1～3 週齢および 6～8 週齢における子羊とその母羊の音声構造

苗 川 博 史

湘南工科大学附属高等学校, 藤沢市 251-8511

(2006 年 10 月 16 日受理)

緒 言

動物が有声音を発声する際に、肺からの気流が通常は閉じている声門に吹き付けられると声門が開閉運動するようになり、この開閉の周期は音声の基本周期であり、その逆数である周波数を音声の基本周波数（ピッチ）と定義されている³⁾。また、発声する際には声門から唇の区間である声道に至るまでに舌、歯、唇などの調音器官の影響を受けており、調音器官がいろいろな位置・形をとると、伝道特性が変わる。この声道内で音が共鳴する周波数成分のことをホルマントと呼んでいる³⁾。ヒトの場合、年齢・性別によってホルマントが変化する主な要因は声道の長さの違いであり、低年齢での男女の識別にはホルマントの違いが有効であることが報告されている⁴⁾。一方、基本周波数は子供、女性、男性の区別にはかなり有効であるが、年齢的な指標としては個人差が大きいために有効ではないとされる⁴⁾。基本周波数とホルマントの間にはかなりの相関関係が認められることが報告されており、基本周波数の低い発声者のホルマントは基本周波数の高い発声者のホルマントに比べ一般に低い⁴⁾。

このようにヒトにおいては、基本周波数とホルマントの構造が年齢、性別によってどのように変化するかの報告はあるが、家畜の音声に関するそれは極めて限られており詳しく調べられているわけではない。SHILLITO WALSER^ら¹¹⁾は、クランフォレスト種、ダレスブレッド種、ヤコブ種、ボーダーレスター種の 4 品種による羊の音声（鳴き

声）の構造上の変化について報告している。この中で、ボーダーレスター種は発声時間が最も長く、基本周波数とホルマントが最も低く、逆にクランフォレスト種は、発声時間が最も短く、基本周波数とホルマントが最も高いなど、成羊における品種間の違いを明らかにしている。しかし子羊においては、著しい特徴は見られなかったと報告している。また SHILLITO WALSER^ら¹²⁾は、母羊の音声（鳴き声）を識別する上で基本周波数とホルマントは重要であることを統計的に解析した。

音響分析の目標の 1 つは、音声のホルマント構造を推定することにある⁵⁾。ホルマントのなかで重要なものは低いほうの 3 つか 4 つのホルマントとされ、ホルマントは低いほうから第 1 ホルマント、第 2 ホルマントと番号を付して呼ばれる。とくに第 1 ホルマントは主に舌の高低によって変化し、第 2 ホルマントは主に舌の前後すなわち前舌部分から後舌部分までの舌の位置の違いによって変化し、また舌の緊張度は発声時間と相関があるとされる⁵⁾。

本報告は、1～3 週齢および 6～8 週齢における子羊とそれらの母羊間の基本周波数、ホルマント、発声時間を比較検討することにより、母子羊の音声構造の基礎的知見を得ることを目的として行った。

材料および方法

供試動物は、北海道 H 牧場で飼養された 1～3 週齢における子羊とその母羊 5 組のサフォーク種（実験 I）および 6～8 週齢における子羊とその母

Jpn. J. Sheep Sci., 43 : 7-12, 2006

The vocal structure at the time of onset in one to three week-old and six to eight week-old lambs and ewes
Hirofumi NAEKAWA

Senior High School Attached to Shonan Instituted of Technology, Fujisawa-shi 251-8511, Japan

羊 14 組からなる 4 品種（サフォーク種、サフォーク雑種第一代、サフォーク雑種第二代、フィニッシュランドレース種）（実験Ⅱ）を対象とした。音声の記録は、羊舎内における母子羊の発声をテープレコーダ（アイワコンパクトカセットデッキ）により収録した。音声の解析は、収録した音声記録をもとに必要部分を抽出し、ソナグラフ（リヨン SG-07）で行った。解析項目は、発声の基本周波数、第 1 ホルマント、第 2 ホルマント、発声時間についてであり、後に分析結果を数値データとして算出した。統計処理は母羊および子羊の口の開閉間（実験Ⅰのみ）、口の開閉を込みにした 1～3 週齢の母子羊間と 6～8 週齢の母子羊間（実験ⅠとⅡ）、1～3 週齢における子羊を雌雄間に分けた時と 6～8 週齢の雌雄間における発声（実験ⅠとⅡ）の基本周波数、第 1 ホルマント、第 2 ホルマント、発声時間を Mann-Whitney の検定によりそれぞれ比較検討した。また母羊の品種間の違い（実験Ⅱ）は Kruskal-Wallis の検定により行った。

