

傾斜放牧地での移動傾斜角度が泌乳牛の採食時心拍数に及ぼす影響

新宮裕子¹・森 光生²・中辻浩喜^{2,3}・近藤誠司⁴・梅村和弘⁵

¹北海道立総合研究機構農業研究本部上川農業試験場天北支場, 北海道浜頓別町 098-5738

²北海道大学大学院農学研究院, 札幌市北区 060-8589

³酪農学園大学農食環境学群, 江別市 069-8501

⁴北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, 札幌市北区 060-0811

⁵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, 札幌市豊平区 062-8555

(2011. 4. 19 受付, 2011. 9. 26 受理)

要 約 傾斜放牧地で採食時の移動傾斜角度が泌乳牛の心拍数に及ぼす影響を検討した。試験 1 でホルスタイン種泌乳牛に Global Positioning System (GPS) 受信機と心拍計を装着し採食時の移動傾斜角度と心拍数 (HR) を測定した。HR は立位休息時を基準とした相対心拍数 (RHR) で示した。試験 2 では GPS 受信機で昼夜放牧下での採食時の移動傾斜角度を測定し、試験 1 の RHR を基に採食時エネルギー消費量 (EE) を推定した。放牧草採食時の HR は 92.9 回/分であり、RHR は立位休息時よりも高かった (試験 1)。採食時の RHR は上りの移動傾斜角度 8 度以上 (1.15) が 0~2 度 (1.09) よりも有意に高かった ($P < 0.01$)。1 日のうち採食時の移動傾斜角度が上り 8 度以上の割合は 12.9~16.4% を占め、採食時 EE は平坦地とほぼ同じであったが、本試験の推定方法では EE を過大評価した (試験 2)。

日本畜産学会報 83 (1), 47-56, 2012

日本の酪農経営における飼料自給率は、昭和 60 年には約 42% であったが、その後徐々に低下し、ここ 10 年間は 30% 台の前半を推移している (農林水産省生産局畜産部畜産振興課 2010)。平成 21 年の粗飼料自給率は、78% と比較的高かったものの濃厚飼料の自給率は 11% と、大半が海外からの輸入に依存している状況である。こうした状況のなか、北海道では粗飼料のなかでも比較的栄養価の高い放牧草を濃厚飼料の代替として積極的に利用し、飼料自給率の向上を目指している。

粗飼料を主体とした牛乳生産で、ある程度の高水準の乳生産を維持するには、乳生産や体維持に必要なエネルギー要求量と摂取量のバランスを取るために特に精密な栄養管理が求められる。放牧牛は、移動しながら採食を行うため、舎飼いに比べると採食や移動に要するエネルギー消費量 (EE) は増大すると推測されている。日本飼養標準乳牛 (2006 年版) (農業・食品産業技術総合研究機構 2007) では搾乳牛の放牧時の維持エネルギー要求量を舎飼い時の維持要求量の 13~40% の増加割合とし、また NRC 乳牛飼養標準 (National Research Council 2001) では、維持エネルギーの約 10~50% の範囲内であると示した。しかし、いずれの要求量も様々な仮定に基づいた推定値である。特に、生草を採食する時の EE は、他の粗飼料に比べて高く (Susenbeth ら 2004)、さらに傾斜と

いった地形条件は移動による EE を増大させ、放牧地での採食時 EE を左右する要因となりうる。

一般に家畜の EE は酸素消費量に基づいて推定するが、放牧牛の酸素消費量は測定が困難であるため酸素消費量と関連のある心拍数が EE の推定に用いられる (Shibata ら 1981; Purwanto ら 1990; 安藤と大槻 1998; Brosh ら 1998; Brosh ら 2004; 安藤と的場 2006; Brosh 2007)。Shibata ら (1981) は育成牛に対しトレッドミルを用いた運動負荷実験から、心拍数以外に歩行速度や歩行面の傾斜角度を説明変数とした熱生産量の推定式を作成した。この式は、説明変数に心拍数を用いた推定式と同様な推定精度があり、歩行速度および歩行傾斜角度は EE 推定の有効な指標である。近年、携帯用 GPS や GIS ソフトの発展により、傾斜放牧地でも簡単かつ精度が高く 3 次元でウシの移動経路を示すことができ、実際に肉用牛では歩行距離や歩行角度から EE の推定が行われている (Brosh ら 2006; 児嶋ら 2010)。しかし、泌乳期の乳用牛での研究例はほとんどなく、放牧を推進する上で精密な飼料設計を行うためにも採食時 EE を明らかにする必要がある。

本試験では、放牧地の傾斜が採食時の EE の増加に及ぼす影響を検討するため傾斜放牧地において移動傾斜角度が泌乳牛の採食時心拍数に及ぼす影響を検討し (試験

連絡者: 新宮裕子 (fax: 01634-2-4686, e-mail: singuu-yuuko@hro.or.jp)

1), 昼夜放牧下における採食時の移動傾斜角度の頻度と試験1での心拍数を基に採食時EEを推定した(試験2).

材料および方法

試験1 採食時の移動傾斜角度と心拍数

1. 供試放牧地および供試牛

試験は北海道宗谷管内の日本海側に位置する一般酪農家(A農家)(北緯45度11分, 東経141度44分, 標高20~60m)の放牧地で, 2009年6月, 7月, 9月および10月に行った. 供試放牧地は平均傾斜角度7.3度(9, 10月7.7度)の傾斜地であり, 面積は7.4ha(9, 10月6.5ha)であった(図1). 植生は主にペレニアルライグラス(PR)(*Lolium perenne* L.), オーチャードグラス(OG)(*Dactylis glomerata* L.), リードカナリーグラス(RCG)(*Phalaris arundinacea* L.)などのイネ科草であった.

