

性フェロモンによる反すう動物の 繁殖機能制御に関する研究

正木 淳二*

フェロモンは同種の動物間で放出、受容される化学信号で、嗅覚を介して伝達される。哺乳動物の生殖に性フェロモンが関与していることは実験小動物のマウスでよく知られているが、高等動物では嗅覚のほかに視覚、聴覚、触覚などの感覚要因も加わることや、雌雄が隔離されて生活することも多いので、フェロモン単独の効果を正確に評価することは難しいとされている。しかし、性行動やホルモン作用の面から、近年、性フェロモンの役割がしだいに認識されつつあり、家畜ではこれを繁殖効率の向上に応用できるかもしれない、との期待がもたれている。

家畜の繁殖環境からは、性フェロモンの関与を示唆するいくつかの事例を見いだすことができる。雄畜の存在が雌畜の繁殖機能に影響を及ぼす例はヒツジや豚で多く知られており、逆に発情時の雌に雄が誘引される現象はすべての家畜で認められている。

性フェロモン関係の研究は反すう動物でも少なくはないが、「雄豚の性フェロモン」にみられるような体系的な解明は行われていない。当家畜繁殖学研究室では、これまで「雄ヤギの特異臭」について観察を続けてきた。また、科学研究費助成研究課題として「プロスタグランジン投与牛群の繁殖に関する生理・生態学的研究」を実施し、性行動の要因解析をすすめてきた。

本研究はこれらをさらに進展させ、反すう家畜の繁殖における性フェロモンの応用について、その可能性を探ることを目標に企画された。

研究の成果

ヤギについては1975年より当家畜繁殖学研究室において観察を始めており、雄ヤギのにおいに関する情報が比較的多かったので、当初の計画にそった研究を展開することができた。（また、

* 日本 東北大学 農学部 教授

本研究終了後も合成物質によるフェロモン効果の検討、および体内におけるフェロモン様物質の分布について検討が続けられている。)

牛については、雌とも人に感知されるほどの強い特異臭がないため、フェロモンの存在を数次にわたる性行動観察によって確かめることに主眼をおいた。実験はもっぱら農学部附属農場で行い、血液および生殖道の粘液試料は家畜繁殖学研究室に運んだ(分析成績はまだ得られていない)。牛の実験では、既述の「プロスタグランジン投与牛群の繁殖に関する生理・生態学的研究」で得られた成績を再確認し、実用性を探るための実験も行った。

家畜以外の動物については、ヤギおよび牛で行ったような生態学的観察ができなかったが、日本カモシカを含む数種の動物の尿を入手できたので、ヤギに対するフーメン誘起試験を行った。

1. ヤギ

1) これまでの経過

繁殖季節中の雄ヤギに強く出現する特異臭について、出現の機序をホルモンとの関連で追究するとともに、においの主成分が、4位にエチル基をもつ分枝脂肪酸であることを見いだした。また、検出された5種類の分枝脂肪酸のうち、最も含量の少ない4-エチルオクタン酸(含有率1~2%)は天然の雌ヤギ臭に近いにおいをもつことを知った(図1)。

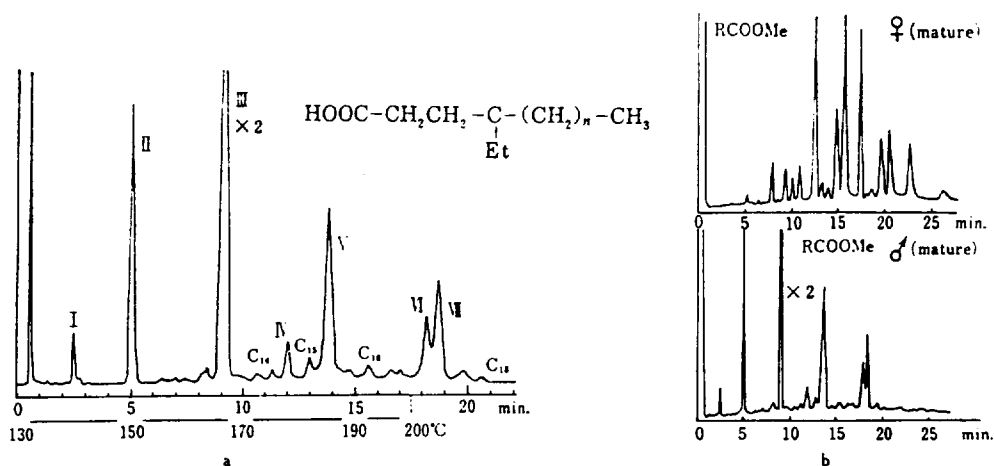


図1. 成熟ヤギ皮脂腺分泌物の酸分画メチルエステルのガスクロマトグラム a. 雄材料より検出された4-エチル脂肪酸 (I. methyl 4-ethyloctanoate; II. methyl 4-ethyldecanoate; III. methyl 4-ethyldecanoate; IV. unidentified; V. methyl 4-ethyltetradecanoate; VI. unidentified; VII. methyl 4-ethylhexadecanoate), b. 雌雄の構成成分の比較 (Sugiyama, T., et al., 1981; Sasada, H., et al., 1983)

