双子 3組を用いた肥育における相似性調査の結果です。肥育期間の DG (1日あたり増体量) や胸最長筋の粗脂肪含量など多くの測定項目において双子組内(双子同士)では差が小さく、成績は似ていると思われま**す(13)**。表 5 を含め肥育成績では枝肉格付成績が示されています。これについて**<参考 5>**で説明します。

<参考 5>用語の説明 (枝肉と枝肉格付)

枝肉：牛を屠畜・放血後、頭と四肢の先端（人の指の部分）と尾を除き、皮をはぎ内蔵を取り除いた状態のものをいいます。この後、脊柱を中央部で縦断して 2 分割したものを半丸と**いいます (写真 7 (p.15)参照)**。右半丸と左半丸で 1 頭分です。一般的な方法で肥育された黒毛和種（去勢）の枝肉重量は平均的には生体時重量の 62-63%とみられます。

枝肉格付：枝肉を肉量と肉質の両面からランク付けを行ないま**す。**

牛では通常 13 本の肋骨がありますが、左半丸の首の方から数えて 6 番目と 7 番目の肋骨の間を椎骨(背骨)の方に水平に切り開くと**写真 8 (p.15)**のような切開面が現れます**(写真 7 も参照)**。この切開面にあるロース芯(胸最長筋)の面積**(写真 8 の A)**、皮下脂肪の厚さ**(写真 8 の B)**、バラの厚さ**(写真 8 の C)**を測定し、これらと枝肉重量をもとに、この枝肉から実際にどのくらいの部分肉(枝肉から骨、腎臓脂肪や余分な皮下脂肪、腱などを除

いたもの)量がとれるかを推定します(歩留基準値)。肉量の格付は歩留基準値をもとに A,B,C の 3 段階に分けます。また、ロース芯をみて**脂肪交雑(BMS)**、**肉色(BCS)**、**脂肪の色(BFC)**などを評価し肉質の格付けを行います。

脂肪交雑(BMS: Beef Marbling Score)：脂肪交雑(さし)の程度を 12 段階に分け(基準となる写真が示されています)これをもとに評価します。日本格付協会が行う脂肪交雑の表記は 1 から 12 までの数値で表し、12 が最高です。全和が行う格付(脂肪交雑基準値)も 12 段階に分け 5 が最高です。日格協表記と対応させて表すと下記のようになります。全和表記で計算する場合は 3-:2.67, 2+:2.33 のように直して計算します。

上段が日格協表記 下段が全和表記

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
5	4	3	3-	2+	2	2-	1+	1	1-	0+	0

肉色(BCS)、**脂肪の色(BFC)**：いずれも色の薄い方から濃い方へ 1 から 7 の 7 段階で表します。肉色では 3 から 5、脂肪の色は 1 から 4 が良いとされています。

肉質の格付けは脂肪交雑や肉の色沢など 4 項目の評価をもとにして最終的には 1 から 5 の 5 段階評価をします。肉量も肉質も最優良とされた枝肉は A-5 と格付けされることとなります。

4-b-2. 肥育成績の相似性<2>

引き続き一卵性双子を同じ条件で肥育した場合の増体や枝肉成績についての事例を示します。

表 6-1 (p.16)は十勝牧場で行われた一卵性双子 1 組およびこの双子と同時期に生まれた全兄弟(両親とも双子と同じ)1 頭を同一条件下で肥育した結果です。どの測定項目についても双子同士はよく

似ていると思われませんが、全兄弟牛と双子とではいくつかの測定項目で違いが大きく、特に脂肪交雑についてはかなりの差がみられています。(14)

表 6-2 (p.16)は鹿児島県畜試で行われた、去勢した一卵性双子 2 組を 13-27(26)カ月齢の間同一条件下で肥育したときの成績です(15)。一般的な増体や枝肉成績だけでなく、理化学的分析による胸最張筋の粗脂肪含量や脂肪各部の融点も双子組内の 2 頭では 2 組ともよく似ています。

表 6-3 (p.16)は香川県畜試で行われた、去勢した一卵性双子を 13-36 カ月齢の間同一条件下で肥育したときの成績です(16)。肥育終了時の体重はやや異なるものの、枝肉成績はよく似ていると考えられました。また、表には示していませんが、肥育終了後の体高や各部測尺値もよく似ています。

(4-b-1)と**表 6-1~3**の例からみて、一卵性双子を同一条件下で肥育した場合、枝肉成績はどの項目についてもよく似ると考えられます。

4-b-3. 肥育成績の相似性<3>

(4-b-1)と(4-b-2)では一般的な肥育と同様の若齢時から(去勢および)肥育した双子の相似性を調べましたが、雄で去勢しなかった場合の枝肉成績あるいは比較的高月齢で去勢した場合の事例を示します。

表 7-1 (p.17)は雄の一卵性双子 2 頭を発育や直接検定等の相似性を調べた後、2 頭とも去勢せずに 27 カ月齢まで同一条件下で飼養し、屠殺したときの枝肉成績を示したものです(6)。どの測定項目も極めてよく似ていたと考えられます。

表 7-2 (p.17)は同じく雄の一卵性双子 1 組について直接検定等の相似性を調べた後、一方は直ちに(12 カ月齢)去勢し 12 カ月間の肥育を行い 24 カ月齢で屠殺、もう一方は 17 カ月齢まで雄として飼養した後去勢、12 カ月間の肥育を行い 29 カ月齢で屠殺したとき