放牧牛はホルスタイン種搾乳牛20~21頭であり, 6月, 7月および9月は昼夜放牧, 10月は日中放牧を行った. 放牧牛の中から6月, 7月および9月は5頭, 10月は3頭を観察牛とした. 観察前に体重測定尺(富士工業株式会社, 東京)を用いて測定した観察牛の体重は 668.1 ± 67.9 kg(平均値 \pm 標準偏差, 以下同じ)であり, 観察月における観察牛の乳検成績による個体乳量は 19.9 ± 5.9 kg/日であった. 放牧草以外に配合飼料, ビートパルプ, 牧草サイレージを朝夕の搾乳時に給与した. また7月および10月は, 放牧地に草架を置き放牧時間中も牧草サイレージの自由採食が可能であった.

2. 行動観察

行動観察は日中の放牧時間帯に約5時間行い, 6月, 7月および9月は2日間連続し, 10月は1日行った. 観察牛

にGlobal Positioning System(GPS)受信機(Globalsat社, 台北, 台湾)を装着し, 放牧地内での位置を1分おきに緯度経度で記録した. また心拍計(Polar社, Kempele, フィンランド)を装着し, 1分間隔で心拍数を記録した. 同時に観察牛の行動形を採食, 休息, 反芻, 採食を伴わない移動(移動), 飲水およびその他に分けて1分間隔で目視により記録した.

記録した緯度経度の位置データは, ArcGIS ver8.3(ESRIジャパン, 東京)を用いてUTM座標系(Universal Transverse Mercator System)に変換し, さらにGISMAPの等高線データ(北海道地図株式会社, 北海道)を用いて位置データに標高値を加えた. 経度をX座標, 緯度をY座標, 標高をZ座標とし1分間の直線移動距離および垂直移動距離を算出し, 1分間の移動傾斜角度および移動速度を求めた. 上り下りに分けて移動傾斜角度は2度ごとに, 移動速度は2m/分ごとに度数を集計し頻度分布で示した.

記録した心拍数は, 目視による行動観察の結果に合わせて行動形ごとに1分間の平均値で示し, 各観察牛の観察1日目および2日目の平均心拍数を算出した. 心拍数は乳量や妊娠期間によって個体間差が生じる(Yamamoto 1989). 心拍数の個体間差を小さくするためにYamamoto(1989)の方法を応用し, 各行動形の心拍数を, 観察牛毎に行動観察中の立位休息時の平均心拍数(6月1日目 92.1 ± 11.2 , 2日目 80.9 ± 3.8 , 7月1日目 108.1 ± 13.2 , 2日目 90.4 ± 3.5 , 9月1日目 89.3 ± 19.1 , 2日目 73.6 ± 3.0 , 10月1日目 82.6 ± 8.0 回/分)を1.00とした相対心拍数で示した. なお, 各観察月における述べ観察頭数は6月, 7月, 9月および10月でそれぞれ10

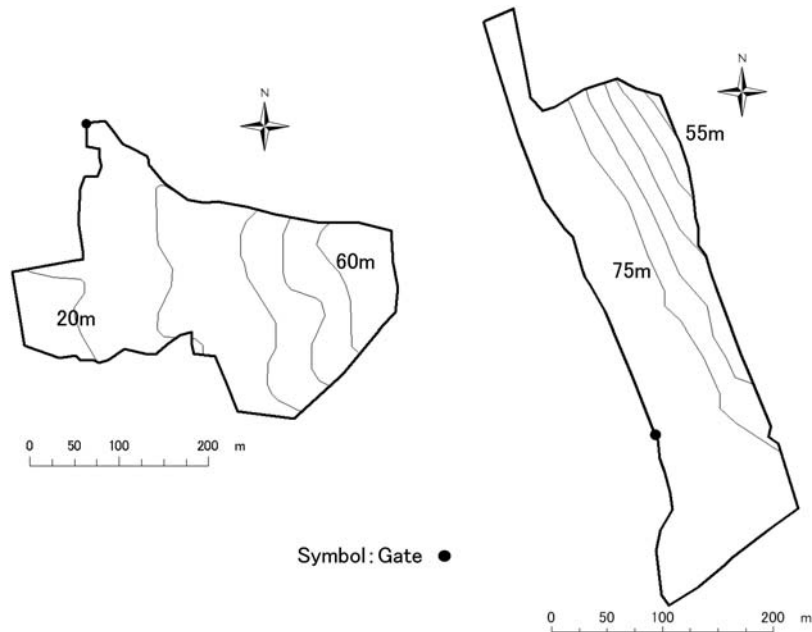


Figure 1 Topographic map of the pastures used in experiments 1 (left) and 2 (right).

頭, 10 頭, 8 頭および 3 頭であったが, GPS による位置データおよび心拍数の取得率が 6 割以下の観察日は解析から除外し, 解析に用いた述べ観察頭数はそれぞれ 9 頭, 6 頭, 4 頭および 3 頭であった.

行動観察と同時に放牧地に温湿度計 (米国オンセットコンピュータ社, マサチューセッツ州, 米国) を設置して 15 分おきに気温を記録した.

3. 植生調査

観察日の前日に放牧地を 6 月および 7 月は 11 ブロック, 9 月および 10 月は 9 ブロックに分け, 植生調査を行った. ブロック毎に 70×70 cm のコドラートを用いて枠内の PR, OG, RCG の草丈を 5 点測定した. 現存草量の推定にはライジングプレートメータ (RPM) (ガラガー社, ハミルトン, ニュージーランド) を用い, コドラート内の植物を地際から 5 cm の高さで刈取り, 生重量を測定し RPM 用の検量線を作成した. ブロック毎に刈取った植物は, 1 つにまとめ成分分析用試料とした. 成分分析用試料は 70°C で 72 時間以上通風乾燥し, 1 mm の篩を通過するように粉碎し分析に供した. 試料は AOAC (1980) に従い, 乾物 (DM) および粗タンパク質 (CP) を測定し, デタージェント法 (Van Soest 1963) に従い中性デタージェント繊維 (NDF), 酸性デタージェント繊維 (ADF) 含量を測定した.

