総 説

繁殖疫学の基礎と応用：養豚を例として

額額 雄三

明治大学農学部

産業動物の生産システム・飼養技術の変化と獣医医療の変化

アメリカでは産業動物生産において急速な多頭飼育が進み、生産システムと飼養技術が変化してきた。大学は従来の個別治療とともに、生産者や臨床獣医師のために生産管理（production management）と群健康（herd health）の指導と研究を要求されるようになった。その時代の要請のなかで、ミネソタ大学獣医学部臨床疫学科では、人医学公衆衛生分野の現代疫学の理論を産業動物臨床に応用し成果を上げてきた。農場を一共同体の集団（population）とし、生産指標の定期的測定（monitoring）、データベースの作成、その分析と臨床的解釈と対応のために疫学が応用されてきている。現在では獣医医療指導の中に経営管理、財務管理まで含めている。

本稿では筆者らがミネソタ大学獣医学部の養豚データベース部門で実践してきた繁殖疫学について研究事例をもとに解説する。事例は、野外での観察研究、大学研究農場での再現実験、介入実験、そして生産農場から収集されたデータを使用した成績指標の標準値と目標値の設定と分析（ベンチマーキング）である。

ミネソタ大学のコンピューター生産記録

今後の産業動物分野での獣医臨床、教育、生産向上のための生産者指導にコンピューター生産記録が不可欠という展望のもと、米国ミネソタ大学獣医学部は1985年にコンピューター生産記録ソフト（PigCHAMP：ピッグチャンプ）を開発した²⁴⁾。英語だけでなく他の8言語にも訳され世界55カ国の生産者に使用され現在にいたっている。

生産に関する測定記録、特にコンピューター化された記録を生産データ（production data）と呼んでいる。この

生産データの活用にサイエンスと客観性を取り入れることができれば、野外農場が持つ生産データは様々な発展性を持つ事になる。豚も飼料も実際に使われているものばかりであり、応用もしやすく、生産に役立つ応用研究ができる。ミネソタ大学は1992年から養豚生産者からの大掛かりなデータ収集を始め、1996年からデータベースの作成と分析をはじめ現在にいたっている。

ピッグチャンプでは疫学でいう人年法（person-year）ならぬ豚日法（pig days）を使用している²⁴⁾。養豚農場では淘汰される繁殖雌豚（雌豚）と更新される若雌豚がともに40%を越えている場合が多く、平均雌豚数の算出法が困難であった。豚日法の採用は、雌豚の出入りが多い養豚農場でのどのような期間でも正確な平均雌豚数算出を可能にした。そしてその雌豚数を雌豚当たりの率を計算する時の分母に用いた。

生産システムにおける繁殖の重要性

農業動物生産における繁殖成績は生産性に強く影響している。豚を例にとると、分娩間隔や雌豚当たり分娩生存子豚数は群の繁殖効率に影響する。さらに離乳時の離乳体重は、肥育成績である出荷日数や1日当たり平均増体量と関係がある。その意味で繁殖成績は豚生産のプロセスの中心とも言える。固定費用は高いが、成績改善のチャンスが多い部門（opportunity center）とも言われている。

繁殖疫学の定義と範囲

繁殖疫学は、動物の集団である農場での繁殖成績を中心とした生産全般を扱い、繁殖性とその指標を決定し、繁殖成績の低下や繁殖障害などの発生や生産にまつわるパターンを発見すること、さらにリスク因子との関係を定量し、それらを生産現場で応用するための科学である。繁殖成績を記述、分析、説明、予測しコントロールすることで、農場の生産量と生産性の最適化に寄与することを目指している。

連絡先：額額雄三（こうけつ ゆうぞう）

〒214-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1

明治大学農学部4号館-215A

Tel & Fax : 044-934-7156

E-mail : koket001@isc.meiji.ac.jp

繁殖疫学の研究手法

研究方法としては、群として繁殖・生産パターンの量と分布を記述する方法と、リスク因子を決定し定量する分析法がある。研究デザインとしては野外での観察研究 (observational study) のほかにコントロールされた再現実験、野外での介入研究がある。観察研究では、疫学の代表的手法であるコーホート法や症例対照法を使用する。ラボや研究農場での研究は、野外での問題をモデルとして作り、その因果関係を検証するために有効である。