の肥育成績を示したものです。屠殺月齢などが異なりますので、肉量などはやや異なっていますが、両方とも脂肪交雑(BMS)は似ていると思われま (17)。

4-c-1. 肥育試験<1>：濃厚飼料の違い(その1)

ここからは、一卵性双子を用いた肥育試験をみていきます。

香川県畜試が1組の一卵性双子(去勢)を用いて、肥育後期に給与する濃厚飼料の違いが肥育結果に与える影響を調べています(18)。13カ月齢から肥育をはじめ肥育前期(189日間)までは2頭とも同一の飼養法で管理し、その後一方は圧ペンとうもろこし主体の濃厚飼料を、もう一方は圧ペン大麦主体の濃厚飼料を肥育終了までの275日間給与しました。各濃厚飼料のDM・DCPはほぼ同じ、TDNは74%と73%に調整されました。肥育前期も後期も濃厚飼料・粗飼料とも摂取量は両区ともほぼ同じでありました。肥育結果を表8(p.18)に示します。

皮下脂肪の厚さと肉色でやや差がみられたようでしたが、ほとんどの項目で給与飼料の影響はみられなかったようです。

4-c-2. 肥育試験<2>：濃厚飼料の違い(その2)

鳥取牧場において、2組の一卵性双子(去勢)を用い、濃厚飼料の違いが肥育結果にどのように影響するか調べました。各双子組とも肥育開始・終了および管理方法は同じ、粗飼料も同一のものを給与しましたが、濃厚飼料を一方はX社、もう一方にはY社のものを使い、それぞれの会社が推奨する方法で給与しました。その結果を表9(p.19)に示しました。X社の方が2組の双子ともBMS No.(脂肪交雑)は1ずつよく、枝肉重量はA組ではX社の方が良かったのですが、B組では2頭とも変わりませんでした。肥育期間中に血中ビタミンA濃度を測定していますが、両組ともX社の方が低く、この影響が脂肪交雑に影響したのではないかと考えられました。(肥育とビタミンAの関係については次の項で触れます) この試験では少

なくとも脂肪交雑についてはX社の方がやや優れると考えられますが、試験牛が一卵性双子でないならばもっと多くの頭数を用いなければ説得力のある結論が得られないのではないかと思います。（鳥取牧場、未発表）

次に一卵性双子を用いて家畜改良センターと数県の畜産試験場が共同で行った肥育試験がありますので紹介します。

4-d-1. 肥育試験<3>：ビタミンAの給与制限(その1)

肥育中のビタミンA給与を抑えることにより脂肪交雑が入るのではないかとわれていましたが、その方法が確立されておらず、いたずらにビタミンA欠乏症が頻発し、視覚障害や肉が水腫状になり商品価値がなくなるなどの問題が出ていました。それで一卵性双子を用いて本当にビタミンAの給与抑制で脂肪交雑が改善されるか、その他の形質にどんな変化があるのか、ビタミンA欠乏症が起りやすい時期や収益性はどうか、などについての試験を家畜改良センター(NLBC)と数県の畜産試験場が共同で行ないました。

1回目の試験では全部で5組の一卵性双子と6組の全兄弟(両親が同じ)が用いられました。肥育開始は10カ月齢、終了は27カ月齢としました。試験方法はビタミンA制限区と対照区に分け、ビタミンA制限区は肥育開始の10カ月齢から21カ月齢までビタミンA無添加、22カ月齢から肥育終了の27カ月齢までビタミンAは飼養標準の半分量を給与しました。対照区は肥育全期間にわたりビタミンAを飼養標準の半分量を給与しました。

一卵性双子を用いた試験の結果を表10(p.20)に示します。去勢ではビタミンA給与を抑えることにより脂肪交雑はBMS No.で0から4ポイント改善し、その効果があることがわかりました(全兄弟まで含めたBMS No.は制限区 6.3 ± 1.8 、対照区 4.5 ± 1.6)。一日あたり増体量(DG)については一卵性双子のみをみると、ビタミンA制限区と対照区にあまり違いはみられませんでした。全兄弟組まで含めるとビタミンA制限区($0.77 \pm 0.09\text{kg/日}$)では対照区($0.84 \pm$

0.09kg/日)に比べ増体は劣ることがわかりました(19)。

4-d-2. 肥育試験<4>：ビタミンAの給与制限(その2)

共同試験の2回目では全部で8組の一卵性双子と6組の全兄弟が用いられました。肥育開始は7カ月齢、終了は24カ月齢としました。試験方法はビタミンA制限区と対照区に分け、ビタミンA制限区は肥育中期の13カ月齢から21カ月齢までをビタミンA無添加とし、7カ月齢から12カ月齢と22月齢から肥育終了の24カ月齢まではビタミンAを飼養標準の半分量を給与しました。対照区は肥育全期間にわたりビタミンAを飼養標準の半分量を給与しました。

一卵性双子を用いた試験の結果を表11(p.21)に示します。去勢ではビタミンA給与を抑えることにより脂肪交雑はBMS No.で0から2ポイント改善し(全兄弟まで含めたBMS No.は制限区 5.7 ± 2.8 、対照区 4.6 ± 2.6)、一日あたり増体量(DG)については対照区がビタミンA制限区より良好でした(全兄弟まで含めたDGは制限区 $0.80 \pm 0.11\text{kg/日}$ 、対照区 $0.89 \pm 0.12\text{kg/日}$) (20)。

