搾乳牛における歩数計を用いた発情検出

坂口 実¹

¹ 北海道農業研究センター, 札幌市豊平区 062-8555

(2010. 4. 30 受付, 2010. 7. 13 受理)

要 約 搾乳牛を用い、無線送信歩数計で計測した歩数上昇による発情検出の成績（検出指数：検出率×的中率）を、装着部位および飼養条件による違いも含めて検討した。フリーストール飼養条件下では、歩数計を頸に装着しても、十分に実用的な発情検出成績が得られた。また、脚に歩数計を装着し、放牧条件も含めて比較・検討した結果、1日輪換の昼夜放牧条件下では、移動距離の影響により発情検出成績がやや劣るものの、フリーストールおよび中牧区での時間制限放牧条件下では、良好な発情検出成績を示し、実用的な発情検出方法であることが確認された。転牧に際しては、毎日の搾乳施設への移動距離の変動を少なくすることにより、発情検出成績の向上が期待できると考えられた。以上の結果から、無線送信歩数計を用いた歩数上昇による発情検出法は、搾乳牛でも有効であるが、昼夜放牧条件下では搾乳前後の移動距離の変化に注意する必要があることが示された。

日本畜産学会報 81 (4), 413-419, 2010

近年の遺伝的改良による乳量の持続的な増加は、ホルスタイン種乳牛の繁殖性を低下させ続けており、世界的に深刻な問題となっている (BeamとButler 1999; Darwashら 1999; Royalら 2000)。この問題には多くの要因が関与しており、それらの関与の度合いも国や地域、あるいは牛群レベルで異なると考えられ、問題を一層複雑にしている。

分娩後の乳牛では通常、卵巢機能の回復（初回排卵）が次の繁殖に向けてのスタートとなり、発情発現および子宮修復をもって、受胎の準備が整う。初回排卵が早いほど受胎も早まるという報告 (Lucyら 1992; Darwashら 1997; Kawashimaら 2006)がある一方で、必ずしもそうではないという報告 (StevensonとCall 1983; SmithとWallace 1998; Sakaguchiら 2004)もある。いずれにしても、授精の現場で定常的に初回排卵時期を把握するのは困難であり、排卵が起こっても発情行動を伴わない、あるいは発情行動があっても発見できなければ、授精には至らない。これに対し、発情検出を不要とする定時授精システムが提示されているが (Rabieeら 2005)、少なくとも中小・家族経営の牛群の問題を解消するには、コストや受胎率の面から、実用レベルでの改善の余地は大きい。また、中小規模牛群で発情監視を不要とすることは、農家の技術レベルの全体的な低下を招く恐れもあり、さらには、食の安全や家畜福祉に対する消費者意識の高まりについても、十分考慮する必要がある (Refsdal 2000)。

乳量の増加は、卵巢周期再開のみならず発情周期再開時期も遅らせている (Harrisonら 1990; 坂口2008)。これに加えて、分娩後早期の排卵における無発情の多発、さらには発情周期再開後、再度無発情排卵に回帰する現象も、乳牛では大きな問題である (Parkinson 2009; Sakaguchi 2010)。また発情時にスタンディング行動を示さず、マウンティング行動とその他の徴候から発情を判定せざるを得ない頻度も増えているといわれ、分娩後5～12週間の排卵のうち、30%前後はこうしたマウンティングのみの発情であることが確認されている (Sakaguchi 2010)。

スタンディング行動を示す発情では、被乗駕行動を検出するヒートマウントディテクターやテイルペイントを補助的に用いることは、定時的な観察による見逃し（特に夜間）対策として、安価かつ有効な発情検出方法である。一方で、マウンティングのみしか示さない場合は、他の補助手段に頼る必要がある。その一つとして、発情時の行動量の増加を、歩数上昇でとらえて発情を検出する方法が、1970年代から研究されてきた (Kiddy 1977)。近年では、小型の無線送信機開発やコンピューター処理技術の進歩により、自動的に歩数を計測し、その上昇の度合いから発情を判定するシステムも各国で開発されている (Maatjeら 1997; Roelofsら 2005; Yánizら 2006)。

日本でも同様のシステムが市販され、乳用育成牛でその発情検出効率と精度が検証されている (Sakaguchiら 2007)。このシステムの初期のモデルでの歩数計の装着

連絡者：坂口 実 (fax: 011-859-2178, e-mail: saka99@affrc.go.jp)