観察研究での単位

繁殖疫学における観察研究での単位 (observational unit) は、農場群のほかに個体と群内グループがある。淘汰率や更新率は群としての測定値である。グループの例としては種付け週グループがある。この観察単位の違いによって、リスク因子と繁殖成績の関係、さらに解釈も変わってくる。例えば、個体と群の両方が測定できるユニークな因子として授乳期間がある^{11) 10)}。個々の雌豚単位で見ると授乳期間が短くなると、繁殖成績は低下する、しかし農場単位でみると、平均授乳期間が短くなると年間雌豚当たり分娩腹数は増加する (図1)。高生産性農場は授乳期間を短くして雌豚当たり年間分娩腹数を上げるマネジメントを実行していると解釈すべきであろう。観察単位としての農場は、動物の繁殖成績というより農場マネジメントが影響している場合がある。

主な繁殖成績の指標

ミネソタ大学のピッグチャンプは群として116の測定項目がある。その1部を表に示した。年間雌豚当たり離乳頭数と年間雌豚当たり分娩腹数、離乳雌豚当たり離乳頭数が3大測定値である¹⁹⁾。群のみでの測定値と個々の豚の平均値がある。なお繁殖雌豚は未経産と経産豚を含

図1. 群レベルの関係の定量：授乳期間&年間種付け雌豚腹数

み、母豚は経産豚のみである²⁴⁾。

個々の母豚を見る時の主な繁殖成績は、離乳後発情回帰日数、離乳時平均子豚体重、分娩率、分娩時総子豚数である。乳牛と違い、豚では授乳中は発情せず、離乳後約1週間で発情が回帰する。米国では授乳期に哺乳豚にミルク給与をしている生産者は、ほとんどいないので、離乳時の子豚総体重は母豚泌乳量に影響される¹²⁾。分娩率は種付けされた豚が分娩したか否かという指標である。一回の分娩サイクルでの成績のほかに、初産から淘汰出荷されるまでの総離乳頭数 (生涯生産性) もある¹⁷⁾。

繁殖疫学とリスク因子

繁殖疫学ではリスク因子 (risk factor) を、病気ではないが最適でない繁殖成績や繁殖障害に関係する因子とした¹¹⁾。繁殖豚における主なリスク因子としては、産歴、授乳期間、季節、授乳期の飼料摂取量⁷⁾、妊娠期の飼料摂取量²⁶⁾、1発情期での交配回数²⁷⁾がある。さらに離乳後発情回帰日数のように繁殖成績であり、その後の繁殖成績 (例えば次産時分娩子豚数) のリスク因子でもあるものもある¹⁸⁾。そしてリスク因子間で繁殖成績に対する相互作用も存在する。

最近、過生産における過種付け数のばらつきが年間繁殖生産性の低下と関係があることも分かってきた¹⁶⁾。特殊な因子として、農場規模がある。純粋なリスク因子として疑問はあるが、農場マネジメントまたは生産システムの進展度を表していると解釈されている。例を示すと、雌豚規模が増えるに従って、農場生産性を示す年間雌豚当たり離乳子豚数は増加するが、雌豚事故率も増加するという傾向があった (図2) 多頭飼育で設備システムは進歩し繁殖生産性は改善されたが、急速な飼養頭数の増加で、個体観察の重要性を教える従業員教育がおろそかになっているのではと、アメリカ養豚業界に警告した²¹⁾。

図2. 農場規模と農場内雌豚事故率 (回帰分析で得られた回帰係数から) 棒グラフにした

生産農場での観察研究実例

母豚授乳期の栄養摂取はその後の繁殖成績に影響するとは言われていたものの、実際の農場での状況を調べた人はいなかった。そこで米国の中西部に所在し、コンピューター記録している34農場の協力参加のもと観察研究を実施した。1) 生産農場において、授乳豚の飼料摂取