4. 統計解析

各行動形における心拍数および相対心拍数は, 各観察牛の観察日毎の平均値を用いて, 立位休息時の値と Welch's test により有意差検定を行った.

採食時の移動傾斜角度別の相対心拍数および移動速度別の相対心拍数は, 各観察牛の各観察月の平均値を用いて統計解析を行った. 移動傾斜角度は上り 0~2 度の相対心拍数とその他の階級における相対心拍数, 下りでは -2~0 度の相対心拍数とその他の階級における相対心拍数を, 等分散の場合は Student's-t-test を, 等分散でない場合は Welch's test を用いて有意差検定を行った. 移動速度は, 上り 0~2 m/分の相対心拍数とその他の階級における相対心拍数, 下りでは 0~2 m/分の相対心拍数とその他の階級における相対心拍数を, 等分散の場合は Student-test を, 等分散でない場合は Welch's test を用いて有意差検定を行った. いずれの統計も Statcel2 (オーエムエス出版, 埼玉) を用いて解析を行った.

試験 2 移動傾斜角度を用いた採食時 EE の推定

1. 供試放牧地および供試牛

試験は北海道宗谷管内にある一般酪農家 (B 農家) (北緯 45 度 16 分, 東経 141 度 53 分, 標高 55~75 m) の PR 主体の傾斜放牧地 (5.2 ha) において 2007 年 6 月, 7 月, 9 月および 10 月に行った. 供試放牧地は長辺が約 400 m の長方形で, 傾斜角度は平均 11.8 度であった. 放牧牛はホルスタイン種搾乳牛 37~46 頭であり, そのうち 1 もしくは 2 頭を観察牛とした. 観察牛の体重は, 2008 年 5

月に体重推定尺 (富士平工業株式会社) を用いて測定し, 平均 603.4 kg であった. 放牧は昼夜行い, 朝夕の搾乳時に配合飼料および牧草サイレージを給与した. 乳検成績による牛群の平均個体乳量は 6 月 24.1, 7 月 21.3, 9 月 22.3 および 10 月 20.2 kg/日であった.

2. 採食時間および移動傾斜角度の測定, 採食時 EE の推定

測定は 6 月, 7 月に放牧 1 日目から 4 日間, 9 月に 5 日間, 10 月に 3 日間連続して行い, 1 日の測定時間は平均 19.4 時間だった. 観察牛に首式バイトカウンター (パナソニック電工, 大阪) または首運動測定装置を装着し採食時間を推定した. 首式バイトカウンターでは 10 分間単位のカウンター値が 20 回以上の値をとった時間帯を採食と判断し, 首運動測定装置では, 1 分間単位のカウント値が 5 回以上で 4 分間継続した時間帯を採食と判断し採食時間を推定した. 同時に GPS 受信機も装着し 2 または 3 分おきに緯度経度を記録した. 試験 1 と同様の方法で 2 または 3 分毎の採食時の移動傾斜角度および移動速度を算出した.

採食時 EE の推定は, 2 または 3 分ごとの移動傾斜角度または移動速度に相当する相対心拍数 (表 4 および表 5) のうち高いほうの値を使って以下の式から EE に換算し, それらを積算し 1 日の EE を算出した. なお EE の計算には, 心拍数あたりの酸素摂取量 $450 \mu\text{L}/\text{kg BW}^{0.75}/\text{回}$ (Aharoni ら 2005 ; Brosh 2007), 酸素 1 L 摂取あたりの EE 20.47 kJ (Nicol と Young 1990) を用いた. また, Yamamoto (1989) が報告した泌乳牛 (乳量 27.5 kg) の安静時心拍数 62.9 回/分を用いて相対心拍数を心拍数に変換し, EE の計算に用いた.

$$Y(\text{kJ}/\text{kg BW}^{0.75}/2 \text{ または } 3 \text{ 分間}) = 450(\mu\text{L}/\text{kg BW}^{0.75}/\text{回}) \times \text{相対心拍数} \times 62.9(\text{回}/\text{分}) \times 2(\text{または } 3 \text{ 分間}) \times 10^{-6} \times 20.47(\text{kJ})$$

また, 移動傾斜角度が上り下りともに 2 度未満での移動を平坦放牧地での移動とみなし, 平坦地における採食時の EE を算出した. なお, EE 推定にあたっては, 移動傾斜角度 2 度未満 (上り下りともに) における相対心拍数 (1.09 ; 表 4) を用いた.

行動観察と同時に放牧地に温湿度計 (米国オンセットコンピュータ社) を設置し気温を 1 時間おきに記録した.

3. 植生調査

観察前日に放牧地を 8 ブロックに分けて植生調査を行った. ブロックごとに PR 草丈を 20 点測定した. 現存草量の推定には RPM を用いており, 各ブロックで 70×70 cm のコドラート内を RPM で測定後, 植物を地際から 5 cm の高さで刈取り生重量を測定し, 検量線を作成した. ブロック毎に刈取った植物は一つにまとめ 70°C 48 時間以上通風乾燥し, 1 mm の篩を通るよう粉碎し,

分析に供した。試料は、試験1と同様の方法でDM, CP, NDF, ADFを測定し、TDNは近赤外線分析装置（ニレコ社、東京）によって得られた分析値を基にNRC乳牛飼養標準（NRC 2001）に記載された推定式で推定した。

4. 統計解析

各観察牛において記録した採食時の移動傾斜角度の頻度分布は、観察月ごとに合計し、Kormogorov-Smirnov testを用いて観察月間による有意差検定を行った。