部位は、脚あるいは頸であるが、育成牛の脚に装着した場合、昼夜放牧、パドック飼養およびつなぎ飼養のいずれの条件下でも実用的な発情検出成績が得られた。一方、育成牛で頸装着の場合は採食動作等の影響のため、パドック飼養条件のみで実用的な発情検出成績が確認されている（Sakaguchi ら 2007）。

そこで本報告では搾乳牛を対象に、歩数計による発情検出システムの実用性を検証した。最初に、育成牛でのパドック飼養に類似するフリーストール飼養条件下において、歩数計の装着部位間での発情検出成績を比較した。また育成牛での結果から、放牧を含む条件下では頸装着の実用性は低いと考え、昼夜および時間制限放牧という異なる飼養条件間での、脚装着歩数計による発情検出成績を、フリーストール飼養条件の発情検出成績と比較し、飼養条件の影響を評価した。

材料および方法

1. 供試牛

本報における動物実験は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター（北農研）動物実験等実施要領に基づいて実施された。

北農研で飼養され、2003 年 12 月～2006 年 5 月に分娩した 49 頭のホルスタイン種搾乳牛の計 113 回の発情を対象とした。供試牛は日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）にしたがい、濃厚飼料、サイレージおよび乾草をフリーストールで給与された。なお 5 月から 10 月の期間は、昼夜放牧、あるいはフリーストールを併用した約 4 時間（11：00～15：00）の時間制限放牧に供し、放牧時間および草量に応じて飼料給与量を調整した。搾乳は 9：00 および 19：00 の 1 日 2 回、ミルクングバーラーで実施した。

2. 発情観察と歩数記録

分娩の 9～11 日後から、初回排卵を確認するまで、週 1 回超音波診断装置（SSD-900, 7.5 MHz プローブ；アロカ、東京）を用いて卵巢を観察して構造を記録し、また排卵が予測される場合には直腸検査を随時行なうことにより、排卵日を特定した。その後は少なくとも週 2 回の直腸検査により、卵巢周期を把握した。少なくとも朝夕 2 回の搾乳前に、30 分間以上発情行動を観察し、スタンディング行動あるいは他の発情徴候（陰部腫脹、粘液漏出など）を伴うマウンティング行動が観察され、かつその後 2 日以内に、直腸検査により排卵が認められた場合、発情と判定した。また、テイルペイント（Detail Tail Paint；サージミヤワキ、東京）をスタンディング行動観察の補助として使用した。なお、個体別の平均歩数の計算では、排卵確認前の 48 時間を発情期とみなし、それ以外を非発情期とした。

無線送信される歩数から発情を検出するシステム（牛歩；コムテック、宮崎）の発信器を、供試牛に装着し歩

Figure 1 Evaluation of the efficiency and accuracy of estrous detection by observing increases in the number of steps using a pedometer.

$$\text{Efficiency} = (\text{PDE}/\text{TOE}) \times 100 (\%)$$

$$\text{Accuracy} = (\text{PDE}/\text{TPA}) \times 100 (\%)$$

$$\text{Detection index (DI)} = (\text{Efficiency}) \times (\text{Accuracy}) / 100$$

数を自動記録した（Sakaguchi ら 2007）。それぞれの試験終了後、記録された 1 時間ごとの歩数をシステムのデータベースからテキストファイルとして取り込んだ。次に、発情判定のための設定値である、過去の平均値を計算する日数（平均歩数参照期間；3～15 日）および、発情と判定する歩数上昇倍率（1.2～3.0 倍）を変化させて、発情検出効率および精度を再評価した。すなわち図 1 に示すように、それぞれの条件での発情検出効率（検出率、efficiency）および発情検出精度（的中率、accuracy）を再計算し、これらの積から、発情検出成績を比較するための発情検出指数（DI）を得た（Sakaguchi ら 2007）。

3. フリーストール飼養条件下での装着部位による比較

まず、装着部位による発情検出成績の違いを予備的に検証した。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、7 頭を供試してそれぞれの個体の後肢および頸に歩数計を同時に装着し、計 12 回の発情について検出効率と精度を検討した。次に 4 頭の前肢および後肢に歩数計を同時に装着し、計 5 回の発情で同様に検討するとともに、非発情期の同一時刻における前・後肢の個体別平均歩数を、Student の *t* 検定により比較した。なお供試牛には、午前の搾乳後および午後の搾乳前にグラスサイレージを給与し、濃厚飼料は個体識別された自動給餌機によって随時給与し、乾草は自由に採食させた。

4. フリーストール、昼夜および時間制限放牧飼養条件間の比較

フリーストール条件下での検討から、前/後肢間のカウント数に差がないことが示され、また、糞尿による汚れなどの面から、維持・管理の容易な前肢への装着が実用的であると判断されたため、放牧条件では前肢装着のみについて検討した。