図3. 関係の定量：授乳期飼料摂取量と離乳後発情回帰日数の関係（二次曲線）

図4. 関係の定量：授乳期飼料摂取量と離乳時子豚総体重の関係（三次曲線）

図5. 関係の定量：授乳期飼料摂取量と分娩率の関係（オッズ比から確率を算出）

はどのくらいなのか、2) 本当に飼料摂取量を増やせば、繁殖成績を改善できるのか、という目的の観察研究であった。生産者には各授乳豚の毎日の飼料給与量と残餌量をカードに記録するように依頼し、3年かけ11,705頭の母豚から25,040の記録を得た。平均1日当たり飼料摂取量は $5.2 (\pm 1.37 \text{ SD}) \text{ kg}$ であった⁴⁾。また生産者の飼料給与量の正確性は3ヶ月に一度チェックした。

個々の母豚の飼料摂取記録とピッグチャンプで記録された繁殖成績と合わせた。そして統計モデルを作り、4つの繁殖成績と授乳期飼料摂取量との関係を定量した⁵⁾。野外データであるので単変量でなく多変量とした。さらに農場間のバラツキを補正するために農場を統計モデルに含んだ（blocking）。次産時総子豚数は正の一次曲線、離乳後発情回帰日数は2次曲線（図3）、離乳時平均子豚体重は3次曲線となった（図4）。次産時子豚総数は、現在授乳している母豚が離乳されて種付けされて妊娠し分娩した時の総子豚数である。分娩率は個々の雌豚レベルであるので、従属変数は1または0である。それでGLM法（SAS）でなくロジステック回帰分析用のCATMOD手法（SAS）²⁵⁾を用いた。さらに回帰係数・オッズ比から確率を計算し、分娩率と飼料摂取量の関係を測定した（図5）。

すべての統計モデルで飼料摂取量が増加すれば成績が改善されることが示唆された^{5) 9)}。臨床的解釈としては、繁殖成績を向上させるには、授乳期の飼料摂取量を増加させる管理が大切であるとした。

症例対照研究

繁殖成績と同様に繁殖障害についても授乳期飼料摂取量との関係を定量した。種付け後再発発生を規則的再発と非規則的再発に分け、さらに淘汰記録から離乳後無発情と種付け後不受胎の繁殖障害にわけ、飼料摂取量との関係をロジステック多変量統計モデルで分析した⁶⁾。この研究は、結果からケース（症例）とそうでないもの（対照）を分けたので、症例対照研究といえる。対照は繁殖障害がなかった雌豚群とした。規則的再発（オッズ比：0.82）を例にとると、平均飼料摂取量が1 kg増えると0.82倍、4 kg増えると $(0.82)^4$ 倍再発を起こす可能性が減少すると解釈した。上記の繁殖成績と同様に、繁殖障害の発生を少なくするためにも、授乳期の飼料摂取量を増加させる飼養管理の必要性を臨床的解釈とした。

繁殖成績に及ぼす飼料摂取パターンの影響

養豚生産者が記録した日毎の摂取量をみてみると、授乳期中期に摂取量が落ち込むパターン（落ち込み型）と摂取量が授乳期を通して低い特徴的パターン（LLL型）

図6. 野外での観察例：授乳期の飼料摂取量パターン2種

があることに気づいた（図6）。普通は、分娩後から日摂取量が上がり、ピーク以後一定となるとされていた（ノーマル型）。実際に定義を作り、数えて見ると落ち込み型は全農場に存在し、約46%の記録に見られ、LLL型は比較的小型の4農場を除く30農場で1.2%の雌豚で見られた⁴⁾。

飼料摂取量の減少が離乳後の繁殖成績低下の一因でもあろうが、飼料摂取量の落ち込みのタイミングが問題ではなかろうか、という疑問があった。それで約3週間の授乳期を3つの時期、授乳前期・中期・後期に分け、それぞれの授乳期間の重要度を回帰係数で測定することを試みた。回帰係数の比較から、授乳中期の飼料摂取量は、離乳後発情回帰日数のために他の期間より重要ということが示唆された。同様な手法で、離乳時総体重は、前期より中期、さらに後期の飼料摂取量が重要ということが示唆された⁸⁾。野外データであるから、極端に少なかったり多かったりの飼料給与をされた母豚はいない。この結果は、中期や後期に飼料摂取が落ち込んだ豚に、離乳後繁殖成績が低下する場合が増える、と解釈するべきである。しかし、授乳中期さえ十分な飼料を給与すれば離乳後発情回帰日数は遅れないのでは、とする極端な解釈もあった。それで次の再現モデル実験を行った。