結 果

実験Ⅰ

口の開閉によって母羊の基本周波数は異なり、開口声の方が閉口声よりも平均 18 ヘルツ高くその差は有意であった（ $P < 0.05$ 、表 1）。母羊の第 1 ホルマントは閉口声の方が開口声よりも平均 86 ヘルツ高かった（ $P < 0.05$ 、表 1）。また発声時間は母羊においては開口声の方が閉口声よりも平均 0.17 秒長く、子羊においても開口声の方が閉口声よりも平均 0.23 秒長く、その差はいずれも有意であった（ $P < 0.05$ 、表 1）。

口の開閉を込みにした 1～3 週齢における母子

羊の基本周波数は、子羊の方が母羊よりも平均 173 ヘルツ高かった（ $P < 0.05$ 、表 2）。また口の開閉を込みにした 1～3 週齢における子羊の基本周波数は、雄子羊の方が雌子羊に比べて平均 45 ヘルツ高くその差は有意であった（ $P < 0.05$ 、表 3）。さらに発声時間は雄子羊の方が雌子羊より平均 0.24 秒長かった（ $P < 0.05$ 、表 3）。

実験Ⅱ

6～8 週齢における母子間の基本周波数は、子羊の方がそれらの母羊よりも平均 183 ヘルツ高かった（ $P < 0.05$ 、表 2）。また子羊の第 1 ホルマントはそれらの母羊よりも平均 256 ヘルツ高くその差は有意であった（ $P < 0.05$ 、表 2）。第 2 ホルマントも子羊の方がそれらの母羊よりも平均 655 ヘルツ高かった（ $P < 0.05$ 、表 2）。6～8 週齢における母羊の基本周波数は、1～3 週齢の母羊と比べ平均 18 ヘルツ高く、第 1 ホルマントは平均 168 ヘルツ低く、その差はいずれも有意であった（ $P < 0.05$ 、表 2）。また 6～8 週齢における子羊の第 2 ホルマントは、1～3 週齢に比べ平均 686 ヘルツ高く、その差は有意であった（ $P < 0.05$ 、表 2）。6～8 週齢における雌雄子羊の第 1 ホルマントは、雄子羊の方が雌子羊よりも平均 500 ヘルツ高かった（ $P < 0.05$ 、表 3）。

また 6～8 週齢における雌雄子羊の第 2 ホルマントは、1～3 週齢と比べそれぞれ平均 838 ヘルツ、平均 573 ヘルツ高く、その差は有意であった（ $P < 0.05$ 、表 3）。

品種別における母羊の基本周波数、第 1 ホルマント、第 2 ホルマント、発声時間は表 4 に示した。フィニッシュランドレース種は他種に比べ基本周波数が最も高かったが、第 1 ホルマントと第 2 ホルマントは最も低く、発声時間も他品種に比べ最も短かった（Kruskal-Wallis の検定、 $P < 0.05$ ）。

表 1. 口の開閉における母子羊の基本周波数（Hz）、ホルマント（Hz）、発声時間（秒）の違い

1～3 週齢				
開閉	基本周波数	第 1 ホルマント	第 2 ホルマント	発声時間
母羊開	150.2±21.7 ^a (43)	709.5±324.1 ^a (42)	1485.0±494.4 (40)	0.78±0.26 ^a (42)
閉	132.8±20.7 ^b (18)	795.5±168.3 ^b (22)	1470.0±275.7 (15)	0.61±0.17 ^b (18)
子羊開	327.9±40.1 (28)	808.9±138.1 (28)	1297.1±376.0 (17)	0.82±0.21 ^a (24)
閉	317.7±56.1 (13)	732.1±246.9 (14)	1338.3±327.8 (12)	0.59±0.35 ^b (14)