2) 雄ヤギ特異臭のフェロモン効果

(1) T字路法によるリリーサー効果の検索

繁殖季節中の雌雄ヤギおよび去勢ヤギを用い、農学部構内の放牧地に左右各5mの両翼をも

つ、側面しゃへのT字路を設け、中央路より雌を導入して、1回当たり2分間の行動観察を行った。両翼の末端には成熟雌または去勢個体を配置した。非発情時の雌の場合は、末端に配置した雄に誘引される傾向はみられなかったが、発情時の雌は明らかに雄ヤギの側を選択した。この行動は、覆面や夜間実験により視覚の影響をしゃだんした場合にも見られた。

(2) 動物棟のケージを利用したプライマー効果の検索

農学部構内に新設された動物実験棟のヤギ用ケージに、非繁殖季節の末期にあたる8月中旬、雌雄が隣接するように成熟ヤギを配置し、雌の発情出現に及ぼす雄の存在の影響をしらべた(図2)。その結果、実験区の雌4頭は8月15~20日にケージに収容されたのち、6~8日後に一樣

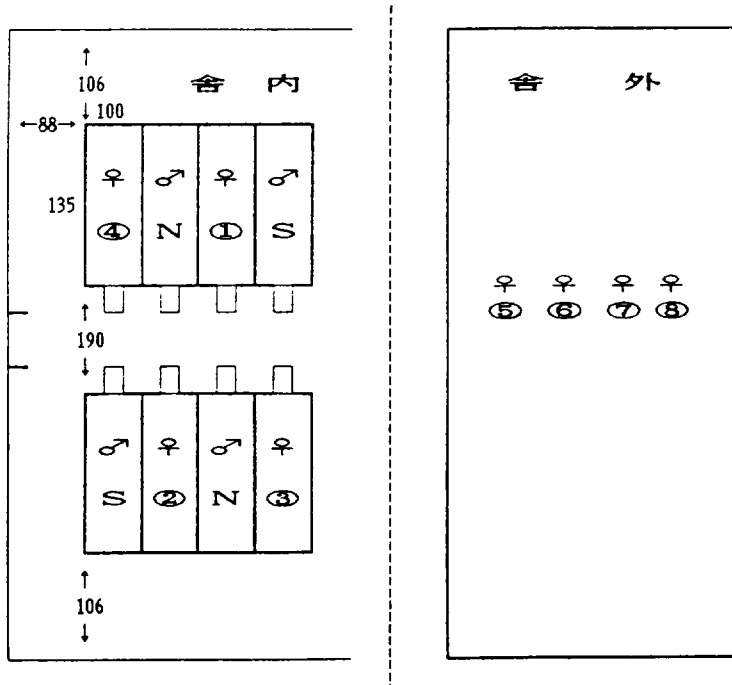


図2 雌ヤギの発情出現に及ぼす雄ヤギ効果：配置図
(東北大・農 1984. 8.15~ 9.20)

に発情を現した。一方、屋外で飼育した対照区4頭の場合は、9月10日までに発情を示すものは現れなかった(表1)。

このような雄ヤギの効果は嗅覚だけのものとはいえないが、プライマーフェロモンの存在を示唆している。

表1. 雌ヤギの発情出現に及ぼす雄ヤギ効果：成績
(東北大・農 1984. 8. 15～ 9. 20)

雌ヤギ	雄ヤギの影響	舎内導入日	発情出現日	
			初 回	第 2 回
1	+	8. 15	8. 21	9. 10
2	+	8. 15	8. 23	9. 12
3	+	8. 15	8. 23	9. 13
4	+	8. 20	8. 26	9. 15
5	-		9. 10	—
6	-		9. 15	—
7	-		9. 16	—
8	-		9. 20	—

3) 4-エチルオクタン酸のフェロモン効果

(1) T字路法によるリリーサー効果の検索

本研究グループの杉山らが有機合成した4-エチルオクタン酸を去勢ヤギの体毛に噴霧し、前述の方法で雌ヤギをT字路に導入して本物質のリリーサー効果をしらべた。T字路の左右末端に去勢雄を配置し、片側の個体に合成4-エチルオクタン酸を噴霧した場合、においづけた個体に対して雌からの攻撃様行動はみられたが、選択性には噴霧前後で明らかな差が認められなかった。

(2) ヤギ牧場の大規模集団を利用したプライマー効果の検討

農水省長野種畜牧場および長野県下の民営牧場に飼育中のザーネン種雌ヤギに対し合成4-エチルオクタン酸のプライマー効果をしらべるための実験を行った。合成物質の処理は8月上旬に行い、国立牧場では飼槽に5日間噴霧(表2)、民営牧場では同期間、沓紙に噴霧し、これをヤギ舎内に置く方法をとった。国立牧場では経産ヤギ53頭を処理区27頭、対照区26頭に分けた。結果

表2. 雌ヤギに対する合成 4-エチルオクタン酸処理

場 所	農水省長野種畜牧場
雌ヤギの 供試頭数	経産 □ 処理 27 非処理 26
処理の時期	1985年8月5～9日(5日間) 午前10～11時
処理の方法	有機合成した4-エチルオクタン酸を溶媒のヘキサンに溶かし、個体別の飼槽に散布(1日当たり散布量はそれぞれ、 <u>1.8</u> , <u>3.2</u> , <u>4.5</u> , <u>3.6</u> , <u>2.7g</u>)