4-d-3. 肥育試験<5>：給与飼料の比較(その1)

共同試験の3回目としてビタミンAの給与制限下で2つの試験が組まれました。

1. 肥育前期高蛋白給与の影響

雌の一卵性双子4組と去勢の全兄弟7組(うち6組は双子であるが、二卵性と思われる)が用いられました。肥育開始は7カ月齢、終了は24カ月齢としました。試験方法は各組を高蛋白区と対照区に分け、高蛋白区は7カ月齢から12カ月齢までDCP15%の濃厚飼料を、対照区はDCP11.3%の濃厚飼料を給与しました。13カ月齢から肥育終了の24カ月齢までは両区とも同一の飼養方法とし、ビタミンAは両区とも13-21カ月齢の間は無添加、その他の肥育期間は飼養標準の50%としました。一卵性双子を用いた試験の結果を表12

(p.22)に示します。一日あたり増体量(DG)、脂肪交雑とも一定の傾向が見られず高蛋白区と対照区でほとんど変わりませんでした（全兄弟まで含めた DG は高蛋白区、対照区とも $0.85 \pm 0.10 \text{kg/日}$ 、BMS No.は高蛋白区 6.9 ± 1.8 、対照区 7.0 ± 2.0) (21)。

4-d-4. 肥育試験<6>：給与飼料の比較(その2)

2. 肥育中後期高デンプン給与の影響

一卵性双子4組と全兄弟4組が用いられました。肥育開始は7カ月齢、終了は24カ月齢としました。試験方法は各双子を高デンプン区と低デンプン区に分け、7カ月齢から12カ月齢までは同一の飼養方法とし、13カ月齢から肥育終了の24カ月齢までは高デンプン区においてデンプン含量54.9%の濃厚飼料を給与し、低デンプン区はデンプン含量48.8%の濃厚飼料を給与しました。ビタミンAは両区とも13-21カ月齢の間は無添加、その他の肥育期間は飼養標準の50%としました。

一卵性双子を用いた試験の結果を表13(p.23)に示します。一日あたり増体量(DG)は高デンプン区でやや優れていましたが、脂肪交雑では一定の傾向が見えずほとんど変わりません（全兄弟まで含めた DG は高デンプン区 $0.88 \pm 0.05 \text{kg/日}$ 、低デンプン区 $0.82 \pm 0.10 \text{kg/日}$ 、BMS No.は高デンプン区 4.5 ± 1.8 、低デンプン区 4.8 ± 1.8) (21)。

4-d-1～4-d-4では一卵性双子を用いたビタミンAの制限下の肥育試験を紹介しました。ビタミンAの制限は脂肪交雑や増体に影響を与えるようですが、その方法により結果が異なるようです。また、ビタミンA制限の程度が同じならば給与飼料の蛋白質、デンプン含量を変化させても脂肪交雑の程度を簡単に変えることは難しいように思われます。

4-e-1. 肥育試験<7>：肥育方法の違い

肥育期間も給与飼料も異なる2つの肥育場所で肥育した試験

があります。

一卵性双子を4組用い、各双子を甲、乙2つの肥育場所に分け、甲では8.3-9.0カ月齢から72週間肥育を行いました(屠殺月齢は24.8-25.5カ月齢)。乙では7.3-10.4カ月齢から肥育を開始し、個体により肥育期間は異なりますが、屠殺月齢は28.0-29.4カ月齢でした。甲は濃厚飼料の自動給餌システムもある肥育検定施設で、全国和牛登録協会が定める間接検定用飼料を肥育前期はやや制限給餌し、中期から肥育終了までは飽食させました。乾草は全期間飽食させました。乙は一般的な民間肥育施設で、その施設での慣行的な方法により肥育が行われ、肥育前期が粗飼料多給、その後は濃厚飼料多給と考えられ、用いられた濃厚飼料・粗飼料はともに一般的な肥育に用いられるものでした。

結果を表14 (p.24)に示します。屠殺月齢や肥育期間が異なることもあって、枝肉重量は乙で大きくなる傾向がありますが、脂肪交雑はほとんど変わりませんでした。表14で示した枝肉形質のどの項目についても統計的には有意な差は認められませんでした(22, 22-2)。

これまでみた肥育における一卵性双子の相似性やいくつかの肥育試験から、特に脂肪交雑については生来の遺伝的能力がかなり強く肥育結果に出るのではないかと考えられます。

5. 育種改良への利用

5-a. 後代検定について

肉用牛の育種改良では、産肉能力に関する形質(脂肪交雑、枝肉重量、ロース芯面積、バラの厚さなど)について遺伝的に優れた雄牛(種雄牛)を作り(あるいは探し出し)、その精液を用いて後代の産肉能力を高めていくことにより進められます。優れた種雄牛がいた場合、その息子牛のうち優れた牛が次の世代の種雄牛となる可能性があります。多くの息子牛は肥育され肉となります。しかし、優れた種

