

(3) 牛ゲノミック評価の生産現場での活用による生産の合理化

一般社団法人 家畜改良事業団 専務理事 松尾 昌一

はじめに

我が国の畜産は新たな国際化の時代を迎えており、資源に恵まれない我が国が海外と競争していくためには技術で品質による差別化や生産性の向上等を図っていく必要がある。家畜改良事業団（以下「事業団」）は日本中央競馬会の畜産振興事業（以下「JRA事業」）の支援を受け、これらの課題への対応に有効なゲノミック評価（以下「G評価」）の実用化とその利用推進に取り組んできた。以下、その一端を紹介する。

1. 家畜改良増殖上のG評価技術の意義

技術の発展は、どの分野・どの技術でも連続的に改善、改良されていくものであろうが、時々革新的な技術が現れ、当該技術が利用されるだけでなく、生産体系や制度等の仕組みにも大きな変容をもたらす場合がある。

家畜改良増殖の分野でもこれまで多くの技術革新が起こっている。家畜の遺伝的能力の評価技術について言えば、H4年にBLUP法アニマルモデルによる乳用牛の遺伝的能力の評価が始まり、それまでになかった信頼度での遺伝的能力の評価を可能とした。そのBLUP法から約20年を経て、G評価技術が実用化された。G評価は個体ごとの遺伝的能力をより高い信頼度で、かつ生後すぐにでも推定できる点で、従来のBLUP法を超える革新的な技術と言える。

2. 牛G評価の実施状況

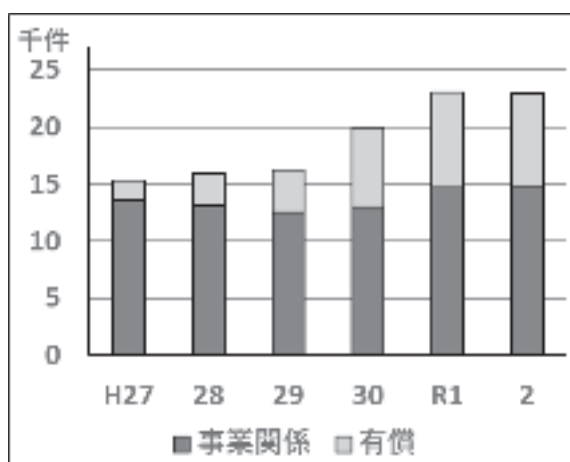
(1) 乳用牛におけるG評価

乳用牛の場合、後代検定や牛群検定等の改良事業が全国統一的に行われてきた経緯やインターブル（国際評価）に国として参加する必要もあって、遺伝的能力評価は（独）家畜改良センター（以下「NLBC」）が実施することとされている。

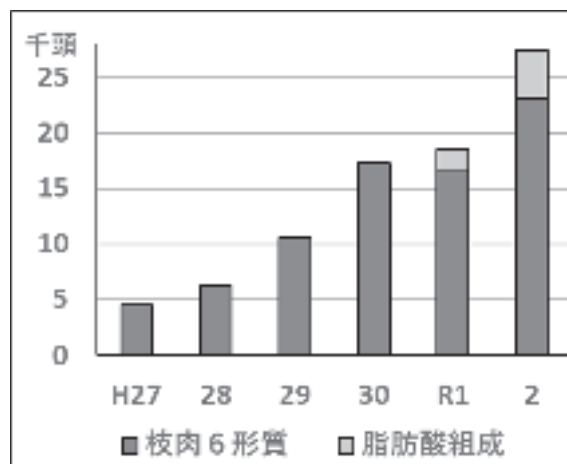
我が国の乳用牛のG評価はH25年11月にNLBCが未經産牛のG評価を開始し、H29年からは検定済種雄牛、若雌牛、経産牛のG評価を開始した。

乳用牛のG評価に必要なSNP検査は事業団の家畜改良技術研究所が担っている。図1に、事業団が実施した乳用牛のG評価のためのSNP検査件数を示した。これは各年度に新規にG評価を実施した頭数を意味する。新規にG評価された乳用牛頭数は、補助事業によるものを含め、R2年度には約2万3千頭と

