〔ミニレビュー〕

黒毛和種の全国的な遺伝的能力評価 (肉用牛広域後代検定)

井上慶一

(独)家畜改良センター 改良部 情報分析課

A Challenge to a national genetic evaluation for Japanese Black Cattle in Japan (An inter-prefecture progeny testing scheme for beef cattle)

Keiichi INOUE

National Livestock Breeding Center

1. はじめに

国が肉用牛の改良を目的に行う補助事業として、平成 11 年度から肉用牛広域後代検定推進事業(現:肉用牛広域後代検定)が実施された。この事業は、都道府県単位で行われてきた種雄牛造成について、改良の基盤となる育種資源の多様化と選抜圧の強化を図り、より高能力な種雄牛の造成が可能となるよう、優良な育種資源の広域的な利用と全国規模での能力評価体制を確立し、県域を越えた高能力種雄牛の造成・利用を促進するものである。

ここでは、肉用牛改良の現状と併せて肉用牛広域後代検定の概要を簡単に紹介し、事業における広域的な遺伝的能力評価について説明する。

2. 肉用牛の改良をめぐる情勢

(1) 雌牛飼養頭数

肉用牛子取り用雌牛頭数の年次別推移を図 1 に示した(農林水産省大臣官房統計部 2004)。飼養頭数全体では、平成 5 年をピークに減少してきたが、平成 13 年を境に徐々に増加傾向にある。しかし、飼養頭数の顕著な増加が見られるのは、北海道と沖縄であり、その他の地域では、横這いや減少傾向である。また、主要な種雄牛の生産地域である中国地方での減少が著しく、この 15 年間程度で約半数にまで減少している。

(2) 検定状況

検定方法別種雄牛頭数の年度別推移を図 2 に示した

図 1. 肉用牛子取り用雌牛頭数の推移

図 2. 検定方法別頭数の推移

(社団法人全国和牛登録協会 1999、2000a、2001、2002、2003)。検定終了年度で集計しているため、平成 14 年度の現場後代検定については途中結果である。また、図中の「平準化事業」とは、(社)家畜改良事業団で実施されている、肉用牛平準化促進事業に係る間接検定のことである。検定頭数については、ここ 5 年程度は大きな変化は見られず約 130 頭程度であるが、間接法での検定頭数が減少し、代わりに現場後代検定法での検定頭数が増加している。

この変化の大きな原因と考えられるのは、調査牛を生産するための調整交配用雌牛の確保が困難であること、一般肥育牛の成績との比較が困難であること、検

定コストの増大などが挙げられる。間接法では検定の開始が同時期であるため、調査牛として去勢子牛を 8 頭以上ほぼ同時期に揃える必要がある(表 1: 社団法人全国和牛登録協会 2000b)。前述したように、育種県での雌牛頭数が減少してきている中で、調整交配用の雌牛を確保できないことが問題となっている。また、検定終了月齢が 20 から 21 ヶ月齢と、極端な若齢肥育であることから、一般に肥育された牛の成績との比較が難しく、検定を同一検定牛のセット毎に同時に開始するため、育種価の算出も困難である。更に、間接法では検定に一定の基準を満たした特別な検定施設が必要であることから、検定施設の建設や維持・管理に費用がかかり、また、調査牛が極端な若齢肥育牛であることから、市場価格も通常の肥育牛より安くなってしまい、採算がとれない問題がある。

一方、現場後代検定法では、調査牛を 15 頭以上確保する必要があるが、(社)全国和牛登録協会での育種価評価における条件を満たしていれば、雌牛を含めても差し支えなく、不特定数で随時検定を開始してよい(ただし、概ね 1 年以内)ことから、調整交配用の雌牛を確保しやすい条件になっている。また、肥育終了月齢においても、一般の肥育に近い月齢となっており、検定施設についても、一般の肥育場(農家)を複数利用することができるようになっている。ただし、現場後代検定では、間接法と比べて規定が緩和されているため、正確な検定を行うためには、予めある程度計画さ

表 1. 後代検定方法の比較

区分	間接法	現場後代検定法	(参考) 平準化促進事業における検定
根拠	和牛登録協会規程	和牛登録協会規程	家畜改良事業団実施要領
調査牛の条件	去勢子牛	雌牛を含めてもよい	間接法と同じ
1 セットの頭数	8 頭以上	15 頭以上	15 頭程度
調査牛の配置	同一検定牛の息牛のみ 1 セット 1 ヶ所の施設	他の種雄牛の産子との同時期肥育が望ましい複数の場所に配置	複数の検定牛の息牛 2 ヶ所に分散して配置
開始時の条件	同一検定牛のセット毎に同時に開始	不特定数で随時開始	複数検定牛の息牛での構成群毎に随時開始
終了時の月齢	概ね 20 ~ 21 ヶ月齢	去勢 29 ヶ月齢未満 雌 32 ヶ月齢未満	間接法と同じ
給与飼料	検定飼料	規定なし	間接法と同じ
給与方法	自由摂取	規定なし	間接法と同じ