雄牛の娘牛は先の息子牛に比べ多く残され、次世代に優れた遺伝子を伝えていくこととなります。

産肉能力に関して遺伝的に優れた雄牛を作り出すために後代検定という方法が使われます。雄牛の能力をその雄牛の後代(息子や娘)を使って調べる方法です。種雄牛としたい雄牛(候補種雄牛ということにします)を直接肥育し、と畜することはできませんので、候補種雄牛の産肉能力をみるために、その候補種雄牛の子どもを肥育し、その肥育成績から親(候補種雄牛)の産肉能力を推定していきます。(産肉能力後代検定：以下、後代検定。**<参考 7> (p.25,26) 参照。**

黒毛和種の後代検定はこれまで 2 つの方法が行われてきました。間接検定と現場後代検定です(**<参考 8>参照**)。いずれも全国和牛登録協会がその方法などを規定しています。

<参考 8>

間接検定 (p.25) : 候補種雄牛の息牛(去勢) 8 頭以上を間接検定用の施設に収容して、規定された肥育方法(肥育開始月齢、肥育期間、濃厚飼料の成分など)により肥育(肥育期間は 364 日間で出荷月齢は 21 カ月齢前後)を行い全国和牛登録協会が枝肉調査を行いません(全和格付、**<参考 9>**)。調査牛のと畜月齢は 21 カ月齢前後と若く、一般的な肥育のと畜月齢が 28 カ月齢前後であることを考慮すると間接検定は実状にそぐわないところがありました。また、コンピュータの進歩により一般的な肥育方法による枝肉データをもとに育種価計算がされるようになり、と畜月齢の大きな違いなどから間接検定による枝肉データは父母の育種価計算のデータとして採用されない等の問題が出ていました。2000 年代に入り徐々に次の現場後代検定が取り入れられるようになってきました。

LIAJ News No.123 p1-6

現場後代検定 (p.26) : 候補種雄牛の子牛(去勢・雌牛) 15 頭以上を複数の肥育農場・施設で一般的な肥育を行い、28-32 カ月齢

でと畜され日本食肉格付協会が通常行う枝肉格付け(日格協格付、<参考 9>)がされます。このデータは育種価評価に採用され、これにより候補種雄牛の全国的な評価が可能となっています。

一般的な肥育：概ね 8-10 カ月齢から肥育を始め、28-30 カ齢でと畜します。肥育の初期は粗飼料主体で、肥育が進むにつれ徐々に濃厚飼料を増やしていく方法がとられているようです。農場毎に管理方法や肥育段階により給与する飼料や量が工夫されています。農場の規模は大きく画一的な飼養形態がとられているようです。

<参考 9>

全和格付：この冊子では全国和牛登録協会が間接検定法での検定終了後に行う枝肉格付けをこのように呼ぶこととします。脂肪交雑基準値を用いて表記されます。

日格協格付：この冊子では日本食肉格付協会が食肉処理場などで枝肉流通のために行う枝肉格付けをこのように呼ぶこととします。

なお、全和格付はほぼ間接検定終了時のみに行われ、一般的には日格協格付が用いられています。脂肪交雑の評価において、全和格付は日格協格付より高くなる傾向があります。

5-b. 後代検定に関する相似性

一卵性双子の育種改良への応用に進む前に**後代検定**に関する一卵性双子の相似性を紹介します。

鳥取牧場で生産された雄牛は家畜改良事業団(LIAJ)が行う後代検定に毎年数頭が候補種雄牛として参加しています。この中で一卵性双子を 2 頭とも参加させた例があります(23)。これにより LIAJ が行う後代検定の正確性を確認することができました。

LIAJ が行う後代検定は候補種雄牛相互の遺伝的能力を比較す

ることを目的としており、①調査牛を全国の事業協力県約 20 県から求める、②調査牛の取得期間が約 3 カ月間にわたる、③このため屠殺も段階的に行われる、④肥育検定場所は広島・北海道の 2 カ所設ける、⑤同一種雄牛の調査牛が同じ牛房に偏って収容されないようにする、などできるだけ飼養環境の要因が検定結果に反映されないように工夫されています。結果を表 15 (p.27)に示します。

調査牛の肥育期間中の通算 DG (一日あたり増体量)では、双子の差はほとんどゼロでした。脂肪交雑は脂肪交雑基準値で 0.17 ポイント、BMS No.では 0.2 ポイントの差がみられました。その他の形質についても似ているものが多く、全体として極めて相似性が高いと考えられる結果が得られています。このことは LIAJ が行う後代検定の精密さが認められたと考えられます。また、一卵性双子が遺伝的に同一であることから、LIAJ が行う後代検定でも少なくともこの程度の検定誤差があると考えられます。

5-c. 一卵性双子の育種への応用

一卵性双子を育種改良に用いることについて考えます。

肉用牛ではある雄牛の産肉能力をみるためには、先に述べたように後代検定(<参考 7,8>参照)を行います。しかし、産子をたくさん作り、肥育するには多くのお金と時間、多くの人の手間を必要とします。時間をいえば後代検定が修了する頃には少なくとも候補種雄牛は 5 才くらいになっています。このように産子の成績を求めようとするのは ①候補種雄牛自身を肥育・屠殺し枝肉成績をみることができないことが理由の 1 つです。もう 1 つは ②仮にその候補種雄牛の枝肉成績がいいとわかっていたとしても、その良さが子どもに伝わるのかということです。一卵性双子を用いるとすれば、①前者については遺伝的に全く同じ 2 頭ですので、片方を肥育して枝肉を調べれば、候補種雄牛とするもう一方も同等の成績を持つことになりますので解決できます。②後者については双子の片方の肥育成績と候補種雄牛とする方の多数の産子の肥育成績との関係を調べる必