平均値±標準偏差、同列内 a-b 間： $P < 0.05$ (Mann-Whitney の U 検定)、() 解析例数

表 2. 各週齢における母子羊の基本周波数 (Hz), ホルマント (Hz), 発声時間 (秒) の違い

1～3 週齢				
	基本周波数	第 1 ホルマント	第 2 ホルマント	発声時間
母	145.1±22.7 ^{ac} (61)	754.7±295.8 ^c (64)	1472.7±453.3 (55)	0.74±0.24 (60)
子	318.6±52.5 ^b (41)	773.8±175.7 (42)	1305.0±353.3 ^c (29)	0.75±0.28 (38)

6～8 週齢				
	基本周波数	第 1 ホルマント	第 2 ホルマント	発声時間
母	163.5±26.5 ^{ad} (57)	585.9±186.1 ^{ad} (57)	1335.9±358.2 ^a (57)	0.78±0.19 (57)
子	347.6±97.7 ^b (12)	841.7±139.5 ^b (12)	1991.7±377.7 ^{bd} (12)	0.91±0.31 (12)

平均値±標準偏差, 同列間 a-b・同行同項目内 c-d 間: P<0.05 (Mann-Whitney の U 検定)

() 解析例数: 1～3 週齢における母子の解析は口の開閉をそれぞれ込みにした数を表す

表 3. 各週齢における雄子羊と雌子羊の基本周波数 (Hz), ホルマント (Hz), 発声時間 (秒) の違い

1～3 週齢				
	基本周波数	第 1 ホルマント	第 2 ホルマント	発声時間
雄	351.4±19.6 ^a (11)	745.5±145.7 (11)	1222.7±180.8 ^c (11)	0.92±0.19 ^a (10)
雌	306.5±55.9 ^b (30)	783.9±196.4 (31)	1369.4±421.5 ^c (18)	0.68±0.29 ^b (28)

6～8 週齢				
	基本周波数	第 1 ホルマント	第 2 ホルマント	発声時間
雄	362.0±77.9 (5)	1320.0±544.9 ^a (5)	2060.0±343.5 ^d (7)	0.96±0.09 (5)
雌	337.3±114.7 (7)	821.4±128.6 ^b (7)	1942.9±419.8 ^d (7)	0.87±0.41 (7)

平均値±標準偏差, 同列内 a-b 間・同列同項目内 c-d: P<0.05 (Mann-Whitney の U 検定)

() 解析例数: 1～3 週齢における雌雄の解析は子羊の口の開閉をそれぞれ込みにした数を表す

表 4. 品種別における母羊の基本周波数 (Hz), ホルマント (Hz), 発声時間 (秒) の違い

品種	基本周波数*	第 1 ホルマント*	第 2 ホルマント*	発声時間*
サフォーク種	162.9±28.6 (45)	592.2±168.2 (45)	1351.1±358.3 (45)	0.79±0.19 (45)
サフォーク雑種第 1 代	158.3±17.6 (3)	550.0± 50.0 (3)	1383.3± 28.9 (3)	1.10±0.10 (3)
サフォーク雑種第 1 代	159.2±13.6 (6)	650.0±250.9 (6)	1300.0±379.5 (6)	0.71±0.21 (6)
フィニッシュランドレース種	185.0±13.2 (3)	400.0±346.4 (3)	1133.3±577.4 (3)	0.60±0.00 (3)

平均値±標準偏差, ※ 品種間差 P<0.05 (Kruskal-Wallis 検定)

() 解析例数: 各項目ごとの解析総数は 6～8 週齢における母羊の解析回数の内訳を表す

考 察

母子羊ともに開口声の方が閉口声より基本周波数が高く, 発声時間が長い傾向を示すことは, 既報⁶⁾にも示したとおりである。口の開閉にともなう基本周波数の違いは, 母羊において開口声の方

が閉口声よりも高く (P<0.05), 発声時間は母羊, 子羊においても開口声の方が閉口声よりも長かった (P<0.05) ことから, 口の開閉による発声は母子間の適応的な関係を示唆した。とくに 1～3 週齢において母羊の閉口時の第 1 ホルマントは, 開口時に比べ高く (P<0.05), 舌が低い位置で発声