(図1) 乳用牛のG評価のための新規SNP検査件数



(図2) 家畜改良事業団における肉用牛の新規G評価頭数



なっている。

(2) 肉用牛におけるG評価

肉用牛のG評価についてはH20年代の前半から関係機関・団体や道県が実用化に向けた研究に取り組み始めた。肉用牛の場合、種雄牛造成が道県・団体ごとに行われており、そのための産肉能力検定も遺伝的能力評価も道県・団体別を実施している。

肉用牛G評価の実施頭数は公表数値がないので、事業団が実施した各年度の新規評価頭数（事業関係を含む）を図2に示した。H30年頃から評価依頼が急速に増加し始め、R2年度には約2万7千頭となっている。

3. 肉用牛G評価の実用化

(1) 枝肉6形質と脂肪酸組成

事業団では、それまでの調査研究を踏まえ、H24年度からのJRA事業「SNP活用効率的肉用牛生産技術開発事業」(H24～H26)で枝肉6形質のG評価に取り組み始めた。事業3年目には一定の成果を得たが、育種改良への利用については慎重さが求められたため、枝肉6形質のG評価が実用レベルにあるかを検証すること等を内容とする「肉用牛ゲノミック評価検討事業」(H27～H29)に取り組んだ。

最終年度のH30年1月に検証委員会を開催し、外部の専門家に客観的に評価してもらい、「枝肉6形質のG評価は実用レベルにある」との評価を得た。

また、別途に取り組んでいた「乳肉用牛増頭等生産システム高度化推進事業」(H29～R1)において、脂肪酸組成のG評価を実用化し、R元年9月から雌牛のG評価の受託を開始した。

(2) 肉用牛G評価の正確度の確保

G評価は、血統情報、SNP情報及び表型値を有する多数の個体群（リファレンス集団あるいは参照集団と呼ばれる）のデータを用いて計算される。G評価は従来の育種価より正確度が高いと言われるが、G評価の手法を使えば何でも正確度が高くなるということではない。リファレンス集団は大きいほどいいが、高い正確度を確保するためには、血統情報は通常5代祖まで、SNP情報は1万頭分以上、表型値は数万頭分の情報が必要である。

量だけでなく質的にも、血統情報は間違いがないこと、SNP情報は1頭当たり数万個、表型値は客観的・正確に測定されたデータが求められる。また、多様な個体を評価するためにはリファレンス集団に系統的な偏りがなく、各系統・分集団を網羅していることが重

要である。さらに、新しいリファレンスデータが逐次追加される必要がある。これらの条件を満たして始めて、G評価の正確度は確保されると言える。

事業団では、枝肉6形質を例にとれば（R3年6月評価時点）、血統情報は5代祖まで330,044頭、表型値記録は52,465頭分、うち13,931頭はSNP情報を持っている。SNP検査はLIAJ custom_50vl（XTチップ）を開発し、1頭当たり約5万個のSNP型を直接検査し、うち39,428個をG評価に用いている。リファレンスデータとして後代検定の候補牛（年間約30頭）と調査牛・同期牛（年間約4,000頭）を定期的に追加し、検証を行いながら古いデータは削除している。後代検定の調査牛は23道県の委託団体に無作為交配で生産してもらい、全国11か所で肥育してもらっている。

（3）評価形質の拡充

枝肉6形質や脂肪酸組成のG評価の実用化などの事業成果を積極的に公表したこと等によりG評価への関心が高まるとともに、評価形質の拡充が求められた。

このため、県の畜産主務課や試験場を対象とした情報交換会、研究者や農協、生産者等を対象とした検討会を開催し、G評価のニーズ及びシーズ（必要なデータの所在先や最新の研究動向等）の把握に努めた。G評価への期待が高まるにつれ、現場ニーズは表型値の測定やDNA試料を収集することが難しい形質になってきた。

これらを踏まえ、H30年度からのJRA事業「肉用牛ゲノム情報活用推進事業」において、発育や飼料利用性等のG評価に向けたSNP情報や表型値等の収集に取り組んだ。しかし、飼料利用性等については10県の畜産試験場の協力も得て取り組んだが、有効な個体情報を十分に収集することが困難であった。一方、