全て一部抜粋・要約

れた調査牛の配置、検定が必要となってくる。

3. 広域後代検定

(1) 事業の考え方

① 種雄牛造成上の課題

県単位での種雄牛造成は、基本的に県内の遺伝資源を利用していることから、上述したように県内の改良用雌牛頭数が減少してきている中で、種雄牛造成用の雌牛側の遺伝資源についても限られてきている状況にある。また、造成された候補種雄牛についても、選抜が県域という小さな単位での選抜であることから選抜圧が低くなり、改良速度の停滞を招いていると考えられる。

選抜された種雄牛の利用についても、自県産の種雄牛を自県だけで利用する状況が多い現状では、生産者側からは利用可能な種雄牛に限られることになり、供用期間が長期化し、改良速度の停滞につながると考えられる。また、限られた種雄牛を多用することによる、近交度の上昇、遺伝性疾患を持つものがいた場合には、それら遺伝性疾患の顕在化が懸念される。もし、優秀な種雄牛が作出された場合にも、県外への供用を制限することにより、これら優秀な遺伝資源の波及効果が小さく、国全体のベースアップにはつながらない状況にある。

また、県を超えた種雄牛の能力の比較ができないことから、全国水準での能力が不明瞭なため、低能力牛の温存につながる可能性も指摘されていた。

② 広域化のメリット

これらの問題点に対比させて考えた場合、検定・評価の広域化を行った場合の利点として、

- ・ より多くの種雄牛から共同に利用可能な種雄牛(共同利用種雄牛)を選抜するため、能力の高い種雄牛が選抜できる
- ・ 毎年新しい共同利用種雄牛が出てくるため、利用できる種雄牛に幅ができ、特定の種雄牛への利用の集中が回避できる
- ・ 種雄牛の能力を共通の土俵で比較するため、改良のレベルを把握できる

等が挙げられる。

③ 事業の開始

以上の経緯を踏まえ、広域後代検定は都道府県の枠を超えた後代検定・能力評価の実施による改良効率の向上および育種資源の確保と有効利用を通じた、全国

ベースでの能力の向上を目的として開始された。

また、全国的に種雄牛が供用されることから、遺伝的多様性の確保にも配慮した種雄牛の選抜・利用が実施されている。

(2) 事業の具体的内容

① 検定方法

検定方法としては、ステーション検定(間接法)とフィールド検定(現場後代検定法および一般肥育を含む)の両方を採用しており、基本的には(社)全国和牛登録協会の検定方法に従っている(社団法人全国和牛登録協会 2000b)。しかし、間接法から現場後代検定法へ移行している検定実施県が増加していることや、評価値の一本化が望まれていることから、フィールド検定一本化への移行を進めているところである。この移行過程措置として、フィールドにおける一般肥育牛のデータを用いた広域後代検定への参加も認めている。

② 広域後代検定参加県

現在、国の事業で黒毛和種の検定事業を実施しているのは23道県あるが、そのうち広域後代検定に参加しているのは20道県である。

ステーション検定では、山形県、岐阜県、佐賀県、長崎県、熊本県の5県が、フィールド検定では、北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、福島県、茨城県、長野県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、大分県、沖縄県の15道県が参加している。

③ 基準種雄牛

広域で遺伝的能力評価を行う際には、牛群間の遺伝的連結度が高くなければ正確な評価が行えない(Woodら 1991; KennedyとTrus 1993)。血縁情報を通じてある程度の連結性を持っていると思われるものの、それだけでは十分であるとは考えられない。このため、能力評価を行う際に県間にブリッジをかけ、連結性をより高めるために基準種雄牛2頭の産子を各県に配置し、2年毎に1頭を更新している。

ステーション検定では、県の検定牛と同じ検定牛房に基準種雄牛の産子を配置する、「ステーション混飼型」と、県の検定牛とは別の検定牛房に基準種雄牛の産子を配置(ただし、検定期等は揃える)する、「ステーション追加型」のどちらかを実施している。