していることが考えられた。また母子共に開口時の発声時間が閉口時に比べてそれぞれ長く ($P < 0.05$)、舌の緊張状態と持続時間には相関があるとされており¹⁾、羊においても開口時の発声は閉口時に比べて緊張状態に置かれていることを示唆した。SHILLITO WALSER ら⁹⁾は、母子羊間の音声を口の開閉による2つの基本型に大別する中で、閉口声は母子双方が互いに離れているときや緊張を強いられたときに見られ、援助を求めたり不安を表すものと解釈している。一方、閉口声は、母子双方が近くにいたりときや母羊が警戒や危険を感じ取るなどの軽い緊張状態を表す発声と解釈している。ウシの音声を研究したHOUPとWALSKI²⁾は、閉口声は新生子牛を世話する母牛が発声することを報告しており、今回の口の開閉による母子羊の発声もウシと同じ機能をもつものと考えられた。母山羊と子山羊を生後15週齢調べたLICKLITER⁸⁾は、母山羊の低い発声は子山羊と結びつけるためのものと報告している。子羊が生後、初めて耳にするのは周波数の低い喉を鳴らす母羊の音声で、この音声は自然界では遠くまで聞こえず、捕食者にさとられず安心して母子が交わすことのできる適応上の機能を含んでいると考えられる^{1,6)}。母子間の基本周波数は、1~3週と6~8週齢において子羊の方がそれらの母羊よりも高かった ($P < 0.05$) ことから、発声構造の特徴が示された。1~3週齢において子羊の雌雄間における基本周波数は雄が雌に比べ高く ($P < 0.05$)、また発声時間は雄の方が雌より長かった ($P < 0.05$) ことから、性差のあることが示唆された。ヒトの男性の平均的な基本周波数は約120ヘルツ、女性の平均的な基本周波数は約225ヘルツ、幼児の平均的な基本周波数は約300ヘルツとされるが取りうる幅は広いとされている⁴⁾。またヒトの子供は成人よりも声道が短く声帯も短いため、成人よりも高い基本周波数とホルマント周波数で話すとされている⁵⁾。子羊の基本周波数は、成羊のそれよりも高いことはヒトと同一であったが、子羊間においては雄のほうが雌よりも基本周波数が高い傾向を示すことがわかった。

6~8週齢において雌雄子羊の第1ホルマントは、雄の方が雌よりも高く、また子羊の第1ホルマントは、母羊のそれよりも高かったことから、

6~8週齢における雄子羊は雌子羊に比べ、また子羊は母羊に比べて舌が低い位置で発声していると考えられ個体間の適応的関係を示唆した。さらには第2ホルマントも子羊の方がそれらの母羊よりも高く ($P < 0.05$)、子羊は母羊に比べて舌が前よりの位置で発声していると考えられ母子間の適応的関係を示唆した。6~8週齢の雌雄の第2ホルマントは1~3週齢と比べて、それぞれ高く ($P < 0.05$)、6~8週齢の雌雄の子羊は舌が前の位置で発声していると考えられた。子羊の母羊に対する発声は、吸乳にともなう栄養補給のための個体維持行動の機能のほか、発声することで母子間の絆を維持しようとする世話要求行動の機能をも併せ持っているものと考えられた。また、母羊においては、発声することで母子間の絆を維持しようとする世話行動の機能をもつものと考えられた⁷⁾。SHILLITO WALSERとHAGUE¹⁰⁾は、母羊の音声は口を閉じた母子間の発声と応答の有無が品種間によって異なり、また特徴のあるホルマント構造をもっていることを報告している。今回の成羊における4品種間の発声構造には違いが見られ、とくにフィニッシュランドレース種の基本周波数、ホルマント構造、発声時間には品種の特性が現れていた。また品種による発声構造の違いは、母子間の伝達に共有する情報があることが示唆された。

1~3週齢と6~8週齢の子羊およびその母羊においては、それぞれ特徴のある基本周波数、ホルマント、発声時間が示され、母子羊間、子羊の性別、口の開閉、品種によって発声構造が異なり、母子羊間には特徴のある音声構造をもつことが示された。