生時体重などの発育形質についてはリファレンス集団の拡充等が課題として残った。

残った課題に対応し、また現場ニーズに対応した新たな形質のG評価の実現に向け、R3～R5年度のJRA事業として、以下の3事業による取組を開始した。

「肉用牛改良形質情報収集強化事業」においては、前事業で課題として残った年間数千頭規模の個体情報を収集する仕組みをつくり、現場ニーズの高い発育関連形質（生時体重、期間DG等）の実用化を図る。また、表型値を客観的な数値で計測することが困難であった牛の“気質”などの形質をICTで得られる数値化されたデータを用いることによってG評価の対象にできるかを追求する。

「牛肉の食味指標の遺伝的評価研究開発事業」においては、牛肉を食べた時の性質を表わす食味指標（食感、味、におい）のG評価の実用化を目指している。

「乳用牛の新たな改良手法開発事業」においては、乳用牛改良にかかる関係機関・団体と連携し、暑熱耐性などのG評価の実用化に取り組んでいるところである。

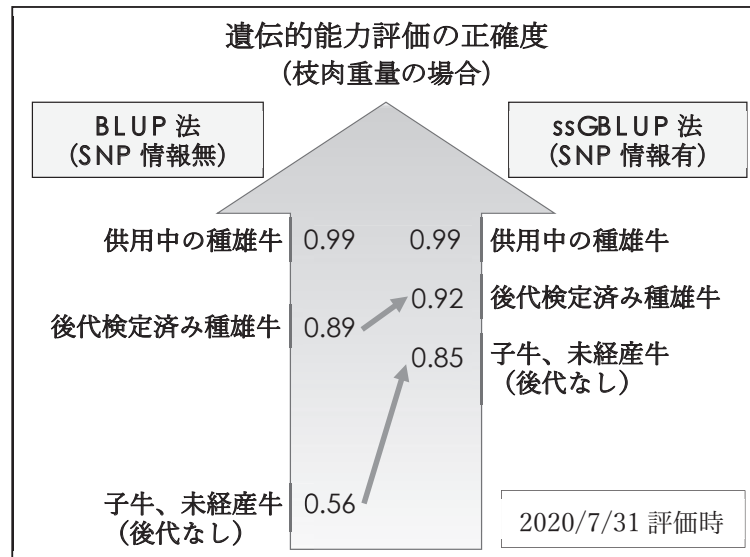
4. G評価技術獲得の意味

（1）G評価の特質

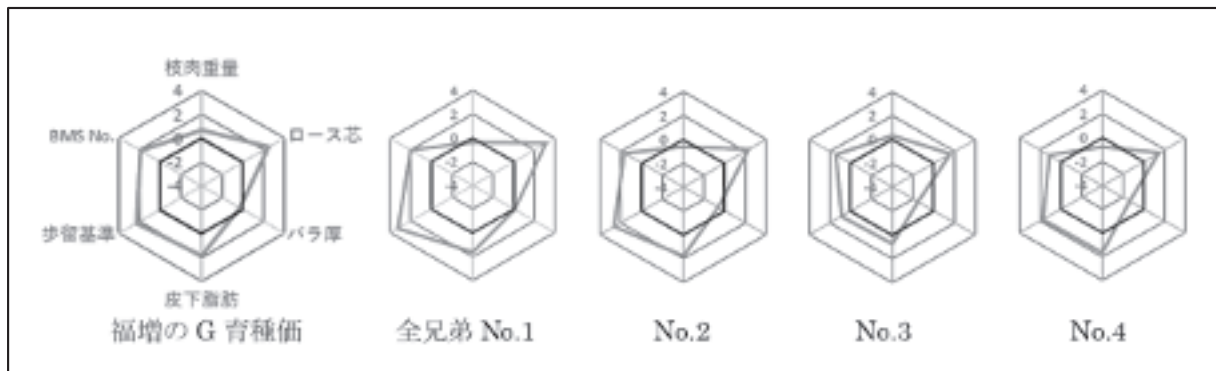
G評価の特質は、前述した正確度が確保されていることを前提にすれば、次のようなことと言える。

①G評価は従来のBLUP法による育種価評価にSNP情報を追加しているため、より正確度が高い（**図3**）。後代の成績が十分にあり供用牛では従来法と同じ程度の正確度だが、後代検定成績（15～30頭分）が揃った段階ではG評価の方が数ポイント高い。注目されるのは、後代の成績のない子牛では