野外観察から再現モデルとしてのコントロール実験へ

野外で示唆されたことを再現し、野外での経験、臨床的解釈は正しいのかを確認し、繁殖的メカニズム²⁾を検証するために、大学農場で摂取パターンの再現モデルをつくり、エネルギーの摂取パターンと離乳後発情回帰日数、そして発情回帰のカギである脳下垂体で分泌される黄体形成ホルモンとの関係を調べた³⁾。

21日の授乳期間を1週間毎に3期に分け、5つの摂取パターンを高エネルギー（H：16.5Mcal/日）と低エネルギー（L：6.5Mcal/日）の2つの飼料で作った。3期とも高または低エネルギーで通したものを対照区（HHHまたはLLL）として、3処置区（LHH・HLH・HHL）は前・

離乳後発情回帰日数

図7. 高（H：16.5Mcal/日）と低（L：6.5Mcal/日）エネルギーの2種の飼料で作った21日離乳での5つの飼料摂取パターンによる離乳後発情回帰日数。HHH：3週ともH,LLL：3週ともL,LHH：第1週のみL,HLH：第2週のみL,HHL：第3週のみL（ab,異符号は有意差 $P < 0.05$ を示す）

中・後期のいずれか1週間のみ低エネルギー飼料を給与し、他の2週間は高エネルギー飼料を与えた。結果は、どの期間も1週間低エネルギーしか摂取できなければ、全期間低エネルギー給与の母豚（LLL）のように離乳後発情回帰日数が遅れてしまうこと（図7）、またこの前・中期の低エネルギー摂取は授乳中の黄体形成ホルモンの分泌を抑え、その影響を後期にも持ち越すことが示唆された。1週間のエネルギー不足でも、脳下垂体系に影響を与え次週の黄体形成ホルモンの分泌に影響を与えうることを証明し、どの期間も十分に飼料給与することが大切である、と解釈し臨床指導に活用した。

摂取量を不完全にコントロールした準実験法での新再現モデル

上記の給与エネルギーをコントロールした再現実験では、処置が極端な2種類しかなく、その間については未知であった。例えば、分娩後1週間も低エネルギー摂取の場合の母豚について低繁殖成績が示されたが、3日だけまたは4日だけ低エネルギーの場合には分からなかった。また、低エネルギー飼料6.5Mcalではわかったが、8や9Mcalではわからなかった。このあたりが完全コントロールの実験手法下での再現モデルの限界であろう。

そこで、自然のばらつきを利用した回帰分析を使うため実験を行った¹³⁾。夏場で摂取量がばらつくことを利用して、実験使用雌豚の7割の飼料摂取量を飽食とし、残りの3割はばらつきの幅を増やす意味で低飼料給与量とした。1日の飼料摂取量も授乳期の平均摂取量も回帰分析できるだけのばらつきが作れるという意図であった。

このばらつきを利用して、平均飼料摂取量と黄体形成ホルモン・ピーク数の正の関係、その黄体形成ホルモン・ピーク数と離乳後発情回帰日数の負の関係（図8）を定量した。授乳期の飼料摂取量が授乳期中の黄体形成

図8. 関係の定量：黄体形成ホルモンのピーク数と離乳後発情回帰日数

図9. 分娩後の累積飼料摂取量と離乳後発情回帰日数の関係の強さ（R二乗）

ホルモンの分泌を増やし、その増加した授乳期中の黄体形成ホルモンの分泌が、離乳後発情回帰を早めるという仮説²⁾の証明に役立てた。また、分娩後の毎日の累積飼料摂取量と離乳後発情回帰日数との統計的関係の強さ（R二乗）から、分娩後3日までの飼料摂取量はあまり離乳後の発情回帰日数には影響しないと示唆した（図9）¹⁵⁾。この示唆は、分娩直後に飼料を過剰給与しているため授乳期中で飼料摂取の落ち込みが見られる農場での、分娩後の母豚にいかに飼料を給与するかという臨床指導に有用であった。

