

今こそ真剣に考えたい！ 「牧場に利益をもたらす牛群改良戦略」

1. はじめに

近年における乳牛の遺伝的改良は、ゲノム解析技術の進歩により著しく促進されている。また、ゲノミックヤングサイヤ（後代検定が実施される候補種雄牛。以下、ヤングサイヤ。）については、酪農現場でその雌牛の生産能力データが集計される前に次世代の種雄牛が作出・供給されている状況である。また、種雄牛の遺伝能力を示した各種形質は多くの研究の成果により新しい形質が年々公表され、遺伝的改良をおこなう際にどの形質に重点を置くべきか判断が難しくなっている。さらに、多様化する種雄牛だけではなく、牛群内雌牛の評価に応じた使用精液（通常・選別・和牛精液）の選択や受精卵移植を取り入れた交配計画など酪農現場での遺伝的改良を考慮した繁殖管理方法は経営戦略として重要であると考え。そこで本稿では、牛群の遺伝能力の向上のための種雄牛選抜指標の特徴や交配計画に関する情報を紹介する。

2. 米国における種雄牛選抜指標とその特徴

米国における種雄牛評価で主な総合能力指数としてはTPI (Total Performance Index) やNM\$ (正味収益指数: Net Merit) がある¹⁾(図1)。両指数を比較するとTPIは乳房や肢蹄構造が良く生産性のある雌牛に改良され、NM\$はTPIよりも高い乳脂肪で長命性のある雌牛に改良されることが特徴である。これらの指数を求めるための重み付けや評価項

目は定期的に更新されている。TPIの変遷をたどると、体型形質や産乳能力に大きく重み付けをしていた当初から徐々に長命性や繁殖・疾病形質を重要視した遺伝的改良をおこなう方向へ向かっていることが分かる(表1)。このことから、生産性を高く維持し、長命連産である遺伝子を選抜し、経済効果を高めていくことが近年の米国における乳牛育種改良の目標となっていることが分かる。

3. 日本国内における種雄牛選抜指標とその特徴

現在、我が国の種雄牛選抜指標であるNTP (Nippon

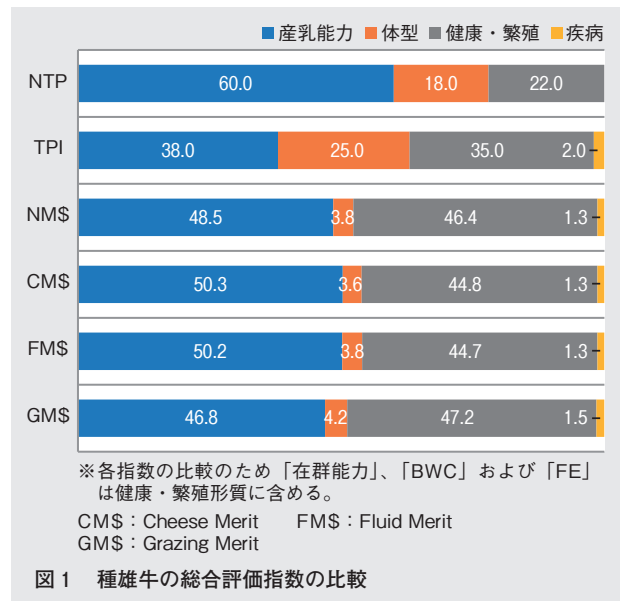


表1 米国におけるTPI重み付けの変遷

項目	1998	2001	2003	2006	2009	2010	2013	2014	2020*
産乳能力	67	57	54	50	45	42	43	46	46
体 型	33	29	30	30	29	25	28	26	25
健康・繁殖	-	14	16	20	26	33	29	28	27
疾 病	-	-	-	-	-	-	-	-	2