は、処理区27頭中20頭、非処理区26頭中20頭が8月中に発情を記録したが(表3)、この実験では処理区と非処理区(対照区)の飼槽の距離が3.8 mに過ぎなかったことや、供試ヤギの過去8年間における記録でほとんど9月以降に発情出現をみていることから、合成物質の影響は非処理区にも及び、その結果経産ヤギの8割に相当する個体に発情促進効果が現れた可能性があると考え

えられた。同様な傾向は、実験条件が不十分ながら民営牧場の成績からもうかがわれた。

表3. 雌ヤギの発情出現に及ぼす4-エチルオクタン酸の効果：経産ヤギの成績

区 分	供試頭数	初 回 発 情 出 現 の 時 期					
		1985年			1980—84年		
		8月	9月	その他	8月	9月	その他
処 理 区	27	20	5	2	0	82	3
非処理区	26	20	3	3	0	49	6
計	53	40	8	5	0	131	9

以上、雄ヤギ臭に近いにおいをもつ合成4-エチルオクタン酸は、単独使用の場合、雄ヤギ臭で見いだされたリリーサー効果は確認されなかったが、プライマー効果の可能性はあるように思われた。フェロモンの場合、一般に単一物質だけでは効果を発現できないことが多いといわれている。したがって、雄ヤギの特異臭についても、他の4-エチル脂肪酸や未同定物質との混合による効果を検討する必要があると考える。

4) ヤギの皮脂より分離した脂肪酸の性および年齢による特徴

雌ヤギの特異臭が含まれる皮脂試料の中に、数種の4-エチル脂肪酸が見いだされたことから、特異臭が感知されない雌および未成熟ヤギの皮脂試料についても分析し、脂肪酸構成を比較した。ヤギはザーネン種および在来種の雌雄計12頭で、年齢によって1.5～2か月区、9か月区、2～4才区に分け、成績を比較した。原材料はヤギの頭・頸部の体毛で、エーテル抽出物を精製し、ガスクロマトグラフィーによって分析した。その結果、ヤギ皮脂の主脂肪酸は、成熟雄では4-エチル脂肪酸であることが確認されたが、雌ではイソ酸、アンテイソ酸および飽和長鎖脂肪酸であった。未成熟個体では雌雄とも飽和長鎖脂肪酸が主であった。ザーネン種と在来種の間には特に差は見られなかった(図3, 4, 5)。

2. 牛

1) これまでの経過

雄牛が複数の発情牛の中に導入されると、その中の1頭を選んで数回の交配をくり返したのち、次の牛に順次移行することを観察した。このような交配相手を選びだす機構には雌牛のホルモンが関係しているようで、血中LH濃度がピークを示した時間帯の雌牛が、交配の対象となることを見いだした。雄牛の交配行動には学習効果が見られ、自然交配の経験が豊富な雄牛ほど、発情牛1頭当たりの交配回数が少なくなる傾向があった。雄牛はPGF_{2α}製剤を注射した雌牛に

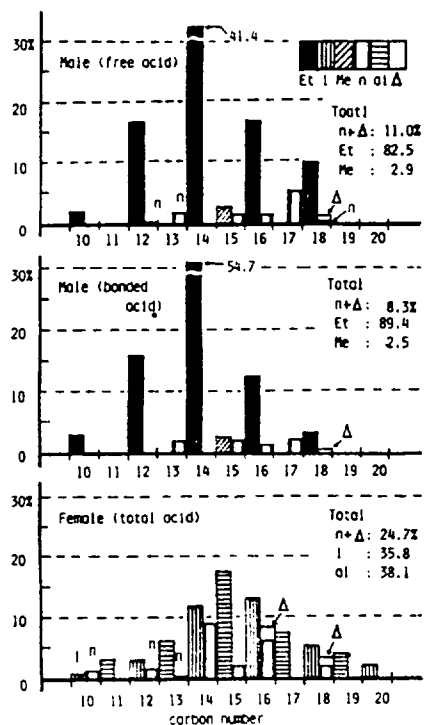
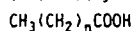


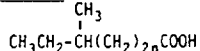
図3. Fatty acids in the sebum of mature goats (Japanese native breed).

Abbreviations: n, normal fatty acids; Δ, unsaturated fatty acids; ai, anteiso-acids; i, iso-acids; Et, 4-ethyl fatty acids; Me, 4-methyl fatty acids.