ベンチマーキングと記述疫学

野外に行ってデータを収集する観察研究で、生産現場での問題点を見つけ、そのリスク因子との関係を定量し、さらに再現モデルを作り、実験的にも検証していくことも疫学の臨床応用のためには有用な手法である。その他の方法で、農場に集積された生産データを直接に現場指導に役立てる方法もある。

近年、アメリカ養豚業界で盛んになったものに農場生産性向上のためのベンチマーキング（benchmarking）がある。ベンチマーキングとは農場生産性を定期的に測定

しそれを同業界の標準値や目標値と比べ、自農場の生産性が同業界のどの位置にあるかを知り、どうしたら改善できるかを探索するプロセスである^{19) 20) 23)}。現在の日本の産業動物生産者にとってもっとも必要なものの一つである。このプロセスには多くの農場の参加が必要である。また、指標の中心値や、動物・場所・年（animal, place, time）など特性での繁殖性分析が有用である。記述疫学の知識と手法が活用できる。

ベンチマーキングでの標準値と目標値

測定指標ごとに平均値と目標値とする百分位値（上位10%や25%値）を出すのは簡単である。しかし、そうして計算された上位値は、不自然で実現不可能な高値ばかりが集まってしまい、生産者指導に応用できない。そこで、農場での繁殖生産性を表す最もよい基準指標を決め、それで米国の685農場を順位で並べその上位10%を高生産性農場とし、残りをその他の農場に分けて、標準値と目標値とした（表）。農場での繁殖生産性の最良指標基準値としては、年間種付け雌豚当たり離乳子豚数とした。この時、従来論争されていた分母となる繁殖用雌豚数の定義という問題で、初回種付けされた時点から雌豚に算入するとした。

年間種付け雌豚当たり離乳子豚数を最高指標とした生産性ツリーとして表した（図10）¹⁹⁾。ツリーでは豚の繁殖性は年間の雌豚当たり分娩腹数と離乳雌豚当たり離乳子豚数の2つに分枝し、豚の繁殖の2面性が表されている。このツリー状のグラフ（生産性ツリー）は生産者への指標間の関連性の説明によく用いられている。

ベンチマーキングでの高生産性農場とその他の比較

生産性ツリーの指標ごとに自農場の測定値を並べ高生産性農場と比較すれば、自農場の改善ポイントが理解できる。さらに高生産性農場とその他の農場を比較してどこが違うのかを見つけることもベンチマーキングの一つである（best-practice benchmarking）。

図10. 年間種付け雌豚当たり離乳子豚数を頂点とした生産性ツリー（数字は指標間相関係数）

表. 米国高成績農場（年間種付け雌豚当たり離乳子豚数の上位10%の70農場）とその他615農場の比較

測定指標	高成績農場		その他農場	
	平均	SEM	平均	SEM
種付け成績				
再発種付け率 (%)	9.4	0.51	14.8	0.30
離乳後初回種付けまでの日数	6.8	0.23	8.7	0.17
繁殖用雌豚非生産日数	62	2.2	93	1.3
分娩時成績				
分娩間隔	143	0.5	50	0.3
分娩率	82.3	0.75	73.4	0.43
1腹当たり生存産子数	10.6	0.05	10.0	0.02
1腹当たり死産子数	1.0	0.02	1.0	0.01
年間種付け母豚当たりの分娩腹数	2.47	0.012	2.20	0.01
離乳時成績				
哺乳中子豚死亡率 (%)	10.4	0.34	12.9	0.14
離乳母豚当たり離乳子豚数	9.5	0.04	8.7	0.02
補正21日令一腹当たり子豚総体重 (kg)	56	1.4	56	0.4
年間種付け雌豚当たり離乳子豚数	23.5	0.08	19.1	0.10
雌豚生涯生産離乳子豚数	30.8	1.28	26.8	0.51
分娩豚房利用率				
年間分娩豚房当たり分娩腹数	15.1	0.43	13.6	0.19
群・管理				
平均繁殖雌豚数	1098	125	708	33
雌豚中未種付け若雌豚 (%)	6.6	0.57	7.3	0.25
平均授乳日数	17.2	0.28	18.5	0.15
淘汰率 (%)	40.1	1.35	46.0	0.74
更新率 (%)	56.1	2.77	60.1	0.97
繁殖雌豚死亡率 (%)	5.20	0.38	5.67	0.16