※「BWC: Body Weight Composite」および「飼料効率 (FE: Feed Efficiency)」の8%は産乳能力形質に含める。

Total Profit index) は年2回評価(2月、8月)して公表されている。令和4年2月に新しい総合指数(以下、NTP2022)として公表され、酪農現場で使用精液を選択する際に利用されている。2015年に公表された以前のNTP(以下、NTP2015)と比較し、NTP2022は産乳成分(乳脂量・乳蛋白質量)の重み付け10%が新たな指標である「在群能力」に置き換えられた計算式となっている。このことにより、泌乳能力の遺伝的改良は若干減速するが総合的に生涯生産性が改善されると同時に、体格が小さくなる傾向が在群能力の高い牛にはあるため、近年の大型化をある程度抑制することができると考えられている²⁾。また、2021年8月から暑熱耐性の遺伝形質が公表された。この暑熱耐性は、乳量と体細胞スコアから算出されており、遺伝評価値が高い牛は、THI(温湿度指数: Temperature Humidity Index)が増加しても乳量は低下しにくく、体細胞スコアは増えにくい、反対に暑熱耐性の遺伝評価値が低い牛は、乳量が低下しやすく、体細胞スコアは増えやすいとされる³⁾。

我が国および米国における遺伝的能力の改良方向に共通していることは、以前の総合能力指数では能力や体型形質の優れている牛が高い経済効果を持つとされる時代から徐々に変化し、近年は高い産乳能力で飼料効率の良い骨格構造を持ち、健康で在群期間の長い遺伝能力をもつ種雄牛・雌牛が評価され、それら特定の遺伝子を備えた個体を選抜している傾向がある。また、それぞれの総合能力指数を求める計算式は各形質の遺伝率や相関性を考慮して重み付けをおこなっており、国内外の市場の動向に合わせた効率的な乳生産をおこなうための総合的な指標となっている。

4. 近交係数について(国内の変化推移)

一般社団法人日本ホルスタイン登録協会では、急激な近交係数の上昇は近交退化による生産性低下、悪性致死遺伝子(劣性遺伝子)の発現の増加などを避けるために1990年代から近交係数レベルの上限を6.25%としてきた⁴⁾。しかしながら、近年における

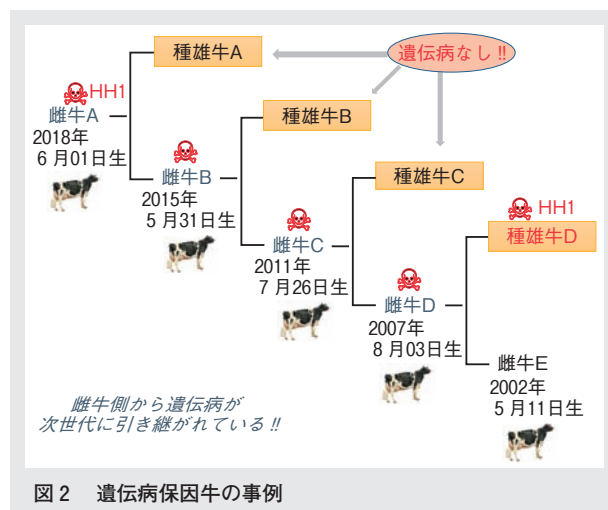


図2 遺伝病保因牛の事例

乳牛の改良は著しく促進されており、集団の平均近交係数は徐々に上昇し、多くの種雄牛選抜および交配は6.25%を上回る状況である。そこで、2017年6月および7月の協議会により7.20%を新たな上限とすることになった。その後も世代間隔の短縮に伴いホルスタイン集団の近交係数は上昇を続け、2022年10月に上限を8.40%に変更することになった。このことに関しては「近交係数を数%上昇させたとしても、極端な近交になる交配さえ避ければ、近交退化の影響は小さい」として、近交退化量を上回る遺伝的能力が高い種雄牛の交配で改良を維持できるという考え方がある。そのため、牛群および個体の近交係数上昇を管理しつつ、遺伝的改良の速度を向上させる種雄牛選抜が重要であると考えられる。さらに、近交係数の上昇とは別に胚死減遺伝子(ハプロタイプ: HH1~7など)の遺伝病をホモ化させない交配を考慮する必要がある⁵⁾(図2)。

5. 種雄牛選抜のポイント

検定済種雄牛(以下、ブルーブンサイヤ)とヤングサイヤの双方を同一の時期に比較し評価することは望ましくない。なぜならば、それぞれの遺伝能力を評価する娘牛データ数が異なり、信頼度(R%)に差があるために正確に比較することは難しいためだ。そこで2020年4月に米国で公表されたTPI上位