フィールド検定では、県の検定調査牛が肥育されている検定場(農家)に、基準種雄牛の調査牛も同時に配置して肥育することとしている。

④ 事業の流れ

広域後代検定における事業の流れを簡単に図3および4に示した。検定から選抜までの流れとしては、広域後代検定参加道県において検定を実施し、これら検定成績を基に家畜改良センターで遺伝的能力評価を行い、最終的にこれらの検定成績・能力評価値等を基に改良専門委員会と中央協議会で共同利用種雄牛の選定を行うこととなっている(図3)。共同利用種雄牛の選定要件については、検定成績および能力評価値に対する基準の他に、希少系統の種雄牛の遺伝子保有確率も要件に入っており、遺伝的多様性の確保にも配慮した選定要件となっている。これらの要件を満たしている種雄牛の中で、広域後代検定実施道県から精液の利用希望がある種雄牛および改良専門委員会が特に必要と認める種雄牛が共同利用種雄牛に選定される。

このように選定された共同利用種雄牛の精液は、全都道府県から利用希望を取り、家畜改良センターが精液の利用調整を、家畜改良事業団が精液の取り扱い窓

図3. 広域後代検定事業の流れ(検定から選抜まで)

図4. 広域後代検定事業の流れ(選抜牛の精液利用)

口となり、共同利用種雄牛所有道県から利用希望のあった都道府県へ精液の配布を行っている(図4)。

⑤ 共同利用種雄牛

現在までに選定された共同利用種雄牛は、平成14年度評価分からは7頭(ステーション4頭、フィールド3頭)、平成15年度第1期評価分からは9頭(ステーション3頭、フィールド6頭)、平成15年度第2期評価分からは5頭(フィールド5頭)であり、事業開始から21頭が全国的に共同で利用できる種雄牛として選定され利用されている(平成15年度第2期評価終了現在)。

(3) 遺伝的能力評価について

① ステーション検定とフィールド検定成績の同時評価方法の模索

間接検定(ステーション検定)とフィールドから得られた成績の関連性を調査するために、ある県における実際の間接検定成績とフィールドでの成績を用い、それぞれのデータを別形質として扱って、多形質REML法で遺伝率および遺伝相関を推定した。

データセットとしては、ステーションとフィールドの両方のデータを持つ種雄牛のみのデータ(A1: 種雄牛38頭、調査牛1,426頭)を抽出したが、実際の広域後代検定ではステーション検定での成績あるいはフィールド検定での成績しか持たない種雄牛が多く混在するデータを評価することとなるため、A1のデータセットから、調査牛頭数の少ない種雄牛10頭のフィールドデータを、調査牛頭数の多い種雄牛10頭のステーションデータをそれぞれ除外したデータ(A2: 種雄牛38頭、調査牛1,169頭)の2つで分析を行った。

遺伝的パラメータの推定にはVCE(Groeneveld 1998)を用い、ステーションのデータは、と畜年月(母数)、個体(変量)、肥育終了時日齢の一回帰を入れたモデルで、フィールドのデータはこのモデルに、性、肥育農家、市場(いずれも母数)を加えたモデルで推定を行った。

推定された遺伝的パラメータを表2に示した。データセットA1では、向井(1994)の報告と同様に、どの形質においてもステーションでの遺伝率はフィールドでの遺伝率よりも高く推定された。また、ステーション検定成績とフィールドから得られた成績との遺伝相関は、枝肉重量で制限値になり、ロース芯面積でやや低めに推定された他は高い値が推定された。しかし、より広域後代検定の現実の状況に近いと思われるデー

表2. ステーション、フィールドデータを多形質モデルで同時に推定した遺伝的パラメータ

データセット	n		DG	枝肉重量	ロース芯面積	バラの厚さ	皮下脂肪厚	BMS
A1	1,426	h^2 -S	0.650	0.719	0.312	0.458	0.598	0.653
		h^2 -F	0.371	0.316	0.394	0.298	0.327	0.524
		r_G	0.903	1.000	0.572	0.891	0.911	0.961
A2	1,169	h^2 -S	0.749	0.740	0.176	0.035	0.914	0.539
		h^2 -F	0.465	0.324	0.105	0.322	0.331	0.505
		r_G	1.000	1.000	0.256	-1.000	1.000	0.864

 h^2 -S: ステーションデータから推定された遺伝率 h^2 -F: フィールドデータから推定された遺伝率 r_G : 遺伝相関

表3. 種雄牛頭数および調査牛頭数の推移(ステーション)

評価時期	種雄牛数		調査牛数	
	県有	総数	県有	総数
H14	23	49	145	576
H15-1	39	98	242	1,117
H15-2	43	103	274	1,157