フリーストール条件については、装着部位間の比較に供試された後肢装着 7 頭（12 発情）、および前肢装着 4 頭（5 発情）のデータに加え、前肢のみに装着した 5 頭（11 発情）のデータを合算し、計 16 頭（28 発情）の結果を比較データとした。

昼夜放牧は、牛舎（搾乳施設）に隣接する小牧区での

1 日輪換（朝搾乳後転牧）とし、時間制限放牧は牛舎に隣接する中牧区（7～10 日輪換）で実施した。放牧条件に関しては、昼夜放牧した 19 頭の 32 回、および時間制限放牧した 32 頭の 53 回の発情を対象データとして分析した。なお放牧条件下でも、乳量に対して放牧草では不足すると想定される栄養分について、フリーストール条件下と同様にサイレージおよび濃厚飼料を補助的に給与した。

結果および考察

1. フリーストール飼養条件下での検証

フリーストール飼養 7 頭それぞれの非発情期（複数日）における、後肢および頸装着歩数計で計測した 1 時間当たりの平均歩数を図 2 に示した。後肢で記録された平均歩数には、個体間に大きなばらつきはなかったが、頸では後肢の約 2 倍の値を記録することもあり、逆に、後肢では他のウシと同程度のカウント数であったにもかかわらず、頸での平均カウント数が常に 30 以下を示すものもあった。当該牛は、フリーストールでの滑走を避けるように頸の上下動をほとんどせずに行歩しており、採食時にもほとんど頸を上下させなかったためと思われる。しかしこのウシでも、発情時には頸で計測した歩数の上昇により発情を検出できた。この 1 頭を除くウシでの、後肢での計測と比べて大きな、午前および午後の頸でのカウント数の上昇は、サイレージ給餌時（それぞれ搾乳後と搾乳前）の採食による頸の上下運動によると考えられた。

このように、頸装着では個体間のばらつきが大きかったが、DI は後肢装着と同等であった。すなわち、後肢で

は検出倍率 1.5 倍、平均歩数参照期間 8–15 日で DI が 75.8（検出率 = 83.3%，的中率 = 90.9%）と最高になり、頸では 1.7 倍、14–15 日で DI の最高値、77.6（検出率 = 91.7%，的中率 = 84.6%）を記録した。

次にフリーストール条件下で後肢と前肢に同時装着した 4 頭について、それぞれの装着部位別に非発情期（複数日）における平均歩数を、個体ごとに図 3 に示す。後肢-頸の比較で用いた供試牛よりも大きな平均歩数を示す個体もあったが、同一個体では後肢-前肢間にすべての時刻で有意な差を認めなかった（ $P > 0.05$ ）。供試頭数が 4 頭と少なかったため、どちらに装着した場合も最大 DI は 100（検出率 = 100%，的中率 = 100%）となった。両者の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、糞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など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。

2. フリーストール、昼夜および時間制限放牧飼養条件下での発情検出成績の比較

昼夜放牧（19 頭）および約 4 時間の時間制限放牧条件下（32 頭）における、非発情期（複数日）の平均歩数の日内変動を、個体ごとに図 4 に示す。小牧区の昼夜放牧条件では個体によるばらつきは比較的小さく、朝夕の搾乳前後にほぼ一致して歩数の増加が観察された。これに対し、中牧区の時間制限放牧条件下では、正午を挟んだ放牧時間中に上昇が見られる個体が多かったが、こうし

Figure 2 Changes in mean number of pedometer counts per hour of 7 lactating cows being attached pedometers on their hind legs (A) and necks (B) under free-stall housing condition during non-estrous periods. The same symbol presents the pedometer count from the same cow.

た上昇をほとんど示さない個体もあり、放牧時の行動量はウシによる違いが大きいと考えられた。

フリーストール、昼夜放牧および時間制限放牧条件下

での、歩数上昇による発情検出成績を表1に示す。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（倍率・参照日数）がほぼ同じである

Figure 3 Changes in mean number of pedometer counts per hour of 4 lactating cows being attached pedometers on their hind legs (A) and front legs (B) under free-stall housing condition during non-estrous periods. The same symbol presents the pedometer count from the same cow.

Figure 4 Changes in mean number of pedometer counts per hour of 19 and 32 lactating cows being attached pedometers on their front legs under whole-day grazing (A) and rationed grazing with free-stall housing (B) conditions during non-estrous periods, respectively.