表2 ブルーブンサイヤおよびヤングサイヤにおける同一種雄牛のTPI経時変化

項目	TPI公表年次		差		
	2020.4	2023.4	平均値	最大値	最小値
ブルーブンサイヤ	+2,709±70.4*	+2,598±90.3	-112±74.5	+133	-280
ヤングサイヤ	+2,945±27.6	+2,797±118.1	-148±113.4	+184	-565

※平均値±SD

100頭のブルーブサイヤとヤングサイヤは2023年4月の種雄牛評価成績公表においてTPIがどの程度変化しているのか同一種雄牛を用いて調査した（表2）。その結果、2020年4月から2023年4月にかけてブルーブサイヤおよびヤングサイヤの平均TPIはともに低下していたが、ヤングサイヤの方がブルーブサイヤよりバラつきが大きいことが分かった。また、2020年4月にヤングサイヤであった種雄牛の内の47%が2023年4月ではブルーブサイヤとして成績が公表されていた。このことから3年間で娘牛データが集計されたことにより、ゲノム評価値や表現値が増減し、TPIが大きく変動したと考えられた。しかし、2023年4月のブルーブサイヤとヤングサイヤを比較するとヤングサイヤの方が平均TPIは高いことから、ヤングサイヤを選択することは遺伝的改良をより速めることができるといえる。ただし、ヤングサイヤを利用し、その雌子牛が産まれた頃には遺伝評価値が大きく低下している可能性がブルーブサイヤより高いことを理解する必要がある。

例えば、表3に示したように2020年4月にヤングサイヤ種雄牛Kを利用していた場合は2023年4月でTPIが上昇かつブルーブサイヤとして公表されたので、種雄牛の選択として良好な判断であったといえる。しかしながら、ヤングサイヤ種雄牛Mを利用していた場合は、2023年4月でのTPIが低下しているために種雄牛Mの娘牛の遺伝能力は2020年次に期待していた結果にならない可能性がある。それよりもブルーブサイヤ種雄牛A～Dなどを利用していた方が次世代後継牛の遺伝能力を向上できていたと

推察される。

このことから、ヤングサイヤを利用する際は、変動リスクを避けるためにも同一種雄牛を長期的に使用しないことを勧めたい。もし、精液の供給状況や地域特性により定期的に種雄牛を変更できない場合は変動リスクの小さいブルーブサイヤを利用することが望ましいだろう。

6. 交配計画と精液選択

酪農現場で時折みかける交配方法としては、近交係数を意識した種を一種類選択し、一定期間集中して使い、暫くして別の種雄牛に切り替えることを繰り返す方法（ベタ付授精の反復）で交配をおこなう牧場がある。この方法では外見的な特徴など一見牛群は揃っているようにみえる改良がされる。しかしながら、良い形質が均一に揃ってくると同時に悪い形質も揃ってしまう可能性もあり、世代によって管理し難い牛群が一時的にできてしまうリスクが大きい。例えば、ある世代の初産牛は乳頭配置が近く短いまたは搾乳スピードが遅い、乳量が高いが乳脂肪率が低いなどのマイナス形質が極端に目立つ改良結果を招く可能性がある。さらに、近交係数の上昇や遺伝病の発症なども懸念される。そのため近年では各家畜人工授精事業体が提供する種雄牛交配相談事業を利用している牧場が増え、各々の目標とする牛群改良に向けて効率的な種雄牛交配をおこなっている。また、ゲノム検査結果も一部の交配相談システムでは反映できるようになっていることから、より精度の高い種雄牛選抜および交配を可能としている。

表3 ブルーブサイヤおよびヤングサイヤにおける上位各10頭のTPI経時変化

種雄牛	ブルーブサイヤ			種雄牛	ヤングサイヤ		
	2020.4	2023.4	差		2020.4	2023.4	差
A	+2,997	+2,767	-230	K [*]	+3,059	+3,243	+184
B	+2,922	+2,763	-159	L [*]	+3,021	+2,912	-109
C	+2,893	+2,726	-167	M	+3,011	+2,690	-321
D	+2,876	+2,807	-69	N	+3,010	+2,740	-270
E	+2,840	+2,667	-173	O	+2,996	+2,706	-290
F	+2,835	+2,791	-44	P	+2,992	+3,055	+63
G	+2,825	+2,634	-191	Q	+2,988	+2,737	-251
H	+2,823	+2,711	-112	R	+2,987	+2,765	-222
I	+2,814	+2,580	-234	S [*]	+2,983	+2,729	-254
J	+2,811	+2,715	-96	T	+2,980	+2,972	-8