要があります。しかし、この関係が良好な関係にあるとするならば一卵性双子を用いることにより後代検定に要する多くのお金と時間、人の手間を軽くすることができる可能性があります。このように、育種改良への利用として、一卵性双子の片方を肥育し、その結果によりもう一方を種雄牛あるいは候補種雄牛と用いることが考えられます(クローン検定<参考 10> (p.28)参照)。

理論上は遺伝率が比較的高い 0.6-0.7 程度の形質(例えば黒毛和種では脂肪交雑)では双子の片方の肥育成績は、間接検定法の(産子である)調査牛 8-10 頭分の肥育成績に匹敵する正確度があるといわれています(<参考 11> (p.29)参照)。そこで、一卵性双子として生まれ、片方の肥育成績と(間接検定を含め)多くの産子の肥育成績の両方をもつ種雄牛の例についてどのような結果が得られているのかをみていきます。

5-d-1. クローン肥育と後代の成績 <1>

これまでに数県の畜産試験場で、雄の一卵性双子の一方を(去勢後)肥育し(クローン肥育ということにします)、もう一方を種雄牛とし、種雄牛とした方について複数の産子を肥育している例(間接検定など)があります。この結果をみていきます(なお、各県の候補種雄牛の後代の肥育の屠殺月齢や枝肉成績は全て調査牛の平均値で表示しました)。

岐阜県の例(1組)ではクローン肥育を農家で一般的な肥育方法(以下、一般的肥育)により行い、屠殺月齢は 28.5 カ月で枝肉成績の枝肉重量、胸最長筋面積はそれぞれ 466kg, 67cm² で、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.9 でした。候補種雄牛とした方の後代の肥育は全和の間接検定法(屠殺月齢は 20-21 カ月になります)で行われ、調査牛は 9 頭、DG, 枝肉重量、胸最長筋面積はそれぞれ 0.81kg/day, 345kg, 45.4cm² でした。脂肪交雑は全和格付で脂肪交雑基準値として 2.4(BMS No. 8.1)でした(表 16 (p.30))(24)。

鹿児島県の例(1組)では、クローン肥育は全和間接検定法に準

扱った方法で行い、DG、枝肉重量、胸最長筋面積はそれぞれ 0.91kg/day, 328kg, 41 cm² でした。脂肪交雑は脂肪交雑基準模型により試験場が独自で行ない(以下、自場格付)、脂肪交雑基準値として 4 (BMS No.11)でした。候補種雄牛とした方の後代の肥育は全和間接検定法で行われ、頭数は 9 頭で成績は DG, 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 1.00kg/day, 371kg, 46 cm²、脂肪交雑は全和格付で脂肪交雑基準値として 2.6 (BMS No. 8.3)であり、種雄牛として選抜されています。また、この牛は全和規定による現場後代検定にもかけられ去勢 9 頭と雌 19 頭で、屠殺月齢は 28.9 カ月と 28.6 カ月、成績は DG, 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 0.66kg/day, 393kg, 49 cm² と 0.56kg/day, 364kg, 46 cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.5.7 と BMS No.4.9 でした(表 16 (p.30))(25,26)。

鳥取県の例(1組)ではクローン肥育は試験場内で一般的な肥育方法で行い、屠殺月齢は 27.3 カ月、DG, 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 0.80kg/day, 418kg, 64 cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.9 でした。候補種雄牛とした方の後代の肥育は全和現場後代検定法で行われ、去勢 9 頭と雌 19 頭で屠殺月齢は 28.4 カ月と 29.6 カ月、成績は 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 444kg, 48.8 cm² と 418kg, 50 cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.4.8 と BMS No.4.6 でした(表 16 (p.30))(27)。

NLBC の奥羽牧場ではクローン肥育を場外の民間の肥育センターに一般的な方法で肥育し、屠殺月齢が 31.2 カ月(BSE 発生の影響により屠殺月齢が 31.2 カ月と大幅に延長)で、枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 529kg, 73 cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.10 と優れたものでした。候補種雄牛とした方の後代の肥育は全和間接検定法で行われ、去勢 14 頭で屠殺月齢は 21.1 カ月で、枝肉成績は 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 369kg, 70 cm²、脂肪交雑は全和格付で脂肪基準値として 2.4(BMS No. 8.3)であり、同時期に検定された他の種雄牛候補と比べ特に優れたものではありません。

ませんでした。

以上 3 県と NLBC 1 牧場の成績は、各 1 例のみであり、クローン肥育と後代の肥育で肥育方法や屠殺月齢も大きく異なっており、脂肪交雑の評価法も異なっていることから一つ一つではクローン肥育結果と後代の肥育結果の関係を求めにくいところがあります。