年間種付け雌豚当たり分娩腹数

図 11. 高成績農場とその他農場における平均授乳期間と年間種付け雌豚当たり分娩腹数の関係

母豚当たり離乳頭数

図 12. 高成績農場とその他農場における平均授乳期間と母豚当たり離乳頭数の関係

高生産性農場とその他農場グループでは、平均授乳期間が年間雌豚当たり分娩腹数（雌豚回転数）と母豚当たり離乳子豚数に及ぼす影響が違ふことを示した²⁰⁾。アメリカの高生産性農場では、授乳期間が短くても雌豚回転数は変化しないが、離乳母豚あたり離乳頭数は少なくなる（図 11）。一方、その他農場では、授乳期間が短くても母豚あたり離乳頭数は変化しないが、雌豚回転数は少なくなる（図 12）。雌豚回転数と母豚当たり離乳子

豚数について授乳期間との関係がちょうど反対になるのである。さらに、高生産性農場では、雌豚回転数と母豚当たり離乳子豚数に負の相関があるのがわかった。これは高成績性農場で、雌豚回転数が最大化されているためであり、農場による必要マネジメントの違いを示す臨床的指導のための好例となった。日本の養豚農場では、授乳期間でなく分娩間隔で同様なことが見られた²³⁾。

図13. 産歴による分娩率 (33農場の2453繁殖雌豚)

図15. コーホート法：授乳期間と飼料摂取量との分娩率への関係

図14. 生態学的群レベル：国別の年間雌豚当たりの離乳頭数

図16. 応用コーホート法：産歴と授乳期間との産後発情回帰日数への関係

ベンチマーキングとしての動物・場所・年

動物・場所・年における繁殖性の平均と分布を測定することによって、生産者や現場の獣医師が生産を考える一助になる。動物の特性例としては産歴 (図13), 場所は国 (図14) またはある地方, 年は季節や5年の傾向がある^{17) 19)}。

リスク因子間の相互作用

授乳期間を短くし母子間の垂直感染を少なくして、感染症発生を減少させる早期離乳システムが、1990年頃から米国では一般化した。しかし、授乳期間を短くすると個々の母豚繁殖成績も若干落ちる⁷⁾。早期離乳システム下での生産性と生産量を最適化するために、繁殖成績のリスク要因としての授乳期間とその他の影響についてリスク因子間の相互作用という観点で調べた。

コーホート法の例：繁殖成績に対するリスク要因間の相互作用

後ろ向きコーホート法で、10,000頭の母豚を授乳期平均飼料摂取量で、高・中・低飼料摂取群の3グループに分け、分娩率が授乳期間によってどのように変化するかを

を観察した⁹⁾。

ロジステック回帰分析で、飼料摂取グループと授乳期間の相互作用が有意であった (図15)。臨床的解釈としては、低飼料摂取群の母豚は授乳期間が短くなるに従って分娩率が低下したが、高飼料摂取群では、それほど授乳期間の影響を受けなかった、とした。

同様に授乳期間と産歴の関係を2つの繁殖成績について調べたところ、不思議なことがわかった。産後発情回帰日数では、授乳期間が短くても、中産 (3-5産: mid-parity) 以降の母豚はそれほど影響を受けないのに (図16)¹⁰⁾、次産時子豚数は中産以降の母豚が初産豚より授乳期間の影響を受けている (図17)¹⁴⁾。初産豚の産後発情回帰日数が授乳期間に感受性が強いのは、初産豚はまだ成長中で間脳-下垂体-卵巢システムが未熟であったからという説明ができた。しかし中産以降母豚の次産時子豚数のみが授乳期間の影響を強く受けるというのは、説明が困難であった。子宮の収縮が遅い、または卵巢に黄体が残っている産後母豚がいるのでは、と推測した。