タセット A2 では、ロース芯面積で遺伝相関が非常に低くなり、バラの厚さではステーション検定の遺伝率が非常に低くなり、遺伝相関も正の強い相関から負の制限値へと逆転してしまった。また、データセット A1 では正常に遺伝相関が推定されたと思われた DG と皮下脂肪厚でも遺伝相関が制限値に達してしまった。これらのことから、データ数が少ないことを考慮しても、片方の検定にしかデータが存在しないアンバランスなデータでは、両検定から得られたデータを用いて同時に遺伝的パラメータを推定すると、推定値の信頼性が低くなることが示唆された。

以上の結果と、ステーション検定が特異な検定方法であること、また、脂肪交雑の評価がフィールドにおける格付協会による評価とずれが生じている可能性があることから、ステーション検定とフィールド検定の結果を同時に評価することは困難と考えられ、検定方法毎に評価することとなった。

② ステーション検定

a) 血縁情報

評価に用いた血縁情報については、遺伝ベースを揃えたほうがよいと考え、1960 年生まれ以降の血縁情報を用いることとし、その範囲で調査牛より可能な限り廻り構築した。識別できない個体についての遺伝グループ化は行わなかった。また、近交の影響も考えられることから、これらの血縁情報から、Meuwissen と Luo (1992) のアルゴリズムを用いたプログラム CoeF (佐藤 2000) で近交係数を算出し、Quaas (1976) の方法により血縁係数行列の逆行列を構築する際に利用した。

b) 評価モデルの選定

評価に用いたデータ数の評価回次に伴う推移を表3に示した。ステーション検定の評価には、県の検定牛だけでなく、(社)家畜改良事業団の平準化事業における検定牛のデータも利用しているため、総調査牛頭数

が県調査牛頭数の5倍程度で推移しているが、平成14年度当初は600頭弱のデータ数であった。

平成14年度時点での検定場毎の検定開始月および開始季節別頭数を表4に示したが、特定月に特定の検定場が検定を開始している傾向が顕著であったことがわかる。このため、開始月をより大きな括りの季節としてグルーピングした。この際、季節の概念は気温や湿度のような外部環境を基準とした。

以上のように、データの分布を勘案しながら、評価に用いるモデルの選定を行った。モデルに取り入れる母数効果の候補は、検定場、検定開始月および検定開始季節とし、データ数が少ないことから、各母数効果は独立に扱うこととした。

広域的に能力評価を行う場合には、群間の遺伝的連結度が問題となり、連結度が低ければ評価の精度も低下することから(Woodら1991; KennedyとTrus1993)、評価モデルの選定には、個体の育種価間の差の予測誤差分散(PEV)を算出し、モデルを選定する際の指標とした。

各効果を組み合わせた4つのモデルにより、混合モデル方程式を作成し、その係数行列の一般逆行列を

FSPAK (Perez-Encisoら1994)を用いて計算し、下式により当該個体間の差のPEVを計算した。

$$\text{Var}(\hat{a}_i - \hat{a}_j) = (C_{11(ii)} + C_{11(jj)} - 2C_{11(ij)})\sigma_e^2$$

ここで、 $C_{11(ii)}$ と $C_{11(jj)}$ は、一般逆行列中の個体*i*および*j*に相当する対角要素であり、 $C_{11(ij)}$ は、個体*ij*間に相当する非対角要素である。便宜上、種雄牛間の差のPEVの平均値を指標とし、形質はBMSを取り上げた。

平成14年度当初のデータ(種雄牛49頭)で行った分析結果を表5に示した。

差のPEVが小さいほど、群間の遺伝的連結度が高いこととなるが、モデルに取り入れる効果の数や効果の水準数が少ないほど差のPEVは小さくなる。このことを踏まえた上で分析結果から、開始季節を効果に取り入れたモデル(2)の方が、開始月を取り入れたモデル(1)よりも差のPEVが小さく、データの連結性が高いこと、また、これらの効果を入れていないモデル(3)とそれ程大きく差がないことから、モデル(2)で評価を行うこととした。

表4. 各検定場での開始月および開始季節別頭数(ステーション)

開始月	山形	長野	鳥取	佐賀	長崎	熊本	沖縄	LIAJ北	LIAJ広	小計
1月	10	6								16
2月			9							9
3月					10					10
4月							8	54	48	110
5月	10				19			76	77	182
6月								84	80	164
7月					10					10
8月						8				8
10月			9	20			10			39
11月							9			9
12月			10			9				19
開始季節	山形	長野	鳥取	佐賀	長崎	熊本	沖縄	LIAJ北	LIAJ広	小計
春(3~5月)	10				29		8	130	125	302
夏(6~8月)					10	8		84	80	182
秋(9~11月)			9	20			19			48
冬(12~2月)	10	6	19			9				44
小計	20	6	28	20	39	17	27	214	205	576

