

北海道農業研究センター飼養 ホルスタイン種実験牛群の繁殖性

坂口 実

北海道農業研究センター 酪農研究領域

目 次

I. 背景	1	2) 各排卵時の発情発現頻度	21
II. 目的	3	3) 無発情排卵への再帰	22
III. 育成牛の繁殖性	4	4) 発情回帰時期とその後の繁殖性の関係	22
1. 過去の牛群の生産性と繁殖性比較	4	V. 行動量による発情発見法の有効性検証と繁殖性の指標	23
1) 初産分娩月齢と乳生産性	4	1. 歩数上昇による発情検出法の有効性	23
2) 初産分娩月齢および体重とその後の繁殖性	5	1) 育成牛における有効性の検討	24
3) 乳生産性と繁殖性	5	(1) 昼夜放牧条件	24
2. 初産分娩月齢の早期化	6	(2) パドック飼養条件	24
1) 授精開始月齢の12ヶ月への引き下げ	6	(3) タイストール飼養条件	24
2) 初産早期化牛の繁殖性と乳生産性	6	(4) 育成牛での実用性	25
3. 育成牛体重の簡易測定	10	2) 搾乳牛での実証	25
IV. 分娩後の卵巢機能回復と発情回帰	12	(1) 装着部位の検討	25
1. 分娩後乳牛の繁殖性に影響する要因	12	(2) 飼養条件による比較	25
1) 供試牛の概要	12	(3) 育成牛での発情発見指数との比較	26
2) 要因別の繁殖性への影響	12	3) 歩数上昇による搾乳牛の発情発見法の留意点	26
2. 分娩後の卵巢周期再開と繁殖性	15	2. 乳牛繁殖性の間接的指標の検索	26
1) 分娩後早期の卵巢動態とその後の繁殖性	15	1) 乳量・乳成分と繁殖性の相関	27
2) 子宮修復との関係	17	2) BCSと繁殖性の相関	27
3) 初回排卵の遅れをどう考えるか	17	3) BCS変化および体重変化率の推移と繁殖性	28
3. 分娩後早期の卵胞囊腫の発生状況とその後の転帰	17	VI. おわりに	29
1) 囊腫様卵胞および卵胞囊腫の発生状況と転帰	18	1. 北農研乳牛群の繁殖特性と今後の改良方向	29
2) 多発卵胞波の発生状況と転帰	19	2. 解析結果の乳牛繁殖性改善への応用	30
3) 囊腫様卵胞, 卵胞囊腫, 多発卵胞波牛の繁殖性と生産性	19	3. 今後の展望	30
4. 分娩後の発情回帰と繁殖性	20	VII. 摘要	31
1) 分娩後の排卵回次の時期的分布	20	謝辞	32
		引用文献	32
		英文摘要	39

I. 背 景

乳牛の遺伝的な改良や多頭化, およびそれに伴う飼養管理方法の改善により, 酪農の生産性は飛躍的に向上してきた。一方で乳牛の繁殖性はこの30年間に大きく変化し(PRYCE *et al.*, 2004), 分娩後の繁殖

機能回復の遅れや, 受胎性の低下, 分娩間隔の延長が世界的にも問題となっている(坂口, 2007a; 坂口, 2007b)。この原因としては, 牛自体の変化(ROCHE and DISKIN, 2001; WILTBANK *et al.*, 2002; JORRITSMA *et al.*, 2003; ROBINSON *et al.*, 2006)と,

酪農を取り巻く経営・経済的要因(EICKER *et al.*, 1996; ESSLEMONT *et al.*, 2001; ROTZ *et al.*, 2005; DE VRIES, 2006)が複雑に絡み合っている(OLD *et al.*, 1979; RAHEJA *et al.*, 1989; ARBEL *et al.*, 2001; EVANS *et al.*, 2006.)。

乳量増加を主目的とした育種改良の結果、搾乳牛の体格は向上し、同時に育成牛の成長も早まってきた。それに伴い、平均初産分娩月齢も1990年代の27ヶ月齢程度から、25ヶ月齢近くまで徐々に早まってきたが、高成長化にみあうものではなく、より一層の早期化が求められている。一方で、搾乳牛群の平均産次は低下し続けており、乳牛の生涯生産における育成コスト、および初産時乳量の占める割合は相対的に高まっている(GOODGER *et al.*, 1989)。米国での研究結果によると、初産分娩月齢が26ヶ月超でも、305日乳量は24ヶ月初産分娩の場合と同等であるという(HEINRICH and VAZQUEZ-ANON, 1993)。

初産分娩を無事に経過した乳牛では、次の分娩に向けて良好な繁殖性を維持し、乳生産性を最大限に発揮できるように、最適な分娩間隔を達成する必要がある(ROCHE *et al.*, 2000; LUCY, 2001)。遺伝的改良と飼養管理技術の進歩の結果、高い乳生産性を達成した泌乳牛では、代謝要求量の増加によって繁殖性は低下し、高泌乳牛での不受胎問題が顕在化してきた(BEAM and BUTLER, 1999)。疫学的調査の結果からは、乳量だけではなく他の多くの要因が繁殖性低下に関わっていることが明らかになっている(GRÖHN and RAJALA-SCHULTZ, 2000)。さらに、発情発現とその検出効率、乳牛の繁殖性を決定する重要な因子であることが強調されてきた(STEVENS ON, 2001)。しかし一方で、高泌乳と良好な繁殖性を同時に実現している牛群が存在することもまた事実であり、本当に乳牛の繁殖性は低下しているのか、と疑問を呈する論調もある(LEBLANC, 2010)。

分娩後乳牛の繁殖機能回復は、卵巢機能の再開に始まる。これには多くの要因が関与し、その後の受胎性に重要な役割を果たしている(DARWASH *et al.*, 1997; SMITH and WALLACE, 1998)。超音波診断装置が牛卵巢の卵胞動態の研究に使われるようになって以来(PIERSON and GINTHER, 1987; SAVIO *et al.*, 1988; SIROIS and FORTUNE, 1988)、分娩後に正常周期に回復した牛の卵胞発育は、卵胞波(ウェーブ)として観察されることが明らかとなった(RAJAMA

HENDRAN and TAYLOR, 1990; SAVIO, 1990a)。正常な発情周期を営む牛の卵巢では、排卵後、次の排卵までの間に、2~4回のウェーブが繰り返されることがわかっている(SIROIS and FORTUNE, 1988)。さらに最近の研究結果から、分娩後に観察される無排卵は、主席卵胞が発育しないのではなく、発育はするが排卵しないことが原因であることが示されている(ROCHE, 2006)。ほとんどの乳牛では、その後の繁殖性とは無関係に、分娩後10日以内に最初の主席卵胞が出現し(SAVIO *et al.*, 1988; MCDUGALL *et al.*, 1995)、早い牛では分娩後2週以内に初回排卵を観察するものもあるとされる(RAJAMA HENDRAN and TAYLOR, 1990; SAVIO *et al.*, 1990a; MCDUGALL *et al.*, 1995)。

分娩後乳牛、とりわけ高泌乳牛では、無発情の一つの原因として卵巢嚢腫による無排卵が問題となる(GARVERICK, 1997; HOOIJER *et al.*, 2001)。卵巢嚢腫は卵胞嚢腫と黄体嚢腫に分類されるが、前者の方が後者よりも発生頻度は高い。卵胞嚢腫の一般的な定義としては、黄体の存在しない状態で、直径25mm以上の卵胞が10日以上持続することとされ、泌乳牛の6~19%に発生するとの報告がある(GARVERICK, 1997)。泌乳牛における卵胞嚢腫の発症は、分娩間隔の延長を招くと考えられてきたが(KESLER and GARVERICK, 1982)、一方で分娩後早期の卵胞嚢腫は、自然治癒することも少なくないという報告もある(MORROW *et al.*, 1966; BIER SCHWAL *et al.*, 1975; LÓPEZ-GATIUS *et al.*, 2002)。また、分娩後早期の高泌乳牛の卵巢には、大卵胞が数多く観察されることも多いが、これらは速やかに退行するといわれている(NOAKES, 2009)。しかしこの状態が持続すると、排卵しない大卵胞のウェーブが繰り返されることになり、卵巢機能の再開が遅れる原因となる。したがって、こうした卵胞ウェーブの繰り返し(多発卵胞波)は、分娩後乳牛の繁殖性に一定の影響を与えると考えられるが、詳しい卵胞動態やその後の繁殖性については、ほとんど知られていない(MCDUGALL *et al.*, 1995)。

分娩後の一定期間、無発情・無排卵となることは、牛にとっては正常な状態である。妊娠期間中の血中プロゲステロン濃度は高値で推移し、周産期のエストロゲンレベルの上昇は、視床下部-下垂体軸に対してはネガティブフィードバック作用を有する。これらの結果、分娩直前の牛の卵巢では卵胞発育が

抑制されている。さらに、卵巣活動が再開し、発情が回帰した後においても、無発情排卵が一定程度起こりうるということが知られている(BULMAN and WOOD, 1980; KYLES *et al.*, 1992)。しかし、現代の高泌乳牛に関しては、こうした無排卵や無発情の発生頻度、さらにはそれらの発生時期に関する情報は少ない。

これらの現状を考え合わせると、高泌乳牛の繁殖性を改善するためには、分娩後それほど早くない時期に発現する発情を確実に検出することが重要である(ROELOFS *et al.*, 2010)。発情期の行動量の増加を測定する方法は、スタンディング行動に依存しない方法として発情検出に有効であり、無線送信による歩数計が開発されたことにより、自動的かつ連続的に歩数を計測することが可能となった(MAATJE *et al.*, 1997; FIRK *et al.*, 2002; ROELOFS *et al.*, 2005)。自動的に発情を検出するシステムの一般的な課題は、誤報を減らすことである(STEVENSON, 2001; FIRK *et al.*, 2002)。また歩数計による発情検出に関する初期の研究結果から、家畜の飼養形態が行動量変化の大きさに影響することも知られており(KIDDY, 1977)、最近の報告では、牛自体の要因と管理要因が歩行活動に大きく影響することが報告されている(LÓPEZ-GATIUS *et al.*, 2005)。タイストール飼養の乳牛でも、歩数計による発情検出方法は適用可能であるが、誤報は若干多くなるといわれている(KENNEDY and INGALLS, 1995)。また歩数計を牛に装着する位置によって、計測対象となる体動は異なるため、どこに装着するか(頸または肢)も発情検出の効率と正確性に影響する(KOELSH *et al.*, 1994)。

高泌乳牛の繁殖性の問題を長期的な視点で解決するためには、バランスのとれた選抜方法のもと、繁殖性の遺伝的な向上をはかる必要がある(坂口, 2007a; LUCY, 2007)。一方短期的には、産業としての酪農を維持できるような方策が求められる。このためには、繁殖性を予測できる簡易な指標を開発することも有効な手段である。ボディコンディションスコア(BCS)は、主観的ではあるものの体型や体重に影響されないため、泌乳牛の体蓄積量を見積もるための簡易な指標である(EDMONSON *et al.*, 1989)。泌乳初期の乳牛では、乳生産のために体蓄積が動員され、負のエネルギーバランスの状態になり、この結果繁殖性が影響を受けるといわれてきた(BEAM and BUTLER, 1999)。しかし、具体的な影

響についてははっきりしない点が多く残されている。BCS計測値の違いは繁殖性を示す各種の指標に影響しないという報告(WALTNER *et al.*, 1993; RUEGG and MILTON, 1995)がある一方で、明らかな影響があるという報告(GILLUND *et al.*, 2001; BUCKLEY *et al.*, 2003)もある。またDOMECQら(1997)によると、2産以上の乳牛では泌乳初期の大きなBCSの減少は、初回授精受胎率の低下を伴うが、初産牛ではこうした関係は見られないという。

給餌システムや給餌量、放牧や舎飼といった乳生産の体系、牛の遺伝的背景、さらには産次等、多くの要因が相互に関係しあうことにより、こうした報告における相反する結論が導かれているものと考えられる。BCSと繁殖性の関係については多くの報告があるが、より客観的な測定値である体重と繁殖性の関係に関する報告は少ない。SENATORら(1996)は、分娩時の体重と泌乳初期の体重低下が、初産牛の繁殖性に影響することを報告している。またBUCKLEYら(2003)は、放牧-季節繁殖条件下で74牛群の現場データを解析した結果、繁殖性の予測に体重データを利用できる可能性があることを示している。

Ⅱ. 目 的

農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター(以下、北農研と略)では、酪農関連の試験研究に供試することを目的に、ホルスタイン種乳牛群を維持してきた。かつては後継牛を外部から導入したこともあったが、現在では自家育成牛を後継牛として牛群を維持している。試験牛の乳量水準(305日乳量)は21世紀を迎えた時点で、初産牛では平均8,000kg程度、2産以上の経産牛では10,000kgを越えており、乳牛の育種・繁殖・栄養・管理・放牧等の試験・研究に供試され、多くの成果を生み出してきた。繁殖に関しては、背景で述べたような高泌乳牛の繁殖生理および特性について1999年から研究を継続しており、トピックごとにそれぞれ個別の成果として発表してきた。本報ではこれらの成果を一連の流れとして概観することにより、現代の高泌乳牛の繁殖生理および特性を示すこととともに、北農研実験牛群の繁殖特性の基礎データとして、今後の北農研における酪農研究遂行に資することを目的とした。

具体的には、まず育成牛の繁殖性を示す指標であ

る初産分娩月齢について、過去の経過を解析し、その早期化の可能性について探った。また、分娩後の繁殖機能回復については、排卵および発情を中心にそれらの特性を明らかにし、受胎性との関係を解析した。その結果、高泌乳牛群の繁殖性の維持には、微弱化している発情を確実にとらえることが重要であることを確認できたため、スタンディング行動に依存しない、歩数上昇による発情検出法の有効性を、北農研での飼養条件下で検証した。さらに、乳量やBCS、体重といった牛の情報から、牛群の繁殖特性をどの程度間接的に把握できるかについて、繁殖性にかかわるいくつかの指標との関連を調べ、それらの実用性を検証した。

Ⅲ. 育成牛の繁殖性

1. 過去の牛群の生産性と繁殖性比較

最初に北農研の過去の記録をさかのぼることにより、後継牛として飼養されたホルスタイン種育成牛の生産性と繁殖性が、過去の遺伝的改良によってどのように変化してきたかを解析した(鈴木ら、2002)。対象データとして、1979年から1997年の間に北農研で生産されたホルスタイン種雌牛267頭についての分娩、体重、体高、乳量および人工授精(AI)の記録を用いた。調査対象牛は、北農研の一般管理牛の飼養方法にしたがい、育成期および初回分娩約1ヵ月前までは基本的に群飼とし、夏期(5~11月)は昼夜放牧、冬期(12~4月)は舎飼または屋外パドック飼養であった。また分娩後は基本的にフリーストール飼養であり、夏期は約4時間放牧した。飼料給与は基本的に日本飼養標準・乳牛にしたがい、放牧期間中は放牧時間によって給与量を調整した。

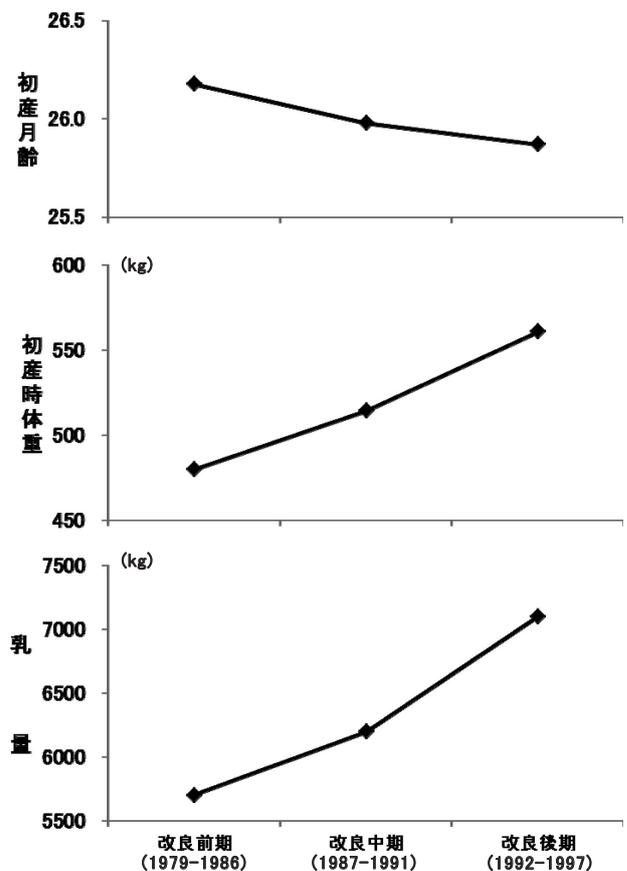
解析にあたって、北農研における繁殖管理方針の経緯に基づいて3つの時期に分類した。すなわち、乳牛の頭数維持を主な目的として繁殖管理を行っていた1979年から1986年まで(改良前期)に生産された牛(83頭)、泌乳能力の向上を重視した改良を始めた1987年から1991年まで(改良中期)に生産された牛(83頭)、および乳牛の能力向上を目的とした繁殖管理を続け、改良中期に生産された牛の産仔が主体となった、1992年から1997年まで(改良後期)に生産された牛(101頭)に区分した。なお、改良前期については初回分娩後のAI記録が得られなかったため、繁殖成績の解析から除外した。

1) 初産分娩月齢と乳生産性

まず各期における初産時の平均月齢、体重および乳量を比較した。また、月齢と体重が乳量に及ぼす影響を明らかにするために、初産時月齢および体重と初産時乳量との相関を調べた。

第1図に示すように、平均初産分娩月齢は前期の26.2ヶ月から後期の25.9ヶ月へとわずかに低下したのみであった。これは、この期間中の育成牛のAI開始時期を、体重ではなく月齢(おおむね15ヶ月)を目安として決定してきたためと考えられる。一方で、初産時の平均体重(分娩後)は480kgから561kg(+17%)へと直線的に増加している。さらに平均乳量は体重を上回る増加を示し、前期の5,700kgから、後期では7,102kg(+25%)に上昇したことがわかる。

次に初産分娩月齢と乳量の関係を、時期別に第2図に示す。前期では初産時の月齢が大きいほど乳量も増え、回帰直線の傾きは+257($r = 0.31, P < 0.05$)、すなわち1ヶ月遅れることで、257kgの乳量増という関係にあった。中期でも同じ傾向は見られたが、回帰直線の傾きは+82($r = 0.13, P > 0.05$)と小さ



第1図 北農研育成牛の初産月齢・初産時体重・初産乳量の平均値の推移

くなった。続く後期では、傾きが-10 ($r = 0.01, P > 0.05$)となり、初産分娩が遅れても乳量は増えなくなってきたことがわかる。

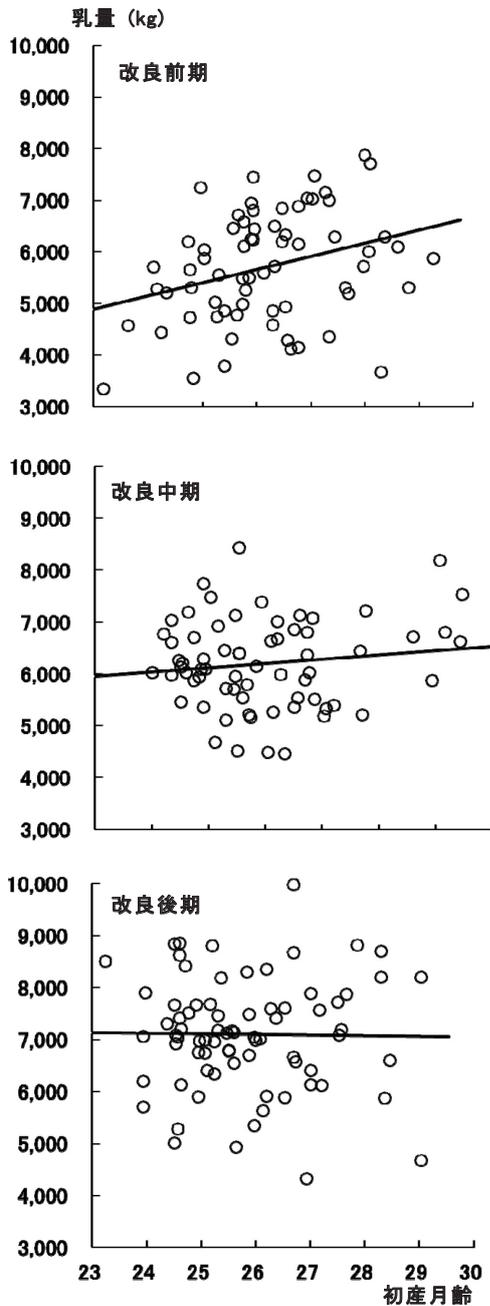
2) 初産分娩月齢および体重とその後の繁殖性

次に初産時月齢が、2産に向けての繁殖成績にどのように影響するかを明らかにするため、改良中期および後期における初産時月齢と初回分娩後の初回AI時期、AI回数および空胎期間との相関を調べた。分娩後初回AIまでの日数は、中期・後期を通して