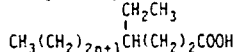
Normal fatty acid



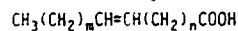
Anteiso-acid



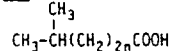
4-Ethyl fatty acid



Unsaturated fatty acid



Iso-acid



4-Methyl fatty acid

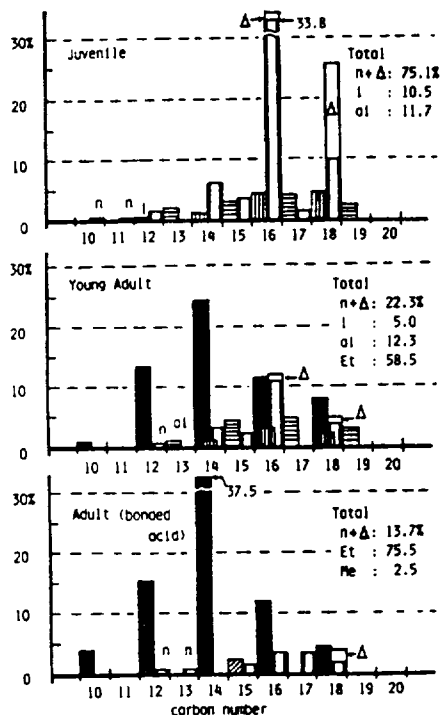
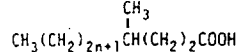
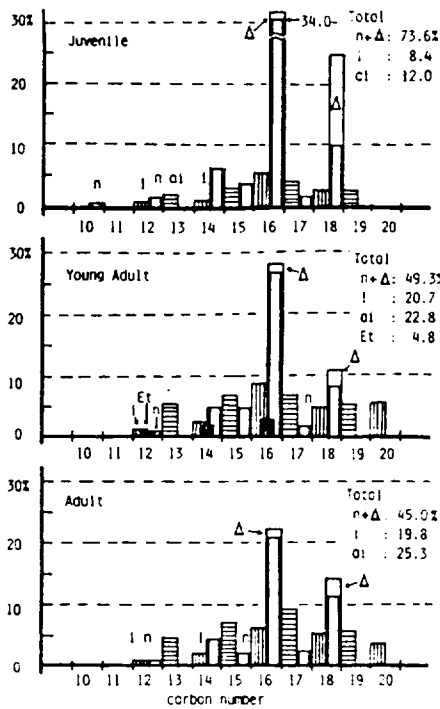


図4. Fatty acids in the sebum of male Saanen breed. Abbreviations, see Fig. 3.



145. Fatty acids in the sebum of female Saanen breed.
Abbreviations, see Fig. 3.

対し、処置後平均60時間で交配行動を発現した。この成績にもとづいて、PG 処置後の人工授精適期を検討した。

2) 雄牛の交配行動に及ぼす雌牛の影響

(1) 雌牛を繋留した時の行動

雌牛に対する発情牛の誘引作用に嗅覚刺激がどの程度関与しているかをしらべるために、複数の雌牛を繋留し、発情時の性行動が抑止された条件下で雄牛を導入した。雌牛に対する発情の誘起は、当研究室におけるこれまでの研究と同様、PGF_{2α}アナログ(エストラメイト) 500 μg 1回または11日間隔2回の筋肉内注射によった。供試牛の品種は黒毛和種(B種)および日本短角種(S種)であった。

① 5月の舎外における観察

附属農場の肉牛舎に隣接した舎外パドックの柵に、発情牛(B種およびS種)4頭に続いて非発情牛(B種)4頭をつなぎ、約10mの距離に雄牛(B種)1頭を誘導後、解放して雌に対する

選択性をしらべた。雄牛に目かくしをした場合、歩行が不自然になり選択行動にも影響が現れた。しかし、至近距離に導くと、目かくし状態でも発情牛に対する交配行動を発現した。一方、目かくしをしない場合は、まっすぐに発情牛の方へ行くことが多く、さらに至近距離に導くと、特定の発情牛を選択する行動を示した。1回5分の試行を7回くりかえした成績は表4に示すとおりで、雌牛が一樣に静止状態におかれた場合でも、雄牛は約10mの距離であれば発情牛を選択できた。特に雌牛を風上につないだ場合、正確に発情牛を選択したことから、発情牛から雄牛へ伝達される嗅覚刺激の存在は明らかと思われる。

表4. 繫留した雌牛に対する雄牛の選択行動：
5月の舎外パドックにおける観察

試行回次	雄牛に対する 目かくしの有無	雄牛の選択	
		発情牛	非発情牛
1	有	2/4	2/4
2	無	3/4	1/4
3	無	3/4	2/4
4	有	1/4	0/4
5	無	4/4	0/4
6*	有	4/4	0/4
7*	無	2/4	0/4

* 雌牛を風上につないだのち、雄牛を導入

② 7～8月の放牧地における観察

附属農場の放牧地で7月下旬～8月上旬計3回の実験を行った。各回ともPG 1回注射後48～56時間および72～80時間に雌牛を放牧地内パドックの牧柵に約2mの間隔でつなぎ、雄牛を導入して行動を観察した。結果は表5に示したとおりで、雄牛の行動は高い気温のためか全般に低調であった。しかし、交配行動を行う場合は非発情牛を含むすべての雌牛を巡回し、発情牛を探索する行動をとった。すなわち、放牧地のように開放された環境では、雌牛からの嗅覚刺激は至近距離でないと正確に伝達されないように思われた。また、観察期間中の最高気温は27.7～32.7℃であったため、このような環境が雄牛の交配行動を著しく低下させたように思われる。本実験を通じて、交配された発情牛の多くが粘液を排出中のものであったが、このことは、粘液中に雄牛を刺激するにおい物質が含まれている可能性を示す一方、視覚を刺激した可能性も提起した。