LIAJ北：家畜改良事業団北海道産肉能力検定場

LIAJ広：家畜改良事業団広島産肉能力検定場

表 5. 各モデルでの個体および差の PEV (ステーション)

モデル No.	効果	個体の PEV		差の PEV	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
1	A, F1, F2-1, RG1	1.209	0.660	2.151	0.960
2	A, F1, F2-2, RG1	1.061	0.435	1.859	0.643
3	A, F1, RG1	1.018	0.381	1.772	0.565
4	A, RG1	0.842	0.130	1.414	0.186

参考

効果番号	効果名	水準数
F1	検定場	9
F2-1	開始月	11
F2-2	開始季節	4
RG1	開始日齢の一次回帰	1
A	個体	3,958

表 6. 観測値の平均±標準偏差、最大値および最小値 (ステーション)

形質名	頭数	平均 ± 標準偏差	最大値	最小値
DG (kg/day)	1,157	0.91 ± 0.12	1.34	0.62
BMS (No.)		8.21 ± 1.90	12	3
ロース芯面積 (cm ²)		47.27 ± 5.90	65	24
皮下脂肪厚 (cm)		2.01 ± 0.55	4.3	0.7
枝肉重量 (kg)		347.89 ± 37.29	491	244
バラの厚さ (cm)		6.29 ± 0.73	9.3	4.0
歩留基準値		73.61 ± 1.05	76.9	69.1

表 7. 評価に用いた効果の水準数 (ステーション)

効果	水準数
検定場	10
開始季節	4
開始時日齢の一次回帰	1
個体 (うち調査牛数)	7,123 (1,157)

表 8. 遺伝的パラメータ (ステーション)

形質名	遺伝率	遺伝分散 (σ_a^2)	表型分散 ($\sigma_a^2 + \sigma_e^2$)
DG (kg/day)	0.53	0.0065	0.0122
BMS (No.)	0.75	2.52	3.37
ロース芯面積 (cm ²)	0.64	20.75	32.42
皮下脂肪厚 (cm)	0.34	0.10	0.29
枝肉重量 (kg)	0.79	1,006.89	1,271.54
バラの厚さ (cm)	0.64	0.31	0.49
歩留基準値	0.50	0.46	0.93

モデル式の詳細を以下に示した。現在でもこのモデル式で評価を行っている。

$$y_{ijk} = P_i + SS_j + u_{ijk} + aI(t_{ijk} - T) + e_{ijk}$$

ここで y_{ijk} : 形質の観測値
 P_i : 検定場 (母数効果)
 SS_j : 開始季節 (母数効果)
 u_{ijk} : 個体の育種価 (変量効果)
 t_{ijk} : 検定開始日齢
 T : 検定開始日齢の算術平均
 aI : 検定開始日齢に対する一次回帰
 e_{ijk} : 残差

c) 平成 15 年度第 2 期評価現在の状況

平成 15 年度第 2 期評価における観測値の基本統計量を表 6 に、評価に用いた各効果の水準数を表 7 に、推定された遺伝的パラメータを表 8 に示した。

遺伝的パラメータの推定には MTC (Misztal ら 1992、1993) を用いた。各個体の育種価については、MTC で求めた遺伝および残差の分散推定値を用いて JAA (Misztal と Gianola 1987) を用いて推定している。

(社) 家畜改良事業団において 1989 年から 2004 年までに実施された、間接検定の調査牛 4,617 頭のデータを用いて推定した遺伝率は、DG で 0.51、BMS で 0.72、ロース芯面積で 0.64、皮下脂肪厚で 0.45、枝肉重量で 0.57、バラの厚さで 0.48、歩留基準値で 0.65 であり (未公表)、広域後代検定での推定値の方が、枝肉重量とバラの厚さでやや大きく、皮下脂肪厚と歩留基準値でやや小さく推定されたが、DG、BMS およびロース芯面積ではほぼ同程度であった。

③ フィールド検定

a) 血縁情報

評価に用いた血縁情報については、ステーション検定と同じ方法で構築した。

b) 評価モデルの選定

評価に用いたデータ数の評価回次に伴う推移を表 9 に示した。フィールド検定の評価では、県有種雄牛と基準種雄牛のデータを用いている。平成 14 年度当初は 200 頭程度のデータで評価を行う必要があった。

平成 14 年度時点での各県での出荷市場別頭数を表 10 に示した。東日本と西日本で完全に出荷してい

表 9. 種雄牛頭数および調査牛頭数の推移 (フィールド)

評価時期	種雄牛数		調査牛数	
	県有	総数	県有	総数
H14	12	14	159	207
H15-1	40	42	588	752
H15-2	57	60	852	1,049