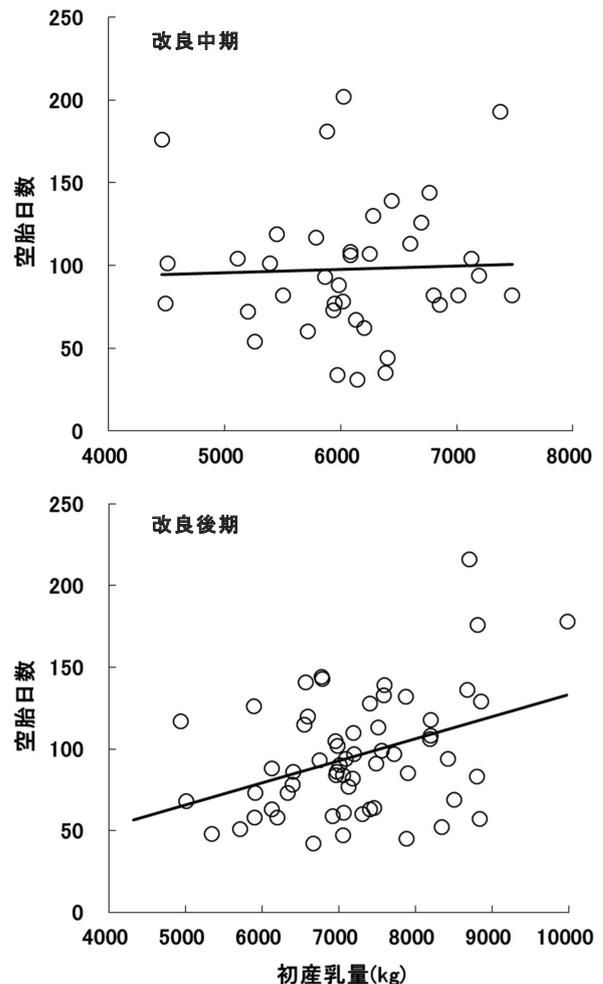
初産月齢または体重との間に相関はみられなかった。受胎に要したAI回数については、改良中期の初産時体重、および後期の初産時月齢との間に正の相関がみられた($P < 0.05$)。空胎日数については、改良中期では月齢・体重のどちらの間にも相関はみられなかったが、後期になると両者に対して正の相関関係を認めた($P < 0.05$)。つまり、改良後期の育成牛では、初産月齢が遅れるか初産時体重が増加すると、2産に向けての繁殖性は低下することが示された。

3) 乳生産性と繁殖性

最後に改良中期および後期における、乳生産性と空胎日数との関係を調べた。初産乳量と初回AIまでの日数との間では、中期・後期ともに相関を認めなかったが、受胎に要したAI回数は改良後期で乳量との間に正の相関を示した($P < 0.05$)。また第3図に示すように、改良中期の乳量と空胎日数の間に



第2図 北農研育成牛の初産月齢と初産乳量の関係



第3図 北農研育成牛の初産乳量と空胎日数の関係

相関を認めなかったが、後期になると正の相関がみられた($P < 0.05$)。つまり改良後期では、初産乳量の増加によっても空胎日数の延長がもたらされていたことがわかる。しかし第1図に示したように、後期における初産月齢の遅れは乳量増加には結びつかなかったことから、後期の乳量増による空胎日数の延長は初産月齢とは無関係であったと推測できる。

2. 初産分娩月齢の早期化

前節の結果から、21世紀を迎えた北農研育成牛群では、初産分娩月齢を24ヶ月以降に遅らせても、乳量の増加は見込めず、空胎日数はむしろ延長することがわかった。北農研ではこの間、育成牛の授精開始時期をほぼ固定してきたために、24ヶ月齢未満での初産分娩例はほとんどなく、初産分娩月齢早期化が可能かどうか検討する必要性が生じた。

イタリアのホルスタイン種に関する統計的な解析結果では、初産月齢を24ヶ月から22ヶ月に下げると、初産後の乳量と乳脂肪生産に悪影響を与えると報告されている(PILRO *et al.*, 2000)。一方、VAN AMBURGHら(1998)による米国からの報告によると、ホルスタイン種乳牛の性成熟前の増体量を1,000g/日としても、平均21.3ヶ月齢で初産分娩させると、600g/日で育成した牛と比べて乳量は低下したが、これには分娩時の低体重の影響が大きいとしている。またこの報告では、初産分娩を早めても、その後の繁殖性には影響しないだろうとしている。増体を高めて早期に受胎させることに対するもう一つの不安要因は難産と、その結果生じる受胎性の低下である(THOMPSON *et al.*, 1983)。これについても、現代の高泌乳牛では不明な点が多い。

そこで1998年12月から1999年4月出生の北農研育成牛を用い、初産月齢を24ヶ月から早期化することの、分娩後の生産性と繁殖性への影響を追跡することとした(SAKAGUCHI *et al.*, 2005)。

1) 授精開始月齢の12ヶ月への引き下げ

北農研の慣行法で育成された8頭について、授精開始月齢を12ヶ月(AI-12)とし、15ヶ月開始(AI-15)の8頭と比較した。第1表には両群の3産時までの月齢を示した。AI-15ではAI-12よりも、受胎までの授精回数が若干多かったため、受胎時の両者間の月齢差は3.6ヶ月となった。この差は3産時には4.3ヶ月とやや拡大した。この間の体重および体高の変化を第4図に示した。体重については、18ヶ月齢では早期受胎のAI-12が28kg高くなったが、初産から3産までは、月齢の進んでいるAI-15が63~82kg高かった。一方体高は、初産分娩前にAI-12が有意に低くなった以外、有意差はなかった。また、育成期間中の日増体量(DG)を第5図に示した。AI-12では早く受胎しているため、胎仔体重の影響から13~18ヶ月齢の増体量が有意に高くなったが、それ以外では有意差を認めなかった。

2) 初産早期化牛の繁殖性と乳生産性

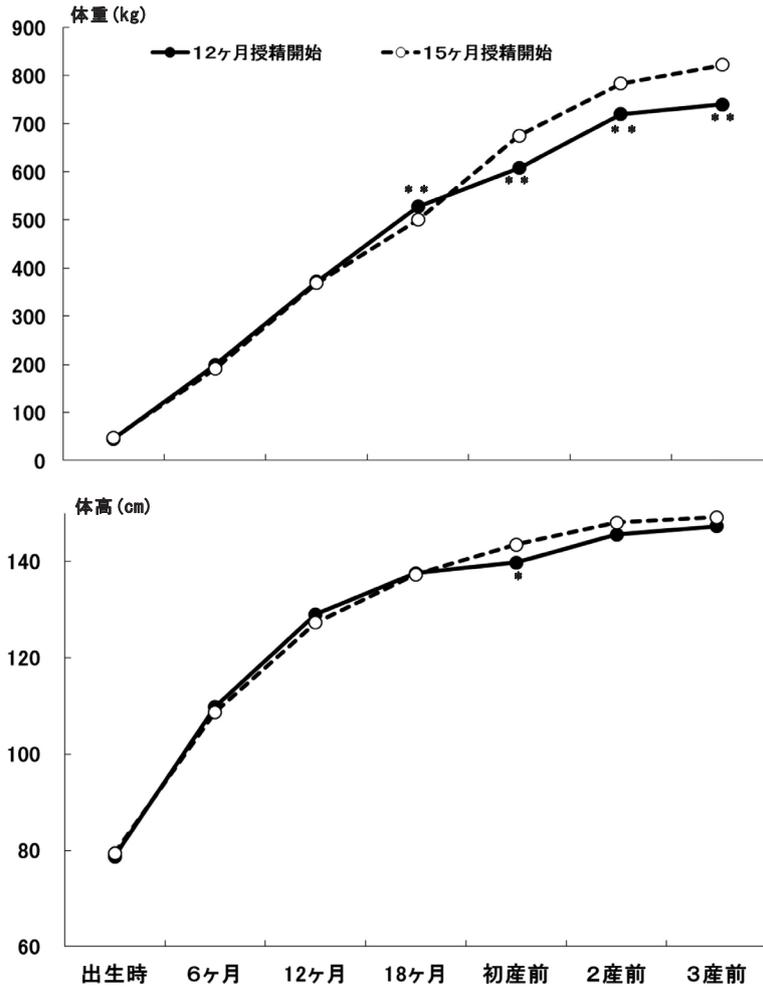
初産分娩時の分娩難易度を含め、初産から3産までの繁殖性関連項目について、第2表にまとめた。ここに挙げた全ての項目について、AI-12とAI-15の間に有意な差を認めなかった。AI-15では、初産分娩後、2産にかけて8頭中3頭が不受胎となり搾乳終了後淘汰した。これら不受胎となった牛の授精回数は、4回が2頭、5回が1頭であった。

第6図には、両群の3産までの305日補正乳量を示す。どの産次でもAI-12とAI-15の間に有意な差は認められなかった。3産分娩後AI-12では、1頭がケトーシスにより、もう1頭が乳房炎により生産不能となった。そこで、3産搾乳終了まで供試できた6頭(AI-12)および5頭(AI-15)について、累積の生産性を第3表に示した。泌乳していない期間も含めた平均日乳量はAI-12でやや高かったが、4%脂肪補正乳量に換算するとほぼ等しくなった。

第1表 授精開始時期を早めた育成牛の平均繁殖月齢 ± 標準偏差

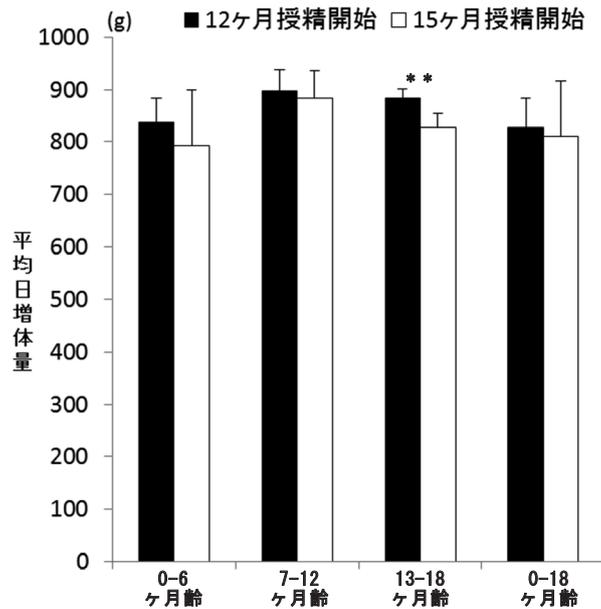
授精開始時期	初回授精時	受胎時	初産時	2産時	3産時
12ヶ月(AI-12)	12.2±0.5**	12.3±0.5**	21.5±0.5**	34.1±1.0*	46.9±1.9*
15ヶ月(AI-15)	15.1±0.3	15.9±1.2	25.1±1.2	38.0±2.5	51.2±4.3

** : 1%水準で AI-15との間に有意差有り, * 5%水準で AI-15との間に有意差有り。



第4図 授精開始時期を12ヶ月に早めた育成牛の体重および体高の15ヶ月授精開始群との比較

** : 1%水準で有意差有り, * : 5%水準で有意差有り。



第5図 初回授精早期化牛と通常牛の平均日増体量 (+標準偏差)

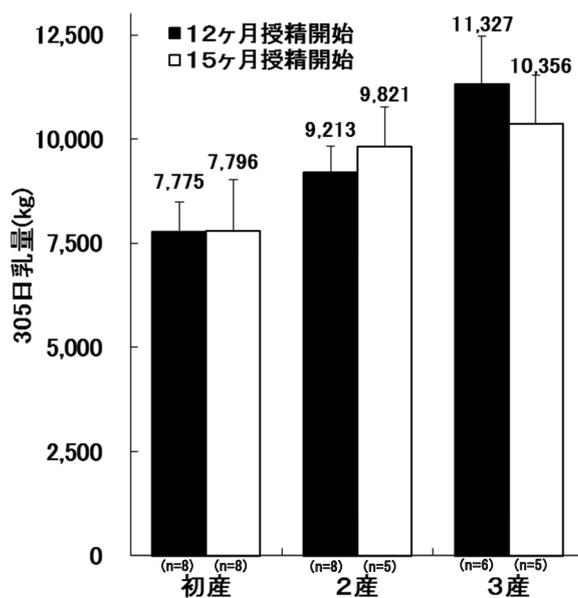
** 2群間に有意差有り (P < 0.01)。

第2表 初産早期化牛の3産までの繁殖性関連項目の平均値 ± 標準偏差

項 目	授精開始時期	
	12ヶ月(n=8) [AI-12]	15ヶ月(n=8) [AI-15]
初産分娩時と2産に向けた受胎までの繁殖性		
分娩難易度 ¹⁾	3.0 ± 0.9	2.6 ± 1.2
初回排卵日	29.6 ± 10.8	28.1 ± 16.0
初回卵巢周期(日)	12.6 ± 5.3	14.9 ± 6.2
2回目卵巢周期(日)	19.1 ± 5.5	20.4 ± 5.4
初回発情日	48.8 ± 16.9	49.0 ± 18.2
初回授精日	67.8 ± 7.3	67.3 ± 14.0
授精回数(頭)	1.75 ± 0.89	2.25 ± 1.49
受胎に要した授精回数(頭数)	1.75 ± 0.89 (8)	1.20 ± 0.45 (5)
受胎牛の空胎日数(頭数)	83.3 ± 27.1 (8)	70.8 ± 18.1(5)
調整した空胎日数 ²⁾ (頭数)	83.3 ± 27.1 (8)	109.6 ± 55.9 (8)
子宮径修復日(頭数)	16.3 ± 3.5 (8)	15.0 ± 3.5 (8)
妊娠期間(日)		
初産(頭数)	280.6 ± 2.4 (8)	281.3 ± 3.9 (8)
2産(頭数)	282.6 ± 3.7 (8)	282.2 ± 2.8 (5)
3産(頭数)	281.4 ± 4.2 (8)	280.2 ± 5.8 (5)
産仔体重(kg)		
初産(頭数)	39.9 ± 2.1 (8)	41.8 ± 5.2 (8)
2産(頭数)	47.7 ± 4.7 (8)	44.8 ± 6.1 (5)
3産(頭数)	48.8 ± 12.5 (8)	50.6 ± 5.5 (5)
分娩間隔(日)		
初産～2産(頭数)	382.3 ± 27.2 (8)	384.4 ± 76.1 (5)
2産～3産(頭数)	390.6 ± 43.5 (8)	400.4 ± 58.6 (5)

¹⁾ 1: 無介助, 2: 軽い介助, 3: 2,3人による介助, 4人以上による介助, 5: 外科的処置あるいは母牛死亡。

²⁾ 不受胎牛は最終授精日+21日として計算。



第6図 初回授精早期化牛と通常牛の3産までの平均乳量 (+標準偏差)

第3表 初産早期化牛の3産までの累積の生産性 (平均 ± 標準偏差)

項 目	授精開始時期	
	12ヶ月 (n = 6)	15ヶ月 (n = 5)
3産搾乳終了時日齢 ¹⁾	1,734 ± 56	1,862 ± 131
総搾乳日数	797 ± 60	756 ± 70
累積305日乳量 (kg)	28,823 ± 1,513	28,630 ± 2,722
累積305日4%-脂肪乳量 (kg)	28,912 ± 1,441	30,051 ± 2,352
平均日乳量(kg/日) ²⁾	16.6 ± 0.6	15.5 ± 2.0
平均日4%-脂肪乳量(kg/日) ²⁾	16.7 ± 1.1	16.3 ± 2.2

¹⁾ 3産分娩時から305日経過後の日齢。

²⁾ 累積乳量 / 3産搾乳終了時日齢。

これらに関連する項目として、初産分娩後の平均体重およびBCSの変化を第7図にまとめた。AI-15では、泌乳初期の体重減少時でも600kg前後を維持していたが、AI-12では500kg以下に低下する個体もあった。同様にBCSについても、AI-12では2.75を下回る個体があり、AI-15と比べて余裕のない状態にある個体が多いことがわかった。

このように、成長速度が同一の条件下では、授精開始を早めることによる繁殖性、および乳生産性への影響は認められなかった。したがって、2000年以降の北農研牛群では、育成期の平均日増体量を800～900g程度に維持できれば、授精開始を12ヶ月齢に早めることが可能であると判断した。ただし、初産分娩後の体重およびBCSの推移からわかるよう

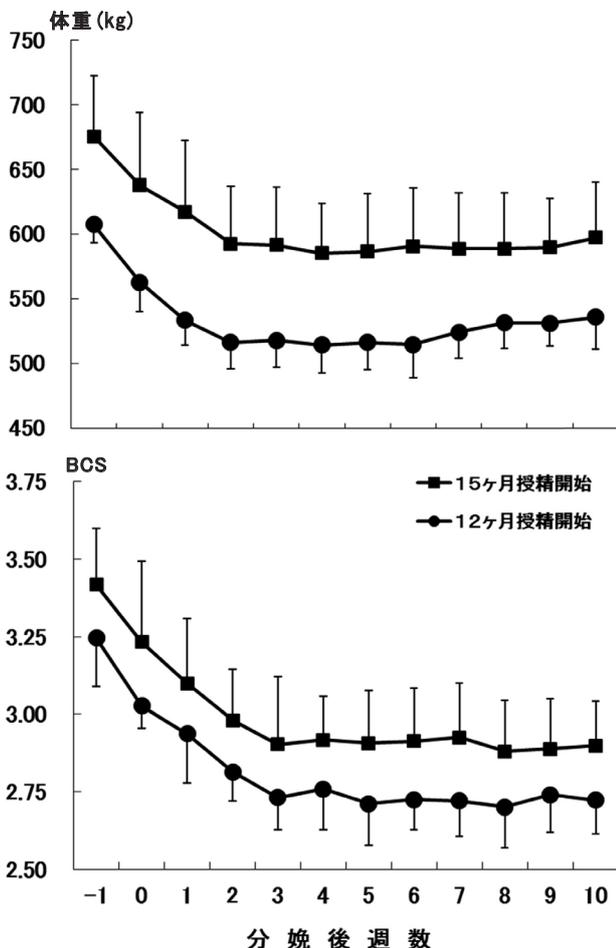
に、12ヶ月授精開始では、泌乳初期には体蓄積の面で、より厳しい状況にあることから、飼養管理の失宜による健康状態悪化のリスクが高まることには、十分な注意が必要である。

過去30年間余りの研究結果から、育成牛の発育を速めると乳腺発育を損ない、その後の乳生産性に悪影響を及ぼすことが危惧されてきた(GARDNER *et al.*, 1977; SEJRSEN *et al.*, 2000)。しかし、遺伝的改良に伴う高増体は、乳量増をもたらす可能性も一方で示されている(SEJRSEN *et al.*, 2000)。春期発動前の高栄養管理の悪影響については、全ての品種で起こりうるとされているが、その程度は品種によるばらつきが大きいといわれる(SEJRSEN *et al.*, 2000)。また現代の高泌乳牛では、分娩後体重が560kgを越えていれば、24ヶ月齢以下での初産分娩で乳生産性を最大化でき、育成コストも削減できるとの報告もあり(HEINRICH, 1993, TOZER and HEINRICH, 2001)、今回北農研で得られた結果はこれを裏付けるものである。

3. 育成牛体重の簡易測定

以上の結果から、初産月齢を早期化しても、生産性を阻害しないと思われる発育(日増体量)の条件が得られた。しかし、牛の体重を生産現場で正確に把握することは困難であり、必要な場合は簡易推定法として、一般的に体重推定尺(推定尺)が用いられてきた。しかしこの方法は胸囲から体重を推定するため、特に体に触れられることになっていない育成牛では、時として煩雑な作業となり、生産現場では必ずしも常用されていない。そこで寛幅の測定値から簡易に体重を推定する器具(ヒポメーター、(株)クレシーダ、東京)を用いた推定値の精度を、推定尺との比較において検討した(坂口ら, 2006)。

ここで検討した寛幅から体重を推定する方法は、第8図に示すように、牛が繋がれていれば一人で測定可能であり、推定尺を用いる方法よりも所要時間は少ない(坂口ら, 2006)。第4表に寛幅および胸囲(推定尺)による推定体重と、電子式体重計による実測値との間の推定誤差と誤差率を体重階層別を示した。体重300kg未満の階層における、寛幅による推定値の誤差率は、胸囲による推定値よりも高かったが、300kg以上の階層では大きな差はなかった。このことは推定値と実測値の関係を示した第9図からも読み取れる。