(図3) 遺伝的能力評価の正確度



(図4) 種雄牛「福増」を父とする全兄弟の枝肉6形質のG育種価の例



従来法に比べ正確度が格段にあがることである。

- ②このため、G評価は生後すぐにでもかなりの正確度（従来法での後代検定済み種雄牛の正確度に近い）で育種価が推定できる。従来の育種価では自分の最初の産子の成績が出るのは5歳くらいで、産子1頭の成績を入れても後代の成績なしのG評価の正確度に及ばない。
- ③G評価は各個体のSNP情報が反映されるので、全きょうだいでも1頭ごとに育種価が算出される（従来の育種価では両親平均なので全きょうだいは同じ値）。**図4**は受精卵移植で生まれた4頭の全兄弟の枝肉6形質のG育種価の例である。BMS、歩留基

準値、ロース芯面積の育種価が高いという父の特徴を受け継ぎ、お互いに似通っているが、1頭ごとに異なる。

- ④正確度が高いので、両親のG育種価の平均（PA）で産子の能力がある程度予測可能である。**図5**はBMS No.のPAと産子のBMS No.（表型値）の関係を示している（両親ともSNP情報をもつ457頭の去勢牛のデータ）。飼料や肥育期間等の環境の影響はあるが、相関係数が0.59と、一定の相関がみられる。PAの高い産子はBMS No.も期待できるということである。図をみると、BMS No.のPAが3以上になるような交配をすれば、ほとんどの産子はBMS No.が8番以上（5等級）になることを示している。

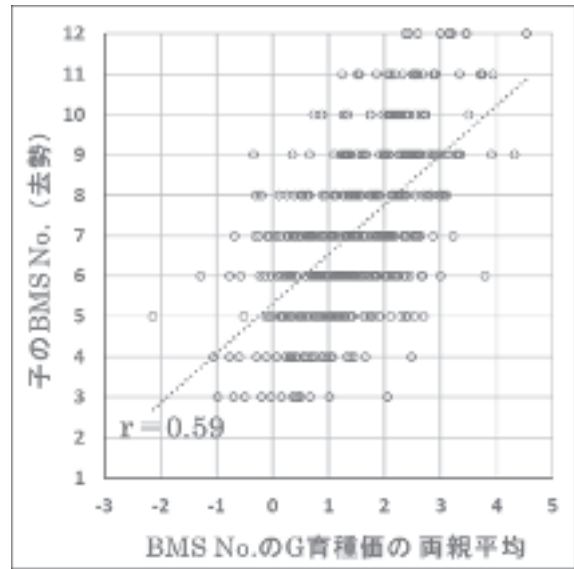
(2) G評価技術獲得の意味

上記の特質が何を意味するのかを肉用牛を例に考えてみる。

- ①正確度が高いので選抜の精度が格段に向上することになり、今まで困難であった遺伝率の低い形質（ある程度の遺伝率は必要）でも改良できる可能性がでてきたことを意味する。
- ②生後すぐにでも育種価がわかるので、5、6歳まで待たなくても次世代繁殖牛を取る雌牛の選定が早期にでき、かつ産まれてきた雌子牛のうちどの牛を繁殖向けに残すかの選抜が可能になった。これは雌牛からの改良が可能になったことを意味する。これまではあれもこれもを種雄牛の能力に頼っていたが、例えば、繁殖牛群の発育形質の能力を高めておけば、BMSの育種価の高い種雄牛を交配することにより、肥育期間を短縮しても高い肉質等級になる可能性の高い肥育素牛が生産できる。
- ③全きょうだいでも個体ごとの育種価がわかるので、全きょうだいの中からより能力の高い繁殖向け雌牛を選抜することが可能になったことを意味する。
- ④両親のG育種価平均（PA）で産子の遺伝的能力がある程度予測できるということは、産子の遺伝的能力をある程度コントロールできるということの意味する。PAを計算しながら交配する種雄牛を選べば、望む形質の遺伝的能力の高い肥育素牛を得ることが可能になる。**図5**がその例である。また、PAを見て肥育素牛を揃えれば、遺伝的能力に応じた合理的な肥育が可能になる。