結 果

試験1 採食時の移動傾斜角度と心拍数

観察日の平均気温は6月17.0℃、7月21.6℃、9月17.1℃、10月12.4℃であった。

供試放牧地の観察前における草丈、草量および成分含量を表1に示した。各観察月の草丈は、PRが13.4~28.6 cm、OGが11.5~45.0 cmであった。観察前の現存草量を放牧頭数および観察日数で除した1日1頭あたりの割当草量は、136.4~391.5 kgDMであり、各観察月とも採

食するための十分な草量があった。牧草のNDF含量は50.7~59.8%であり、一般的なPRまたはOG主体の放牧草（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）に比べるとやや高い傾向があった。

6月および9月における放牧草の採食時間は観察時間中それぞれ58.4、58.6%、放牧地で牧草サイレージを給与した7月および10月では13.6、43.6%を占めた（表2）。

放牧草採食時の平均心拍数は毎分92.9回、移動時は94.5回、立位休息時は88.0回であった（表3）。立位休息時の心拍数を1.00とした相対心拍数は、放牧草採食時、移動時においてそれぞれ1.07、1.08と立位休息時よりも有意に高かった（ $P < 0.05$ ）。また、立位反芻時の心拍数および相対心拍数（77.3回/分、0.92）は、立位休息時よりも有意に低かった（ $P < 0.05$ ）。

採食時の相対心拍数を移動傾斜角度別に表4に示した。上りの移動傾斜角度が2~4度、4~6度、6~8度における相対心拍数はそれぞれ1.08、1.11、1.10であり、0

Table 1 Height, herbage mass and chemical composition of grass before experimentation on the pasture in experiment 1

			June	July	September	October
Height	PR	(cm)	28.6	27.1	14.5	13.4
	OG	(cm)	45.0	35.0	13.9	11.5
	RCG		45.2	37.5	13.7	13.4
Herbage mass		(tDM/ha)	2.2	1.9	0.7	0.6
Herbage allowance		(kgDM/head/day)	391.5	327.5	136.4	194.4
Chemical composition	DM	(% of FM)	17.9	25.9	24.4	22.0
	CP	(% of DM)	11.5	10.5	13.1	12.5
	NDF	(% of DM)	55.9	59.8	54.1	50.7
	ADF	(% of DM)	29.8	32.8	28.9	27.1

PR : Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), OG : Orchard grass (*Dactylis glomerata* L.), RCG : Reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.), FM : Fresh matter, DM : Dry matter, CP : Crude protein, NDF : Neutral detergent fiber, ADF : Acid detergent fiber

Table 2 Time budget for each behavior per observational time for lactating cows on the pasture in experiment 1

	Grazing		Resting			Moving	Other
	Pasture	Silage	Standing	Lying	Rumination ¹⁾		
%							
June	58.4	—	9.5	7.5	14.8	5.2	4.5
July	13.6	20.1	22.4	16.4	23.4	3.1	1.1
September	58.6	—	3.9	16.3	17.4	2.6	1.2
October	43.6	14.3	6.6	7.2	25.1	0.9	2.3

— : No supplementation of grass silage in the pasture

¹⁾ Rumination during standing and lying

Table 3 Heart rate and relative heart rate of each behavior for lactating cows on the pasture in experiment 1

		Grazing (Pasture)		Resting				Rumination				Moving	
				Standing		Lying		Standing		Lying			
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Heart rate (beats/min)	June	94.1	9.3	87.1	11.0	82.8	15.2	73.0	6.9	79.8	10.1	99.8	12.4
	July	92.3	11.1	96.3	12.8	101.8	30.3	84.8	10.9	99.0	37.9	100.3	9.2
	September	88.3	11.1	81.5	19.5	64.0	3.8	—	—	63.0	4.3	84.3	14.6
	October	96.3	24.1	88.0	9.8	79.3	32.7	68.5	0.7	85.7	45.3	80.3	2.9
	Mean	92.9				84.3		77.3*		83.3		94.5	
Relative heart rate ¹⁾	June	1.09	0.09	1.00		0.91	0.10	0.91	0.10	0.90	0.17	1.15	0.13
	July	0.97	0.13	1.00		1.04	0.17	0.94	—	1.01	0.25	1.06	0.16
	September	1.11	0.14	1.00		0.82	0.17	—	0.05	0.80	0.15	1.05	0.15
	October	1.15	0.18	1.00		0.95	0.29	0.89		1.01	0.41	0.98	0.10
	Mean	1.07*		1.00		0.94		0.92*		0.93		1.08*	
	n =	22		22		19		9		19		22	

¹⁾ Value was the divided of heart rate of each behavior except for resting with standing by heart rate of resting with standing

* Means between resting with standing and each behavior with asterisk symbol differ ($P < 0.05$)

— : No recording with heart rate monitor

Table 4 Relative heart rate (RHR) of lactating cows per ascending and descending inclination (X°) during grazing on the pasture in experiment 1

	Degree	Mean	SD	n =		Degree	Mean	SD	n =
Ascent	$0 \leq X < 2$	1.09	0.22	519	Descent	$-2 < X < 0$	1.09	0.23	172
	$2 \leq X < 4$	1.08	0.22	272		$-4 < X \leq -2$	1.06	0.24	177
	$4 \leq X < 6$	1.11	0.23	235		$-6 < X \leq -4$	1.08	0.23	149
	$6 \leq X < 8$	1.10	0.21	199		$-8 < X \leq -6$	1.06	0.24	102
	$8 \leq$	1.15*	0.15	165		≤ -8	1.09	0.17	40

* Means between RHR at an ascending or descending inclination of $0^\circ \leq X < 2^\circ$ degrees and RHR at an inclination of $2^\circ \leq X < 4^\circ$, $4^\circ \leq X < 6^\circ$, $6^\circ \leq X < 8^\circ$ and $8^\circ \leq X$ with asterisk symbol differ ($P < 0.01$)