表 10. 各県での出荷市場別頭数 (フィールド)

市場	岩手	宮城	鳥取	広島	小計
岩手	64				64
仙台	1	41			42
山形	3				3
東京	10	1			11
大阪			5	1	6
神戸			4	2	6
鳥取			9		9
広島 1				25	25
広島 2				41	41
小計	78	42	18	69	207

る市場が分かれており、また、各県で出荷先がほぼ自県の市場に偏っている傾向が見られ、検定県と市場が強く交絡していることが窺えた。

平成 14 年度時点での各県でのと畜月およびと畜季節別頭数を表 11 に示した。平成 14 年度時点では、1 ～ 3 月にと畜されたデータは無く、また、4 ～ 5 月でのと畜データが少なかったため、開始月をより大きな括りの季節としてグルーピングした。この際、季節の概念は、ステーション検定とは異なり、4 月からの 3 ヶ月区切りにした。現在の評価(平成 15 年第 2 期評価)

表 11. 各県でのと畜月およびと畜季節別頭数(フィールド)

と畜月	岩手	宮城	鳥取	広島	小計
4 月				1	1
5 月	1			4	5
6 月		1		8	9
7 月		3		20	23
8 月	2	18	1	15	36
9 月	6		1	7	14
10 月	25	14	3	6	48
11 月	27	6	6	6	45
12 月	17		7	2	26
と畜季節	岩手	宮城	鳥取	広島	小計
4 ～ 6 月	1	1		13	15
7 ～ 9 月	8	21	2	42	73
10 ～ 12 月	69	20	16	14	119
小計	78	42	18	69	207

では、ステーション検定と同じ区切りにしている。

検定場当たりの調査牛頭数を図 5 に示した。検定場当たりの調査牛頭数が 5 頭以下の検定場がほとんどであったことから、検定場を母数効果として取り上げるために、基本的に 10 頭(一部 9 頭も含む)未満の検定場は県単位でグルーピングした。

以上のように、データの分布を勘案しながら、評価に用いるモデルの選定を行った。モデルに取り入れる母数効果の候補は、性、市場、と畜月、と畜季節および検定場とし、データ数が少ないことから、各母数効果は独立に扱うこととした。評価モデルの選定には、ステーション検定と同様に、個体の育種価間の差の PEV を算出し、モデルを選定する際の指標とした。平成 14 年度当初のデータ(種雄牛 14 頭)で行った分析結果を表 12 に示した。

図 5. 検定場別データ数(グルーピング後)

表 12. 各モデルでの個体および差の PEV (フィールド)

モデル No.	効果	個体の PEV		差の PEV	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
1	A, F1, F2, F3-1, F4, RG1	—	—	—	—
2	A, F1, F2, F3-2, F4, RG1	—	—	—	—
3	A, F1, F2, F4, RG1	—	—	—	—
4	A, F1, F3-1, F4, RG1	1.613	0.422	2.885	0.728
5	A, F1, F3-2, F4, RG1	1.560	0.431	2.773	0.741
参考					
効果番号	効果名	水準数			
F1	性	2			
F2	市場	9			
F3-1	と畜月	9			
F3-2	と畜季節	3			
効果番号	効果名	水準数			
F4	検定場(グルーピング後)	11			
RG1	と畜日齢の一次回帰	1			
A	個体	1,439			

市場を入れたモデルでは、方程式の行列が特異行列となった。このことから、市場と検定場とが交絡し、モデルに無理が生じていると考えられたため、市場はモデルに入れないこととした。また、と畜季節を効果に取り入れたモデル (5) の方が、と畜月を取り入れたモデル (4) よりも差の PEV が小さく、データの連結性が高いこと、また、データの分布も勘案し、モデル (5) で評価を行うこととした。

現在の評価に用いているモデル式の詳細を以下に示した。現在は上記の効果と異なり、と畜時月齢の一次および二次回帰を取り入れている。

$$y_{ijkl} = SX_i + SS_j + GP_k + u_{ijkl} + a1(t_{ijkl} - T) + a2(t_{ijkl} - T)^2 + e_{ijkl}$$