ただし、G評価自体の正確度が十分に確保されていないならば、これらのことは意味をなさない。

(図5) BMS No.のG育種価の両親平均 (PA) と子の表型値との関係



5. ゲノミック評価の活用例

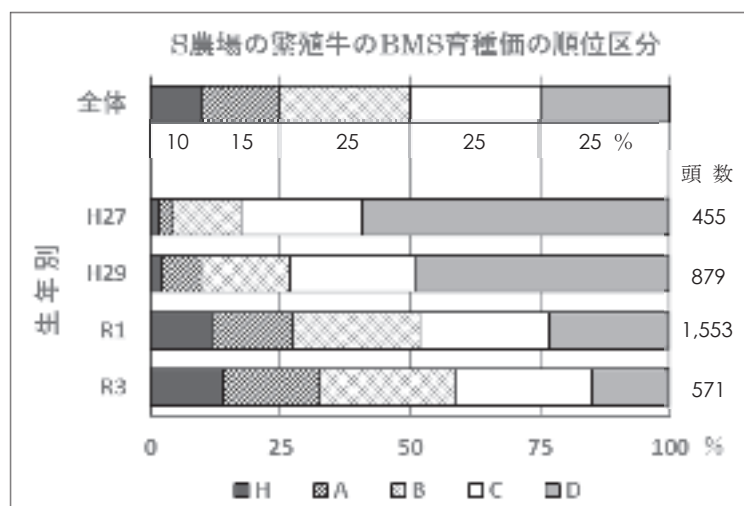
以上のようなG評価の特質から、G評価を活用することによって、これまでできなかった、より合理的な酪農・肉用牛生産が可能になる。

(1) 優良更新牛の確保

乳用牛を例にすると、更新牛は能力が高い牛から取りたいが、従来の育種価が判明するのは1産目の泌乳成績が出てからで、2産目を産む頃になる。優良牛からは確実に更新牛を取りたいので性選別精液を使いたいですが、経産牛での性選別精液の利用は受胎率の心配があるという問題があった。

G評価の利用で子牛時に遺伝的能力が高いことが判明すれば、未經産牛からでも更新牛が取れる。未經産牛であれば性選別精液の受胎率の問題は小さく、雌子牛であれば初産でも難産の心配も小さい。世代間隔を短縮でき、改良速度が向上する。更新牛を取らない牛ではF1生産やETによる和子牛生産を行い、副産物収入を増やす道が開ける。

(図6) S農場の繁殖牛のBMS No.のG育種価の生年別順位区分



(2) 優良な繁殖牛群の整備

肉用牛では、繁殖牛の産肉能力をみるには産子の肥育成績をみる必要があるが、自分が出荷した子牛の肥育成績を繁殖農家が知ることにはまずない。このため、遺伝的な産肉能力を見てあらかじめ更新牛を取る牛を選んでおくというよりも、何産かさして子出しの良さや飼い易さ、血統などがいい牛が雌子牛を産んだら更新牛にするという対応が多く、計画的に遺伝的能力に優れた繁殖牛群を整備するという考えは少なかった。

しかし、雌牛のG評価を行い、能力の高い牛を繁殖向け牛の生産牛とし、形質ごとのG育種価をみて、伸ばしたい形質あるいは劣っているのを改良したい形質等に適した種雄牛を選定して交配すれば、望ましい能力の子牛が生産できる。産まれた子牛はG評価で遺伝的能力を確認し、繁殖向けに育成する牛を選抜すれば効率的に優良繁殖牛群を整備できる。

事業団では、G評価の結果は形質ごとのG育種価とともに、全体の中のどの辺りの水準にあるかがわかるように、HABCDの順位区分を示している。HABCDは全評価牛のうち全国の繁殖牛集団に近い3年～7年前生まれの

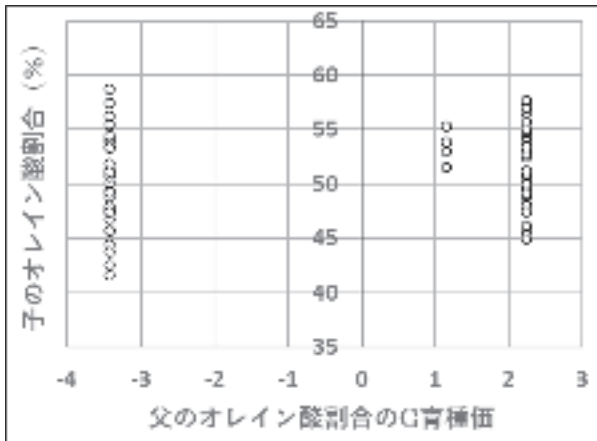
雌牛集団（基準集団）にあてはめたときに上位からそれぞれ10%、15%、25%、25%、25%の範囲に位置していることを示している。図6は、大規模経営体S農場（1つの肉用牛産地に匹敵する）の繁殖牛における生年別のBMS No.のG育種価の順位区分である。S農場ではH29年秋からG評価を実施しており、その後、G評価をうまく活用することにより短期間にG育種価の上位牛の割合が増大している。肉用牛産地においても地域全体での取組によって、地域で生産される肥育素牛全体の評価の向上は可能であろう。