～2度の相対心拍数(1.09)と差はなかった。移動傾斜角度8度以上の相対心拍数は1.15であり、0～2度の値よりも有意に高く($P < 0.01$)、移動傾斜角度が8度以上で心拍数の上昇が見られた。一方、下りの各移動傾斜角度における相対心拍数は1.06～1.09の範囲内にあり、移動傾斜角度が増加しても相対心拍数が上昇する傾向はなかった。

採食時の相対心拍数を移動速度別に表5に示した。上りの移動速度が2～4m/分、4～6m/分における相対心拍数はそれぞれ1.10、1.09であり、0～2m/分の値(1.09)とほぼ同様であった。6～8m/分、10～15m/分、15～20m/分および20m/分以上における相対心拍数は、0～2m/分(1.09)よりも有意に高く、それぞれ1.14($P < 0.05$)、1.17($P < 0.05$)、1.21($P < 0.01$)および1.23($P < 0.01$)であり、6m/分以上の移動速度で心拍数の上昇が見られた。一方、下りの各移動速度における相対心拍数は1.04～1.11の範囲内であり、移動速度間で有意な差はなく、移動速度が増加しても心拍数が上昇する傾向はなかつ

た。

試験2 移動傾斜角度を用いた採食時EEの推定

観察日の平均気温は、6月18.2℃、7月19.7℃、9月16.7℃、10月4.7℃であった。

供試放牧地の観察前の草丈、草量および牧草の成分含量を表6に示した。1日1頭あたりの割当草量は、6月、7月、9月がそれぞれ22.0、24.2、23.8kgDMであり10月の30.0kgDMに比べて少なかった。牧草のTDN含量は6月が最も高く76.6%であり、9月が69.0%と最も低かった。

放牧地での1日の採食時間は500.2～584.0分であった(表7)。採食時の移動傾斜角度が0度以上の上りに占める割合は平均51.2%、下りに占める割合は平均48.8%だった(図2)。上りの頻度分布は6月と10月で異なる分布を示したが($P < 0.01$)、6月および9月では2～4度、7月および10月では0～2度の移動傾斜角度の頻度割合が最も高く、移動傾斜角度の増加とともに頻度割合は減少した。心拍数が上昇する可能性のある上り8度以上の

Table 5 Relative heart rate (RHR) of lactating cows per ascending and descending walking rate (X) during grazing on the pasture in experiment 1

	m/min	Mean	SD	n =		m/min	Mean	SD	n =
Ascent	0 ≤ X < 2	1.09	0.22	317	Descent	0 ≤ X < 2	1.11	0.38	103
	2 ≤ X < 4	1.10	0.18	408		2 ≤ X < 4	1.08	0.17	176
	4 ≤ X < 6	1.09	0.15	200		4 ≤ X < 6	1.07	0.14	128
	6 ≤ X < 8	1.14*	0.17	107		6 ≤ X < 8	1.11	0.27	86
	8 ≤ X < 10	1.12	0.22	72		8 ≤ X < 10	1.09	0.30	41
	10 ≤ X < 15	1.17*	0.27	106		10 ≤ X < 15	1.08	0.17	58
	15 ≤ X < 20	1.21**	0.23	43		15 ≤ X < 20	1.04	0.16	22
	20 ≤ X	1.23**	0.36	73		20 ≤ X	1.06	0.21	67

*,** : Means between RHR at ascending or descending walking rate of less 2 m/min and each RHR at the walking rate of less 4, 6, 8, 10, 15, 20 and more 20 m/min with asterisk symbol differ (* P < 0.05, ** P < 0.01)

Table 6 Height, herbage mass and chemical composition of grass before experimentation on the pasture in experiment 2

		June	July	September	October
Height	(cm)	11.1	15.1	17.5	18.3
Herbage mass	(tDM/ha)	0.7	0.7	0.9	0.9
Herbage allowance	(kgDM/head /day)	22.0	24.2	23.8	30.0
Chemical composition	DM (% of FM)	22.8	26.2	23.3	26.5
	CP (% of DM)	20.0	18.3	16.5	15.9
	NDF (% of DM)	40.2	45.6	49.8	43.8
	ADF (% of DM)	18.0	23.9	25.4	21.1
	TDN (% of DM)	76.6	71.9	69.0	71.7

FM : Fresh matter, DM : Dry matter, CP : Crude protein, NDF : Neutral detergent fiber, ADF : Acid detergent fiber, TDN : Total digestible nutrients

Table 7 Time budget for grazing per day and energy expenditure (EE) associated with grazing per day for lactating cows on the pasture in experiment 2

	June	July	September	October
Grazing time (min/day)	520.0	520.5	584.0	500.2
EE of grazing ¹⁾ (kJ/BW ^{0.75} /day)	346.3	345.0	306.2	310.2
EE per grazing time (kJ/BW ^{0.75} /hr of grazing time)	40.0	39.8	31.4	37.2
Estimate EE of grazing on the level pasture ²⁾ (kJ/BW ^{0.75} /day)	345.0	343.9	304.8	309.3
EE on the sloping pasture/estimate EE in the level pasture ³⁾	1.00	1.00	1.00	1.00

3) = 1)/2)

移動傾斜角度 (表 5) が占める割合は 12.9~16.4% であった。下りについても 6 月と 10 月の頻度分布は異なる分布を示したが (P < 0.05), 各観察月ともに -2~0 度の頻度割合が最も高く, 移動傾斜角度の増加とともに頻度割合は減少した。

採食時の各移動傾斜角度および各移動速度と相対心拍数 (表 4, 5) を基に推定した 1 日の採食時 EE は 306.2~

346.3 kJ/BW^{0.75}, 採食 1 時間当たりに換算すると 31.4~40.0 kJ/BW^{0.75} であった (表 7)。また, 採食時の移動傾斜角度を上り下りともに 0~2 度以下の場合を平坦放牧地と仮定して推定した採食時 EE は 304.8~345.0 kJ/BW^{0.75} であり, 傾斜地での値とほとんど変わらなかった (平坦地の 1.00 倍)。