※2023年4月にブルーブサイヤとして成績公表されていた種雄牛

これらの交配相談システムでは、牧場雌牛の能力評価に基づいた種雄牛選抜と交配がおこなわれるため、牧場牛群で高い評価値の牛に性選別精液、低い牛には和牛精液を指定交配もできる⁶⁾。交配計画をおこなう上では、性選別精液、通常精液、和牛（F1）精液をどのような使用割合で日々の人工授精を実施していくか各牧場で検討することが重要である。

また低能力牛に和牛精液を使用しF1子牛生産をする他に、高能力ホルスタイン受精卵や和牛受精卵を用いた受精卵移植をおこない、優良ホル雌子牛生産と肉用種個体販売をおこなう牧場が多くみられる。しかしながら、もし今後新たに受精卵移植に挑戦し、和牛子牛を生産する際、一般的にF1子牛よりも飼養期間を長く保留するために飼養スペースの確保や哺乳・治療費などの経費がかかることに注意したい。また、地域性や各市場によっては和牛スモール市場が盛んではなく、引合いが弱い場合があるので事前に各農協や事業体に確認する必要がある。

7. 性選別精液について

低受胎率および低雌出生率であるために積極的な利用を懸念していた性選別精液は、近年の国内外における性選別精液作成技術の進歩により品質が向上し、今では効率的な交配計画をおこなう上で必要不可欠なものになっている。北海道A牧場における性選別精液の受胎率を調査したところ、未経産牛および経産牛の通常精液と性選別精液の受胎率には有意な差がないことが分かった（表4）。しかしながら、北海道B牧場における調査では通常精液と和牛精液より性選別精液の受胎率は有意に低かった（表5）。このことから、性選別精液の受胎率は牧場によって異なるため、飼養環境の違いが受胎率に影響を与えている可能性があった。また、同一種雄牛間で初回人工授精受胎率には通常精液と性選別精液で差がない⁷⁾ことから、受胎性の低い種雄牛の性選別精液

と受胎性の高い通常精液や和牛精液を同時期に使用するとそれぞれの受胎率に差が生じる可能性があると考えられた。また、性選別精液の雌出生率においては一般的に85%以上とされていたが、近年における雌出生率は90%以上と改善されている⁷⁾。

8. 事例報告

北海道C牧場では2014年11月から精液選択の方法として推定育種価（PA：ペアレンツアベレージ）の低い下位30%未満の牛に和牛精液授精または和牛受精卵移植、それ以上はホルスタイン通常精液で授精を未経産牛および経産牛に実施した（表6）。その後、2017年1月以降は経産牛に授精回数2回目まで性選別精液を使用し、2018年10月以降はホルスタイン通常精液の使用を中止し、性選別精液と和牛精液を使用した。ただし、年間10数本の後代検定精液

表4 A牧場における精液別の受胎率

項目		授精頭数（頭）	受胎頭数（頭）	受胎率（%）
未経産牛	通常精液	133	70	52.6
	選別精液	257	133	51.8
経産牛	通常精液	801	303	37.8
	選別精液	339	138	40.7

※通常精液と選別精液に有意な差なし（P>0.3）

※妊娠鑑定：授精後35～40日で超音波画像診断法で実施。

※集計期間：2015年4月～2020年3月

表5 B牧場における精液別の受胎率

項目		授精頭数（頭）	受胎頭数（頭）	受胎率（%）
経産牛	通常精液	394	178	45.2 ^b
	選別精液	447	170	38.0 ^a
	和牛精液（F1）	639	283	44.3 ^b
	合計	1,480	631	42.6

※a-b：異符号間に有意な差あり（P<0.05）

※妊娠鑑定：授精後35～40日で超音波画像診断法および授精後60～80日で乳汁中プロゲステロン濃度測定で実施。

※集計期間：2021年4月～2022年12月

表6 C牧場の年次別分娩頭数と出生子牛頭数（双子含まず、死産含む）

年次	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ホル雌子牛頭数（頭）	115 (42.8) [*]	98 (40.0)	121 (40.7)	92 (29.1)	94 (31.2)	173 (53.7)	156 (49.2)	131 (39.8)	157 (46.0)
ホル雄子牛頭数（頭）	119 (44.2)	103 (42.0)	83 (28.0)	95 (30.1)	102 (33.9)	56 (17.4)	23 (7.3)	10 (3.0)	13 (3.8)
F1・和牛子牛頭数（頭）	35 (13.0)	44 (18.0)	93 (31.3)	129 (40.8)	105 (34.9)	93 (28.9)	138 (43.5)	188 (57.2)	171 (50.2)
分娩頭数	269	245	297	316	301	322	317	329	341