6. さらに高度な生産体系の提案

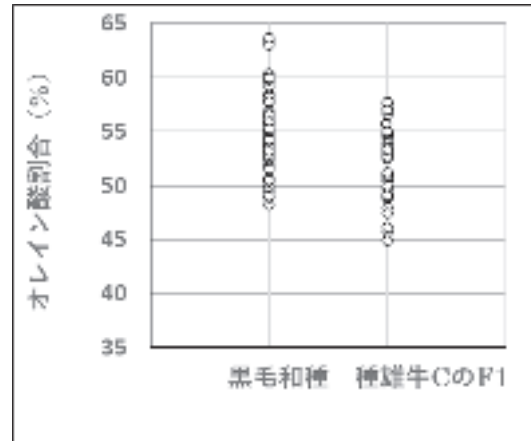
G評価実施の目的は遺伝的能力を知ることではなく、G育種価を生産性や品質の向上、経営の合理化に活かすことである。

このような考えから、R2年度からのJRA事業として「肉用牛の高度生産体系確立・普及事業」に取り組んでいる。本事業は、G評価を中心に他の技術も組み合わせて、より合理的な肉用牛の生産体系を提案するとともに、実証データを収集・分析・提示してその普及を図るものである。初年度が終わったば

(図7) K農場が出荷したF1の父のオレイン酸割合のG育種価と子の表型値の関係



(図8) T畜産が出荷した黒毛和種と左図の種雄牛CのF1産子のオレイン酸割合



かりで実証データ収集の途中であるが、いくつかを紹介する。

(1) 交雑種牛肉の差別化

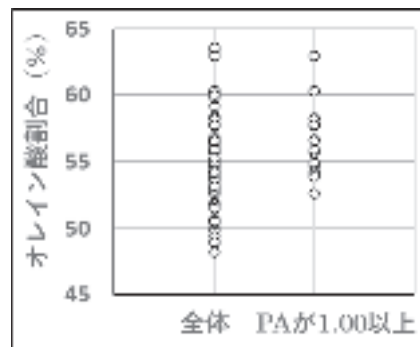
本事業の協力農家（K農場）がR2年度後半に出荷した交雑種（去勢：73頭）の脂肪酸組成を測定した。父牛ごとの産子のオレイン酸割合をみると（図7）、父のG育種価によって差があることがわかる（産子数の少ない父牛もいるので、追加収集中）。また、図8に示したが、オレイン酸割合のG育種価が高い種雄牛CのF1産子と別の協力農家（T畜産）が出荷した黒毛和種（去勢：76頭）のオレイン酸割合を比較すると、F1でも黒毛和種並みのオレイン酸割合の産子も多い。なお、T畜産は脂肪の質に関心を持っており、出荷牛のオレイン酸割合（平均55.0%）は一般的な黒毛和種のオレイン酸割合（53%前後）より高い。

これらのデータは、オレイン酸割合のG育種価の高い種雄牛（G育種価が5.0を超える種雄牛もいる）を使えば、ほとんどが和牛並みの脂肪酸組成になり得るF1子牛を生産し、差別化することが可能なことを示している。

(2) ブランド力の向上

T畜産がR2年度に出荷した黒毛和種（去勢：76頭）の脂肪酸組成を測定し、枝肉成績

(図9) T畜産出荷牛全体とオレイン酸割合のPAが1.0以上の産子のオレイン酸割合



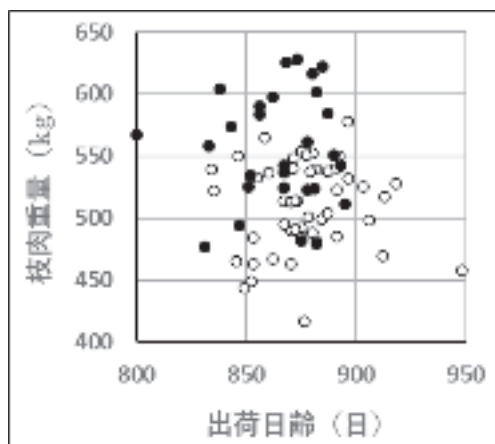
を提供してもらった。図9に示したように、去勢牛のオレイン酸割合は48%から63%までに分布していた。このうちオレイン酸割合のG育種価の両親平均（PA）が1.00以上の牛だけを抽出すると7割近くが55%以上であった。