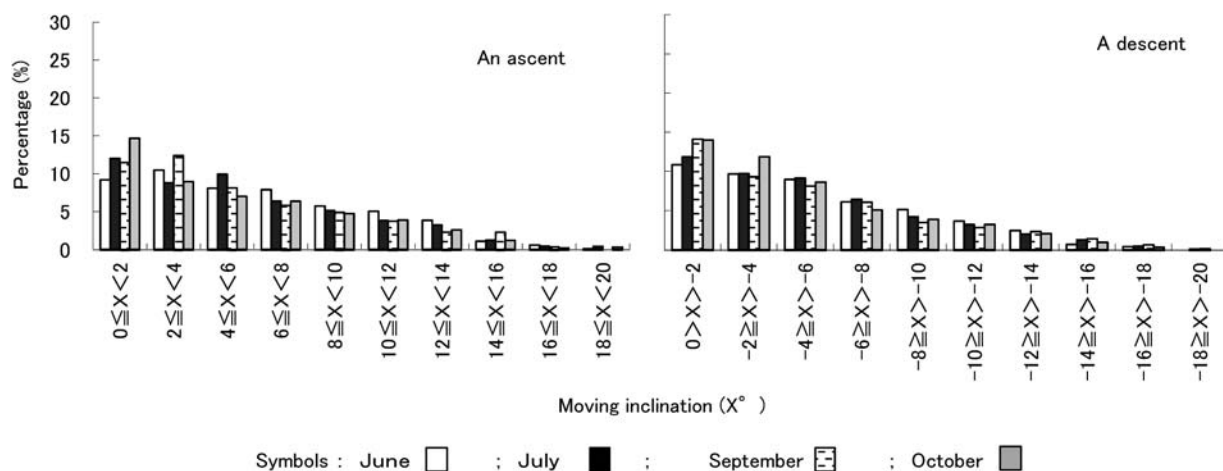


Figure 2 Frequency distribution of ascending inclination (left) and descending inclination (right) of lactating cows during grazing on an inclined pasture in June (ascents $n = 527$; descents $n = 486$), July (ascents $n = 1046$; descents $n = 986$), September (ascents $n = 399$; descents $n = 375$) and October (ascents $n = 463$; descents $n = 464$), in experiment 2 (an ascent, June and October $P < 0.01$; a descent, June and October $P < 0.05$, Kolmogorov-Smirnov test).

考 察

1. 放牧地の傾斜が採食時 EE に及ぼす影響

試験 1 において、採食時の相対心拍数は移動傾斜角度より 8 度以上が 0~2 度未満に比べ有意に高く、8 度以上の角度で上る割合が増加すると EE が増加する可能性があった。しかし、試験 2 において傾斜放牧地で泌乳牛が 8 度以上の移動傾斜角度で上る割合は全体の約 1 割程度と非常に低く、本試験程度の傾斜放牧地（平均斜度 7~12 度程度）での採食時 EE は平地とほぼ同じと見なすことができる。

傾斜角が 5~40 度の急斜面を持つ育成牛用の放牧地では、13 度以上の斜面で食草用の牛道が発生するが牛道の 85% は水平面からの仰角 5 度以下である（及川ら 1981）。また、同じ草食大家畜であるウマにおいては傾斜角が 36 度を超える急傾斜放牧地で馬道が形成され、急傾斜な斜面では等高線に平行して体を水平に保ちながら採食する（加世田 1983）。これらの報告を踏まえると、泌乳牛においても採食移動時の傾斜角度は放牧地自体の傾斜角に比例して増加することはなく、大半の移動は放牧地の傾斜角よりも比較的緩やかな角度で行われると考えられる。また、ウシは毎秒 0.6~1.0 m の速度を好んで移動するが、この移動速度の範囲内では移動に要するエネルギー消費量はほとんど変わらないことが報告されており（Ribeiro ら 1977）、ウシは EE を抑えた移動を行うと考えられる。したがって、本試験以上の急傾斜放牧地においても採食時の心拍数の増加は小さいと考えられ、採食時 EE 増加に対して放牧地の傾斜角は大きく影響しないと考えられる。

2. 採食時の相対心拍数

Yamamoto (1989) は飼料給与前の安静時心拍数を基準に相対心拍数を算出しているが、本試験の試験 1 では安静時心拍数が得られなかったため立位休息時の心拍数を基準に採食時の相対心拍数（平均値 1.07）を求めた。しかし、採食に伴う EE の増加を推定するには、採食により増加した心拍数を安静時心拍数（62.9 回/分）（Yamamoto 1989）で除した相対心拍数（ $RHR = \{ \text{採食時心拍数} - \text{立位休息時心拍数} \} / 62.9$ ）で示す必要があるが、上記の式で採食時の相対心拍数を再計算すると平均値が 1.08 となり、表 3 の 1.07 とほぼ同じような値であった。従って、表 4 の移動傾斜角度別および表 5 の移動速度別に示した採食時の相対心拍数は安静時心拍数を基準とした相対心拍数と大きな違いはないと考えられる。

試験 1 では述べ 22 頭のデータ解析を行ったが、採食時の移動傾斜角度が下り 8 度以下（表 4）および移動速度が上り下りともに 15~20 m/分（表 5）の発生頻度が特に少なかった。発生頻度の少なかった区分は、入退牧直後など特定の状況下で観察された可能性があるが、本試験では観察頭数が少なく、特定の状況を十分に解析できなかった。採食時の移動速度が極端に早い区分や移動傾斜角度が下りで大きい区分の発生要因およびその区分での RHR との関連については、今後さらに検討する必要があるだろう。