表5. 繫留した雌牛に対する雄牛の選択行動：
7～8月の放牧地における観察

実験回次 (および時期)	供試牛の数		観察時間中における発情出現率	発情牛に対する交配率	雄牛の射精回数
	雄	雌			
1 (7月30～31日)	(S) 1	(S) 9	5/9	2/5	5
2 (8月8～9日)	(B) 1	(B) 10	7/10	4/7	7
3 (8月10～11日)	(B) 1	{(B) 6 (S) 2}	4/8	0/4	0

③ 放牧地における観察の再検討

前述の実験では雄牛の行動がおそらく高温環境のために制約され、十分な観察資料が得られなかった。従って本実験は年度をかえて、7月中ながら20℃下の条件で再び放牧地における観察を行った。供試牛は、雄1頭（B種）、雌10頭（B種6頭、S種4頭）で、雌牛に対するPG処置後66～72時間を観察時間とした。この間における発情出現頭数はB種3頭、S種3頭計6頭であった。雄牛は導入後、繋留された雌牛を巡回して発情を検索し、1頭に射精したあと再びこの行動をくりかえした。成績は図6に示したとおりで、これまで本研究グループが観察してきた複数の繋留しない発情牛に対する雄牛の交配パターンと本質的に同じ行動を示した。すなわち、特定の発情牛に集中的に交配したのち、次の発情牛へ移行する行動を示したが、雌牛を繋留しない場合に比べて交配の順序がやや乱れるように思われた。本実験において発情牛の1頭（S 197）は全く交配されなかったが、このような例は雌を繋留しない場合にも認められている。

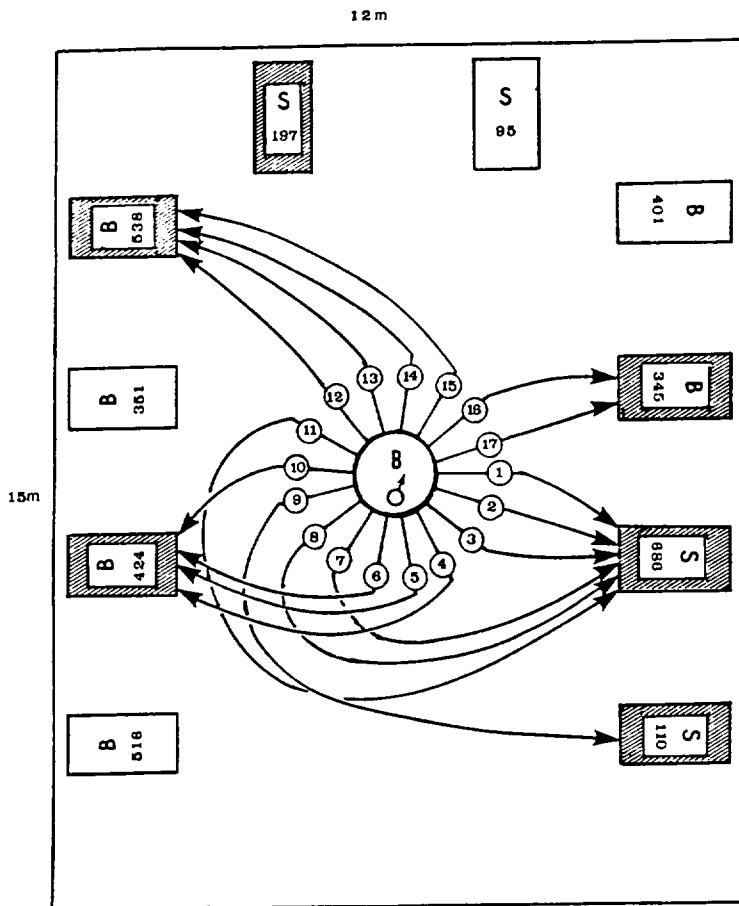


図6. Sexual behavior of a bull to a group of cows which were restrained

4 12月の舎内における観察

B種とS種の雌牛を品種ごとに共通の牛房に入れ、ほぼ2mの間隔で柵に繋留したのち、同品種の雄牛1頭を導入した。雄牛の行動観察はPG処置後52, 58, 64, 70, 76, 82, 88, 94時間より各1時間行った。その結果、雌牛の性行動が抑止された冬季舎内条件下でも、複数の発情牛に対する雄牛の選択交配行動は、発情牛が繋留されない場合と本質的に変わらない規則性を示した。

⑤ 雌牛を繋留した時と解放した時の繁殖効率の比較

前実験とはほぼ同時期の舎内で同一雄牛を用い、雌牛を自由にした時の繁殖成績をしらべ、効率を比較した。すなわち、B種、S種とも♂:♀比を1:10とし、雌牛に対するPG処置後、48, 50, 55, 60, 66, 72, 78, 84, 90時間より各1時間の性行動を観察した。なお、本実験ではB種の場合、2回交配された雌牛は他の牛房に移した。また、S種は1回交配されたのち他へ移した。本実験は実験③として前実験の成績と対比し、表6に示した。雌牛を自由にした場合、雄牛の性行動出現が早まり、発情牛に対する交配率も高まる傾向がみられた。