5-d-2. クローン肥育と後代の成績 <2>

大分県の例(1組)ではクローン肥育は全和間接検定法に準拠して行い、DG, 枝肉重量, 胸最長筋面積 はそれぞれ 0.94kg/day, 330kg, 45 cm² で脂肪交雑は日格協格付で BMS No.11(脂肪交雑基準値で4)でした。候補種雄牛とした方の後代の検定も全和間接検定法で行われ、去勢7頭で DG, 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 0.93kg/day, 365kg, 46.4cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No. 9.1 でした。また、雌 5 頭の肥育が全和間接検定法と同一の飼料を用いて行われ、28 カ月齢屠殺で DG, 枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 0.73kg/day, 356kg, 45.2cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.10.2 でした。後代の肥育成績から、特に脂肪交雑ではクローン肥育成績による種雄牛選抜が有効であることを裏付けるものであったとしています(表 17 (p.31))(28,29)。1 例ですが、肥育方法や格付けの方法が同じであり、クローン肥育の成績が後代の肥育成績と連動しているのがわかります。

広島県の例(1組)ではクローン肥育および候補種雄牛の全きょうだい牛計 5 頭を試験場において一般的な方法により肥育し、28 カ月齢および 30 カ月齢で屠殺し、その枝肉成績より育種価を算出しました。その結果、この候補種雄牛の育種価から推定された成績は枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ 439kg, 50.7cm²、脂肪交雑は日格協格付で BMS No.8.2 でした。間接検定は行われていませんが、一般的な肥育による肥育成績が集められており(n=292)、育種価算出の結果推定された成績は、枝肉重量, 胸最長筋面積がそれぞれ

444kg, 52.0cm²、脂肪交雑は日格協格付で 7.6 でした(表 17 (p.31)) (30)。これらより、クローン肥育と全きょうだい肥育の結果で充分能力推定ができるとしています。広島県はこのあとも後代検定を行わない一卵性双子を用いたクローン肥育による種雄牛選抜を試みています。この例も肥育方法や肥育成績の評価方法が同一であり、クローン肥育と後代の肥育成績が連動していることがわかります。

5-d-3. クローン肥育と後代の成績 <3>

鳥取牧場では一卵性双子を用いてクローン肥育と間接検定の両方を行った成績 8 組を用いた報告を行っています(31)。

クローン肥育は、肥育期間が 68-72 週間で屠殺月齢は 25-26 カ月、クローン肥育中の給与飼料は全和規定の間接検定用飼料と自場産乾草であり、ともに肥育全期間ほぼ飽食で給与しています。後代検定は間接検定により行われる LIAJ の平準化事業です(屠殺月齢は 20-21 カ月)。

この報告(31)の後さらに同様の方法で 2 組の成績が出ましたのでこれを含めて計 10 組についての枝肉成績等の両者(クローン肥育と間接検定)の相関係数を表 18 (p.32)に示しました。(結果は(31)の報告とほぼ同様のものでした)

黒毛和種の育種で最も関心が持たれる脂肪交雑については強い相関が認められています(散布図を図 5 (p.33)に示します)。また、増体や肉量に関する形質についても有意な相関を認めています(図 6 (p.34))。その他、ロース芯面積やバラ厚についても正の相関が得られており、全体としてクローン肥育は後代の成績をよく反映していると考えられました。

5-d-4. クローン肥育と後代の成績 <4>

5-d-2 でみた大分県・広島県の報告や 5-d-3 での鳥取牧場の報告からはクローン肥育で良好な成績を得られれば、一卵性双子の種雄牛候補として残した雄牛を種雄牛として使うことは妥当だと考えら

れます。これらの例では、5-d-1とは異なり、クローン肥育と後代の肥育で肥育方法や屠殺月齢が似かよっている、脂肪交雑の評価法が統一されている、あるいは、比較する例数が多く一定の傾向が得られています。

5-d-1と5-d-2や5-d-3の違いを考えると、クローン肥育に後代の肥育の成績を反映させ、クローン肥育による種雄牛の作出を行うとするならば、クローン肥育について後代の肥育方法を考慮しながらの肥育方法や屠殺月齢の統一、枝肉評価－特に脂肪交雑－では客観的な評価方法の検討をするとともに、これらを比較した例数を増やしていく必要があると考えます。

以上で述べた一卵性双子を実際に育種改良で利用することが考えられるようになった時期は間接検定から現場後代検定への移行期にあたっていました。従いまして、クローン肥育や2つの検定の評価が混じり合いわかりづらいものになっています。ご容赦下さい。

なお、後代検定では産子の肥育成績（枝肉成績や発育など）を調べるだけでなく、産子を得るための人工授精、その後の流産が多いかなどの妊娠の継続性、分娩の状況、産子の誕生から肥育終了までの疾病の発生状況や体型等の異常などを調べていくことも重要です。どこかに遺伝的欠陥があるかもしれません。1頭の候補種雄牛から多くの産子を得て肥育を行いますが、肥育成績が良好だとしても、これらの産子に何らかの異常が集中していればその候補種雄牛を種雄牛として選ぶことは難しくなります。一卵性双子を用いて種雄牛を選抜することは産肉能力のみに注目すると可能かもしれませんが、このような後代検定の側面も考慮すると、全く後代検定を行わないということにはならないと思います。しかし、検定調査牛を減らすなど負担を軽くすることは可能だと思われます。

また、どのような雄牛を後代検定にかけるかが重要ですが、これまでは、両親の能力や血統(育種価)、当該雄牛の発育状況や外貌上の異常がない、現在把握されている特定の遺伝的疾患の遺伝子を