3. 移動傾斜角度を用いた採食時 EE の推定

試験 2 において搾乳牛の心拍数当たりの酸素消費量、安静時心拍数、採食時の移動傾斜角度または移動速度に相当する相対心拍数を用いて推定した採食時 EE は 306.2~346.3 kJ/BW^{0.75}/日であった。本試験は体重推定尺を用いた体重測定のため実際の体重よりもやや重く推

定する傾向があり、代謝体重あたりの EE を過小評価する可能性はあるが、体重を 600 kg として換算した採食時 EE は 37.1~42.0 MJ/日であり、日本飼養標準乳牛 (2006 年版) から推定した維持の代謝エネルギー (ME) 量 (58.99 MJ/日) の 63~71% に相当した。

本試験と同様に心拍数から推定した放牧肉用牛の泌乳期の採食時 EE (Brosh ら 2006) は、37.2 kJ/BW^{0.75}/日 (0.9 ha/頭) であり、本試験の EE (306.2~346.3 kJ/BW^{0.75}/日) は肉用牛よりも 8.2~9.3 倍高かった。一般に EE は泌乳期間や妊娠などエネルギー要求量が増加する身体的状況下や、飼料の ME 含量や ME 摂取量が高いと増加する (Brosh ら 2004 ; Brosh 2007)。実際の乳用牛と肉用牛の EE の差を検討すると泌乳期の乳用牛の心拍数あたりの酸素消費量は肉用牛よりも高く (ホルスタイン種 450 μ L/BW^{0.75}/回, 肉用牛 287 μ L/BW^{0.75}/回) (Brosh 2007), EE も約 1.56 倍高いと考えられる。また日本飼養標準を用いて乳用牛 (2006 年版) および肉用牛 (2008 年版) のそれぞれの ME 要求量を考慮すると、泌乳期の乳用牛の ME 摂取量 (体重 600 kg, 乳量 20 kg, ME 要求量 157 MJ/日) (農業・食品産業技術総合研究機構 2007) は肉用牛 (体重 600 kg, 乳量 3.6 kg, ME 要求量 76 MJ/日) (農業・食品産業技術総合研究機構 2009) の約 2 倍相当する。ME 摂取量および草量を独立変数に EE を推定する回帰式 (Brosh ら 2004) から ME 摂取量の 2 倍は EE の約 0.7 倍の増加に相当する。こうしたことから同じ泌乳期でも乳量や ME 摂取量の高い乳用牛の採食時 EE は、肉用牛よりも高いと考えられる。

単位時間当たりの採食時 EE を比較すると試験 2 では採食 1 時間あたり 31.4~40.0 kJ/BW^{0.75} であり、肉用牛の 3.65 kJ/BW^{0.75} (採食時間 10.18 時間/日) (Brosh ら 2006) に比べて非常に高かった。乳用牛と肉用牛の心拍数あたりの酸素消費量や ME 摂取量の違いを考慮すると EE の差は最大でも 2 倍程度と考えられ、本試験での採食時 EE は過大評価している可能性がある。Brosh (2007) は心拍数の変化は EE の変化と正の相関があることは示したが、牛群全体の EE を推定するには、特定の状況下で心拍数 1 回当たりの酸素消費量をあらかじめ測定しておく必要を指摘している。試験 2 の EE の推定に用いた心拍数 1 回当たりの酸素消費量は乳量 42~43 kg の泌乳牛の値を用いており、本試験で供試した牛群の平均乳量 (20~24 kg) よりも高泌乳であるため、酸素消費量を供試牛の値よりも高く見積もり EE を過大評価した可能性がある。また、試験 2 では採食時の移動傾斜角度・速度に相当する相対心拍数のうち高い値を推定に用いたが、心拍数を実測しておらず移動傾斜角度と速度を組み合わせた心拍数との関係を検討していなものの、相対心拍数と移動傾斜角度のみで EE を推定することは大きな推定誤差を生むと考えられた。

傾斜放牧地において泌乳牛の採食時の相対心拍数は、

移動傾斜角度が上り 8 度以上で増加することが明らかとなった。1 日のうちで採食時の移動傾斜角度が 8 度以上である割合は約 1 割であり、本試験の放牧地の傾斜角度は採食時 EE に対して大きく影響しないと考えられた。しかし、採食時の移動傾斜角度と相対心拍数との関係を用いて推定した採食時の EE は過大に評価する可能性があった。

謝 辞

本試験の遂行にあたり元北海道立総合研究機構上川農業試験場天北支場技術普及部の宮崎元部長 (現 北海道立総合研究機構根釧農業試験場 場長) に助言を頂いた。また、行動観察を行うにあたり北海道立総合研究機構上川農業試験場天北支場職員諸氏には多大な支援を頂いた。ここに感謝の意を示す。

本試験は農林水産省委託プロジェクト「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」による「乳牛の放牧時におけるエネルギー要求量増加割合の査定とその変動要因の解明」の成果を取りまとめたものである。

文 献

- Aharoni Y, Brosh A, Harari Y. 2005. Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather : effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livestock Production Science* **92**, 207-219.
- 安藤 哲, 大槻和夫. 1998. 歩行運動および採食負荷条件下における育成牛の熱産生量と心拍数との関係. *日本畜産学会報* **69**, 387-391.
- 安藤 哲, 的場和弘. 2006. 育成牛における歩行運動時の熱産生量の増加ならびに心拍数と熱産生量との関係. *日本畜産学会報* **77**, 45-49.
- AOAC. 1980. *Official methods of analysis* 13th edn. Association of official agricultural chemists, Washington, DC.
- Brosh A. 2007. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants : A review. *Journal of Animal Science* **85**, 1213-1227.
- Brosh A, Aharoni Y, Degen AA, Wright D, Young B. 1998. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. *Journal of Animal Science* **76**, 3054-3064.
- Brosh A, Aharoni Y, Shargal E, Sharir B, Gutman M, Choshniak I. 2004. Energy balance of grazing beef cattle in Mediterranean pasture, the effects of stocking rate and season 2. Energy expenditure as estimated from heart rate and oxygen consumption, and energy balance. *Livestock Production Science* **90**, 101-115.
- Brosh A, Henkin Z, Ungar E, Dolev A, Orlov A, Yehuda Y, Aharoni Y. 2006. Energy cost of cow's grazing activity : Use of the heart rate and method and the Global Positioning System for direct filed estimation. *Journal of Animal Science* **84**, 1951-1967.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2007. 日本飼養標準乳牛 (2006 年版). pp. 23-36, 43-74. 中央畜産会, 東京.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2009. 日本飼養標準肉用牛 (2008 年版). pp. 31-50. 中央畜産会, 東京.