表6. 雌牛を繋留した時と解放した時の繁殖効率の比較

項 目	B 種		S 種	
	実験④	実験⑤	実験④	実験⑤
観 察 時 間 (PG処置後の時間, h)	52~95	48~91	52~95	48~91
最終交配時間 (PG処置後の時間, h)	70	72	94	60
追 駕 回 数 (射精を含む)	49	52	42	17
射 精 回 数	19	12*	22	6**
交 配 頭 数	4	6	5	6
追駕行動出現 (PG処置後の時間, h)	60.5	56.3	65.1	57.3
射精行動出現	58.2	57.4	64.2	57.2
発情出現率	7/10	7/10	8/10	7/10
発情牛に対する交配率	4/7	6/7	5/8	6/7
交配された牛の受胎率	3/4	3/6	2/5	4/6

実験④は雌を繋留、実験⑤は雌を解放し、♂:♀=1:10の構成で舎内で同居させた。*1頭当たり射精回数2回、**同1回とし、規定数の交配を終えた雌牛は実験群から他へ移した。

3) 雌牛の交配行動に及ぼす雄牛の影響

牛の場合、他個体からの生殖関連信号は雌から発せられていることを示唆する報告が多い。これに対し、雄からも同様な信号が出ているかどうかについては、正確な情報が少ない。本実験では雌牛の発情行動および発情周期に及ぼす雌牛の存在の影響をしらべた。牛房を図7のように区分し、雄牛および雌牛を配置した。第2区および第4区にはPG処置による発情牛を配し、PG処置後48~84時間までの行動および次回発情の出現日をしらべた。

	第1区 (雄区)	第2区 (雄隣接区)	第3区 (無処置区)	第4区 (雄遠隔区)
5 m	♂ B	♀ (B 312) ♀ (B 320) ♀ (B 326)	♀ (B 352) ♀ (B 348)	♀ (B 323) ♀ (B 329) ♀ (B 357)
5 m	♂ S	♀ (B 327) ♀ (B 353)	♀ (S 645)	♀ (B 358) ♀ (S 636)
	← 5 m →	← 5 m →	← 5 m →	← 5 m →

図7. 供試牛の配置

B: 黒毛和種 (Japanese Black)

S: 日本短角種 (Japanese Shorthorn)

連続26時間の観察時間内に雄隣接区の雌牛は乗駕回数 (平均値±標準誤差) 103 ± 27 回 (41~184 回), 乗駕許容回数 103 ± 41 回 (0~212 回), 雄遠隔区の雌牛は乗駕回数 93 ± 24 回 (8~155 回), 乗駕許容回数 93 ± 21 回 (42~152 回) を記録した。雄隣接区は遠隔区より多かったが, 有意差はみられなかった。雄隣接区5頭は, 雌牛間の性行動のほか, 雌牛に対する接近行動を示した。この場合の選牛はいずれも, 隣接牛房の2頭の雄牛のうち, より若齢のB種の方を選択することが多かった (表7)。試験期間中の発情周期をしらべた結果, 雄隣接区と雄遠隔区の間には1日の差がみられたが, 両区とも平均的周期の範囲内にあった。

複数の雌牛および雌牛が荷をはさんで隣接するように配置された場合, 本実験では発情牛が特定の雄牛に偏って接近する行動を示したが, その後同様な観察実験を2回行った結果では, このような偏りはみられなかった。

以上, 発情牛に対する雄牛の誘引作用および発情周期に及ぼす雄牛の存在の影響については, 本実験の条件下では明確にできなかった。

3. その他の動物

家畜4種, 動物園動物6種の尿を試料とし, ヤギを被験動物としてフレーメン (flehmen) 誘起の可能性をしらべた。フレーメンは, 雄畜が雌畜の陰部や尿を嗅いだ時などに出現する反応で, 雄畜は上唇を曲げる特異な表情を示す。本反応の出現は, 発情個体からの性フェロモンの放出を示唆するとみられてきたが, 詳細な観察の結果, 非発情個体の尿でも起こし得ることや, 雌畜にも出現することが明らかになってきた。また最近, 鋤鼻器官 (じょびきかん) との関連も指摘されており, 本反応の出現機構および意義について再検討の必要が生じている。本実験は, フレーメンの観察が比較的容易なヤギを被験動物とし, 哺乳動物10種の尿による反応誘起を試みた。ヤギは在来種系雑種の雄, 雌, 去勢計10頭を用いた。尿はヤギ (雄, 雌), 牛 (雌) のほか, 豚 (雄, 雌), 日本カモシカ (雄, 雌), アフリカ水牛 (雄), 虎 (雌), オランウータン (雌),