第7図 初回授精早期化牛と通常牛の初産分娩後の体重とボディコンディションスコア (BCS) の変化 (+標準偏差)

12ヶ月授精開始群の体重は、表示期間を通して低く ($P < 0.01$)、BCSについては分娩後2および4週以降で低かった ($P < 0.05$)。



第8図 寛幅による育成牛体重の簡易推定作業

第4表 寛幅および胸囲からの体重推定精度 (平均 ± 標準誤差)

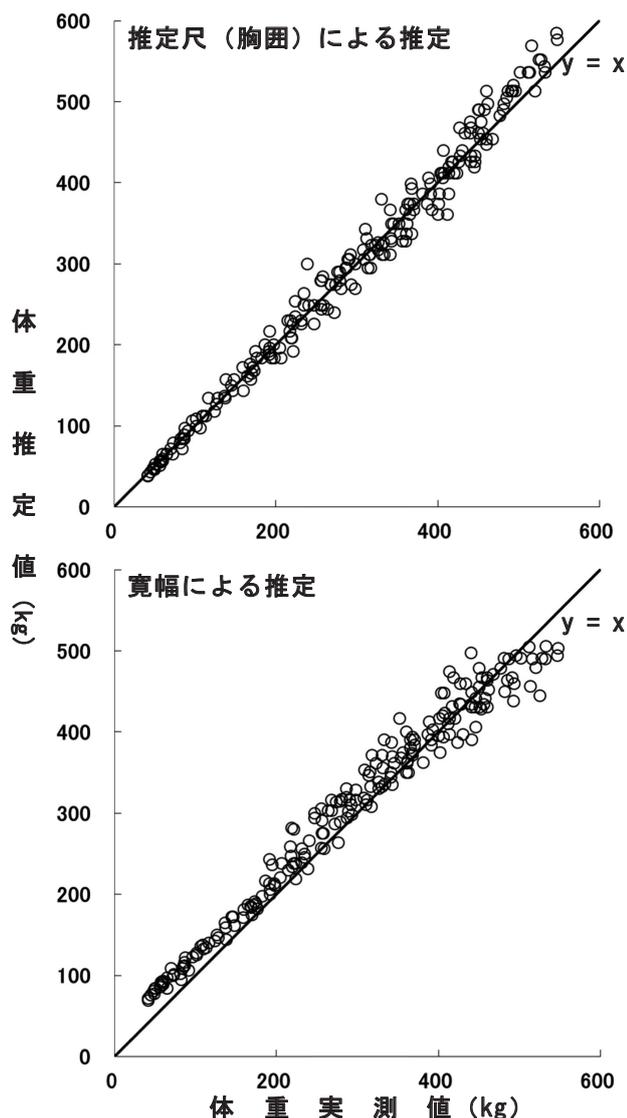
体重階層	頭数	推定誤差 (kg) ¹ [誤差率 (%)] ²	
		寛幅	胸囲
0-99 kg	28	28.8 ± 1.1 [47.1 ± 3.2 ^a]	3.4 ± 0.6 [5.0 ± 0.7*]
100-199 kg	35	20.5 ± 1.6 [14.2 ± 1.2 ^b]	7.5 ± 1.1 [4.9 ± 0.7*]
200-299 kg	43	25.4 ± 2.5 [10.2 ± 1.0 ^{b,c}]	14.6 ± 1.8 [5.8 ± 0.7*]
300-399 kg	44	19.3 ± 2.5 [5.6 ± 0.8 ^{c,d}]	14.6 ± 1.7 [4.2 ± 0.5]
≥400 kg	61	23.8 ± 2.4 [5.2 ± 0.5 ^d]	19.9 ± 1.8 [4.3 ± 0.4]
計	211	23.3 ± 1.1 [13.3 ± 1.1]	13.5 ± 0.8 [4.8 ± 0.3*]

¹ 推定誤差 (kg) = |(体重推定値) - (体重実測値)|。

² 推定誤差率 (%) = (推定誤差) / (体重実測値) × 100。

* 寛幅による推定値との間に有意差有り (P < 0.01)。

^{a,b,c,d} 異符号間に有意差あり (P < 0.05)。



第9図 体重推定尺および寛幅による体重推定値と実測値の関係

したがって、授精開始時期の目安となる階層を含む300kg以上の体重を推定するためには、寛幅による方法は簡便で実用的であると考えられた。また、300kg未満の階層では、推定尺による方法の方が、より正確であることもわかった。

IV. 分娩後の卵巣機能回復と発情回帰

1. 分娩後乳牛の繁殖性に影響する要因

初産分娩を経て最初の乳生産を開始した乳牛は、次の2産以降の生産に向け、繰り返し受胎する必要がある。分娩後の乳牛の繁殖性に影響する要因として、産次(LUCY *et al.*, 1992), 分娩季節(HANSEN and HAUSER, 1983), 乳量(NEBEL and MCGILLIARD, 1993), BCSの減少(LOEFFLER *et al.*, 1999), など

が報告されている。そこで、これらの要因が分娩後の乳牛の繁殖性にどのように影響するか分析した(坂口ら, 2003)。

1) 供試牛の概要

分析に供試した北農研飼養の分娩後乳牛50頭の概要を、第5表に示す。供試牛の卵巣および子宮を週3回、超音波診断装置で調べ、少なくとも朝・夕2回の発情観察を実施し、分娩後の授精猶予期間を45日として人工授精した。この結果、5頭が不受胎となったため、これらを加味して調整した空胎日数を比較するため、不受胎牛については最終授精日+21日として計算した(SMITH and WALLACE, 1998)。また、左右子宮角基部の血管層の最大径が、ともに30mm以下となり、かつ左右の差が5mm以内となった時点を生子宮径回復日とした(BEKANA *et al.*, 1994)。

2) 要因別の繁殖性への影響

初産・経産(2産以上)別(第6表)に比較すると、経産牛は未経産牛よりも高乳量であり、BCSの減少も大きかったが、初回排卵時期に有意差はなかった。初回発情の発現は経産牛で有意に遅く、その結果初回授精時期も遅れたが、空胎期間に有意差はなかった。分娩季節別(第7表)では、冬期分娩で乳量が多く、BCS減少は夏期と比較して大きかった。また冬期分娩では無発情排卵の発生頻度が高かったため、初回発情時期は夏期と比較して遅延したが、空胎期間について有意差はなかった。

乳量を3つの水準に分けて比較した結果(第8表)、乳量の増加に伴いBCSは大きく減少し、同様に初回排卵、初回発情ならびに初回授精時期も遅延したが、空胎日数に有意な差は認められなかった。BCS減少の程度(第9表)では、0.5以上減少の群で分娩直後のBCS値が高かった。しかし、初回排卵時期の遅延以外、繁殖性への影響は認められず、空胎日数もほぼ等しかった。

このように初回排卵時期は乳量とBCS減少の影響を受け、また冬期分娩では無発情排卵の発生頻度が高く、初回発情時期は産次、分娩季節、乳量水準の影響を受けていることがわかった。初回授精時期に関しては、産次と乳量の影響がみられた。しかし、これらの要因は受胎に要する授精回数、および空胎期間には影響しなかった。

第5表 分娩後乳牛50頭の生産性と繁殖性の概要

項目	平均±標準誤差	最 小	最 大
産 次	2.18±0.23	1	7
日乳量 (kg/日, 分娩後 10 週間)	35.8±1.2	24.1	49.7
305 日乳量 (kg)	9,265±281	5,847	13,718
分娩時 BCS	3.14±0.04	2.14	3.77
分娩後 BCS 減少の最大値	0.47±0.03	0.13	1.28
子宮径修復日	17.8±0.6	11	28
初回排卵日	30.9±2.4	10	79
初回卵巢周期 (日)	15.8±0.8	6	26
無発情排卵回数	1.36±0.11	0	3
初回発情日	55.2±3.0	21	107
初回授精日	71.5±2.6	45	129
受胎に要した授精回数(45 頭)	1.62±0.12	1	4
空胎期間(45 頭)	89.6±4.6	45	168
調整した空胎期間*	96.2±5.2	45	191

* 不受胎牛は最終授精 +21日として計算。

第6表 産次の繁殖性への影響 (平均±標準誤差)

項目	初 産 (n = 26)	2 産以上 (n = 24)
日乳量 (kg/日, 分娩後 10 週間)	30.0±0.8 ^a	42.0±1.5 ^b
305 日乳量 (kg)	7,932±278 ^a	10,709±290 ^b
分娩時 BCS	3.11±0.05	3.12±0.08
分娩後 BCS 減少の最大値	0.40±0.04 ^a	0.56±0.06 ^b
子宮径修復日	17.3±0.9	18.3±0.8
初回排卵日	26.7±3.2	35.5±3.5
初回卵巢周期 (日)	15.1±1.1	16.7±1.3
無発情排卵回数	1.31±0.15	1.42±0.15
初回発情日	47.8±3.7 ^a	63.1±4.4 ^b
初回授精日	65.7±2.9 ^a	77.8±4.0 ^b
受胎頭数 (%)	23(88)	22(92)
受胎に要した授精回数	1.65±0.17	1.59±0.17
空胎期間	83.1±5.4	96.4±7.3
調整した空胎期間*	93.6±7.6	99.0±7.3

* 不受胎牛は最終授精 +21日として計算。

^{ab} 有意差有り (P < 0.05)。

第7表 分娩季節の繁殖性への影響 (平均±標準誤差)

項目	夏期分娩* (n = 23)	冬期分娩*(n = 27)
日乳量 (kg/日, 分娩後 10 週間)	32.4±1.6 ^a	38.7±1.5 ^b
305 日乳量 (kg)	8,434±385 ^a	9,973±355 ^b
分娩時 BCS	3.06±0.07	3.21±0.06
分娩後 BCS 減少の最大値	0.39±0.04 ^a	0.54±0.05 ^b
子宮径修復日	18.1±0.9	17.5±0.8
初回排卵日	30.2±2.7	31.5±3.9
初回卵巢周期 (日)	15.2±1.3	16.3±1.0
無発情排卵回数	1.00±0.14 ^a	1.67±0.13 ^b
初回発情日	47.7±4.1 ^a	61.5±4.1 ^b
初回授精日	70.8±4.1	72.1±3.3
受胎頭数 (%)	20(87)	25(93)
受胎に要した授精回数	1.85±0.18	1.44±0.15
空胎期間	98.3±8.3	82.6±4.5
調整した空胎期間**	104.7±7.6	89.0±7.0

* 夏期は3月21～9月20日, 冬期は9月21日～3月20日とした。

** 不受胎牛は最終授精+21日として計算。

^{ab} 有意差有り (P < 0.05)。

第8表 乳量水準の繁殖性への影響 (平均±標準誤差) *

項目	低(n = 17)	中 (n = 15)	高(n = 18)
日乳量 (kg/日, 分娩後 10 週間)	26.9±0.5 ^a	34.4±0.8 ^b	45.4±0.7 ^c
305 日乳量 (kg)	7,274±243	9,032±259	11,339±236
分娩時 BCS	3.08±0.05	3.15±0.08	3.19±0.09
分娩後 BCS 減少の最大値	0.35±0.05 ^a	0.45±0.04 ^{ab}	0.61±0.06 ^b
子宮径修復日	18.4±1.2	16.9±1.1	17.9±0.8
初回排卵日	20.4±2.2 ^a	35.0±4.5 ^b	37.4±4.4 ^b
初回卵巢周期 (日)	16.7±1.2	13.5±1.6	16.7±1.4
無発情排卵回数	1.35±0.21	1.20±0.17	1.50±0.17
初回発情日	42.8±4.5 ^a	57.7±5.0 ^{ab}	64.7±4.9 ^b
初回授精日	61.5±3.0 ^a	78.5±6.1 ^{ab}	75.2±3.2 ^b
受胎頭数 (%)	14(82)	15(100)	16(89)
受胎に要した授精回数	1.86±0.25	1.47±0.17	1.56±0.20
空胎期間	84.1±8.3	93.5±8.0	90.7±7.7
調整した空胎期間**	100.0±9.1	93.5±9.7	94.8±8.9

* 乳量水準は平均日乳量で, 低: 30kg 未満, 中: 30kg 以上40kg 未満, 高: 40kg 以上とした。

** 不受胎牛は最終授精+21日として計算。

^{a,b,c} 有意差有り (P < 0.05)。

第9表 BCS減少の影響 (平均±標準誤差)

項目	< 0.50 (n = 33)	≥ 0.50 (n = 16)
日乳量 (kg/日, 分娩後 10 週間)	33.9±1.4 ^a	39.0±2.0 ^b
305 日乳量 (kg)	8,705±322 ^a	10,283±463 ^b
分娩時 BCS	3.01±0.04 ^a	3.41±0.07 ^b
分娩後 BCS 減少の最大値	0.33±0.02 ^a	0.76±0.03 ^b
子宮径修復日	17.9±0.7	17.8±1.1
初回排卵日	26.6±2.1 ^a	37.3±3.9 ^b
初回卵巢周期 (日)	16.3±1.0	15.4±1.4
無発情排卵回数	1.33±0.13	1.44±0.19
初回発情日	50.7±3.6	62.9±5.2
初回授精日	67.5±3.0	77.7±4.3
受胎頭数 (%)	29(88)	15(94)
受胎に要した授精回数	1.76±0.15	1.40±0.19
空胎期間	89.9±5.8	88.0±8.0
調整した空胎期間**	97.5±6.6	93.0±9.4

* 不受胎牛は最終授精 +21日として計算。

^{ab} 有意差有り (P < 0.05)。

2. 分娩後の卵巢周期再開と繁殖性

1960年代の報告(MORROW *et al.*, 1966; MARION and GIER, 1968)では, 初回排卵は分娩後ほぼ2週で起こるとされていたが, 1970~90年代には3週に延長し(FONSECA *et al.*, 1983; DARWASH, 1997), 最近では第4週以降といわれている(LUCY, 2001; RHODES *et al.*, 2003)。

正常発情周期中の卵胞動態については, 効率的な発情同期化法の開発を目的として, 集中的に研究されてきたが(IRELAND *et al.*, 2000), 分娩後初回排卵までの卵胞動態についての報告は少ない(RAJAMA HENDRAN and TAYLOR, 1990; SAVIO *et al.*, 1990b)。さらに現代の乳牛における, 分娩後早期の卵胞動態とその後の繁殖性の関係については不明な点が多い。正常な発情周期では, 2または3ウェーブの牛がほとんどであるが(IRELAND *et al.*, 2000), 1ウェーブあるいは4ウェーブの周期を示すものもあるとされる(SAVIO *et al.*, 1988; SIROIS and FORTUNE, 1990)。また, TOWNSONら(2002)は, 2ウェーブの周期後よりも3ウェーブの周期後の排卵で授精したほうが, 受胎率が高い傾向にあると報告している。

一方, THATCHER and WILCOX(1973)が, 分娩後60日以内の発情発現回数が多いほど受胎率が高い, と報告して以来, 早期の卵巢周期再開と, それに伴

う黄体期のプロゲステロン濃度の上昇によって繁殖性は向上すると考えられてきた。しかし, 早期の卵巢機能再開によって繁殖性が向上するかどうかについては, 未だ相反する報告がなされ, 結論が出ていない(VILLA-GODOY *et al.*, 1988; LUCY *et al.*, 1992; DARWASH *et al.*, 1997; KAWASHIMA *et al.*, 2006)。乳中プロゲステロン濃度から推定した初回排卵時期が, 分娩後21日以内と早期だった場合, 経産牛では空胎期間が延長するとの報告もある(STEVENSON and CALL, 1983; SMITH and WALLACE, 1998)。

1) 分娩後早期の卵巢動態とその後の繁殖性

そこで最初に, 1. で繁殖性に影響する要因を調べた50頭の乳牛について, 超音波検査の結果をもとに分娩後早期の卵胞動態を追跡し, 卵巢機能再開の過程を明らかにした。また初回排卵日, すなわち卵巢周期再開時期が, 発情発現, 受胎率, 空胎日数といった繁殖性に与える影響を解析した(SAKAGUCHI *et al.*, 2004)。

初回排卵までの日数とその後の卵巢周期の平均値を, 初回排卵前のウェーブ数別に分類し, 頭数とともに第10表に示す。2回目排卵までは1ウェーブでの排卵が多かった(46% および44%)が, 3回目排卵前では2頭を除いて2~4ウェーブ後の排卵とな

第10表 分娩後初回排卵までのウェーブ数とその後の卵巢周期 (平均値 ± 標準誤差)

項目	初回排卵前のウェーブ数			
	1	2	3-4	5以上*
初回排卵日	18.1 ± 1.0 ^a (n = 23)	29.2 ± 1.5 ^b (n = 11)	38.5 ± 4.1 ^c (n = 6)	57.6 ± 4.4 ^d (n = 10)
初回卵巢周期 (日) (初回～2回排卵)	10.5 ± 0.5 ^a (n = 22)	20.4 ± 0.8 ^b (n = 19)	20.4 ± 0.7 ^b (n = 7)	45.5 ± 3.5 ^c (n = 2)
2回卵巢周期 (日) (2回～3回排卵)	7.5 ± 1.5 ^a (n = 2)	21.7 ± 0.4 ^b (n = 34)	24.5 ± 1.0 ^c (n = 12)	- (n = 0)

* 卵胞囊腫発生も含む。

^{a, b, c, d} 異符号間に有意差有り。

り、正常な状態に回復した。第10表に示したように、初回排卵までのウェーブ数が少ないほど初回排卵時期は早まった。初回排卵以降の発情・授精等の経過は、第11表に示すように、3ウェーブ以上では1～2ウェーブよりも、初回発情時期が遅くなったが、授精猶予期間を45日とした条件下では、初回授精時期への影響は小さかった。一方、子宮径の回復時期は1ウェーブ後の排卵、すなわち早期の初回排卵で遅くなり、早すぎる初回排卵は、子宮修復を遅らせ

る可能性が示唆された。こうした影響もあり、1～2ウェーブ後に観察された早期の初回排卵では、有意差はないものの授精回数が多くなり、結果的に空胎日数に大きな差として反映されなかった。乳量についてはウェーブ数が増えるほど高い傾向を認めた。また、授精前のウェーブ数が3の場合、受胎率は高い傾向があり、既報(TOWNSON *et al.*, 2002)と一致する結果となった(第12表)。

第11表 初回排卵までのウェーブ数による繁殖性と乳量の比較 (平均値 ± 標準誤差)

項目	初回排卵前のウェーブ数			
	1	2	3-4	5以上*
初回発情日	42.8 ± 2.3 ^a	50.4 ± 5.1 ^a	70.5 ± 4.1 ^b	79.6 ± 5.1 ^b
初回授精日	63.1 ± 2.3 ^a	68.6 ± 6.5 ^a	74.7 ± 2.2 ^{ab}	92.2 ± 5.4 ^b
子宮径回復日	19.9 ± 0.9 ^a	15.9 ± 0.7 ^b	15.5 ± 1.7 ^b	16.3 ± 1.2 ^b
授精回数				
～100日受胎	1.44 ± 0.13	1.57 ± 0.20	1.00 ± 0.00	1.33 ± 0.33
～180日受胎	1.68 ± 0.19	1.91 ± 0.25	1.40 ± 0.40	1.30 ± 0.23
全頭	1.96 ± 0.23	1.91 ± 0.25	2.00 ± 0.68	1.30 ± 0.21
頭数				
計	23 (46)	11 (22)	6 (12)	10
～100日受胎	16 (70)	7 (63)	4(67)	6(60)
～180日受胎	19 (83)	11 (100)	5(83)	10(100)
空胎日数				
～100日受胎	72.6 ± 4.7	74.4 ± 6.7	72.3 ± 2.3	84.2 ± 4.1
～180日受胎	79.5 ± 5.6	97.5 ± 11.0	90.6 ± 18.4	99.5 ± 8.7
調整値**	92.2 ± 8.2	97.5 ± 11.0	103.5 ± 19.8	99.5 ± 8.7
乳量 (kg)				
日平均(1-10週)	32.7 ± 1.7 ^a	36.6 ± 2.1 ^{ab}	36.7 ± 3.2 ^{ab}	41.6 ± 2.0 ^b
305日補正	8519 ± 402 ^a	9390 ± 516 ^{ab}	9553 ± 908 ^{ab}	10671 ± 515 ^b

* 卵胞囊腫発生も含む。

** 不受胎牛は最終授精 +21日として計算。

^{a, b, c, d} 異符号間に有意差有り。

第12表 初回授精前のウェーブ数と繁殖性の関係 (平均値 ± 標準誤差)