Table 1 The best detection indices (DI) obtained from lactating cows under free-stall housing and pasture-grazing conditions

Housing condition	Free-stall	Whole-day grazing	Rationed grazing with free-stall
Number of cows examined	16	19	32
Total number of examined estrus activities	28	32	53
Optimum threshold (-fold)	1.5	1.5	1.4
Optimum reference period (days)	8-9	9-11	7
Efficiency (%)	92.9	62.5	86.8
Accuracy (%)	89.7	87.0	92.0
DI ¹	83.3	54.3	79.8

¹ DI = (Efficiency) × (Accuracy) / 100

にもかかわらず、検出率が約 30% 低下するため、DI も低くなった。この原因として、昼夜放牧条件下での朝夕の搾乳前後における放牧地と搾乳施設間の移動による歩数変動が考えられた。図 4 からも明らかなように、今回の放牧条件では搾乳前後に大きな歩数上昇があり、この中には搾乳施設への移動による部分が多く含まれる。したがって、移動距離が前日より大きくなる場合は、発情ではなくても歩数が増え、発情と検出される可能性が高くなるための中率が低下（誤報率が上昇）し、逆の場合は、発情であっても十分な歩数上昇とならず、検出されない可能性が高まり検出率が低下（見逃し率が上昇）すると考えられる。

このように小牧区、1 日輪換の昼夜放牧では、往復の移動距離が毎日変動するため、搾乳施設への移動距離の変化に注意することが、高い発情検出成績を得るために重要であると考えられる。また、転牧時には可能な限り、それまでの移動距離と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、発情検出成績の向上に必要であろう。昼夜放牧で最大 DI が得られる条件下での発情検出率は 62.5% であるが、的中率は 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 1.5 から 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. 育成牛での発情検出成績との比較

搾乳牛のフリーストール飼養条件と類似する育成牛のパドック飼養条件、および育成牛の昼夜（定置）放牧飼養条件下で得られた DI（Sakaguchi ら 2007）と、今回得られた搾乳牛での結果を比較した（図 5）。パドック/フリーストール条件では、搾乳牛の発情検出成績が若干劣る程度であるが、昼夜放牧条件下では、搾乳牛の DI は 30 近く低かった。育成牛の昼夜放牧は定置放牧であり、搾乳もなかったことが、こうした違いの大きな原因と考えられた。また、転牧頻度の低い中牧区での搾乳牛の時

Figure 5 Detection indices in heifers and cows under different housing conditions.

間制限放牧では、育成牛と同等の DI が得られている。これらの結果からも、転牧による搾乳施設への移動距離の変動が、搾乳牛の発情検出成績に大きく影響することを確認できる。

このように、転牧頻度の高い搾乳牛の昼夜放牧条件は、歩数による発情検出法の一つの問題点となりうることを示された。現状の発情検出基準下での対応策としては、平均歩数の日間変動を最小限にするか、他の発情検出方法を併用する、ということが考えられる。それ以外の発情検出基準としては、搾乳牛舎への移動が通常は同じ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 と Spahr 1991 ; Koelsch ら 1994) や、根本的に異なるアルゴリズム (Firk ら 2003) を適用することにより、発情検出成績を向上できるかもしれない。

4. 結論

以上の結果から、脚に歩数計を装着した搾乳牛における、無線送信歩数計を用いた歩数上昇による発情検出法は、1 日輪換の昼夜放牧条件下では搾乳施設への移動距離の影響により発情検出成績がやや劣るものの、フリーストールおよび中牧区での時間制限放牧条件下では良好な発情検出成績を示し、実用的な発情検出方法であることを確認した。なおフリーストール条件下では、頸に装着した場合でも実用的な発情検出成績が得られた。