泌乳牛の採食移動と心拍数

- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2010. 日本標準飼料成分表 (2009年版). pp. 204-208. 中央畜産会, 東京.
- 加世田雄時朗. 1983. 御崎馬の傾斜草地における適応性について. *馬の科学* **20**, 395-401.
- 兒嶋朋貴, 大石風人, 太田典宏, 吉岡正行, 熊谷 元, 守屋和幸, 広岡博之. 2010. 佇立時に対する水平および傾斜歩行時のエネルギー消費量比の推定式作成とそれを用いた耕作放棄地放牧牛のエネルギー消費量の推定. *日本畜産学会報* **81**, 189-197.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* 7th edn. pp. 13-27. National Academy Press, Washington, DC.
- Nicol A, Young BA. 1990. Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling: Effects of level of cooling and physiological state. *Canadian Journal of Animal Science* **70**, 833-843.
- 農林水産省生産局畜産部畜産振興課 消費安全局畜産安全管理課. 2010. 飼料をめぐる情勢 [homepage on the Internet]. 農林水産省生産局畜産部畜産振興課. 東京; [2010年11月25日引用]. Available from URL: http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/index.html
- 及川棟雄, 嶋村匡俊, 牛山正昭, 福山正隆. 1981. 傾斜地における家畜行動と草地管理 I. 牛道の区分と特性. *草地試験場研究報告* **18**, 105-126.
- Purwanto B, Abo Y, Sakamoto R, Furumoto F, Yamamoto S. 1990. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. *Journal of Agricultural Science* **114**, 139-142.
- Riberrio JM de CR, Brockway JM, Webster AJF. 1977. A note on the energy cost of walking in cattle. *Animal Science* **25**, 107-110.
- Shibata M, Mukai A, Kume S. 1981. Estimation of energy expenditure in dairy heifers walking on the level and on gradients. *Bull Kyusyu National Agriculture Experiment Station* **21**, 589-609.
- Susenbeth A, Dickel T, Sudekum K, Drochner W, Steingab H. 2004. energy requirements of cattle for standing and for ingestion, estimated by a ruminal emptying technique. *Journal of Animal Science* **82**, 129-136.
- Van Soest PL. 1963. The use of detergents in the analysis of fibrous feeds. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists* **46**, 825-828.
- Yamamoto S. 1989. Estimation of heat production from heart rate measurement of free living farm animals. *Japan Agricultural Research Quarterly* **23**, 134-143.

Effects of moving inclination on heart rate of lactating cows during grazing on an inclined pasture

Yuko SHINGU¹, Mitsuo MORI², Hiroki NAKATSUJI^{2,3}, Seiji KONDO⁴ and Kazuhiro UMEMURA⁵

¹ Hokkaido Research Organization Kamikawa Agricultural Experiment Station Tenpoku Substation, Hamatonbetsu, Hokkaido 098-5738, Japan

² Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita, Sapporo 060-8589, Japan

³ College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu 069-8501, Japan

⁴ Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Kita, Sapporo 060-0811, Japan

⁵ National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Toyohira, Sapporo 062-8555, Japan

Corresponding : Yuko SHINGU (fax : +81 (0) 1634-2-4686 , e-mail : singuu-yuuko@hro.or.jp)

Heart rate (HR) and grazing activity of lactating cows were measured to assess the energy expenditure (EE) associated with grazing on an inclined slope. In experiment 1, the HR and movements of lactating Holstein cows grazing on an inclined slope were recorded using an HR monitor and a global positioning system (GPS). These data were used in conjunction with altitude to calculate relative heart rate (RHR : HR during grazing/HR during rest while standing) per moving inclination during grazing. In experiment 2, the moving inclination of lactating Holstein cows during grazing was measured using a GPS receiver on an inclined pasture (11.8°) and the daily EE associated with grazing was calculated with the RHR values obtained in experiment 1. In experiment 1, the HR associated during grazing and resting while standing were 92.9 and 88.0 beats/min, respectively. The RHR associated during grazing was higher than during resting while standing ($P < 0.05$). Also, the RHR of cattle ascending inclinations greater than 8° (1.15) during grazing were higher than those of cattle ascending inclinations of 0° to 2° (1.09) ($P < 0.01$). No difference was observed between the RHR of cattle descending inclinations of 0° to 2° and the RHR of cattle descending inclinations greater than 2°. In experiment 2, the time budget for grazing per day was 500.2 to 584.0 min, and the percentage of cattle ascending more than 8° during grazing was 12.9 to 16.4%. The EE associated with grazing per day ranged between 306.2 and 346.3 kJ/BW^{0.75}, which was similar to the estimated EE in cows grazing on a level pasture. The inclination of a pasture therefore seemed to have no effect on the EE associated with grazing, likely because the ascending inclination of lactating cows during grazing was less than the inclination angle of the pasture as a whole. However, it suggested that the EE associated with grazing estimated from the percentage of cattle ascending or descending and RHR was overestimated.

Nihon Chikusan Gakkaiho 83 (1), 47-56, 2012

Key words : heart rate, lactating cows, moving inclination, slope pasture.