初回授精前のウェーブ数	授精前卵巢周期	初回授精日	受胎率(%)
2	21.0 ± 0.4 ^a	70.6 ± 2.9	16 / 38 (42) ^c
3	24.1 ± 1.1 ^b	76.7 ± 5.7	8 / 11 (73) ^d
計	21.7 ± 0.4	71.9 ± 2.6	24 / 49 (49)

^{a, b} 異符号間に有意差あり (P = 0.002)。

^{c, d} 異符号間に差の傾向あり (P = 0.07)。

2) 子宮修復との関係

このように、北農研の分娩後乳牛では3回目排卵までには、ほぼ正常の卵巢周期に復帰すること、排卵前の卵胞ウェーブ数が少ないほど初回排卵時期は早まり、これに応じて初回発情および初回授精時期も早まるが、空胎日数には影響しないことを確認した。PATTONら(2006)は、搾乳回数を減らして乳量を下げることにより初回排卵時期を早めても、空胎日数の短縮は期待できないと報告している。早期の黄体機能回復は、分娩後の子宮修復を遅らせるといわれ(ETHERINGTON *et al.*, 1984; LEWIS, 1997)、2産以上の搾乳牛では繁殖性も低下するとされる(SMITH and WALLACE, 1998)。分娩から初回排卵までの間、プロゲステロン濃度は最低レベルであることから、子宮の感染に対する抵抗性は高まり、この時期に化膿性の子宮感染はほとんど起こらない。その後、初回排卵に引き続いて起きる、血中プロゲステロン濃度の上昇により、子宮の免疫系は抑制され、感染を起こしやすくなるとされる(LEWIS, 1997)。今回の北農研での結果をみても、1ウェーブで早い初回排卵を経験した牛では、子宮径の回復が遅れており、このことが、初回排卵時期の異なる各ウェーブ群間で、空胎日数に有意な差を生じなかったことの、一つの原因であると考えられる(THATCHER *et al.*, 2006)。

3) 初回排卵の遅れをどう考えるか

結論として、北農研の搾乳牛群では初回排卵が遅れても空胎期間は延長しない、といえる。いいかえると、生産を目的としない実験牛群のように、比較的管理が良好で発情発見率が高く、適期に授精されやすい環境では、経産で10,000kgを越える程度の乳量水準ならば、初回排卵の遅れは必ずしも繁殖性低下の原因にはならないということである。しかし、この点については前述のように議論の余地は大き

い。また初回排卵の遅れは初回発情も遅らせることから、実際の生産現場の一部では、低い発情発見率(発情見逃しの多発)や不適期の授精が重なることにより、初回排卵の遅れが空胎期間の延長に結びつき、空胎期間を延長させている可能性は高い。つまり、大規模牛群を中心として、発情発見率や適期授精率の低下が避けられない牛群のかなりの部分では、初回排卵の遅れが繁殖効率の低下に直結していると推測される。

3. 分娩後早期の卵胞嚢腫発生状況とその後の転帰

牛の卵巢内構造の観察に、超音波診断技術が応用されるようになって以来、卵胞嚢腫診断の正確性は向上し(JEFFCOATE and AYLIFFE, 1995, TEBBLE *et al.*, 2001)、嚢腫の発生と消長も正確に追跡することが可能となった(HAMILTON *et al.*, 1995)。これまで、形成済みの卵胞嚢腫や、人為的に誘起された卵胞嚢腫の動態に関する情報、あるいは嚢腫発症牛の内分泌動態に関する情報は豊富に蓄積されているが(GARVERICK, 1997)、自然発生の卵胞嚢腫の発育経過、および退行過程に関する情報は少ない(SAVIO *et al.*, 1990b)。

前節では、北農研飼養の50頭の搾乳牛について分娩後の卵胞動態と、その後の繁殖性について解析したが、これらの供試牛のうちで、嚢腫様の卵胞形成が観察された事例について、ここでは詳しく分析する。卵胞嚢腫(FC)の定義としては、直径25mmを越える卵胞が、黄体の非存在下で10日以上存在した場合とし、10日以内に退行(直径25mm以下)した場合は、嚢腫様卵胞(CF)とした。また多発卵胞波として初回排卵前のウェーブの繰り返しが4回を越えた例(RF)についても、卵胞嚢腫と同様に初回排卵・発情・授精の遅れを招くことから、同様に解析した(SAKAGUCHI *et al.*, 2006; 坂口, 2008a)。

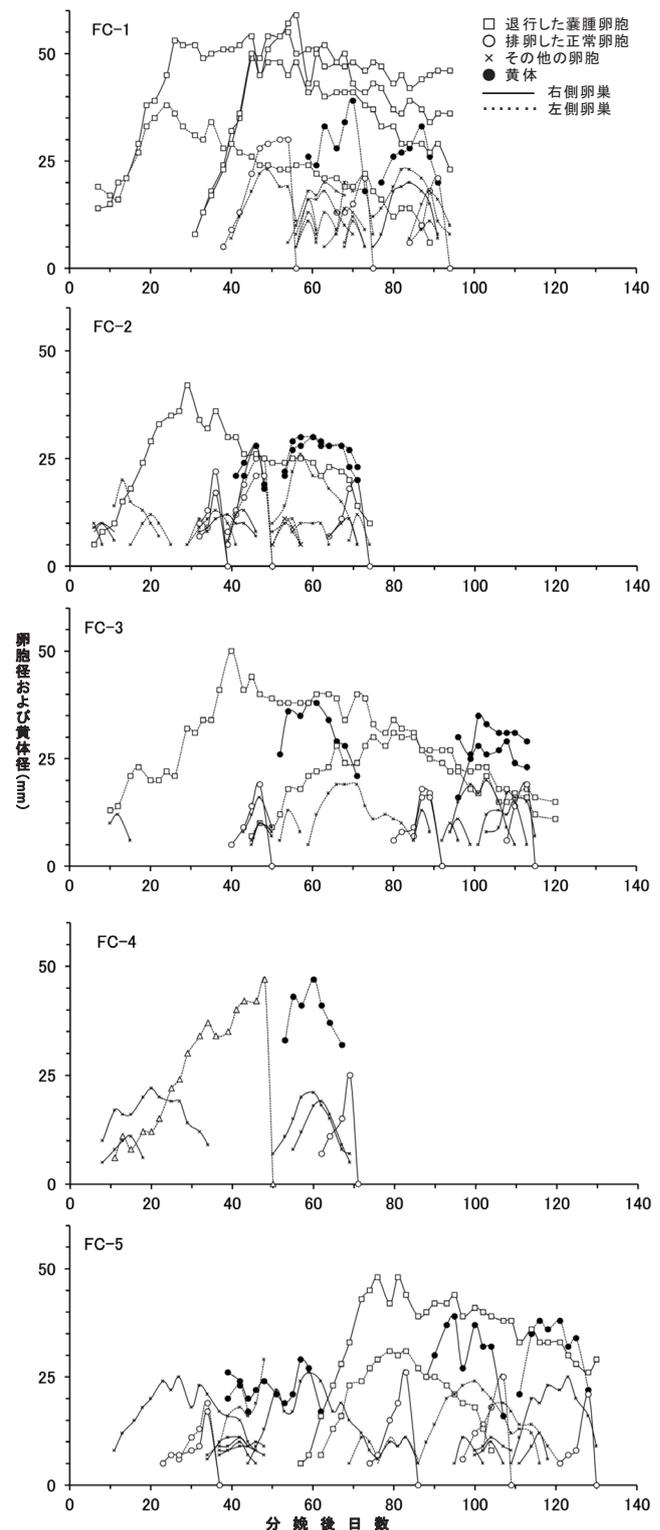
1) 囊腫様卵胞および卵胞囊腫の発生状況と転帰

卵胞動態を追跡した50頭のうち、15頭で囊腫様の卵胞が発育するのを確認した。このうち10頭では早期に退行したためCFと診断し、残りの5頭をFCと診断した。10例のFCのうち8例は初回排卵前の発生で、そのまま排卵または退行した。排卵したCFは1例を除いて最初の主席卵胞であった。5例の排卵したCFの平均最大直径は、37.8mmであったが、退行した3例のCFでは29.0mmであった。また、排卵したCFの平均発育速度(1.89 ± 0.23 mm/日)は退行したCF(1.35 ± 0.20 mm/日)よりも大きかった($P < 0.01$)。

FCと診断した5頭のうち4頭では、初回排卵前にその後囊腫に成長する卵胞が出現し、残りの1頭では初回排卵後に出現した(第10図)。これら5頭で、計10個の囊腫卵胞が確認され、それらの平均成長速度は 1.55 ± 0.68 mm/日であった。初回授精を実施するまで、ホルモン剤等による治療は行なわず、また囊腫卵胞が存在する期間中に、思牡狂(ニンフォマニア)行動を示す個体はなかった。症例FC-1では、最初に1個ずつの囊腫卵胞が、左右それぞれの卵巣に出現し、続いて右卵巣に2個の新たな囊腫卵胞が発育した。右側卵巣に3個の囊腫卵胞が存在する状態で、左側卵巣では初回および2回目の排卵が起こり、どちらも無発情であった。さらに3回目排卵も左側卵巣で起こり、この際初回発情を示したため、授精したところ受胎した。

次の2例は、右(FC-2)あるいは左(FC-3)側にそれぞれ単独の囊腫卵胞が出現し、それらの存在下で初回排卵を観察した。FC-2では初回・2回目排卵ともに2個排卵であり、3回目排卵で発情行動を示したため授精したが不受胎であった。FC-3では初回排卵後の卵巣周期が42日となり、発情行動を伴う2回目排卵は2個排卵であった。この間、新たな囊腫卵胞が同じ左側で発育・退行した。

4例目(FC-4)の囊腫卵胞は退行せず、21日間成長を持続した後に無発情で排卵し、その後正常に黄体の形成および退行が観察された。FC-5では、1個の囊腫卵胞が初回排卵後に発育を始めたが消滅した。初回排卵後に形成された黄体の退行後、左右卵巣に1個ずつ囊腫卵胞が形成され、49日後に発情を伴う2回目の排卵を観察した。



第10図 卵胞囊腫 (FC) の5例

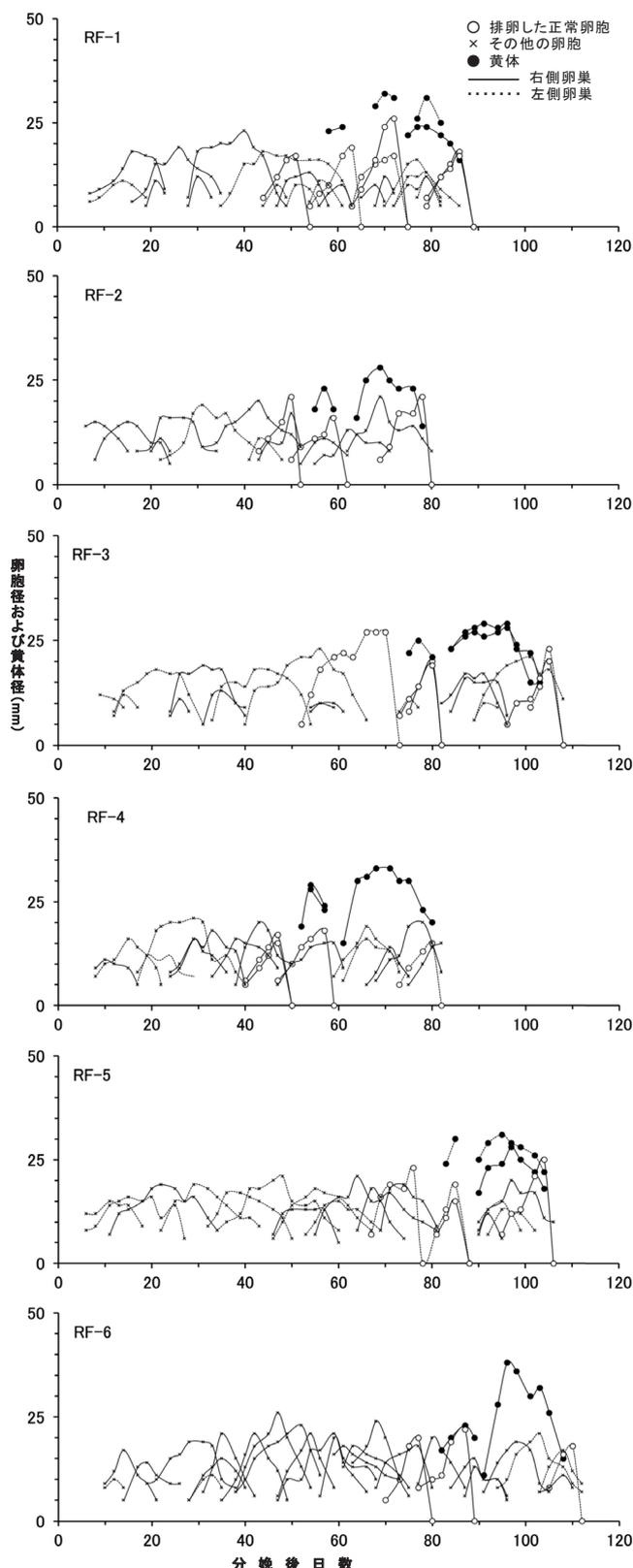
2) 多発卵胞波の発生状況と転帰

多発卵胞波は6頭で観察され、それぞれ初回排卵前に、5～13回とみなせる卵胞ウェーブの繰り返しを観察し、その後8～11日という短い卵巣周期の後に2回目排卵が起こった(第11図)。初回排卵時にRF-2では発情を観察し、RF-1、-3および-6では2回目排卵時に、RF-4および-5では3回目排卵時に初回発情を観察した。囊腫発症牛5頭と同様に、これらの牛には初回授精前の治療は実施しなかった。RF-1は4回目排卵時に、それ以外の5頭では3回目排卵時に授精し、全頭初回授精で受胎した。

3) 囊腫様卵胞, 卵胞囊腫, 多発卵胞波牛の繁殖性と生産性

CF, FCおよびRF牛の繁殖性と生産性を、このような状態が観察されなかった残りの29頭の結果と比較した(第13表)。CFの出現によって初回排卵時期が遅れることはなかったが、囊腫化してFCへと発展することにより遅れ、さらにRFでは、より大きく初回排卵が遅れた。FCでは初回卵巣周期が延長したが、2回目周期にはほぼ正常に戻った。初回発情日については、FCおよびRF牛では80日前後と遅くなった。これらを反映した結果、FC牛およびRF牛では初回授精日も遅れたが、受胎に要した授精回数が少なかったため、空胎日数には大きく影響せず、FCの影響も空胎日数として17日程度の延長にとどまった。一方RF牛では、初回授精で全て受胎したため、空胎日数は正常牛とほぼ同等であった。RF群での平均の子宮径修復日が、14.3日と他の群よりも早いことが関係しているかもしれない。乳量に関しては、FC牛で正常群よりも高かった。

これらの結果について、PARKINSON(2009)は、獣医繁殖産科学の教科書中の引用において、CFとRFを関連づけて次のように解釈している。「囊腫様卵胞の発生は、より一般的な卵巣機能障害の前兆であり、排卵しないウェーブの繰り返しが、一時的な囊腫様卵胞の形成・退行という段階を経て、最終的に持続的な卵胞囊腫の形成に至るものである」。つまり、RFからCFに発展し、さらに発展してFCに至る、という解釈であるが、筆者は、RFもFCの一形態である可能性を否定できないと考えている。



第11図 多発卵胞波 (RF) の6例

第13表 囊腫様卵胞 (CF)・卵胞囊腫 (FC) および多発卵胞波 (RF) 牛の繁殖性・乳量の正常牛 (Normal) との比較 (平均±標準偏差)

	Normal	CF	FC	RF
頭数 (受胎頭数)	29 (24)	10 (10)	5 (5)	6 (6)
初回排卵日	22.7 ± 1.9 ^a	27.4 ± 3.2 ^a	45.4 ± 4.5 ^b	64.2 ± 4.1 ^c
初回卵巣 周期(日)	16.4 ± 1.3 ^a	17.8 ± 2.2 ^a	28.3 ± 3.1 ^b	9.5 ± 2.8 ^a
2回目卵巣 周期(日)	22.3 ± 4.7	21.3 ± 1.2	23.5 ± 3.4 [*]	19.2 ± 5.4
初回発情日	49.8 ± 3.2 ^a	43.5 ± 5.4 ^a	81.8 ± 7.7 ^b	78.5 ± 7.0 ^b
初回授精日	64.2 ± 2.4 ^a	66.3 ± 4.1 ^a	96.4 ± 5.9 ^b	94.8 ± 15.4 ^b
授精回数	1.93 ± 0.19	2.10 ± 0.33	1.60 ± 0.47	1.00 ± 0.43
空胎日数	93.3 ± 7.0 ^{**}	98.0 ± 11.9	111.0 ± 16.9	94.8 ± 15.4
子宮径 修復日	17.8 ± 0.8	19.3 ± 1.3	18.6 ± 1.9	14.3 ± 1.7
305日乳量 (kg)	8695 ± 336 ^a	9241 ± 572 ^{ab}	11693 ± 809 ^b	10038 ± 738 ^{ab}

* n = 4 ** 不受胎牛は最終授精 + 21日として計算。

^{a, b, c} 異符号間に有意差あり (P < 0.05)。

4. 分娩後の発情回帰と繁殖性

放牧主体のニュージーランド乳牛と、舎飼い主体の北米乳牛の繁殖性を比較した結果から、分娩後交配時期に達する前の無排卵・無発情それ自体は、乳牛の不受胎の大きな原因ではない、と考えられている(LUCY, 2007)。また、発情が回帰せずに問題となるのは、長期間の無排卵、無発情排卵、または、いったん分娩後の初回発情を検出した後の無発情への再帰、といったケースである(PARKINSON, 2009)。3つめの「無発情への再帰」は、分娩後早期に発情周期が回帰した場合でも、乳牛の繁殖性に重大な影響を及ぼす。

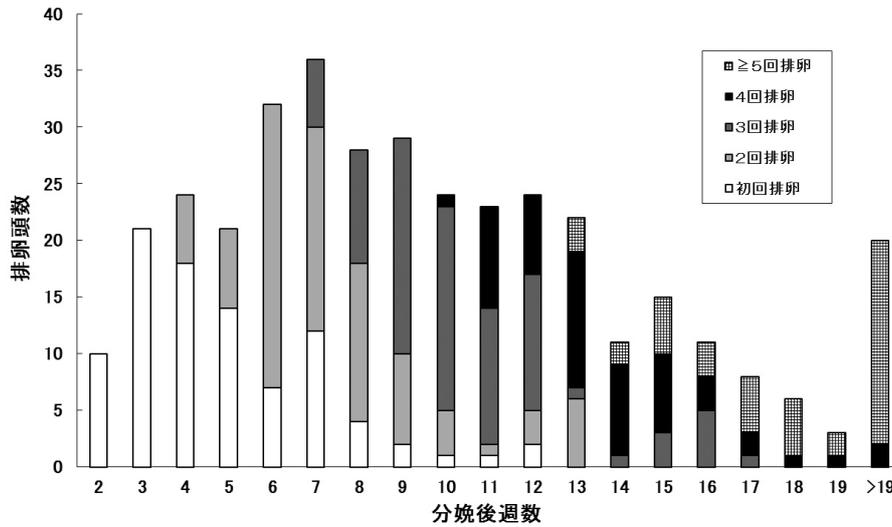
こうした状況を改善して、乳牛の繁殖性を向上させるための短期的な戦略として、ホルモン処置プログラムを利用して、発情と排卵を集中的にコントロールする方法がある(LUCY *et al.*, 2004)。ホルモン処置によって、確かに発情発見率や授精率は向上するが、受胎率や妊娠率は必ずしも向上しない。

ホルモン剤による同期化処置結果に関する複数の

報告をまとめて解析(meta-analysis)した結果によると、ホルモン処置による全体的な妊娠率の向上は認められないという(RABIEE *et al.*, 2005)。処置プログラムを開始する分娩後の日数によっては、ホルモン剤のターゲットとなる黄体や成熟卵胞が存在しないために、処置に反応しない牛がでてくるからである(RHODES *et al.*, 2003)。また発情同期化プログラムでは、適期授精のために正確な発情発見が求められるが、この前提として、牛自体が正常な発情行動を示す、潜在的な能力を有していなければならない。発情発見のみに問題がある場合に限り、発情同期化プログラムは有効である。排卵同期化-一定時授精処置についても、発情発見と適期授精にのみ問題がある場合に限って有効である。したがって、その他の阻害要因が存在する場合は、こうした処置が望ましい結果をもたらさないことになる。