文 献

- Beam SW, Butler WR. 1999. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility* **54** (Suppl.), 411–424.
- Darwash AO, Lamming GE, Wooliams JA. 1997. The phenotypic association between the interval to post-partum ovulation and traditional measures of fertility in dairy cattle. *Animal Science* **65**, 9–16.
- Darwash AO, Lamming GE, Wooliams JA. 1999. The potential for identifying heritable endocrine parameters associated with fertility in post-partum dairy cows. *Animal Science* **68**, 333–347.
- Firk R, Stamer E, Junge W, Krieter J. 2003. Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. *Livestock Production Science* **82**, 97–103.
- Harrison RO, Ford SP, Young JW, Conley AJ, Freeman AE. 1990. Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science* **73**, 2749–2758.
- Kawashima C, Kaneko E, Amaya Montoya C, Matsui M, Yamagishi N, Matsunaga N, Ishii M, Kida K, Miyake Y, Miyamoto A. 2006. Relationship between the first ovulation within three weeks postpartum and subsequent ovarian cycles and fertility in high producing dairy cows. *Journal of Reproduction and Development* **52**, 479–486.
- Kiddy CA. 1977. Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **60**, 235–243.
- Koelsch RK, Aneshansley DJ, Butler WR. 1994. Analysis of activity measurement for accurate oestrus detection in dairy cattle. *Journal of Agricultural Engineering Research* **58**, 107–114.
- Lucy MC, Staples CR, Thatcher WW, Erickson PS, Cleale RM, Firkins JL, Clark JH, Murphy MR, Brodie BO. 1992. Influence of diet composition, dry-matter intake, milk production and energy balance on time of post-partum ovulation and fertility in dairy cows. *Animal Production* **54**, 323–331.
- Maatje K, Loeffler SH, Engel B. 1997. Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers. *Journal of Dairy Science* **80**, 1098–1105.
- Moore AS, Spahr SL. 1991. Activity monitoring and an enzyme immunoassay for milk progesterone to aid in the detection of estrus. *Journal of Dairy Science* **74**, 3857–3862.
- 農林水産技術会議事務局. 1999. 日本飼養標準・乳牛 (1999 年度版). 中央畜産会, 東京.
- Parkinson TJ. 2009. Infertility and subfertility in the cow : structural and functional abnormalities, management deficiencies and non-specific infections. In : Noaks DE, Parkinson TJ, England GCW (eds), *Veterinary Reproduction and Obstetrics*, pp. 393–475. Saunders, England.
- Rabiee AR, Lean IJ, Stevenson MA. 2005. Efficacy of Ovsynch program on reproductive performance in dairy cattle : A meta-analysis. *Journal of Dairy Science* **88**, 2754–2770.
- Refsdal AO. 2000. To treat or not to treat : a proper use of hormones and antibiotics. *Animal Reproduction Science* **60–61**, 109–119.
- Roelofs JB, van Eerdenburg FJCM, Soede NM, Kemp B. 2005. Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology* **64**, 1690–1703.
- Royal MD, Darwash AO, Flint APF, Webb R, Wooliams JA, Lamming GE. 2000. Declining fertility in dairy cattle : Changes in traditional and endocrine parameters of fertility. *Animal Science* **70**, 487–501.
- 坂口 実. 2008. 分娩後乳牛の繁殖性と生産性の関係. 日本畜産学会報 **79**, 353–359.
- Sakaguchi M. 2010. Oestrous expression and relapse back into anoestrus at early postpartum ovulations in fertile dairy cows. *Veterinary Record* **167**, 446–450.
- Sakaguchi M, Fujiki R, Yabuuchi K, Takahashi Y, Aoki M. 2007. Reliability of estrus detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. *Journal of Reproduction and Development* **53**, 819–828.
- Sakaguchi M, Sasamoto Y, Suzuki T, Takahashi Y, Yamada Y. 2004. Postpartum ovarian follicular dynamics and estrous activity in dairy lactating cows. *Journal of Dairy Science* **87**, 2114–2121.
- Smith MCA, Wallace JM. 1998. Influence of early post partum ovulation on the re-establishment of pregnancy in multiparous and primiparous dairy cattle. *Reproduction, Fertility and Development* **10**, 207–216.
- Stevenson JS, Call EP. 1983. Influence of early estrus, ovulation, and insemination on fertility in postpartum Holstein cows. *Theriogenology* **19**, 367–375.
- Yániz JL, Santolaria P, Giribet A, López-Gatius F. 2006. Factors affecting walking activity at estrus during postpartum period and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology* **66**, 1943–1950.

Estrous detection in lactating dairy cows using pedometry

Minoru SAKAGUCHI¹

¹ National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Toyohira, Sapporo 062-8555, Japan

Corresponding : Minoru SAKAGUCHI (fax : +81 (0) 11-859-2178, e-mail : saka99@affrc.go.jp)

The efficiency and accuracy of estrous detection using a pedometry system were evaluated in lactating dairy cows. Under the free-stall housing condition the neck pedometer produced satisfactory results to detect estrous activity. However, under the whole-day grazing condition, the estrous detection performance using a leg pedometer was affected by the changes in the distance from a milking facility to pasture. The estrous activity of the cows under free-stall or rationed grazing with free-stall housing conditions could be sufficiently detected using a leg pedometer. Thus, when this method is applied to the lactating cows under whole-day grazing condition, the changes in the distance between pasture and a milking facility should be limited as small as possible.

Nihon Chikusan Gakkaiho 81 (4), 413-419, 2010

Key words : estrous detection, grazing, lactating dairy cow, pedometry.