表7. 発情牛の性行動：堆隣接区

観察時間	雌				牛															
	B312		B320		B326		B327		B353											
	A	B	C _B	C _C	A	B	C _B	C _S	A	B	C _B	C _S								
Nov. 22 10:30~					2				2	11			5			6				
11 ~										20			14			7	1	8		
12 ~					1	1				6			6	4		3				
13 ~				1						5	18		18	16		11		1		
14 ~	1		1				1		7	14			13	16		10	1	14		
15 ~	2		1		1	1			7	14	1		13	14		8	1	8		
16 ~	1				1				2	15			13	7		7		9		
17 ~	2				4	1			13	10			8	17		1		9		
18 ~					2	1	1	1	11	10			10	10			2	3		
19 ~									6	10			10	15		11	2	5		
20 ~					3	1			16	13			13	18		4	4	4		
21 ~					2	4			14	11			8	15		7	1	5		
22 ~					3	1	1		9	10			9	16		10	4	12		
23 ~					3	7			11	8			5	11		8	1	7	1	
Nov. 23 0 ~	2				4	6			8	8	1		6	5		2	3	1		
1 ~									2	10	2		10	2				2	1	
2 ~					3	11			4				6	4		4	2	2		
3 ~	7				3	13	1		7	5			5	5		3	2	5		
4 ~	2				3	3							2	4						
5 ~	10				4	12			3	8			6	3						
6 ~	1				2	6			4	1	1		1			1				
7 ~	4				5	6			1	3			3	1				2		
8 ~	5				2	5			3	4				1						
9 ~	1				2	1										2				
10 ~	4				6				4	1			1					3		
11 ~	4				4				2	2										
12:00~																				
計	46	0	3	0	41	92	11	3	142	212	4	1	184	184	1	0	102	27	97	5

【A】 他の雌牛に乗駕した回数

【B】 他の雌牛から乗駕された回数

【C_B】 ♂_Bへ接近・接触した回数【C_S】 ♂_Sへ接近・接触した回数

アフリカ象（雄）、インド象（雌）の新鮮尿、または凍結保存尿を供試した。反応検査は農学部
のヤギ舎内で、8、9、10、11月中に各1回行った。尿は噴霧器に入れ、ヤギの鼻先に続けて2
回噴霧したのち、反応出現の有無および出現した場合の持続時間をしらべた。同一個体を用いて
試行を反復する場合は、原則として10分間以上の間隔をおいた。

供試した哺乳動物10種の尿は、いずれも被験ヤギ10頭中3頭以上にフレーメンを誘起することが
できた（表8、9、図8）。尿の種類による反応の差は明確でなかったが、ヤギ、豚、日本カモ

シカ、オランウータン、アフリカ象の尿の中に比較的強い反応を起こさせるものがあった。被験ヤギの反応には明らかな性差がみられ、雌ヤギの反応は皆無か微弱であった。また、雄ヤギの反応には個体差がみられ、うち1頭は供試尿すべてに反応を示した。去勢ヤギの反応には、雄型または雌型に近いものがみられた。

以上、フレーメンは異種動物の尿でも起こし得るものであり、同種動物の発情個体からの性フェロモンに限定されるものではないことが確認された。

表.8 家畜の尿によるヤギのフレーメン誘起

噴霧材料	ヤギ												羊							
	♂幼			♂1			♂2			♂3			♀1	♀2	♀3	♂	♀			
	A	B		A	B		A	B		A	B		A	B		A	B	A	B	
ヤギ (♂)尿	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
(♀)尿	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
羊 (♂)尿	+		+		-	+		+				-	+	-	-	-	-	-	-	-
牛 (幼♀)尿	-		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
(♀)尿	+		+		+	+		+				-	+	-	-	-	-	-	-	-
豚 (幼♂)尿	+		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
(♀)尿	-		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

フレーメン持続時間 [-] 0 秒
 [+] 1 ~ 19
 [+] 20 ~ 39
 [+++] 40 ~

試行日 [A] 1986.8.20
 " " 9.16
 [B] " 10.10
 " 11.22

表9. 動物園動物の尿によるヤギのフレーメン誘起

噴霧材料	ヤギ												羊							
	♂幼			♂1			♂2			♂3			♀1	♀2	♀3	♂	♀			
	A	B		A	B		A	B		A	B		A	B		A	B	A	B	
純種 (幼♂)尿	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
(幼♀)尿	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
(♀)尿	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
(発情♀)尿	+		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
アフリカ水牛 (♂)尿	+		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
虎 (♀)尿	-		+		+	+		+				-	+	+	-	-	-	-	-	-
チンパンジー (♀)尿	-		+		+	+		+				+	-	-	-	-	-	-	-	-
ヒト (♀)尿	-		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
アフリカ象 (♂)尿	-		+		+	+		+				-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

噴霧材料	ヤギ		
	♂1	♂2	♂3
アフリカ象 (♂)尿	○50	○18	○35
	○15	○15	○10
	○7	○10	○15
	○2	○3	○10
	●	○3	○10
		○2	○15
		●	○5
			○5
			○10
			○10
			●
日本カモシカ (発情♀)尿	○37	○14	○12
	○30	○2	○22
	○17	○2	○17
	○35	○5	○13
	○16	○15	○17
	○2	○5	○13
	○25	●	○17
	○20		○7
	○10		○17
	○15		○15
	○17		○22
	○18		○5
	○6		○12
	○2		●
	○8		
	○12		
	○22		
	○9		
	○7		
			●