ここで y_{ijkl} : 形質の観測値
 SX_i : 性 (母数効果)
 SS_j : と畜季節 (母数効果)
 GP_k : グルーピング後検定場 (母数効果)
 u_{ijkl} : 個体の育種価 (変量効果)
 t_{ijkl} : と畜時月齢
 T : と畜時月齢の算術平均
 $a1$: と畜時月齢に対する一次回帰
 $a2$: と畜時月齢に対する二次回帰

e_{ijkl} : 残差
ただし、と畜時月齢の一次および二次回帰は日齢枝肉重量以外の形質に適用

c) 平成 15 年度第 2 期評価現在の状況
平成 15 年度第 2 期評価における観測値の基本統計量を表 13 に、評価に用いた各効果の水準数を表 14 に、推定された遺伝的パラメータを表 15 に示した。なお、遺伝的パラメータの推定および各個体の育種価の算出については、ステーション検定での推定と同じプログラムを用いた。
向井 (1994) が 1988 年から 1994 年 2 月までに全国 24 道府県 (28 地域) で収集された枝肉格付結果約 70,000 頭のデータを用いて各地域単位で推定した遺伝率の重み付け平均は、枝肉重量で 0.44、脂肪交雑評点で 0.46、ロース芯面積で 0.45、バラの厚さで 0.38 であり、どの形質においても広域後代検定での推定値の方が高く推定された。また、広域後代検定におけるステーション検定での遺伝率 (枝肉重量で 0.79、BMS で 0.75、ロース芯面積で 0.64、バラの厚さで 0.64: 前出) よりも、フィールド検定での推定値の方が、枝肉重量とバラの厚さを除いて高く推定された。このことは、ステーション検定では遺伝率が高く推定される可能性があるという報告 (楊ら 1985; 向井 1994) と異なっており、広

表 13 観測値の平均±標準偏差、最大値および最小値 (フィールド)

形質名	頭数	平均±標準偏差	最大値	最小値
枝肉重量 (kg)	1,049	419.25 ± 56.41	616.0	262.0
BMS (No.)		5.00 ± 1.95	11	2
ロース芯面積 (cm ²)		52.18 ± 7.24	85.0	28.0
日齢枝肉重量 (kg/day)		0.49 ± 0.07	0.81	0.30
バラの厚さ (cm)		7.35 ± 0.92	11.0	4.3

表 14 評価に用いた効果の水準数 (フィールド)

効果	水準数
性	2
と畜季節	4
グルーピング後検定場	39
と畜時月齢の一次回帰	1
と畜時月齢の二次回帰	1
個体 (うち調査牛数)	6,963 (1,049)

表 15 遺伝分散計算結果 (フィールド)

形質名	遺伝率	遺伝分散 (σ ² _a)	表型分散 (σ ² _a + σ ² _e)
枝肉重量 (kg)	0.68	1,528.86	2,247.67
BMS (No.)	0.84	3.39	4.03
ロース芯面積 (cm ²)	0.67	34.58	51.24
日齢枝肉重量 (kg/day)	0.82	0.0030	0.0037
バラの厚さ (cm)	0.64	0.51	0.80

域後代検定におけるフィールド検定のデータが、検定種雄牛と基準種雄牛のデータに限られており、一般的にフィールドから得られるデータと質が異なることが原因であると思われた。

(4) 能力評価上の課題と検討方向

① 検定の一本化

冒頭部分でも述べたが、種雄牛造成を行っている各道県の検定方法が、間接検定(ステーション)から現場後代検定(フィールド)へ移行しており、間接検定を実施している県が減少している。このため、広域後代検定の評価においても、ステーション評価に追加されるデータ数が減少してきている。また、現在の評価では、検定の性質上、ステーション検定とフィールド検定から得られた成績を別々に評価しており、事業への参加形態が異なる県間での種雄牛の比較ができない状況にある。種雄牛の能力を一つの土俵で比較することが望まれていることから、現在、事業実施道県における検定および評価のフィールドへの一本化を進めているところである。

② 評価の精度

各回次における評価の時点で可能な限り最良の評価が実施できるように、基準種雄牛の産子の配置、データの収集状況や分布状況を勘案しながら評価モデルについての検討を行い、評価値を推定しているが、今後より信頼性における評価値を推定するためには、データ数の確保や、地域間の連結性の向上が必要である。

例えば、現在の事業の仕組みでは、利用できるデータが広域後代検定で得られた調査牛のものだけであり、ほとんどの場合、検定以外の後代記録が追加されることによる信頼度の向上はない。種雄牛の選抜・利用を考えた場合、一定基準を満たした検定成績から可能な限り早期に評価値を提供する必要があるが、評価値の正確性をより高いものにするために、フィールド検定においては、検定後もフィールドから一般に肥育されたデータを収集・追加して評価することも一つの方法として考えられる。ただし、一般のフィールドから収集された肥育データと、あらかじめ計画を立てて収集された検定データとの違いに配慮し、データの収集や採用の方法を検討する必要がある。

また、各検定実施道県間の連結性を高めるために、基準種雄牛を配置しているが、各道県の全ての検定場に配置されているわけではない。各道県の検定成績のより正確な比較を可能にするためには、各検定場の協