※分娩頭数内の割合（%）を示す。

の利用は継続した。その結果、2015年以降F1および和牛子牛出生頭数が増加し、2017年には各子牛の出生割合が約30%になった。性選別精液の効果により2018年以降のホルスタイン雌子牛出生頭数および割合は増加した。2021年に出生したホルスタイン雌子牛は157頭で雄子牛は13頭であったがその内、後代検定精液由来産子が雌4頭、雄8頭であった。つまり、性選別精液から96.8%（153/158頭）の雌子牛が出生したことになる。さらに、年間の分娩頭数300頭以上を維持できたことから、性選別精液による繁殖成績の低下はなく、十分な後継牛確保と個体販売を目的とした子牛生産が効率的におこなわれたと考えられた。

9. 今後の展望

ここ数年の新しい遺伝形質としては、飼料効率、余剰飼料摂取量（RFI）、メタン削減（SEMEX社）などが公表され、経済効果の高い雌牛の作出だけでなく、地球環境の負荷低減も視野に入ってきている傾向がある。また、無角因子（PO・PPなど）を保因した種雄牛は除角作業の手間や動物福祉の観点から今後さらに普及してくる可能性がある。今後の新たな展望では米国のCDCB（米国乳牛育種評議委員会）によると、歩様と蹄病形質、ヨーネ病耐性や搾乳速度（LPI：Lifetime Performance Index（生涯収益指数）=カナダの総合指数では公表）を遺伝形質として公表するための研究・データ集計をおこなっており、飼養管理に関わる遺伝形質がさらに組み込まれると予想される。ただし、これら遺伝形質の遺伝率や信頼度は高いとは限らないので、遺伝的改良をおこなう上では産乳能力、体型、健康・繁殖などの主要な各形質のバランスを考慮し、牧場牛群に適した種雄牛選抜をおこなうことが基本であると心掛けてほしい。

10. おわりに

本稿では、種雄牛選抜のポイントや精液選択による交配計画について述べたが、遺伝的改良の効果は牧場経営にとって短期的ではないことを理解して頂きたい。選択した種雄牛での交配から、その後雌子牛として出生、初産牛として乳生産が開始されるまで約3年かかり、遺伝的改良の成果が牛群全体に表れてくるのは10年近くかかると考えた方が良さだろう。そのため、まずは牧場牛群の改良状況を把握し、適切な種雄牛を選択しているか検討して頂きたい。積極的に遺伝的改良をおこなっている牧場では、生まれた子牛のゲノム評価値を早期に調べ、後継牛としての雌牛選抜や種雄牛選抜および交配に活用し、経済効果を高めている。

今日の種雄牛選抜および精液選択の判断は未来の牧場への投資であると考え、将来の牧場経営に大きく影響を与えるものである。個体別に遺伝能力を向上させ、一貫性のある牛群を構築していくことが牧場に大きな利益をもたらすだろう。本稿で紹介した牛群の遺伝的改良に関する情報が牧場経営に役立てて頂ければ幸いだ。

11. 引用文献

- 1) Vanraden, P. M., Cole, J. B., Neupane, M., Toghiani, S., Gaddis, K. L., and Tempelman, R. J. (2021). 「Net merit as a measure of lifetime profit: 2021 revision.」 AIP Res. Rep. NM\$8.
- 2) 佐分淳一. LIAJ News No. 193. 「新しいNTPについて」
- 3) 家畜改良センター. 「乳用牛の2021—8月評価に係る変更点」
- 4) 河原孝吉. ホルスタイン通信. 2023年2月号.
- 5) 山口誠司. デーリイマン. 2023年2月号.
- 6) 山口誠司. デーリイマン. 2021年10月号.
- 7) Yamaguchi, et al. 2019. Reprod. Fert. Dev. 31, 131. abst.