持たない、などを総合的に判断して決めています。この場合、母牛の能力評価を待つ必要がありますが、母牛が未経産の段階で採卵－受精卵の分割により一卵性双子を作成し、クローン肥育を行うことにより早期に優良な候補種雄牛を選ぶことができると考えられます。

5-e. クローン肥育の雌への応用

これまで種雄牛の作出についてみてきましたが、雌牛の能力判定についても同様の手法が用いることができます。雄では同時に多数の産子成績を得ることも可能ですが、雌では通常1産1頭で生涯を通して数頭の産子を得るのがやっとです。従って、雌のクローン肥育を行うことができれば従来になく正確な産肉能力判定が行え、むしろ雌に必要な手法ともいえます(5-cの<参考 11>)。鳥取牧場では通常雌牛はその産子を肥育して、その肥育成績が良好な雌牛から種雄牛を作出していきませんが、雌牛のクローン肥育成績をもとに、その産子を肥育をしなかった雌牛からも種雄牛を作出しています(32)。

6. 最後に

牛の一卵性双子、特に黒毛和種について、鳥取牧場や他の家畜改良センターの牧場で行った調査研究結果やこれまでの状況あるいは一卵性双子に関連する他機関の報告などを述べてきました。このように一卵性双子にはいろいろな面での利用価値があると考えられます。現在では牛の一卵性双子の作出は比較的簡単に行うことができますが、この技術を用いてこれからも効率の良い試験や育種改良がすすめられればと考えます。

引用文献

(1)和牛の多胎性に関する研究

石原盛衛

中国四国農業試験場報告 1(2): 315-332 (B71-90), 1952

(2)ウシの双子分娩 泉徳和 家畜人工授精師会誌

120-125号、127-128号 1987-1988.

(3)肉用牛一卵性双子の生産

小西一之・橋谷田豊・浅田正嗣・岡田真人・斎藤邦彦・熊谷周一郎

日本胚移植学雑誌 23: 108-117, 2005.

(4)Production of four identical calves by the separation of blastomeres from an in vitro derived four-cell embryo.

W.H.Johnson, N.M.Loskutoff, Y.Plante, K.J.Betteridge
Vet.Rec. 137, 15-16, 1995

(5)黒毛和種におけるピンホール培養法を用いた生体卵子吸引一体外受精由来一卵性双子の生産

渡辺貴之・大谷直人・山形重喜・三谷和則・伊藤義文・小西一之

第12回日本胚移植研究会 2005.

(6)分割卵双子牛利用による新育種法確立調査

木村英宗・菊地工・中山直子

種畜牧場調査実験成績報告書 第3号 1990.

(7) Study in monozygotic cattle twins. Publication No.43, Hancock J.

Ruakura Animal Reserch Station, Department of Agriculture, Hamilton, New Zealand, 1954.

(7-2) 肉用牛高度肥育技術確立推進事業 テキスト 11-2
一卵性双子の相似性調査 2000.

(8) 黒毛和種一卵性双子の生時体重および発育における相似性
小西一之・橋谷田豊・岡田真人・浅田正嗣・斎藤邦彦・熊谷周一郎
肉用牛研究会報 81: 42-46, 2006.

(9) 黒毛和種一卵性双子における過剰排卵処理成績の相似性
小西一之・前田正志・橋谷田豊・内山美智子・堂地修・高倉宏輔
日畜会報 68: 185-188, 1997.

(10) 黒毛和種供胚牛への脂肪酸カルシウム給与が過剰排卵処理成績に及ぼす影響
小西一之・新納正之・今井敬・後藤祐司
肉用牛研究会報 71: 2-10, 2001.

(11) フィールドにおける代謝プロファイルテストを利用した飼養管理が黒毛和種の採胚成績及び胚移植成績に及ぼす影響
渡辺貴之・都丸摩由子・野口浩正・大福浩輝・大谷直人・小西一之
第20回東日本受精卵移植技術研究会 2005.

(11-2) 黒毛和種黒毛和種受胚牛への高蛋白飼料給与が栄養状態と受胎率に及ぼす影響
渡辺貴之・小西一之・野口浩正・大福浩輝・岡田啓司
産業動物臨床医学会誌 3(1): 7-12, 2012

(11-3) 代謝プロファイルテストを利用した飼養管理における黒毛和種牛群の胚移植成績－事例報告
渡辺貴之・大福浩輝・山形重喜・武井直樹・伊藤義文・小西一之
日本胚移植学雑誌 37(1): 1-5, 2015

(11-4) 代謝プロファイルテストを利用した飼養管理における黒毛和種牛群の胚移植成績－事例報告

渡邊貴之・大福浩輝・野口浩正・山形重喜・武井直樹・伊藤義文・小西一之

日本胚移植学雑誌 38(2): 55-64, 2016

(11-5)代謝プロファイルテストを利用した飼養管理を行っている黒毛和種繁殖牛群の過剰排卵処理成績の推移と血統の影響－事例報告

小西一之・渡邊貴之・大福浩輝・野口浩正

日本胚移植学雑誌 38(3): 101-112, 2016

(12)黒毛和種一卵性双子における飼養管理の違いが生体卵子吸引－体外受精成績に及ぼす影響

大谷直人・渡邊貴之・山形重喜・三谷和則・伊藤義文・塚口大祐

第11回日本胚移植研究会 2004.