1) 分娩後の排卵回次の時期的分布

そこで次に、北農研飼養ホルスタイン牛、延べ92



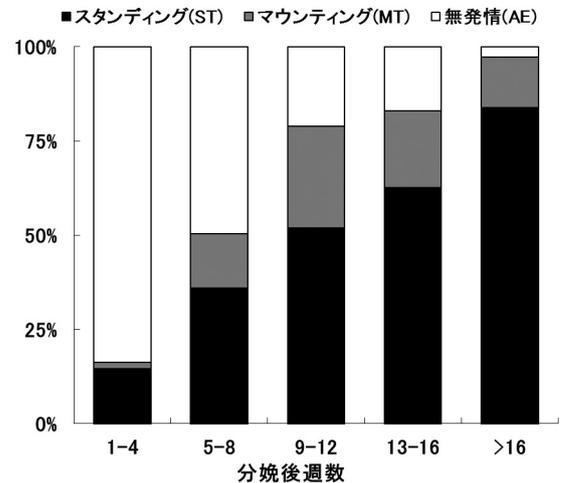
第12図 時期別・排卵回次別の頭数分布

頭の分娩後の368回の排卵について、無発情排卵の発生頻度とその後の繁殖性、さらには発情回帰後の無発情状態への再帰の発生頻度、およびその時期について解析した(SAKAGUCHI, 2010c)。なおこれらの92頭は、当初供試した100頭のうち最終的に不受胎となった8頭を除いたものである。つまり、最終的に受胎する能力を有していた牛についての解析結果である。

はじめに、各排卵の時期別分布を第12図に示す。分娩後第7週から9週の間は初回～3回までの排卵が混在し、10～12週では初回～4回までの排卵が混在している。さらに第13週では同様に、2回～5回までの4ステージの排卵が混在していることがわかる。このようにある期間中、異なる4ステージの排卵が混在しているという事実は、ホルモンプログラム適用の可否を判断する際の参考となるだろう。

2) 各排卵時の発情発現頻度

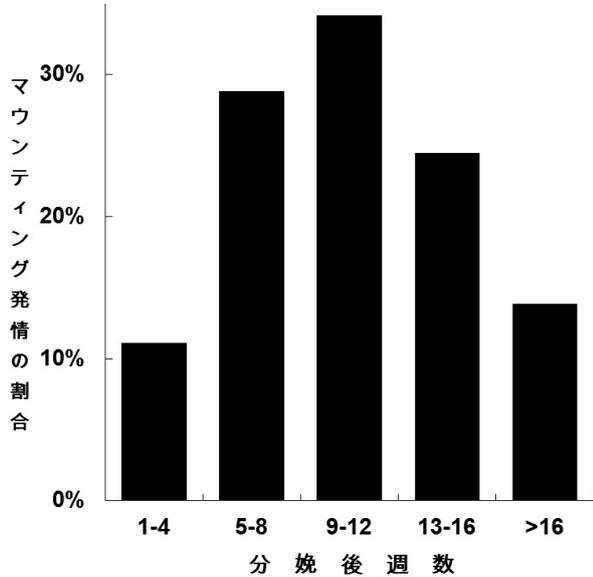
排卵前に、スタンディング(乗駕許容)行動を示した場合をスタンディング発情(ST)、マウンティング行動を示したもののスタンディング行動は示さず、他の発情徴候をあわせて観察した場合をマウンティング発情(MT)とした。それ以外、STもMTも示さなかった場合は無発情(AE)とした。第13図に示すように、最初の4週間では17%の排卵で発情行動(ST;15%, MT;2%)を示すのみであったが、この割合は徐々に増加し、17週以降でのAEの割合は3%に低下した。発情発現全体に占めるMTの割合(MT/(ST + MT))は、最初の4週では11%で



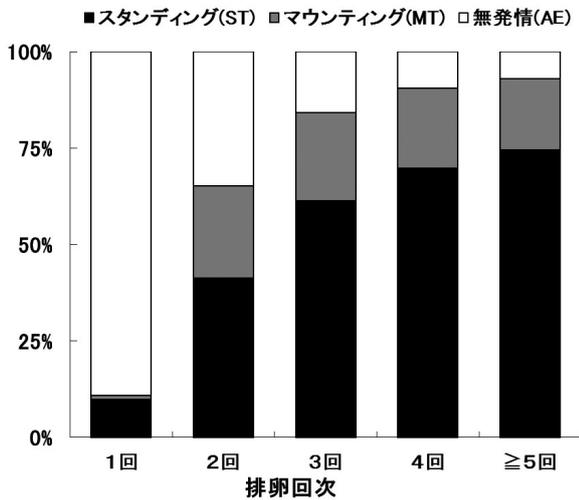
第13図 分娩後4週単位での発情発現の比率

あったが、9～12週では34%にまで増加し、その後減少した(第14図)。したがって、通常人工授精が開始される、分娩後3ヶ月ころの発情では、約1/3がMTであることから、ST以外の発情徴候にも十分に留意した発情観察が不可欠であるといえる。

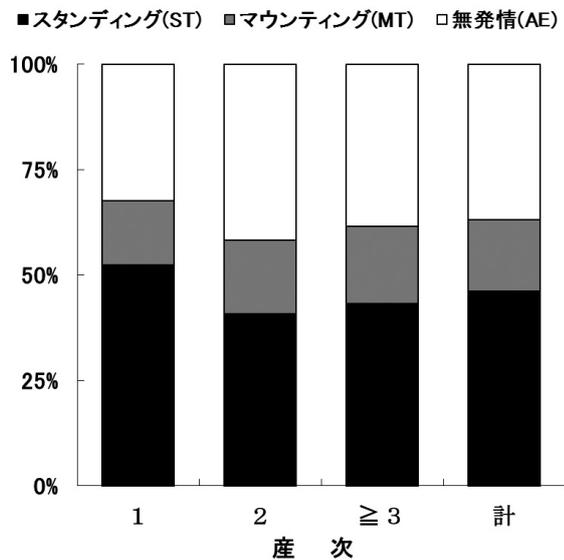
こうした推移を初回(1回目)からの排卵回次別にみたのが第15図である。初回排卵時にSTを示したのは10%であったが、5回次以上では74%まで上昇した。MTの割合は初回では1%であったが、その後は19～24%で推移した。結果として、AEは初回次の89%から5回次には7%まで低下した。次に産次別の発情発現頻度を第16図に示したが、産次間に大きな差はなく、また92頭の計368排卵全体でみると、46%がST、17%がMT、残りの37%はAEとなった。



第14図 総発情発現回数に占めるマウンティング発情の割合



第15図 排卵回次別の発情発現の比率



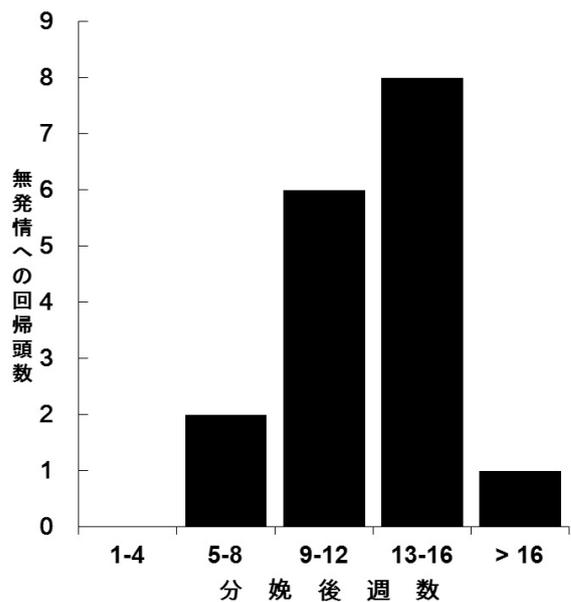
第16図 分娩後早期の排卵における産次別の発情発現比率

3) 無発情排卵への再帰

発情を回帰した92頭のうち、14頭はその後の排卵で再度無発情となった。このうち1頭では3回、もう1頭では2回の無発情排卵を観察したため、再帰した無発情排卵の合計回数は17 (総無発情排卵回数13%)となった。第17図に示すように、これら17回のうち16回は分娩後5～16週(2～4ヶ月)に集中していた。また、全ての無発情排卵回数に占める再帰した無発情排卵の割合は、1～4週で0%、5～8週で3%、9～12週で29%、13～16週で80%、17週以降では100%となった。これらの無発情への再帰に産次による有意差はなく、無発情への再帰後、次の発情発現までの平均期間は48.1日であった。こうした無発情への再帰という現象は、「分娩後早期の発情回帰は繁殖性の向上をもたらすか?」、という問いに対して、相反する結果が報告される大きな原因の一つであろう。

4) 発情回帰時期とその後の繁殖性の関係

猶予期間を45日として授精を開始した結果得られた、初回発情時の排卵回次別に分けた各群の繁殖性を、乳量水準とともに第14表に示す。予想されたとおり、初回発情時の排卵回次が進むにつれて初回発情までの日数(E1)は延長した。各群間の乳量水準に有意な差は認められなかったが、2回次以上の排卵での初回発情牛について全て合算した平均乳量は、初回排卵次の初回発情群よりも高かった(P <



第17図 発情回帰後再度無発情状態に戻った牛の頻度

第14表 初回発情時の排卵回次と繁殖性の関係 (平均 ± 標準偏差)

初回発情時の 排卵回次	初回	2回	3回	4-5回	計
頭数 [%]					
初回発情	10 [11]	50 [54]	26 [28]	6 [7]	92[100]
無発情再帰	3 [30]	8 [16]	2 [8]	1 [17]	14 [15]
初回受胎	4 [40]	28 [56]	17 [65]	1 [17]	50 [54]
初回排卵週	5.4±0.7	4.9±0.3	4.7±0.5	4.3±0.9	4.8±0.2
初回発情日 (E1)	35.5±5.4 ^a	49.3±2.4 ^b	64.7±3.3 ^b	96.3±7.0 ^c	55.2±2.3
初回授精日 (AI1)	78.6±5.6 ^{ab}	74.3±2.5 ^a	71.2±3.5 ^a	96.5±7.2 ^b	75.3±1.9
受胎までの 授精回数	2.30±0.30	1.66±0.14	1.46±0.19	2.17±0.39	1.71±0.16
空胎日数 (DO)	118.4±10.4 ^a	92.4±4.7 ^{ab}	85.0±6.5 ^b	126.7±13.5 ^a	95.4±3.6
DO - E1 (日)	82.9±9.7 ^a	43.2±4.3 ^b	20.3±6.0 ^c	30.3±12.5 ^{bc}	40.2±3.7
DO - AI1 (日)	39.8±9.0 ^a	18.2±9.1 ^b	13.8±5.6 ^b	30.2±11.7 ^{ab}	20.1±3.0
乳量 (kg/305日)	8,536±542 [*]	9,497±242	9,720±336	9,763±700	9,473±179

*他の3群(2回以上初回発情)の合算乳量(9,497±242)との間に有意差あり(P<0.05)。

0.05)。初回授精までの日数(AI1)は4~5回次排卵群での初回発情で遅れた。受胎に要した授精回数は、有意差はないものの2, 3回次排卵群での初回発情で少なかった。

これらの結果、空胎日数は3回次排卵での初回発情の群で最低となり、2回次排卵での初回発情群が続いた。結果的に、初回発情から受胎までの日数(DO-E1)、および初回授精から受胎までの日数(DO-AI1)は、2, 3回次初回発情群で短くなった。つまり、今回対象とした北農研牛群においては、初回発情時期が早すぎる、あるいは遅すぎる場合に、受胎率の若干の低下を伴って、空胎日数が延長するものと考えられた。

V. 行動量による発情発見法の有効性検証と繁殖性の指標

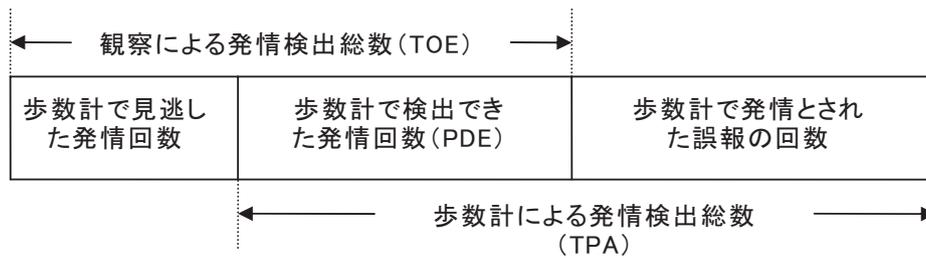
1. 歩数上昇による発情検出法の有効性

これまで述べてきたように、現代の高泌乳牛では分娩後の初回排卵・発情・授精という、繁殖性を左右する事象に至るまでの期間が、乳量増加とともに延長してきているのは明らかである。また、典型的な発情行動であり、人工授精の判断に重要なSTの発現頻度も、分娩後早期では低下していることもわかった。加えて分娩後3ヶ月頃の、通常は授精が開始される時期に、STを示さずMTのみ示す牛の比

率が多いことも定量的に示された。さらにこの期間中には、発情回帰後に再度無発情の状態に戻る牛も、無視できない程度に存在することが明らかになった。一方で、3回次排卵における初回発情のようにやや遅く発情が回帰した牛でも、空胎期間を指標とした繁殖性は良好であることから、分娩後遅い時期に発現する、一部微弱化した発情を確実にとらえて適期授精することにより、一定程度の繁殖性の維持が期待できると考えられた。このためには、ST以外の発情徴候を確実にとらえる必要があるが、行動量の増加による方法は、ST行動に依存しないことから、有力な手段の一つである(坂口, 2007d; 坂口, 2009b)。そこで省力化および自動化が可能な、無線送信による歩数計を用いた発情発見システム(牛歩; (株)コムテック, 宮崎)の有効性について、育成牛を用いて評価し、搾乳牛の発情発見への適用可能性について検討した。

検討にあたり、発情発見の効率と精度を以下のように計算し、両者を統合した指標として発情発見指数を求めて比較した(第18図)。

$$\begin{aligned} \text{発情発見効率} &= (\text{PDE}) / (\text{TOE}) \times 100 (\%) \\ \text{発情発見精度} &= (\text{PDE}) / (\text{TPA}) \times 100 (\%) \\ \text{発情発見指数} &= (\text{発情発見効率}) \times (\text{発情発見精度}) \\ & \quad / 100 \end{aligned}$$



第18図 歩数上昇による発情発見の効率と精度

$$\text{発情発見効率} = (\text{PDE}) / (\text{TOE}) \times 100 (\%)$$

$$\text{発情発見精度} = (\text{PDE}) / (\text{TPA}) \times 100 (\%)$$

$$\text{発情発見指数} = (\text{発情発見効率}) \times (\text{発情発見精度}) / 100。$$

PDE：歩数計で検出できた発情回数

TOE：観察による発情検出総数

TPA：歩数計による発情検出総数

一般的に、発情と判定する基準を厳しくすると発見効率(発見率)は低下し、発見精度(的中率)は向上する。逆に基準を緩くすると、効率は向上するが精度は低下する。そこで、両者の積を求めることにより得られた、発情発見指数を用い、異なる条件下での発情発見能力を比較することとした。

1) 育成牛における有効性の検討

予備的検討として、発情行動が明瞭な初回授精前の育成牛を用い、システムの精度および効率を検討した(SAKAGUCHI *et al.*, 2007; 坂口, 2010a)。飼養環境として昼夜放牧、パドック飼養およびタイストールでのつなぎ飼いの3条件において、歩数計の装着部位(頸または肢)別に解析した。

(1) 昼夜放牧条件

最初に昼夜放牧飼養条件下の育成牛を供試し、それぞれの頸と後肢に歩数計を装着して歩数を計測するとともに、テイルペイントを補助的に利用して発情行動を観察した。頸装着では閾値(発情と判定する歩数の上昇倍率、以下倍率と略)を1.2倍、参照期間(倍率計算のため24時間の平均歩数を比較する過去の日数)を3～7日とした場合、発見効率は100%であったが、発見精度は20～23%と低かった。一方後肢装着では、効率および精度とも90%以上と、良好な成績が得られた。頸および後肢装着での発見指数の最大値はそれぞれ32(1.3倍・5日)および83(1.4倍・7日)となった。頸装着では採食時の運動

をカウントするため精度が低下したものと考えられ、搾乳牛でも同様の結果になると予想された。

(2) パドック飼養条件

次に、パドックでロール乾草またはロールサイレージを自由採食とする飼養条件下で、育成牛の頸と後肢に歩数計を装着した。この条件では、発情観察とともに、その後の排卵確認も実施した。頸では1.3倍・6～7日で、発見効率は92%、発見精度が61～66%であった。後肢では1.6～1.7倍・4～7日で、発見効率は同様に92%であったが発見精度は92～100%となった。頸および後肢装着での発見指数の最大値はそれぞれ59(1.3倍・7日)および92(1.6～1.7倍・7日)となった。これら最適条件下での歩数上昇を指標とした発情開始から排卵までの平均時間と範囲は、頸装着で24.2(0～37)時間、後肢装着では1.6倍で27.0(22～36)時間、1.7倍で25.5(21～35)時間であった。歩数上昇をもとにした平均発情持続時間は、頸で16.6時間、後肢で21.6時間(1.6倍)または18.8時間(1.7倍)となった。これら排卵までの時間と発情持続時の平均に、装着部位による有意な差はなかった。

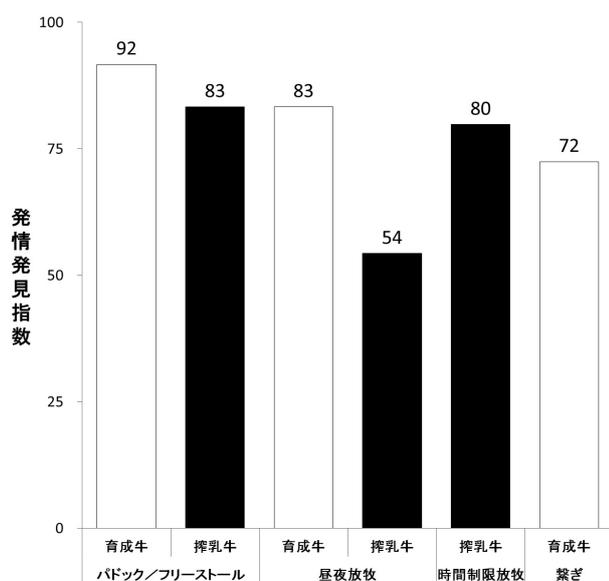
(3) タイストール飼養条件

最後にタイストール飼養条件下では、頸、前肢および後肢にそれぞれ歩数計を装着し、発情徴候から発情を判定し、排卵確認を実施した。頸では1.2～1.3倍・3～7日で発見効率61～91%、的中率33～44%の結果が得られた。後肢および前肢では発見精度が高くなり、1.3～1.4倍・3～7日で、両者ともほぼ同様の発見効率(1.3倍：83～96%、1.4倍：70～87%)と発見精度(1.3倍：50～70%、1.4倍：71～

83%)を記録した。前肢装着では後肢と比べて装着作業と歩数計の維持が容易で、排泄物の付着も比較的少なかった。頸、後肢および前肢の発情発見指数の最大値はそれぞれ、31 (1.2倍・3日)、61 (1.4倍・4 または 6日) および 72 (1.4倍・7日) となった。発情開始から排卵までの平均時間と範囲は頸で32.1 (0～48)時間、後肢で25.9 (9～36)時間、前肢で26.3 (11～38)時間となり、平均発情持続時間は頸で23.4時間、後肢で17.4時間(1.4倍・4日)または17.9時間(1.4倍・6日)、前肢では19.5時間であった。これらの平均時間に、装着部位による有意差は認められなかった。したがって、タイストール条件では頸への装着は実用的ではなく、少なくとも育成牛では後肢よりも前肢への装着が有効と考えられた。

(4) 育成牛での実用性

このように、異なる飼養条件下の育成牛を用いた予備的検討結果から、歩数計による発情発見システムの実用性を確認できた。発情発見指数の最大値の一部は、搾乳牛での結果とともに第19図に示した。発情開始時刻を適期授精の目安とすることを考えると、発情開始から排卵までの時間が重要となる。頸装着では排卵までの時間にばらつきが大きいことから、肢に歩数計を装着することにより、排卵時刻や授精適期をより正確に推定できることがわかった。なお、発情発見の効率のみではなく、発見精度を加



第19図 育成牛と搾乳牛における異なる飼養条件下での肢装着歩数計による発情発見能力の比較

味した観点からすると、頸装着はパドック飼養条件下に限り有効であると考えられた。

2) 搾乳牛での実証

搾乳牛については、育成牛のパドック飼養に相当するフリーストール飼養、小牧区1日輪換の昼夜放牧、およびフリーストールを併用した中牧区での時間制限放牧の3条件について検討した(坂口, 2010b)。