力と計画的な基準種雄牛の配置が必要である。

4. おわりに

広域後代検定は全国ベースでの肉用牛の能力向上を図るために、都道府県の枠を超えた優良な育種資源の確保と有効利用および高能力種雄牛の造成・利用の促進を目的として実施されている。今後も、遺伝的多様性の確保に配慮しつつ、育種資源の有効な利用と種雄牛造成のあり方等について、育種県、関係団体、国が協力しあい、慎重かつ効率的に発展させていく必要があると考えられる。

謝 辞

この分析は、家畜改良増殖対策事業の中の肉用牛改良増殖推進に係る広域後代検定の中で行ったものです。

本分析を遂行するにあたり、基礎分析にご協力を頂いた(独)農業・生物系特定産業技術研究機構畜産草地研究所の古川力氏、分析手法についてご指導を頂いた神戸大学農学部に向井文雄教授、検定・分析に関して助言を頂いた委員各位に感謝の意を表します。また、分析プログラムを利用させて頂いたジョージア大学のMisztal氏に感謝いたします。

参考文献

- Groeneveld E. 1998. VCE User's guide. Version 4.2. Institute of Animal Husbandry and Animal Sciences. Mariensee. Germany.
- Kennedy BW, Trus D. 1993. Considerations on genetic connectedness between management units under an animal model. *Journal of Animal Science*, 71: 2341–2352.
- Meuwissen THE, Luo Z. 1992. Computing inbreeding coefficients in large populations. *Genetics Selection Evolution*, 24: 305–313.
- Misztal I, Gianola D. 1987. Indirect solution of mixed model equations. *Journal of Dairy Science*, 70 (3): 716–723.
- Misztal I, Lawlor TJ, Short TH, VanRaden PM. 1992. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *Journal of Dairy Science*, 75 (2): 544–551.
- Misztal I, Perez-Enciso M. 1993. Sparse matrix inversion for restricted maximum likelihood estimation of variance components by expectation-maximization.

- Journal of Dairy Science, 76 (5): 1479–1483.
- 向井文雄. 1994. 黒毛和種の産肉形質の選抜法ならびに遺伝的評価に関する研究. 日本畜産学会報, 65 (9): 890–905.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2004. 畜産統計. 平成 16 年 2 月. 180-195. 財団法人農林統計協会. 東京.
- Perez-Enciso M, Misztal I, Elzo MA. 1994. FSPAK: An interface for public domain sparse matrix subroutines. Proc. 5th World Congress Genet. Appl. Livest. Prod, 22: 87–88.
- Quaas RL. 1976. Computing the diagonal elements and inverse of a large numerator relationship matrix. Biometrics, 32: 949–953.
- 佐藤正寛. 2000. 大規模血統情報から近交係数を算出するプログラムの開発. 日本養豚学会誌, 37 (3): 122–126.
- 社団法人全国和牛登録協会. 1999. 和牛種雄牛産肉能力検定成績. 間接法 (平成 9 年度) ・現場後代検定法 (平成 10 年度). 250–251. 社団法人全国和牛登録協会. 京都.
- 社団法人全国和牛登録協会. 2000a. 和牛種雄牛産肉能力検定成績. 間接法 (平成 10 年度) ・現場後代検定法 (平成 11 年度). 251–252. 社団法人全国和牛登録協会. 京都.
- 社団法人全国和牛登録協会. 2000b. 和牛登録事務必携. 平成 12 年度版. 148–159. 社団法人全国和牛登録協会. 京都.
- 社団法人全国和牛登録協会. 2001. 和牛種雄牛産肉能力検定成績. 間接法 (平成 11 年度) ・現場後代検定法 (平成 12 年度). 254–256. 社団法人全国和牛登録協会. 京都.
- 社団法人全国和牛登録協会. 2002. 和牛種雄牛産肉能力検定成績. 間接法 (平成 12 年度) ・現場後代検定法 (平成 13 年度). 229–230. 社団法人全国和牛登録協会. 京都.
- 社団法人全国和牛登録協会. 2003. 和牛種雄牛産肉能力検定成績. 間接法 (平成 13 年度) ・現場後代検定法 (平成 14 年度). 218–329. 社団法人全国和牛登録協会. 京都.
- Wood CM, Christian LL, Rothschild MF. 1991. Use of an animal model in situations of limited subclass numbers and high degrees of relationships. Journal of Animal Science, 69: 1420–1427.
- 楊 茂成・向井文雄・佐々木義之. 1985. 黒毛和種産肉能力検定間接法の成績に関する遺伝率および遺伝ならびに表型相関係数の推定. 日本畜産学会報, 56: 193–198.