(12-2)黒毛和種一卵性双子の経膈生体卵子吸引成績に及ぼす飼養方法および遺伝的要因の影響

大谷直人・渡邊貴之・小西一之・小島敏之

日畜会報 78: 147-153, 2007.

(12-3) Preliminary results on variability in oocyte recovery and developmental competence in cattle derived from embryonic cloning: work in progress.

Heyman Y, Tamassia M, Richard C, Renard JP, Chastant-Maillard S

Theriogenology 60, 891-900. 2003.

(12-4) The variability of ovum pick-up response and in vitro embryo production from monozygotic twin cows.

Machado SA, Reichenbach HD, Weppert M, Wolf E, Gonçalves PBD.

Theriogenology 65, 573-583. 2006.

(12-5) 過剰排卵処理への反応性における同一ドナー牛より作出した黒毛和種体細胞クローン牛群の斉一性

小西一之・米内美晴・大藪武史・松田秀雄・今井敬

日本畜産学会報 82: 9-15, 2011.

(13)切断二分離胚による一卵性双子を用いたクローン検定の実用化

柳谷和人・菅谷公平・藤原信一・藤岡豊陽

肉用牛高度肥育技術確立推進事業 平成 11 年度報告書（畜産技術協会）81-92, 2000.

(14)クローンの検定

山内健治

肉用牛高度肥育技術確立推進事業 11-1（畜産技術協会）2-14, 2000.

(15)分割胚双子牛の相似性に関する研究

堤知子・窪田力・加治佐修・横山喜代志・川畑憲次

鹿児島畜試研報 28: 7-19, 1995.

(16)分割胚移植による一卵性双子牛の哺育・育成及び肥育試験

秋山正英

香川畜試研報 29: 1-11, 1993.

(17)受精卵移植の育種学的評価① 肉用牛における育種利用

坂口慎一・小林直彦・林登・酒井兼司

第8回東日本家畜受精卵移植技術研究会講演要旨 1993.

(18)分割胚移植による一卵性双子牛の哺育・育成及び肥育試験Ⅱ

十川政典・秋山正英・泉川康弘・斉藤武司・高橋和裕・馬淵武

香川畜試研報 30: 1-10, 1994.

(19) ビタミン A 制御による黒毛和種牛高度肥育技術に関する共同試験成績(中間)報告および参考資料

畜産新技術開発実用化対策事業 肉用牛高度肥育技術確立
平成 12 年度報告書 2001.

(20) ビタミン A 制御による黒毛和種牛高度肥育技術に関する共同試験(第Ⅱ回)成績および中間成績(Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ)

畜産新技術開発実用化対策事業 肉用牛高度肥育技術確立
平成 13 年度報告書 2002.

(21) ビタミン A 制御による黒毛和種牛高度肥育技術に関する共同試験(第Ⅲ回)成績および中間成績(Ⅳ、Ⅴ)

畜産新技術開発実用化対策事業 肉用牛高度肥育技術確立
平成 14 年度報告書 2003.

(22) 一卵性双子を用いる黒毛和種育種改良における肥育方法の検討

熊谷周一郎・小西一之・斎藤邦彦・橋谷田豊・浅田正嗣・藤田和久
第 44 回肉用牛研究会 2006.

(22-2) 黒毛和種における一卵性双子を利用した肥育農場および肥育終了月齢の違いが肥育成績に与える影響

熊谷周一郎・小西一之・斎藤邦彦・橋谷田豊・浅田正嗣・岡田真人
肉用牛研究会報 88: 17-22, 2010.

(23) 産肉能力検定(直接検定、間接検定)における一卵性双子の相似性

小西一之
畜産の研究 59(11): 1164-1166, 2005.

(24)平成 8 年度和牛産肉能力検定間接法成績-安福 221 の 9 について-

丸山新・向島幸司・坂口慎一.

岐阜県肉用牛試験場研究報告, 36: 39-45, 1998.

(25)鹿児島県肉用牛改良研究所研究報告 第 1 号, 1996.

(26)鹿児島県肉用牛改良研究所研究報告 第 4 号, 1999.

(27)種雄候補牛分割卵双子の肥育試験

高取等・立花明・山崎義明.

鳥取県畜産試験場研究報告, 30: 68-70, 2000.

(28)黒毛和種一卵性双子による種雄牛造成試験

志賀一穂・永山興宣・小田原利美・広瀬啓二・一野俊彦.

大分県畜産試験場試験成績報告, 21:58-64, 1992.

(29)黒毛和種一卵性双子による種雄牛造成試験 (第 2 報)

志賀一穂・広瀬啓二・藤田達夫・永山興宣.

大分県畜産試験場試験成績報告, 25:1-6, 1996.

(30)分割卵検定による種雄牛(宮島)の造成について

山本充宏.

第 33 回広島県立畜産試験研究成果発表報告要旨, p21-25,
2001.

(31)黒毛和種一卵性双子におけるクローン肥育成績と直接および
間接検定成績の関係

小西一之・塚口大祐・谷本保幸・木村英宗・柳谷和人・平尾正倫

肉用牛研究会報 81: 20-24, 2005.

(32) 黒毛和種育種改良における雌の一卵性双子利用の実際
鳥取牧場種畜課
畜産の研究 66(9): 885-888, 2012