(1) 装着部位の検討

北農研の屋外パドックを併設するフリーストール牛舎において、頸-後肢および前肢-後肢間の比較を、それぞれの部位に同時装着した搾乳牛を用いて実施した。

頸装着では、個体間に歩数変動のばらつきが大きかったが、発情発見指数は後肢装着と同等であった。後肢では検出倍率1.5倍、平均歩数参照期間8-15日で発情発見指数が75.8 (発見効率83.3%, 発見精度90.9%)と最高になり、頸では1.7倍、14-15日で77.6 (発見効率91.7%, 発見精度84.6%)を記録した。

前肢と後肢では参照日数の最適値は若干異なるものの、最適な検出倍率の範囲は、後肢での1.7～2.0倍に対し、前肢では1.5～2.2倍と広がった。前肢装着は後肢装着と比べ、ふん尿による汚れが少ないことも考え合わせると、一般的に推奨される装着部位と考えられたが、搾乳時に装着ベルトの弛み等を定期的に観察しやすい後肢装着も、必要に応じて選択できるであろう。そこで以下の比較では、前肢または後肢に歩数計を装着して検討した。

(2) 飼養条件による比較

フリーストール条件と比較して昼夜放牧条件下では、発情検出の最適設定がほぼ同じであるにもかかわらず、発見効率が約30%低下するため、発情発見指数も低くなった(第19図)。時間制限放牧条件下では、フリーストール条件下と同等の成績が得られた。これらの原因として、1日輪換の昼夜放牧条件下では、朝夕の搾乳前後、放牧地と搾乳施設間を移動する際の歩数が、転牧によって変動することが考えられた。つまり、放牧地と搾乳施設間の移動距離が前日より大きくなる場合、発情ではなくても歩数が上昇し、発情と検出される可能性が高くなるため、発見精度率が低下(誤報がふえる)してしまう。

その逆の場合、発情であっても十分な歩数上昇としては検出されない可能性が高まり、発見効率が低下(見逃しがふえる)すると考えられた。

このように小牧区、1日輪換の搾乳牛の昼夜放牧では、往復の移動距離が毎日変動するため、高い発情検出成績を得るためには、搾乳施設への移動距離の変化に注意する必要がある。また可能な限り、前日までの移動距離から大きく変化しないような順序で牧区を変えてゆくことも、発情発見成績の向上に必要であろう。昼夜放牧条件下、発情発見指数が最大となる設定(1.5倍)での発情検出率は62.5%であるが、発見精度は87.0%と、他の条件と同じ水準であった。したがって、判定倍率を1.4あるいは1.3倍へと下げることにより、的中率の低下を承知のうえで検出率向上を図ることも、使用目的によっては有効かもしれない。

(3) 育成牛での発情発見指数との比較

第19図には搾乳牛での結果とともに、それらに対応する育成牛での結果も示している。パドック/フリーストール条件下では、搾乳牛の発情発見指数は育成牛よりも若干劣る程度であるが、昼夜放牧条件下の搾乳牛では指数で30近く低いことがわかる。育成牛の昼夜放牧は定置放牧であり搾乳作業もなかったことが、こうした違いの大きな原因であろう。また、転牧頻度の低い中牧区での搾乳牛の時間制限放牧では、育成牛の昼夜放牧と同等の発見指数が得られている。この結果からも、搾乳牛での転牧による搾乳施設への移動距離の変動が発情検出成績に大きく影響することを、あらためて確認できる。

3) 歩数上昇による搾乳牛の発情発見法の留意点

このように転牧頻度の高い昼夜放牧搾乳牛における、発情発見指数の低下は、歩数による発情発見法の一つの問題点となりうる。現状の検出基準下での対応策としては、前述のように転牧順序を工夫して、平均歩数の日間変動の最小化を図るほかに、他の発情発見方法、例えばテイルペイント等を併用する、という方法が考えられる。それ以外の方法としては、発情と判定する基準そのものを見直すという方向性もあり得る。すなわち、搾乳牛舎への移動は通常、朝夕の同一時間帯に実施されることから、この時間帯を平均歩数の計算から除外するというような、昼夜放牧条件に対応した発情判定アルゴリズム

(MOORE and SPAHR, 1991; KOELSCH *et al.*, 1994)や、根本的に異なるアルゴリズム(FIRK *et al.*, 2003; LØVENDAHL *et al.*, 2010)を適用することにより、発情発見成績を向上できるかもしれない。

2. 乳牛繁殖性の間接的指標の検索

背景で述べたように、近年の遺伝的改良による乳量増加は繁殖性に悪い影響を与えており(NEBEL and MCGILLIARD, 1993; HANSEN, 2000; PRYCE *et al.*, 2004)。この原因の一つとして、体組織の代謝状態を高泌乳という生理的条件に対応させるための、ホメオレティックな適応が指摘されている(BAUMAN and CURRIE, 1980)。

乳量の増加によって、分娩後の初回排卵、発情、および授精までの期間の平均値が延長してきたことは、本報を含む多くの報告から明らかである(HILLERS *et al.*, 1984; HARRISON *et al.*, 1990; BEAM and BUTLER, 1999; ROCHE and DISKIN, 2001; GUTIERREZ *et al.*, 2006)。しかし、乳量の増加がどのように受胎率に影響し(SPALDING *et al.*, 1975; HILLERS *et al.*, 1984; FARIN *et al.*, 1994; FAUST *et al.*, 1994; RESKEN *et al.*, 2002; WINDIG *et al.*, 2005)、また空胎日数に影響しているかについては結論が得られていない(LABEN *et al.*, 1982; ROYAL *et al.*, 2000; LÓPEZ-GATIUS, 2003; LÓPEZ-GATIUS *et al.*, 2006; NORMAN *et al.*, 2009)。

今回IV章において示した北農研実験牛群における結果では、初回排卵時期で示される分娩後の早すぎる卵巢機能再開により、発情周期の再開は早まり、初回授精時期も早まったが、空胎日数で示される繁殖性に改善はみられなかった(SAKAGUCHI *et al.*, 2004; SAKAGUCHI, 2010c)。しかし実際の生産現場レベルでは、初回発情の遅れと低い発情発見率、および無発情への回帰が組み合わさることにより、初回授精時期が極度に遅れ、空胎日数の延長につながっていると推測できる(PARKINSON, 2009)。したがって、乳生産性およびそれに関連する計測値(乳量・乳成分、BCSおよび体重)と、繁殖性関連の数値(初回排卵・発情・授精日および空胎日数)との大まかな関係を調べ、何らかの指標となるものを特定することは、酪農における繁殖管理の助けになるものと期待される。

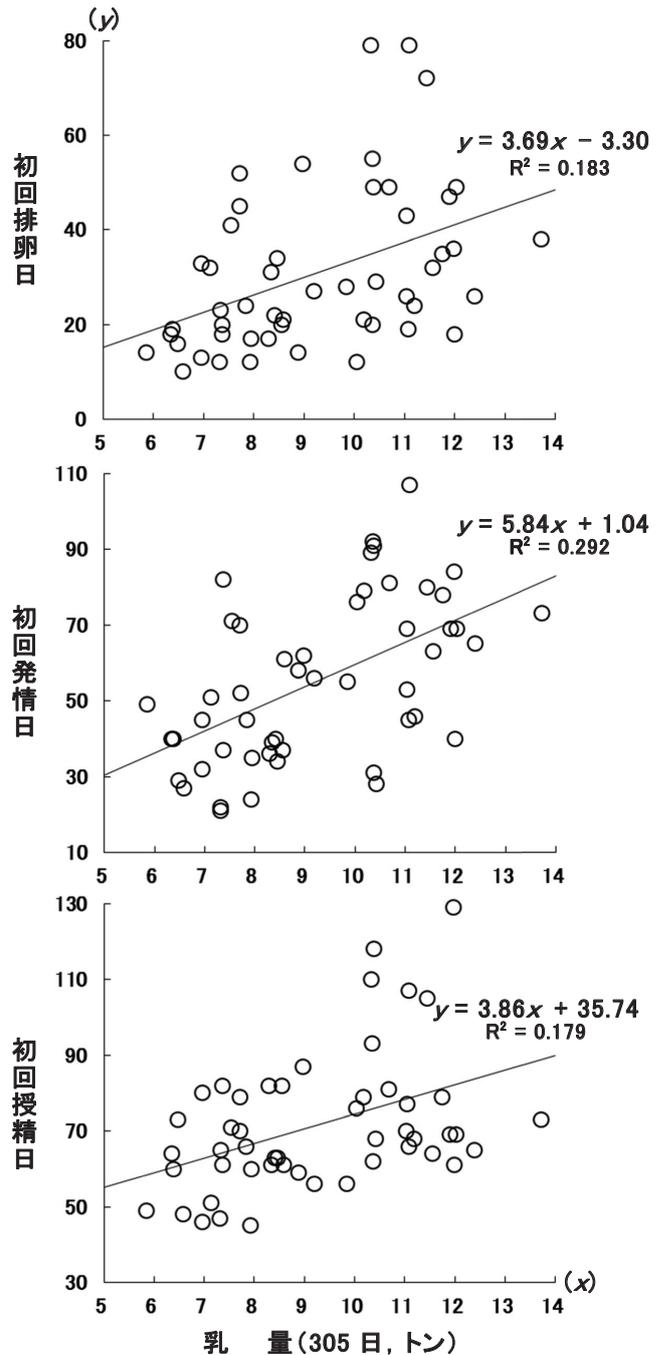
1) 乳量・乳成分と繁殖性の相関

分娩後10週までの各週の平均乳量と10週間を通した平均値を算出し、ピーク週の平均乳量および305日補正乳量とともに解析に供した。乳成分については月に1回、分娩後4ヶ月間、乳脂肪率(F)、乳タンパク質率(P)および乳糖率(L)を測定し、これらの間の比であるF/P比、F/L比およびP/L比についても算出し、解析した(坂口, 2008b)。

初回排卵日と乳量の各計算値との間には、全て高い正の相関(P < 0.01)がみられた。このうち、ピーク週乳量との相関が最も高く、第8および10週、10週平均、305日補正の各乳量がこれに続いて高い相関を示した。初回発情日との間では、305日補正乳量が最も高い正の相関(P < 0.001)を示し、第8~10週、10週平均、ピーク週と続いた。初回 AI 日との間では、全般に相関は低くなったが、305日乳量については初回排卵日と同等の高い相関を示した。しかし、空胎日数について有意な相関を示す乳量関連の項目はなかった。

乳成分については、分娩1ヵ月で乳タンパク質率と初回排卵日との間で、弱い負の相関(P < 0.10)を、初回授精日との間に有意な負の相関(P < 0.05)を示し、2および3ヵ月では、一部に弱い相関 P < 0.10)がみられた。分娩4ヵ月では、空胎日数と乳脂肪率およびこれに関連する F/P 比、F/L 比との間に高い正の相関(P < 0.01)が認められ、初回発情日と P/L 比に有意な負の相関(P < 0.05)が認められた。

以上の結果から、空胎日数を除いた繁殖性項目についてはいずれも305日乳量との相関が高かったことから、305日乳量を従属変数とし、初回排卵・発情・授精日を目的変数とした回帰直線を求めた(第20図)。これらのうち初回排卵および発情日については、原点近くを通る(切片が小さい)直線が得られた。原点を通る直線として回帰し直すと、それぞれの傾きは、約3.3および6となった。したがって北農研牛群での、分娩後の初回排卵および発情日の平均的な目安として、初回排卵日は乳量(トン)の約10/3 (3.3)倍、初回発情日は乳量の約6倍として推定できる。すなわち乳量9,000kg(9トン)ならば、初回排卵は分娩後30日ころ、初回発情は54日ころに、12,000kgならばそれぞれ40日および72日ころ、平均的に起こるということになる。空胎日数については分娩後4ヶ月でのF/P比との相関が最も高かったことから、F/P比を従属変数とした回帰直線を得た(第21

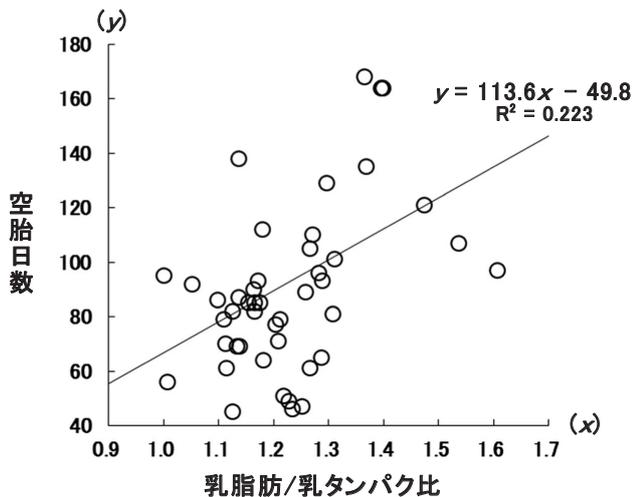


第20図 乳量と初回排卵・発情・授精日との関係

図)が、この時点では既に受胎している牛もいるため、実用的な指標とはなり得ないと考えられた。

2) BCS と繁殖性の相関

305日乳量は乳生産性のアウトプットのみを示しているのに対し、BCSと体重は乳生産性と乾物摂取量の両方を反映している。泌乳ステージが進むにつれて、消化管内容物の量に変化し、それにつれて

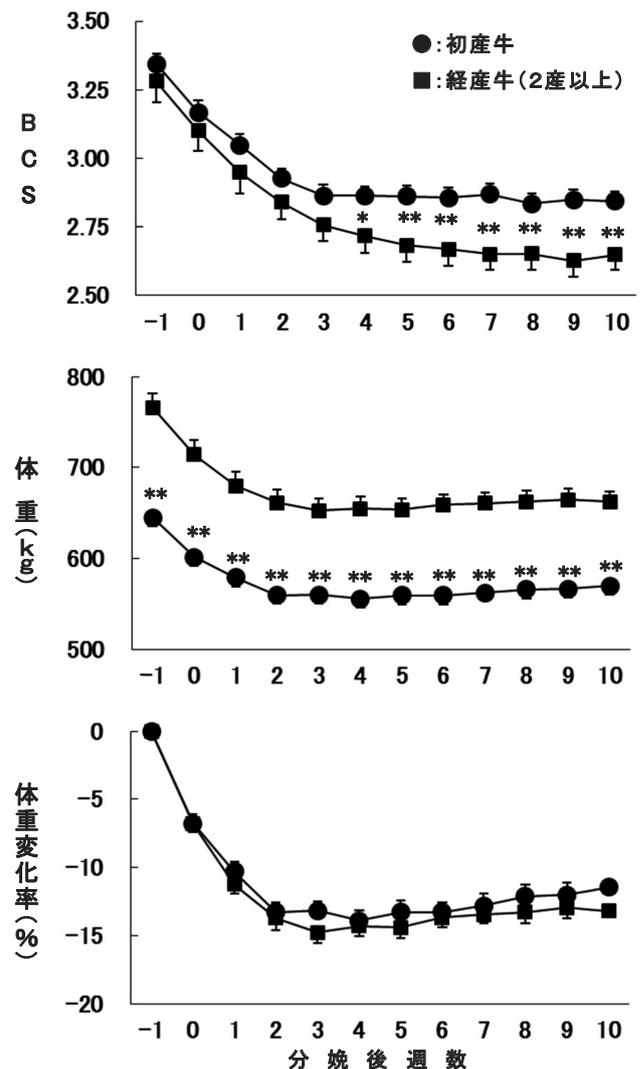


第21図 分娩後4ヶ月時点の乳脂肪/乳タンパク比と空胎日数の関係

体重やBCSも変化するため、分娩後の乳牛では分娩前の体重に戻るまで時間がかかる(ROCHE *et al.*, 2006)。そこで次に、分娩後10週間、1週ごとにBCSを記録し、繁殖関連の数値との相関を求めたところ、有意な相関は認められなかった。さらにBCSの絶対値ではなく、相対値として分娩後の最低を記録した日(BCS最低日)およびその時点での分娩直後からの減少幅(BCS最大減少)との相関を調べた。その結果、初回排卵日(y)はBCS最低日(x)と有意な相関($y = 0.27x + 17$, $r = 0.329$, $P < 0.05$)を示し、初回発情日(y)はBCS最大減少(x)と有意な相関($y = 30x + 41$, $r = 0.330$, $P < 0.05$)を示した。しかしこのような相対値をもとめるには、複数回のBCS測定が必要となることから、生産現場での実用的な指標とはならず、試験項目としての利用にとどまると考えられる(坂口, 2008b)。

3) BCS 変化および体重変化率の推移と繁殖性

最後に繁殖性との関係を、分娩後10週間のBCSと体重の変化について、産次別に解析した(坂口, 2008c; SAKAGUCHI, 2009c)。第22図に上段から示すように、BCSについては分娩4週後から産次による有意な差がみられ、体重の絶対値については分娩前の差がそのまま持続した。そこで体重の変化率、すなわち分娩前からの減少の割合(%)で表示したところ、第22図下段に示すように、産次による差は認められなくなった。関連して、BCSの最大減少とそれを記録した日(最低日)、および体重の最大減少率と最低日とを求め、産次別に第15表に示した。BCS



第22図 分娩後のBCS, 体重, 体重変化率の推移(平均±標準誤差)

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ で有意差有り。

では経産(2産以上)牛の最大減少は初産牛よりも大きく、最低となる日も約2週遅れた。一方体重変化率でみると、両群とも16%前後の最低値を、30-33日に記録していることがわかる。このように、体重変化が減少から上昇に反転する日は、BCSと比較すると初産牛で約15日、経産牛で約25日早いことがわかる。分娩後に乾物摂取量が少しずつ増加し、消化管内容物重量が増大する結果始まる体重の増加は、BCS減少で示される脂肪動員が、脂肪蓄積に転じる(BCS増加)時期よりも早いことを示している。

このように分娩後のBCSの推移については産次の影響が認められるが、体重変化率は産次の影響を受けないことがわかった。そこで、初回排卵・発情・授精および空胎日数との関係を、全産次合算して解

第15表 BCSおよび体重変化率の最大減少と最低日 (平均 ± 標準偏差)

	初産	経産	計
BCS 最大減少	0.55±0.03 ^a	0.71±0.06 ^b	0.62±0.04
BCS 最低日	45.2±3.8 ^a	58.2±4.0 ^b	51.4±2.9
体重変化率最低値 (%)	-15.5±0.8	-17.0±0.9	-16.2±0.6
体重最低日	30.0±3.1	32.9±3.3	31.4±2.3

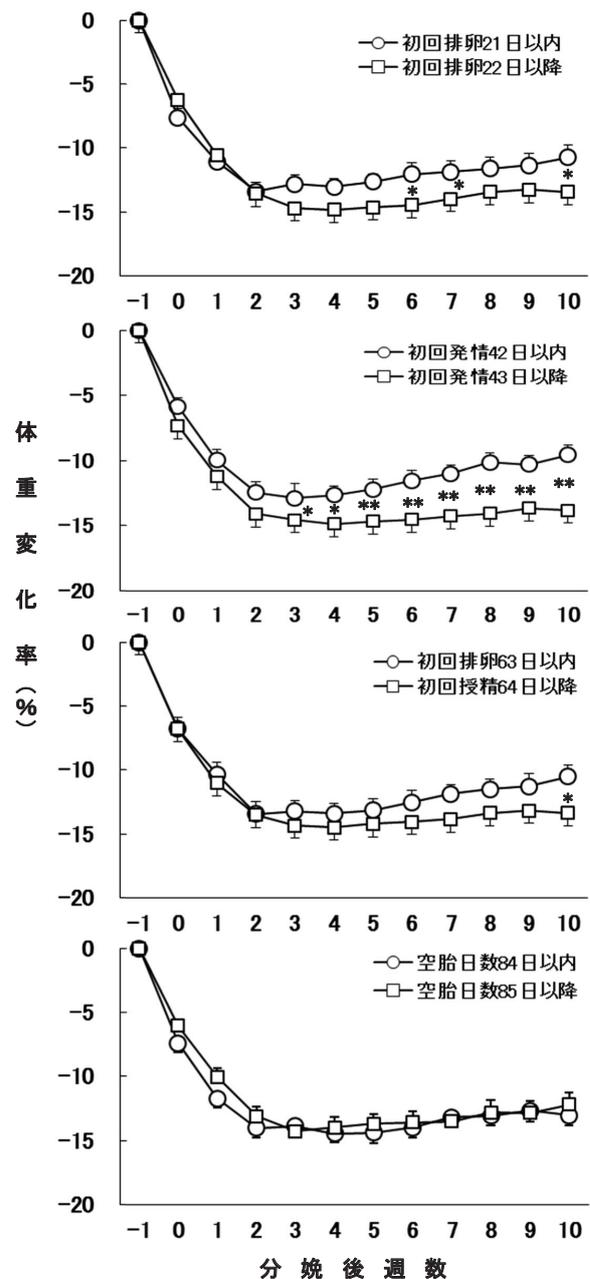
^{a, b} 異符号間に有意差あり (P < 0.05)。

析した(第23図)。その結果, 初回排卵・発情・授精の各項目ともに遅かった群では, 体重の回復が遅いことがわかった。発情発現とそれに続く授精という事象は, 初回排卵から始まる一連の流れで起こる。したがって, 大きな体重減少に反映される負のエネルギーバランスの程度や期間が, 卵巣機能再開(初回排卵)時期に大きく影響し, 結果として発情および授精の時期にも影響しているものと考えられた。とりわけ発情に関しては大きな違いがあった。しかし空胎期間に関しては, 早い群と遅い群の間に有意差はなく, IV章で述べたように, 子宮修復などの要因が関与しているためと思われる。以上の結果から, 体重変化率により, 牛群の繁殖性のある程度予測することが可能であることがわかった。したがって, 空胎期間を除く他の3項目(排卵・発情・授精)については, 体重を日常的に把握できる, 体重の自動計測・記録機器を酪農場に導入することによって, ある程度の予測が可能となり, 搾乳牛群の繁殖性向上に役立てられるであろう。