図17. 応用コーホート法：産歴と授乳期間との次産時総分娩子豚の影響

観察研究から介入研究へ

上記での推測が的外れでないことを示すために、介入研究を実施した。3産以降の母豚の次産時生存子豚数と授乳期間との関係（回帰係数）を、子宮収縮または黄体退行を誘導できる物質を与えることによって、変化させようとした。介入するための物として、プロスタグランジンF2a（当時米国アップジョン社、以下PGF2a）を選出した²⁰⁾。

統計的パワーの計算から有意差がでるには、約2,000頭の母豚が必要であった。早期離乳システムでかつコンピューター生産記録をもつ、母豚4,000頭を保持している農場で野外実験を行った。協力農場の過去の生産データからでも、中産以降母豚でのみ次産時生存子豚数は授乳期間が短くなるにつれ減少するということが確認された。

1,000頭以上の対照区の母豚に生理的食塩水注射をするのか否かという問題があった。「筋肉注射は、農場で使われている一般的な方法であり、それで母豚に生理的変化が起こるとは考えにくい」という意見（米国コーネル大のH. N. Erb）から、生理的食塩水の注射はしなかった。実際には、24週間で3,562頭の分娩直後の母豚1,592頭にPGF2aを注射し、離乳され種付けされて妊娠期間終了後（約5ヶ月）の次産時分娩子豚数を観察した。

結果として、仮説通りPGF2aは中産以降母豚の次産時子豚数と授乳期間の関係を改善できること示された（図18）。臨床的解釈としては、中産以降母豚の早期離乳（17日以前）の場合、PGF2aの注射によって次産時子豚数を改善できるとした。しかし、飼養管理のなかで臨床的にどう解決するかは不明であった。

繁殖疫学の臨床現場と研究部門での活用のために

養豚での繁殖疫学について説明してきたが、この疫学の方法やアプローチは養豚のみならず酪農や肉牛また養鶏の各種産業動物に使える。標準値と目標値を決めるこ

図18. 経産豚（3産以上）におけるPGF2alphaの次産時分娩子豚数へ及ぼす影響（a,b異符号は有意差0.05を示す）

とや、高生産性農場の特長を探ること、最良測定指標で農場の順位を決めるベンチマーキングはどの産業動物界でも有用である。さらに動物・場所・時間等の特性から農場を分析し、違った目で農場成績を見るのに役立つ。中立機関である大学や研究所が産業界へ貢献することができる分野である。

繁殖を始めとする生産分野は、観察研究や介入研究にも大いなる可能性がある。まだよくわかっていない繁殖成績や生産パターンやリスク因子が存在している。とくに野外試験は研究目的だけでなく、生産現場で研究ニーズを知ること、さらに生産者への刺激としても重要である。また野外研究を実践する中で、協力獣医師の生涯教育そして生産者指導に成果を上げることができる。繁殖疫学の日本での適用には、まず「測定しなければ、コントロールできない」として農場におけるコンピューター記録ソフトの使用する農場を広げること、そして生産データ収集及びデータベース作成と分析が急務である。

引用文献

1. King, V. L., Y. Koketsu, D. Reeves, J. L. Xue, G. D. Dial: Management factors associated with swine breeding herd productivity in the USA. *Prev. Vet. Med.* **35**: 255-264, 1998.
2. Koketsu, Y., J. E. Pettigrew, G. D. Dial, and V. L. King.: The influence of nutrient intake on biological measures of breeding herd productivity. *Swine Health Prod.* **4**(2): 85-93, 1996.
3. Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, W. E. Marsh, and V. L. King.: Influence of imposed feed intake patterns during lactation on reproductive performance, circulating levels of glucose, insulin and luteinizing hormone in primiparous sows. *J. Anim. Sci.* **74**(5): 1036-1046, 1996.

4. Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, W. E. Marsh, and V. L. King. : Characterization of feed intake patterns during lactation on commercial swine herds. *J. Anim. Sci.* **74**(6) : 1202-1210, 1996.
5. Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, and V. L. King. : Feed intake pattern during lactation and subsequent reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.* **74**(12) : 2875-2884, 1996.
6. Koketsu, Y., G. D. Dial, and V. L. King. : Returns to service after mating and removal of sows for reproductive reasons from commercial swine farms. *Theriogenology*. **47**(7) : 1347-1363, 1997.
7. Koketsu, Y. and G. D. Dial. : Factors influencing the post weaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology*. **47**(7) : 1445-1461, 1997.
8. Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, and V. L. King. : Influence of feed intake during individual weeks of lactation on reproductive performance of sows. *Livestock Prod. Sci.* **49** : 217-225, 1997.
9. Koketsu, Y., G. D. Dial and V. L. King. : Influence of various factors on farrowing rate on farms using early weaning. *J. Anim. Sci.* **75**(10) : 2580-2587, 1997.
10. Koketsu, Y. and G. D. Dial. : Factors associated with prolonged weaning-to-mating interval among sows on farms that wean early. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **211** : 894-898, 1997.
11. Koketsu, Y. and G. D. Dial. : Quantitative relationships between reproductive performance in sows and its risk factors. *Pig News Infor.* **18**(2) : 47N-52N, 1997.
12. Koketsu, Y. and G. D. Dial. : Factors associated with average pig weight at weaning on farms using early weaning. *Anim. Sci.* **68** : 247-253, 1998.
13. Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, J-L Xue, H. Yang and T. Lucia. : Influence of lactation feed intake on the relationship between lactation length and reproductive performance, circulating levels of glucose, insulin and LH in primiparous sows. *Anim. Repro. Sci.* **52**(2) : 153-163, 1998.
14. Koketsu, Y. and G. D. Dial. : Interactions between the associations of parity, lactation length, and weaning-to-conception interval with subsequent litter size in swine herds using early weaning. *Prev. Vet. Med.* **37** : 113-120, 1998.
15. Koketsu, Y. : Influence of cumulative feed intake during early and mid-lactation on luteinizing hormone secretion and weaning-to-estrus interval in primiparous sows. *J. Vet. Med. Sci.* **61**(42) : 325-329, 1999.
16. Koketsu, Y., C. Duangkaew, G. D. Dial and D. Reeves. : Within-farm variability in number of females mated per week during one-year period and breeding herd productivity on swine farms. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **214**(4) : 520-524, 1999.
17. Koketsu, Y., H. Takahashi and K. Akachi. : Longevity, lifetime pig production, and age at first mating in a cohort of gilts over 6 years. *J. Vet. Med. Sci.* **61**(42) : 1001-1005, 1999.
18. Koketsu, Y. : Assessment of sows mated during the low productive period after weaning on pigs farms using early weaning : a field study. *Theriogenology*. **51**(8) : 1525-1532.
19. Koketsu, Y. : Global benchmarking in Swine Herds. PigCHAMP publication. PigCHAMP Inc., Apple Valley, 2000.
20. Koketsu, Y. : Productivity characteristics of high-performing swine farms. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **215**(2) : 376-379, 2000.
21. Koketsu, Y. : Retrospective analysis of trends and production factors associated with sow mortality on swine breeding farms in the U.S.A. *Prev. Vet. Med.* **46** : 249-256, 2000.
22. Koketsu, Y. and G. D. Dial. : Administration of prostaglandin F2alpha after farrowing alters the association between lactation length and subsequent litter size in mid- or older parity sows. *Theriogenology*. **57**(2) : 837-843, 2002.
23. Koketsu, Y. : Reproductive productivity measurements in Japanese swine breeding herds. *J. Vet. Med. Sci.* **64**(3) : 195-198, 2002.
24. PigCHAMP Reports Manual. University of Minnesota, St. Paul, 1996.
25. SAS. SAS/Stat(R) User's Guide (Release 6.04). SAS Inst. Inc., Cary, 1989.
26. Xue, J.L. Y. Koketsu, G. D. Dial, J. E. Pettigrew, and A. F. Sower. : Glucose tolerance, luteinizing hormone release, and reproductive performance of first-litter sows fed two levels of energy diets during gestation. *J. Anim. Sci.* **75** : 1845-1852, 1997.

27. Xue, J-L., T. Lucia, Y. Koketsu, G. D. Dial, and W. E. Marsh. : Effect of mating frequency and weaning-to-mating interval on sow reproductive performance. Swine Health Prod. **6**(4) : 157-162, 1998.