地域全体で、あるいは一貫経営でPAが一定以上になるような交配を行えば、オレイン酸割合のブランド基準（例えば55%）をクリアする可能性が高い肥育素牛を生産できることを示しており、基準合格率向上・安定出荷によるブランド力の強化につながる。

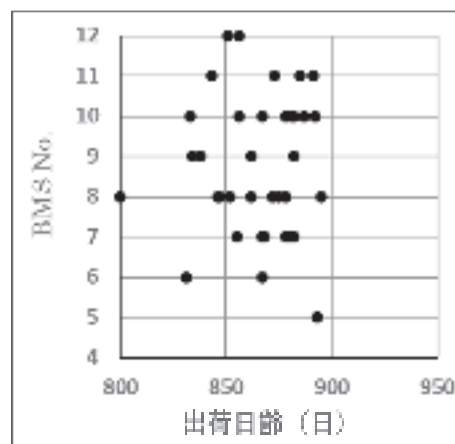
(3) 肥育期間の短縮

T畜産の出荷牛の出荷日齢と枝肉重量の関係をプロットし（図10）、枝肉重量のPAが25.0以上の牛を抽出（黒塗り）すると、30か月齢未満でもほとんどは枝肉重量が500kg以上になっていた。さらに、黒塗りした枝肉重

(図10) T畜産の黒毛和種の出荷日齢と枝肉重量の関係（黒塗は枝肉重量のG育種価のPAが25.0以上）



(図11) 左図の黒塗（枝肉重量のPAが25.0以上）の牛の出荷日齢とBMS No.



量のPAが25.0以上の牛のBMS No.をみると(図11)、7割以上はBMS No.8以上（5等級）で、残りも5以上（4等級）であった。

これは、枝肉重量のPAが一定以上になるような交配を行えば、肥育期間を短縮しても枝肉重量が500kg以上になり得る肥育素牛を生産できること、しかもサシも十分にはいることを示している。あるいは、肥育素牛の枝肉重量のPAが分かり、PAの高い牛だけで1牛房に入れる牛群を編成すれば、発育の遅れた1、2頭が牛房に残って牛舎の回転率を下げることはなく、合理的な肥育が可能になる。

7. 肉用牛G評価Web情報提供サービス(G-Eva[®])

H29年秋頃から、G評価を経営改善に有効に利用してもらうためには、最新の評価値の提供とともに、G育種価を加工分析できるソフトの提供が必要と考え始めた。構想を練るのに時間を要したが、事業団独自の取組として、肉用牛G評価ゲノミック評価Web情報提供サービス(G-Eva[®])を立ち上げ、R2年12月から運用を開始した。

G評価をより有効に利用しようと思えば、最新の評価値を知るとともに、自分の牛群の

G育種価の推移や全国レベルとの比較、能力ランキング順への並び替え、ある種雄牛を交配した場合の産子の能力のシミュレーションなどが必要になる。G-Eva[®]は、事業団のG評価を実施した牛について、最新の評価値の提供と上記を可能とするソフトを無償で提供するWebサービスである。手に入れた革新的な『G評価』というツールを経営改善に活かしてもらいたいとの思いである。

さいごに

事業団がR3年6月末までにG評価（枝肉6形質）を行った雌牛のうち繁殖に用いられていると推定される牛は4万頭強である。他の機関・団体の実施分を含めると、子取り用めす牛（約63万頭）の1割近くはG育種価を有していると思われる。また概ね5歳以上の雌牛の従来法による育種価判明率は約5割とされている。

できるだけ多くの牛、特に若い雌牛の育種価が判明し、他の技術とうまく組み合わせることによって酪農・肉用牛生産の生産性や品質の向上等が図られ、我が国の畜産が成長していくことを願っている。