VI. おわりに

1. 北農研乳牛群の繁殖特性と今後の改良方向

過去の育種改良の結果, 北農研の育成牛群は急速に改良され, 初産分娩月齢とその後の乳生産性や2産に向けての繁殖性は変化してきた。その結果, 2000年現在の牛群では授精開始時期を12ヶ月齢に早め, 21ヶ月齢程度で初産分娩を迎えても, その後の3産までの生産性, および繁殖性に問題はないことが明らかとなった。また, 北農研搾乳牛群の分娩後の繁殖性についても, 早い初回排卵または初回発情が, 早期の受胎に結びつかないこともわかった。初回排卵前の卵胞囊腫の発生あるいは排卵しない卵



第23図 初回排卵・発情・授精および受胎時期別の体重変化率の推移

*P < 0.05, **P < 0.01で有意差有り。

胞波の繰り返しは初回排卵を大きく遅らせるが、空胎期間への影響は、それほど大きくないことも示された。さらに、3回目排卵での初回発情を発現した牛で空胎日数は最短となり、発情周期を回帰した後再度無発情状態に戻る、という現象は無視できない頻度で観察されることも確認した。

これらの結果は、排卵・発情が遅れても、遅い時期の発情を確実にとらえ、適期授精できれば繁殖性への影響が少ないことを示すものであり、スタンディング行動を示さないという、発情が微弱化した牛に対しては、歩数計による行動量の上昇から実用的なレベルで授精適期を検出できることもわかった。さらに、平均的な初回排卵・発情時期を、305日乳量から推定できることもわかり、繁殖性を予測する指標としては、BCSよりも体重変化率の方が適していることも確認した。

これらの北農研牛群の繁殖特性に関する結果は、今後の北農研での乳牛関係試験を設計するにあたり、供試牛に関する基礎的データとして活用されることが期待される。しかし、ホルスタイン種乳牛については、遺伝的改良は常に進行しているため、将来的には今回と同様の検証が、再度必要となるかもしれない。また、これまでの乳量追及を最優先する方向性から、自給飼料利用率の拡大や、その一手段としての放牧の活用(北海道農業研究センター、2008;坂口、2010d)等、試験研究のニーズも多様化しており、乳量以外の形質を考慮にいたした改良方向についても、今後検討してゆく必要があるだろう。さらに、今回は具体的データを示さなかったが、双子分娩率の上昇(坂口、2009a)や、発情発現時期とその持続時間との関係における授精適期(坂口、2007c、2008d、2009d)等、高泌乳化によって影響を受けている他の繁殖特性についても、調査・研究してゆく必要がある。

2. 解析結果の乳牛繁殖性改善への応用

繁殖管理の最終目的は、分娩後の乳牛を生物学的にも収益面でも最適な時期に妊娠させることである(SHELDON *et al.*, 2006a)。今回の結果から示されたように、少なくとも北農研の実験牛群では、分娩後の早すぎる初回排卵あるいは初回発情の発現は、必ずしも繁殖性の向上に結びつかないことがわかった。実験牛群であることから、これらの結果は比較的良好な管理下にある健康な牛群で得られたもので

あり、実際の生産現場では、様々な管理要因によって繁殖性は変化する。したがって、生産現場レベルでの繁殖性の実態を理解しそれを改善するために、北農研での結果をそのまま適用することは現実的ではない。しかし今回得られた結果は、現代の高泌乳牛の潜在的な繁殖特性を示していることは間違いなく、繁殖性について理解を深め、その改善策を検討してゆく上での、基盤となるものと確信している。

3. 今後の展望

現代の乳牛における乳量の増加と繁殖性の低下に関しては、数多くの報告と総説が発表されてきているが、互いに相反する結果や主張も多くなされている。ある状況下では高泌乳が乳牛の繁殖性を低下させることは確実であろうが、そうはならない、という状況もあるだろう。良好な管理条件を整えれば、高乳量による繁殖性への悪影響を防止することは可能であるが(LEBLANC, 2010)、問題のある管理条件下では、代謝関連の疾病の発生のため、高乳量の影響で繁殖性が低下するリスクが高まることも明らかである。したがって、一定期間正常な繁殖性を維持してきた牛群で、高能力化という大きなリスク要因により、ある時点から繁殖性の低下が始まる、という事例も多いだろう。

哺乳動物にとって、妊娠中に体脂肪を蓄積し、泌乳開始時には摂食量に関係なく、これらの蓄積を動員することは正常な現象である。したがって、泌乳初期における一定程度の負のエネルギーバランスは避けられない現象であり、一般論としては、こうした自然なレベルのエネルギー動員によって健康状態や繁殖性が損なわれることはない(FRIGGENS *et al.*, 2010)。多くの酪農生産現場において、高泌乳に伴う負のエネルギーバランスが、直接あるいは間接的に繁殖性低下の原因になっていることは確かであろうが、このような低下を招く負の状態の閾値は、どの程度の水準なのか、という点について見極めることが重要である。

最後になるが、発情同期化や排卵同期化等のホルモン処置プログラムは、牛群の繁殖性に関する問題を解決するための効果的なツールであるが、こうした技術を持続的に使うことにより、家畜管理上の問題点が陰に隠れてしまう場合があることには注意が必要である(SHELDON *et al.*, 2006b)。さらに、家畜の健康や福祉に対する消費者の関心は高まってお

り、抗生物質のみならずホルモン製剤の使用、とりわけ生産性向上のみを目的とした使用については、倫理的な観点からの対応が求められつつあることも忘れてはならないだろう (REFSDAL *et al.*, 2000; MODRIC *et al.*, 2011)。

VII. 摘 要

乳量増を主な目的とした育種改良の結果、ホルスタイン種乳牛の生産性は飛躍的に向上してきたが、一方でその繁殖性は持続的に低下してきた。これには様々な要因が関与しており、世界的な問題ともなっている。そこで、乳牛の繁殖性に関する今後の議論の参考に資するとともに、北農研飼養牛群を用いた試験・研究の参考とするため、北農研飼養ホルスタイン種牛群の繁殖性について、調査・研究した結果を取りまとめた。

最初に過去の育成牛について調べた。1979年から1991年までに生産された育成牛では、牛群改良の努力もあり、体格が向上した結果、初産後の乳量はそれ以前よりも大きく向上した。この間、初産月齢が遅くなると初産乳量は増えるという関係がみられたが、その後はみられなくなった。また1992年以降の生産牛では、初産月齢が遅れると、その後の繁殖性は低下することが示された。そこで授精開始月齢を従来の15ヶ月から12ヶ月に早めて比較したところ、初産後の乳量および繁殖性に影響はなく、3産終了までの生産性も維持された。しかし、初産後の体重およびBCSの低下度合いから判断すると、12ヶ月齢で授精を開始する場合、分娩前だけでなく、分娩後の飼養管理にも十分注意すべきであると考えられた。

次に分娩後については、乳牛の繁殖性に影響する要因として、産次、季節や乳量水準の効果を示した。これらの牛の卵巣動態を調べ、初回排卵までの卵巣動態を明らかにした。初回排卵時期が早いと、初回授精および初回発情も早まるが、相対的に授精回数が増え、空胎日数に有意差はなかった。分娩後早期の初回排卵では子宮修復が遅れることが、この原因の一つと推測された。これらの対象牛のうち、囊腫様卵胞の発生を認めたものについて、その卵胞動態を詳しく解析し、卵胞囊腫への移行や転帰、および、その後の繁殖性を明らかにした。加えて、多くの卵胞波の繰り替えしで初回排卵が遅れた例についても観察し、これらの繁殖性を評価したが、初回排卵の

遅れは空胎日数に大きく影響しなかった。さらに、分娩後早期の排卵時の発情発現頻度と強度を調べ、分娩後の時期、排卵回次、および産次別の態様を明らかにした。分娩後3ヶ月頃の発情では、その1/3がスタンディング行動を示さないマウンティング行動のみの発情であり、また発情回帰後も無発情に再帰するケースも認められ、これらが分娩後乳牛の繁殖性に大きく影響する可能性が示唆された。初回排卵と同様に、初回発情についても、その早い発現が、必ずしも早い受胎には結びつかないことを示した。

以上の結果から、分娩後早くない時期に発現し、一部微弱化した発情を確実にとらえることが、乳牛の繁殖性の維持・向上に重要であることがわかった。そこで、歩数計を使った行動量の上昇による発情発見システムの実用性を検証した。発情行動の明瞭な育成牛で予備的に検討したところ、肢に歩数計を装着した場合、昼夜放牧、パドック飼養、およびタイストール飼養で実用的な発情発見成績が得られた。頸に装着した場合は、パドック飼養でのみ実用的な検出レベルであった。搾乳牛では、フリーストール飼養、および中牧区での時間制限放牧で、十分な発情発見成績が得られたが、小牧区の昼夜放牧条件下では、搾乳施設と放牧地との間の距離の影響を受け、発見成績は低下した。昼夜放牧条件下での転牧順序に留意する必要があるが、搾乳牛でも実用的な方法であることを確認した。

最後に乳牛の繁殖性を予測できる簡易な指標を探索した。初回排卵・発情・授精時期については、乳量(305日)との相関が高く、排卵および発情については、その平均的な時期を乳量から簡易に推定することが可能であったが、空胎日数については実用的な指標を見いだすことはできなかった。また、BCSは絶対値ではなく、最低になる日および最大の減少幅といった相対値が、排卵および発情の時期と関わっていることがわかった。しかし、分娩後のBCSの推移は産次に影響されるため、排卵・発情・授精時期を予測する指標としては、分娩前からの体重の変化率が産次にかかわらず有効であると考えられた。

以上により得られた乳牛の繁殖性に関連する成果は、北農研での酪農関係の試験研究設計、およびその結果を解釈する際の参考として、活用されるものと期待している。さらに、ここで示した現代の高泌乳牛の繁殖特性は、将来的に乳牛の繁殖性に関する

理解を深め、その改善策を検討してゆく際の、ベースラインとなりうるものと考えている。

謝 辞

本稿をご校閲いただいた、北海道農業研究センター古川力酪農研究領域長に深謝する。また、供試牛の飼養管理および繁殖管理等、研究遂行に尽力いただいた北海道農業研究センター研究支援センター業務1科の皆様に感謝の意を表する。

引用文献

- 1) ARBEL, R., BIGUM, Y., EZRA, E., STURMAN, H. and HOJIMAN, D.(2001) : The effect of extended calving intervals in high-yielding lactating cows on milk production and profitability. *J. Dairy Sci.*, 84, 600-608.
- 2) BAUMAN, D. E. and CURRIE, W. B.(1980) : Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.*, 63, 1514-1529.
- 3) BEAM, S. W. and BUTLER, W. R.(1999) : Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Reprod. Fertil. (Suppl.)* , 54, 411-424.
- 4) BEKANA, M., EKMAN, T. and KINDAHL, H.(1994) : Ultrasonography of bovine postpartum uterus with retained fetal membranes. *J. Vet. Med. A*, 41, 653-662.
- 5) BIERSCHWAL, C. J., GARVERICK, H. A., MARTIN, C. E., YOUNGQUIST, R. S., CANTLEY, T. C. and BROWN, M. D.(1975) : Clinical response of dairy cows with ovarian cysts to GnRH. *J. Anim. Sci.*, 41, 1660-1665.
- 6) BUCKLEY, F., O'SULLIVANT, K., MEE, J. F., EVANS, R. D. and DILLON, P.(2003) : Relationship among milk yield, body condition, cow weight, and reproduction in spring-calved Holstein-Friesians. *J. Dairy Sci.*, 86, 2308-2319.
- 7) BULMAN, D. C. and WOOD, P. D. P.(1980) : Abnormal patterns of ovarian activity in dairy cows and their relationship with reproductive performance. *Anim. Prod.*, 30, 177-188.
- 8) DARWASH, A. O., LAMMING, G. E. and WOOLLIAMS, J. A.(1997) : The phenotypic association between the interval to postpartum ovulation and traditional measures of fertility in dairy cattle. *Anim. Sci.*, 65, 9-16.
- 9) DE VRIES, A.(2006) : Economic value of pregnancy in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89, 3876-3885.
- 10) DOMECCQ, J. J., SKIDMOR, A., LLOYD, J. and KANEEN, J. B.(1997) : Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 80, 113-120.
- 11) EICKER, S. W., GRÖHN, Y. T. and HERTL, J. A. (1996) : The association between cumulative milk yield, days open, and days to first breeding in New York Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 79, 235-241.
- 12) EDMONSON, A. J., LEAN, J., WEAVER, L. D., FARVER, T. and WEBSTER, G.(1989) : A body condition scoring chart for Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 72, 68-78.
- 13) ESSLEMONT, R. J., KOSSAIBATI, M. A. and ALLCOCK, J.(2001) : Economics of fertility in dairy cows. *Occ. Publ. Br. Soc. Anim. Sci.*, 26, 19-29.
- 14) ETHERINGTON, W. G., BOSU, W.T.K., MARTIN, S. W., COTE J. F., DOIG, P.A. and LESLIE, K.E. (1984) : Reproductive performance in dairy cows following postpartum treatment with gonadotrophin releasing hormone and/or prostaglandin: A field trial. *Can. J. Comp. Med.*, 48, 245-250.
- 15) EVANS, R. D., WALLACE, M., SHALLOO, L., GARRICK, D. J. and DILLON, P.(2006) : Financial implications of recent declines in reproduction and survival of Holstein-Friesian cows in spring-calving Irish dairy herds. *Agric. Systems*, 89, 165-183.
- 16) FARIN, P. W., SLENNING, B. D., CORREA, M. T. and BRITT, J. H.(1994) : Effects of calving season and milk yield on pregnancy risk and income in North Carolina Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 77, 1848-1855.

- 17) FAUST, M. A., MCDANIEL B. T. and ROBINSON, O. W.(1994) : Environmental and yield effects of reproduction in primiparous Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 71, 3092-3099.
- 18) FIRK, R., STAMER, E., JUNGE, W. and KRIETER, J. (2002) : Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 75, 219-232
- 19) FIRK, R., STAMER, E., JUNGE, W. and KRIETER, J. (2003) : Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. *Livest. Prod. Sci.*, 82, 97-103.
- 20) FONSECA, F. A., BRITT, J. H., MCDANIEL, B. T., WILK, J. C. and RAKES, A. H.(1983) : Reproductive traits of Holstein and Jerseys. Effect of age, milk yield, and clinical abnormalities on involution of cervix and uterus, ovulation, estrous cycles, detection of estrus, conception rate, and days open. *J. Dairy Sci.*, 66, 1128-1147.
- 21) FRIGGENS, N. C., DISENHAUS, C. and PETIT, H.V. (2010) : Nutritional sub-fertility in the dairy cow: towards improved reproductive management through a better biological understanding. *Animal*, 4, 1197-1213.
- 22) GARDNER, R. W., SCHUH, J. D. and VARGUS, L. (1977) : Accelerated growth and early breeding of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.*, 60, 1941-1948.
- 23) GARVERICK, H. A.(1997) : Ovarian follicular cysts in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 80, 995-1004.
- 24) GILLUND, P., RESKEN, O., GRÖHN Y. T. and KARLBERG, K.(2001) : Body condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 84, 1390-1396.
- 25) GOODGER, W. J., FETROW, J., FERGUSON, G. M., TROUTT, H. F. and MCCABE, R. (1989) : A computer spreadsheet program to estimate the cost of raising dairy replacement. *Prev. Vet. Med.*, 7, 239-254.
- 26) GRÖHN, Y. T. and RAJALA-SCHULTZ, P. J. (2000) : Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 60-61, 605-614.
- 27) GUTIERREZ, C. G., GONG, J. G., BRAMLEY, T. A. and WEBB, R. (2006) : Selection on predicted breeding value for milk production delays ovulation independently of changes in follicular development, milk production and body weight. *Anim. Reprod. Sci.*, 95, 193-205.
- 28) HAMILTON, S. A., GARVERICK, H. A., KEISLER, D. H., XU, Z. Z., LOOS, K., YOUNGQUIST, R. S. and SALFEN, E.(1995) : Characterization of ovarian follicular cysts and associated endocrine profiles in dairy cows. *Biol. Reprod.*, 53, 890-898.
- 29) HANSEN, L. B.(2000) : Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. *J. Dairy Sci.*, 83, 1145-1150.
- 30) HANSEN, P. J. and HAUSER, E. R.(1983) : Genotype × environmental interactions on reproductive traits of bovine females. III . Seasonal variation in postpartum reproduction as influenced by genotype, suckling and dietary regimen. *J. Anim. Sci.*, 56, 1362-1369.
- 31) HARRISON, R. O., FORD, S. P., YOUNG, J. W., CONLEY, A. J. and FREEMAN, A. E.(1990) : Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 73, 2749-2758.
- 32) HEINRICHS, A. J.(1993) : Raising dairy replacement to meet the needs of the 21st century. *J. Dairy Sci.*, 76, 3179-3187.
- 33) HEINRICHS, A. J. and VAZQUEZ-ANON, M. (1993) : Changes in first lactation dairy herd improvement records. *J. Dairy Sci.*, 76, 671-675.
- 34) HILLERS, J. K., SENGER, P. L., DARLINGTON, R. L. and FLRMING, W. N.(1984) : Effects of production, season, age of cows, days dry, and days in milk on conception to first service in large commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 67, 861-867.
- 35) 北海道農業研究センター (2008) : 集約放牧マニュアル .
- 36) HOOIJER, G. A., VAN OIJEN, M. A. A. J. and

- VALKS, M. M. H.(2001) : Fertility parameters of dairy cows with cystic ovarian disease after treatment with gonadotrophin-releasing hormone. *Vet. Rec.*, 149, 383-386.
- 37) IRELAND, J. J., MIHM, M., AUSTIN, E., DISKIN, M. G. and ROCHE, J. F.(2000) : Historical perspective of turnover of dominant follicles during the bovine estrous cycle: Key concepts, studies, advancements, and terms. *J. Dairy Sci.*, 83, 1648-1658.
- 38) JEFFCOATE, I. A. and AYLIFFE, T. R.(1995) : An ultrasonographic study of bovine cystic ovarian disease and its treatment. *Vet. Rec.*, 136, 406-410.
- 39) JORRITSMA, R., WENSING, T., KRUIP, T. A. M., VOS, P. L. A. M. and NOORDHUIZEN, J. P. T. M. (2003) : Metabolic changes in early lactation and impaired reproductive performance in dairy cows. *Vet. Res.*, 34, 11-26.
- 40) KAWASHIMA, C., KANEKO, E., AMAYA MONTOYA, C., MATSUI, M., YAMAGISHI, N., MATSUNAGA, N., ISHII, M., KIDA, K., MIYAKE, Y. and MIYAMOTO, A.(2006) : Relationship between the first ovulation within three weeks postpartum and subsequent ovarian cycles and fertility in high producing dairy cows. *J. Reprod. Dev.* 52, 479-486.
- 41) KENNEDY, A. D. and INGALLS, J. R.(1995) : Oestrus detection with activity tags in dairy cows housed in tie-stalls. *Can. J. Anim. Sci.*, 75, 633-636.
- 42) KESLER, D. J. and GARVERICK, H. A.(1982) : Ovarian cysts in dairy cattle: A review. *J. Anim. Sci.*, 55, 1147-1159.
- 43) KIDDY, C. A.(1977) : Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 60, 235-243.
- 44) KOELSH, R. K., ANESHANSLEY, D. J. and BUTLER, W.R.(1994) : Analysis of activity measurement for accurate oestrus detection in dairy cattle. *J. Agric. Eng. Res.* 58, 107-114.
- 45) KYLES, D., CALLAHAN, C. J. and ALLRICH, R. D. (1992) : Effect of progesterone on the expression of estrus at the first postpartum ovulation in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 75, 1456-1460.
- 46) LABEN, R. L., SHANKS, R., BERGER, P. J. and FREEMAN, A. E.(1982) : Factors affecting milk yield and reproductive performance. *J. Dairy Sci.*, 65, 1004-1015.
- 47) LEBLANC, S.(2010) : Assessing the association of the level of milk production with reproductive performance in dairy cattle. *J. Reprod. Dev.*, 56, S1-S7.
- 48) LEWIS, G. S.(1997) : Uterine health and disorders. *J. Dairy Sci.*, 80, 984-994.
- 49) LOEFFLER, S. H., DE VRIES, M. J. and SCHUKKEN, Y. H.(1999) : The effects of time of disease occurrence, milk yield, and body condition on fertility of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82, 2589-2604.
- 50) LÓPEZ-GATIUS F.(2003) : Is fertility declining in dairy cattle? A retrospective study in northern Spain. *Theriogenology*, 60, 89-99.
- 51) LÓPEZ-GATIUS F., GARCÍA-ISPIERTO, I., SANTOLARIA, P., YANIZ, J., NOGAREDA, C. and LÓPEZ-BEJAR, M.(2006) : Screening for high fertility in high-producing dairy cows. *Theriogenology*, 65, 1678-1689.
- 52) LÓPEZ-GATIUS F., SANTOLARIA, P., MUNDET, I. and YÁNIZ, J. L.(2005) : Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology*, 63, 1419-1429.
- 53) LÓPEZ-GATIUS, F., SANTOLARIA, P., YÁNIZ, J., FENECH, M. and LÓPEZ-BEJAR, M.(2002) : Risk factors for postpartum ovarian cysts and their spontaneous recovery or persistence in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 58, 1623-1632.
- 54) LØVENDAHL, P. and CHAGUNDA, M. G. G.(2010) : On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93, 249-259.
- 55) LUCY, M. C.(2001) : Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.*, 84, 1277-1293.
- 56) LUCY, M. C.(2007) : Fertility in high-producing dairy cows: Reasons for decline and corrective