図8. 雄ヤギにおけるフレーメン消失までの尿の噴霧回数
 1. 数値はフレーメン出現時の持続時間(秒)を示す。
 2. ○反応あり
 ●反応なし

総 括

本研究は、ヤギ、牛など反すう動物の繁殖にフェロモンが関与していることを確かめ、フェロモンによる繁殖機能制御の可能性を追求することを主目的とした。

われわれは、繁殖季節に強く発現する雄ヤギのにおい成分が、主に4-エチル脂肪酸で構成されていることを明らかにしてきた。本研究では天然のにおい、および有機合成したにおい物質が、フェロモンとしての効力をもつかどうかをしらべた。リリーサーフェロモン効果をしらべるためには、T字路試験法を導入して、雌ヤギの行動を解析した。その結果、視覚の影響を遮断した場合も、発情した雌ヤギは成熟雄ヤギの存在する方向を選択し、雄ヤギのにおいに性誘引作用のあることが示された。一方、プライマーフェロモン効果については、非繁殖季節末期に雌ヤギを雄ヤギと隣接するように配置して、発情出現に及ぼす影響をしらべた。また、野外実験として合成4-エチルオクタン酸の効果を長野県下のヤギ牧場でしらべた。その結果、同処理によって過去の記録よりも早い時期に発情が現れた。このように、雄ヤギのにおいにはリリーサーおよびプライマーの両フェロモン効果が見いだされた。特に後者の場合は、合成物質による繁殖季節到来促進の可能性が示された。4-エチル脂肪酸のヤギの皮脂における出現を、性および年齢との関連でしらべた結果、成熟雄ヤギでは4-エチル脂肪酸が主であり、一方、成熟雌ではイソ、アンチイソおよび飽和長鎖脂肪酸が主であることがわかった。また、未成熟ヤギの場合は雌雄とも飽和長鎖脂肪酸が主であった。

牛は、まだ性フェロモンの存在が実証されていないので、附属農場において数回にわたり観察実験を行った。しかし、牛の場合は、ヤギのようなヒトに感知される特異臭がないので、観察は主に、発情雌牛に対する雄牛の選択行動に視覚がどの程度関与しているかについてしらべた。そのため、複数の雌牛を繋留し、発情時の性行動が抑制された条件下で雄牛の行動を追跡した。観察は5月の舎外、7-8月の放牧地、および12月の舎内で行った。その結果、視覚刺激の影響が抑えられても、雄牛は発情牛を選び出すことができ、複数の発情牛に対する交配行動にも規則性があることがわかった。しかし、牛の場合はフェロモンが存在するとしても遠距離には及ばないと思われること、夏季高温条件下では雄牛の発情牛発見および交配の能力が著しく低下すること、視覚刺激を抑止すると繁殖効率がやや低下することが見いだされた。

その他、雌牛の交配行動に及ぼす雄牛の影響についての検討、および日本カモシカなど哺乳動物10種の尿によるフレーメン誘起試験を行った。

Pheromonal control of reproductive function in ruminants

J. Masaki, H. Sasada, T. Sugiyama* and M. Ohta**

Laboratory of Animal Reproduction.

* Laboratory of Pesticide and Biorganic Chemistry, and

**University Farm, Faculty of Agriculture,

Tohoku University, Sendai, Japan.

We have found in the goat that main constituents of male odor are 4-ethyl fatty acids. In the present study pheromonal effect of this odor, natural and synthetic, was investigated. Observation on the goat's behavior with T-maze showed that the estrous female could be attracted to the mature male even in the absence of visual stimuli. Introduction of male or spraying of synthetic 4-ethyl octanoic acid (possessing male goat odor) during mid-August accelerated initiation of breeding season in the goat. The results present a possibility that the male goat odor possesses both releasing and priming effects.

In cattle, observation was made about the reproductive behavior and effect of the olfactory stimuli. Bulls could choose estrous cows definitely without visual stimuli. However, the accuracy and reproductive efficiency somewhat lowered. Estrus detection ability of bulls with visual and olfactory senses declined under the high ambient temperature. The results show that in the cattle olfactory stimuli from female affect in part on the sexual behavior of male and thus reproductive efficiency.

Fatty acids in the sebum of goats were analyzed. 4-Ethyl fatty acids were the major components in mature males, while iso-, anteiso-, and normal fatty acids were the major ones in females. Normal fatty acids predominated in the sebum of immature goats of both sexes.

Urine of 10 mammals including five ruminants was effective to induce flehmen in the goat.

(Grant-in-aid for Scientific Research from Ministry of Education, Science and Culture of Japan, No. 58860043)

参 考 文 献

- 佐々田比呂志, 雄ヤギの特異臭に関する研究, 東北大学博士論文, 1981.
- Sugiyama T., Sasada, H., Masaki, J. & Yamashita, K. Unusual fatty acids with specific odor from mature male goat. *Agric. Biol. Chem.*, 45(11), 2655-2658, 1981.
- Sasada, H., Sugiyama, T., Yamashita, K. & Masaki, J. Identification of specific odor components in mature male goat during the breeding season. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 54(6), 401-408, 1983.
- 正木淳二, プロスタグランジン投与牛群の繁殖に関する生理・生態学的研究, 昭和58年度科研費報告書, 1984.