- strategies for sustainable improvement. In: Juengel JL, Murray JF, Smith MF (eds). *Reproduction in Domestic Ruminants VI* (Society for Reproduction and Fertility Vol. 64). P. 237-254. Nottingham Univ. Press, Nottingham.
- 57) LUCY, M. C., MCDUGALL, S. and NATION, D. P. (2004) : The use of hormonal treatments to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture-based management systems. *Anim. Reprod. Sci.*, 82-83, 495-512.
- 58) LUCY, M. C., STAPLES, C. R., THATCHER, W. W., ERICKSON, P. S., CLEALE, R. M., FIRKINS, J. L., CLARK, J. H., MUR, M. R. and BUR, B. O. (1992) : Influence of diet composition, dry matter intake, milk production and fertility in dairy cows. *Anim. Prod.*, 54, 323-331.
- 59) MAATJE, K., LOEFFLER, S. H. and ENGEL, B. (1997) : Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers. *J. Dairy Sci.*, 80, 1098-1105.
- 60) MARION, G. B. and GIER, H. T. (1968) : Factors affecting bovine ovarian activity after parturition. *J. Anim. Sci.*, 27, 1621-1626.
- 61) MCDUGALL, S., BURKE, C. R. and MACMILLAN, K. L. (1995) : Patterns of follicular development during periods of anovulation in pasture-fed dairy cows after calving. *Res. Vet. Sci.*, 58, 212-216.
- 62) MODRIC, T., MOMCILOVIC, D., GWIN, W. E., PETER, A. T. (2011) : Hormonal and antimicrobial therapy in theriogenology practice: Currently approved drugs in the USA and possible future directions. *Theriogenology*, 76, 393-408.
- 63) MOORE, A. S. and SPAHR, S. L. (1991) : Activity monitoring and an enzyme immunoassay for milk progesterone to aid in the detection of estrus. *J. Dairy Sci.*, 74, 3857-3862.
- 64) MORROW, D. A., ROBERTS, S. J., MCENTEE, K. and GRAY, H. G. (1966) : Postpartum ovarian activity and uterine involution in dairy cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 149, 1596-1609.
- 65) NEBEL, R. L. and MCGILLARD, M. L. (1993) : Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 76, 3257-3268.
- 66) NOAKES, D. E. (2009) : The puerperium and the care of the newborn. In: Noakes DE, Parkinson TJ, England GCW (eds). *Veterinary Reproduction and Obstetrics*. 9th Ed. P. 194-205. London, Saunders.
- 67) NORMAN, H. D., WRIGHT, J. R., HUBBARD, S. M., MILLER, R. H. and HUTCHISON, J. L. (2009) : Reproductive status of Holstein and Jersey cows in the United States. *J. Dairy Sci.*, 92, 3517-3528.
- 68) OLD, D., COOPER, T. and THRIFT, F. A. (1979) : Effect of days open on economic aspects of current lactation. *J. Dairy Sci.*, 62, 1167-1170.
- 69) PARKINSON, T. J. (2009) : Infertility and subfertility in the cow: structural and functional abnormalities, management deficiencies and non-specific infections. In: Noakes DE, Parkinson TJ, England GCW (eds). *Veterinary Reproduction and Obstetrics*. 9th edn. P. 393-475. Saunders, London.
- 70) PATTON, J., KENNY, D. A., MEE, J. F., O' MARA, F. P., WATHES, D. C., COOK, M. and MURPHY, J. J. (2006) : Effect of milking frequency and diet on milk production, energy balance, and reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89, 1478-1487.
- 71) PIERSON, R. A. and GINTHER, O. J. (1987) : Follicular populations during the estrous cycle in heifers I. Influence of day. *Anim. Reprod. Sci.*, 14, 165-176.
- 72) PILRO, G., MIGLIOR, F. and SPERONI, M. (2000) : Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk yield returns and rearing costs in Italian Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 83, 603-608.
- 73) PRYCE, J. E., ROYAL, M. D., GARNSWORTHY, P. C. and MAO I. L. (2004) : Fertility in the high-producing dairy cow. *Livest. Prod. Sci.*, 86,

- 125-135.
- 74) RABIEE, A. R., LEAN, I. J. and STEVENSON, M. A. (2005) : Efficacy of Ovsynch program on reproductive performance in dairy cattle: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.*, 88, 2754-2770.
- 75) RAHEJA, K. L., BURNSIDE, E. B. and SCHAEFFER, L. R. (1989) : Relationships between fertility and production in Holstein dairy cattle in different lactations. *J. Dairy Sci.*, 72, 2670-2678.
- 76) RAJAMAHENDRAN, R. and TAYLOR, C. (1990) : Characterization of ovarian activity in postpartum dairy cows using ultrasound imaging and progesterone profiles. *Anim. Reprod. Sci.*, 22, 171-180.
- 77) REFSDAL, A. O. (2000) : To treat or not to treat: a proper use of hormones and antibiotics. *Anim. Reprod. Sci.*, 60-61, 109-119.
- 78) RESKEN, O., GRÖHN, Y. T., HAVREVOLL, Ø., BOLSTAD, T., WALDMAN, A. and ROPSTAD, E. (2002) : Relationships among milk progesterone, concentrate allocation, energy balance, milk yield and conception rate in Norwegian cattle. *Anim. Reprod. Sci.*, 73, 169-184.
- 79) RHODES, F. M., MCDUGALL, S., BURKE, C. R., VERKERK, G. A. and MACMILLANS, K. L. (2003) : Treatment of cows with an extended postpartum anestrous interval. *J. Dairy Sci.*, 86, 1876-1894.
- 80) ROBINSON, J. J., ASHWORTH, C. J., ROOKE, J. A., MITCHELL, L. M. and MCEVOY, T. G. (2006) : Nutrition and fertility in ruminant livestock. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 126, 259-276.
- 81) ROCHE, J. F. (2006) : The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Anim. Reprod. Sci.*, 96, 282-296.
- 82) ROCHE, J. R., BERRY, D. P. and KOLVER, E. S. (2006) : Holstein-Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89, 3532-3543.
- 83) ROCHE, J. F. and DISKIN, M. G. (2001) : Resumption of reproductive activity in the early postpartum period of cows. *Occ. Publ. Br. Soc. Anim. Sci.*, 26, 31-42.
- 84) ROCHE, J. F., MACKEY, D. and DISKIN, M. D. (2000) : Reproductive management of postpartum cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 60-61, 703-712.
- 85) ROELOFS, J., LÓPEZ-GATIUS, F., HUNTER, R. H. F., VAN EERDENBURG, F. J. C. M. and HANZEN, CH. (2010) : When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects *Theriogenology*, 74, 327-344.
- 86) ROELOFS, J. B., VAN EERDENBURG, F. J. C. M., SOEDE, N. M. and KEMP, B. (2005) : Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 64, 1690-1703.
- 87) ROTZ, C. A., ZARTMAN, D. L. and CRANDALL, K. L. (2005) : Economic and environmental feasibility of a perennial cow dairy farming. *J. Dairy Sci.*, 88, 3009-3019.
- 88) ROYAL, M. D., DARWASH, A. O., FLINT, A. P. F., WEBB, R., WOOLLIAMS, J. A. and LAMMING, G. E. (2000) : Declining fertility in dairy cattle: changes in traditional and endocrine parameters of fertility. *Anim. Sci.*, 70, 487-501.
- 89) RUEGG, P. L. and MILTON, R. L. (1995) : Body condition scores of Holstein cows on Prince Edward Island, Canada: Relationships with yield, reproductive performance, and disease. *J. Dairy Sci.*, 78, 552-564.
- 90) 坂口 実 (2007a) : 乳牛繁殖性の現状と将来展望. 畜産の研究. 61 (1): 75-80.
- 91) 坂口 実 (2007b) : 高泌乳牛の繁殖生理. 農業技術体系, 畜産編 (追録26号), 第2巻, 乳牛①, 基礎編, 乳牛の生理, 繁殖生理 pp. 基126の8-15, 農山漁村文化協会.
- 92) 坂口 実 (2007c) : 高泌乳牛の授精適期. 農業技術体系, 畜産編 (追録26号), 第2巻, 乳牛①, 基本技術編, 搾乳牛, 種付け, pp. 技154の2-7, 農山漁村文化協会.
- 93) 坂口 実 (2007d) : 新しい発情発見法の開発. 新しい畜産技術—近未来編—. pp. 54-55, (社)畜産技術協会.
- 94) 坂口 実 (2008a) : 分娩後早期の泌乳牛卵巢に出現する囊腫様卵胞の転帰と繁殖性との関係. 北

- 農, 75, 112-120.
- 95) 坂口 実(2008b) : 分娩後乳牛の繁殖性と生産性の関係. 日畜会報, 79, 353-359.
- 96) 坂口 実(2008c) : 体重の変化から母牛を把握する一体重減少率の推移と繁殖性一. 臨床獣医, 26, 16-19.
- 97) 坂口 実(2008d) : 乳牛の発情行動と人工授精適期の考え方. 酪農ジャーナル, 61 (12): 28-30.
- 98) 坂口 実(2009a) : 牛の双子-これまでの知見と留意点. 家畜診療, 56, 221-227.
- 99) 坂口 実(2009b) : 牛の発情発見システムの原理と効果. 畜産コンサルタント, 8月号), 40-44.
- 100) SAKAGUCHI, M.(2009c) : Differences between body condition scores and body weight changes in postpartum dairy cows in relation to parity and reproductive indices. Can. Vet. J., 50, 649-653.
- 101) 坂口 実(2009d) : 発情行動と授精適期~乳牛を中心に~. 家畜人工授精, 251, 20-28.
- 102) 坂口 実(2010a) 歩数計による乳用育成牛の発情検出条件の検討. 北農, 77, 47-55.
- 103) 坂口 実(2010b) : 搾乳牛における歩数計を用いた発情検出. 日畜会報, 81, 413-419.
- 104) SAKAGUCHI, M.(2010c) : Oestrous expression and relapse back into anoestrus at early postpartum ovulations in fertile dairy cows. Vet. Rec., 167, 446-450.
- 105) 坂口 実(2010d) : 放牧牛の繁殖(集約放牧入門講座). 酪農ジャーナル, 63 (3), 71.
- 106) SAKAGUCHI, M., FUJIKI, R., YABUUCHI, K., TAKAHASHI, Y. and AOKI, M.(2007) : Reliability of estrus detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. J. Reprod. Dev., 53, 819-828.
- 107) 坂口 実, 笹本良彦, 鈴木貴博, 高橋芳幸, 山田 豊(2003) : 産次, 分娩季節, 乳量およびボディコンディションスコア低下が分娩後乳牛の繁殖性に与える影響. 北畜会報, 45, 33-40.
- 108) SAKAGUCHI, M., SASAMOTO, Y., SUZUKI, T., TAKAHASHI, Y. and YAMADA, Y.(2004) : Postpartum ovarian follicular dynamics and estrous activity in lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 87, 2114-2121.
- 109) SAKAGUCHI, M., SASAMOTO, Y., SUZUKI, T., TAKAHASHI, Y. and YAMADA, Y.(2006) : Fate of ovarian cystic follicles and subsequent fertility in early postpartum dairy cows. Vet. Rec., 159, 197-201.
- 110) SAKAGUCHI, M., SUZUKI, T., SASAMOTO, Y., TAKAHASHI, Y., NISHIURA, A. and AOKI, M. (2005) : Effects of first breeding age on production and reproduction of Holstein heifers up to third lactation. Anim. Sci. J., 76, 419-426.
- 111) 坂口 実, 高橋正樹, 上田博美.(2006) : ホルスタイン種育成牛における寛幅による簡易体重推定法の評価. 日畜会報, 77, 89-93.
- 112) SAVIO, J. D., BOLAND, M. P., HYNES, N. and ROCHE, J.F.(1990a) : Resumption of follicular activity in the early post-partum period of dairy cows. J. Reprod. Fertil., 88, 569-579.
- 113) SAVIO, J. D., BOLAND, M. P. and ROCHE, J. F. (1990b) : Development of dominant follicles and length of ovarian cycles in post-partum dairy cows. J. Reprod. Fertil., 88, 581-591.
- 114) SAVIO, J. D., KEENAN, L., BOLAND, M. P. and ROCHE, J.F.(1988) : Pattern of growth of dominant follicles during the oestrus cycle of heifer. J. Reprod. Fertil., 83, 663-671.
- 115) SEJRSEN, K., PRUP, S., VESTERGAARD, M. and FOLDAGER, J.(2000) : High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. Dom. Anim. Endocrinol., 19, 93-104.
- 116) SENATOR, E. M., BUTLER, W. R. and OLTENACU, P. A.(1996) : Relationships between energy balance and post-partum ovarian activity and fertility in first lactation dairy cows. Anim. Sci., 62, 17-23.
- 117) SHELDON, I. M., LEWIS, G. S., LEBLANK, S. and GILBERT, R. O.(2006a) : Defining postpartum disease in cattle. Theriogenology, 65, 1516-1530.
- 118) SHELDON, I. M., WATHES, D. C. and DOBSON, H. (2006b) : The management of bovine reproduction in elite herds. Vet. J., 171, 70-78.

- 119) SIROIS J. and FORTUNE, J. E. (1988) : Ovarian follicular dynamics during the estrous cycle in heifers monitored by real-time ultrasonography. *Biol. Reprod.*, 39, 308-317.
- 120) SIROIS, J. and FORTUNE, J. E. (1990) : Lengthening the bovine estrous cycle with low levels of exogenous progesterone: A model for studying ovarian follicular dominance. *Endocrinology*, 127, 916-925.
- 121) SMITH, M. C.A and WALLACE, J. M. (1998) : Influence of early post partum ovulation on the re-establishment of pregnancy in multiparous and primiparous dairy cattle. *Reprod. Fertil. Dev.*, 10, 207-216.
- 122) SPALDING, R. W., EVERETT, R. W. and FOOTE, R. H. (1975) : Fertility in New York artificial inseminated Holstein herds in dairy herd improvement. *J. Dairy Sci.* 58, 718-723.
- 123) STEVENSON, J. S. (2001) : A review of oestrous behaviour and detection in dairy cows. In: Diskin MG (ed.). *Fertility in the High-Producing Dairy Cow*. Edinburgh: Occ. Publ. Br. Soc. Anim. Sci., 26, 43-62.
- 124) STEVENSON, J. S. and CALL, E. P. (1983) : Influence of early estrus, ovulation, and insemination on fertility in postpartum Holstein cows. *Theriogenology*, 19, 367-375.
- 125) 鈴木貴博, 坂口 実, 高橋芳幸 (2002) : 乳牛の初産月齢が乳量および繁殖成績に及ぼす影響. *北畜会報*. 44, 65-70.
- 126) TEBBLE, J. E., O'DONNELL, M. J. and DOBSON, H. (2001) : Ultrasound diagnosis and treatment outcome of cystic ovaries in cattle. *Vet. Rec.*, 148, 411-413.
- 127) THATCHER, W. W., BILBY, T. R., BARTOLOME, J. A., SILVESTRE, F., STAPLES, C. R. and SANTOS, J. E. P. (2006) : Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. *Theriogenology*, 65, 30-44.
- 128) THATCHER, W. W. and WILCOX, C. J. (1973) : Postpartum estrus as an indicator of reproductive status of the dairy cow. *J. Dairy Sci.*, 56, 608-610.
- 129) THOMPSON, J. R., POLLAK, E. J. and PELISSIER, C. L. (1983) : Interrelationship of parturition problems, production of subsequent lactation, reproduction, and age at first calving. *J. Dairy Sci.*, 66, 1119-1127.
- 130) TOWNSON, D. H., TSANG, P. C. W., BUTLER, W. R., FRAJBLAT, M., GRIEL JR., L. C., JOHNSON, C. J., MILVAE, R. A., NIKSIC, G. M. and PATE, J. L. (2002) : Relationship of fertility to ovarian follicular waves before breeding in dairy cows. *J. Anim. Sci.*, 80, 1053-1058.
- 131) TOZER, P. R. and HEINRICH, A. J. (2001) : What affects the costs of raising replacement dairy heifers: A multiple-component analysis. *J. Dairy Sci.*, 84, 1836-1844.
- 132) VAN AMBURGH, M. E., GALTON, D. M., BAUMAN, D. E., EVERETT, R. W., FOX D. G., CHASE, L. E. and ERB H. N. (1998) : Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *J. Dairy Sci.*, 81, 527-538.
- 133) VILLA-GODOY, A., HUGHES, T. L., EMERY, R. S., CHAPIN, L. T. and FOGWELL, R. L. (1988) : Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 71, 1063-1072.
- 134) WALTNER, S. S., MCNAMARA, J. P. and HILLERS, J. K. (1993) : Relationship of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 76, 3410-3419.
- 135) WILTBANK, M. C., GÜMEN, A. and SARTORI, R. (2002) : Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. *Theriogenology*, 57, 21-52.
- 136) WINDIG, J. J., CALUS, M. P. L. and VERKAMP, R. F. (2005) : Influence of herd environment on health and fertility and their relationship with milk production. *J Dairy Sci* 2005; 88: 335-347.

Fertility of Holstein dairy cattle in the
experimental herd of Hokkaido Agricultural Research Center

Minoru SAKAGUCHI
Dairy Production Research Division

Fertility of Holstein dairy cattle in the experimental herd of Hokkaido Agricultural Research Center

Minoru SAKAGUCHI

Dairy Production Research Division

Summary

To establish sustainability in the dairy industry, it is important that cows become pregnant at a biologically optimal time and at an economically profitable interval after calving. In this paper, the results obtained from Holstein cows in the experimental herd at Hokkaido Agricultural Research Center (HARC) are summarized. First, the effect of age at first calving of heifers on productive and reproductive performance was examined. A reduction in calving age from 25.1 to 21.5 months with the same growth rate during the first 12 months after birth had no negative effects on the heifers' performance. Second, the postpartum follicular dynamics of lactating cows were traced in relation to their fertility, and the emergence and fate of cystic ovarian follicles were examined. The premature initiation of ovarian activity did not always improve the fertility of the cows as indicated by the number of days open. Third, the occurrences of anestrus ovulation during the early postpartum period were analyzed with reference to the frequency of reversion to anestrus. The premature onset of estrous activity also did not improve the fertility of cows, and relapse back into anestrus after the onset of the estrous cycle often occurred during the breeding period. Fourth, the potency of a pedometry system for the detection of typical and atypical estrous behaviors of heifers and lactating cows was evaluated in terms of efficiency and accuracy. The location of the pedometers and housing conditions for the animals affected the estrus detection results of the system. Finally, some indices for the occurrence of postpartum reproductive events were evaluated as an indicator of the reproductive performance of lactating cows. The milk yield and percentage of body weight loss could be indicators for reproductive events. These results represent the reproductive potential of the modern high-yielding dairy cattle and provide a baseline to evaluate their reproduction. The information on the reproductive performance of the experimental herd at HARC will be helpful for planning and evaluating the future dairy studies in the herd.