謝 辞

ソナグラフによる音声解析には、元科学警察研究所の鈴木隆雄氏にお世話になった。ここに記して深謝する。

要 約

1~3週齢および6~8週齢における子羊とそれらの母羊間の基本周波数、ホルマント、発声時間の音声構造について検討した。1~3週齢において母羊の開口時の基本周波数は、閉口時に比べ高く ($P < 0.05$)、また母羊の第1ホルマントは、閉口声

の方が開口声よりも高く ($P < 0.05$), 舌が低い位置で発声していると考えられ, 母羊から子羊への世話行動を示唆した。子羊の基本周波数は, 1~3 週齢において雄の方が雌に比べて高く ($P < 0.05$), また発声時間は雄の方が雌より長かった ($P < 0.05$) ことから, 性差のあることが示唆された。基本周波数は, 1~3 週齢および 6~8 週齢ともに子羊の方が母羊よりも高かった ($P < 0.05$) ことから, 発声構造の特徴が示された。6~8 週齢における子羊の第 1 ホルマントは, 雄子羊の方が雌子羊よりも高く ($P < 0.05$), また子羊の方がそれらの母羊よりも第 1 ホルマントが高く ($P < 0.05$), いずれにおいても舌が低い位置で発声していると考えられた。さらには 6~8 週齢における第 2 ホルマントも子羊の方がそれらの母羊よりも高く ($P < 0.05$), 舌が前寄りの位置で発声していると考えられた。母子羊間の基本周波数は, 6~8 週齢の方が 1~3 週齢より高く ($P < 0.05$), 発達過程の行動と音声の多様性を示唆した。子羊の雌雄間における第 2 ホルマントは 6~8 週齢の方が 1~3 週齢よりも高く ($P < 0.05$), 生後 6~8 週齢においては 1~3 週齢に比べて, 雌雄ともに舌が前よりの位置で発声していると考えられた。6~8 週齢における子羊の第 1 ホルマントは, 雄が雌に比べて高く ($P < 0.05$), 6~8 週齢の雄子羊は雌子羊と比べて舌が低い位置で発声していると考えられた。また発声時間は 1~3 週齢の方が 6~8 週齢よりも長く ($P < 0.05$), 子羊から母羊への世話要求行動を示唆した。雄間の第 1 ホルマントと雌間の第 2 ホルマントは, それぞれ生後 6~8 週齢の方が生後 1~3 週齢よりも高く ($P < 0.05$), 6~8 週齢の雌雄子羊の発声は発達段階にともなう舌の高低および前後の使い分けによるものと示唆された。発声時間は母子羊において開口声の方が閉口声よりも長かった ($P < 0.05$) ことから, 口の開閉による発声は個体間における適応的な関係にあることが示された。成羊における 4 品種間の発声構造には違いが見られ, とくにフィニッシュランドレース種の基本周波数, ホルマント構造, 発声時間には品種の特性が現れていた。

文 献

- 1) BRIGHT, M., 動物たちの話し声 (熊田清子訳). どうぶつ社. 東京. 186-191. 1986.
- 2) HOUP, A.W. and J.R. WOLSKI, Domestic animal behavior for veterinarian and animal scientists. 1st ed. 23-24. The Iowa State University Press. Ames, Iowa. 1982.
- 3) 石井直樹, 音声工房を用いた音声処理入門. 68-69, コロナ社. 東京. 2002.
- 4) 柏谷英樹・鈴木久喜・城戸健一, 年令, 性別による日本語 5 母音のピッチ周波数とホルマント周波数の変化. 日本音響学会誌, **24** (6): 355-364. 1968.
- 5) KENT, R.D. and C. READ, 音声の音響分析 (荒井隆行・菅原勉監訳). 6-251. 海文堂. 東京. 1996.
- 6) MARCHANT-FORBE, J.N., R.M. MACHANT-FORDE and D.M. WEALEY, Responses of dairy cows and calves to each other's vocalizations after early separation. *Applied Animal Behaviour Science*, **78**: 19-28. 2002.
- 7) 苗川博史, 生後 3 週間のヒツジ母子間における音声コミュニケーションによる接近のイニシアチブとその変化. 日本畜産学会報, **75** (2): 228-239. 2004.
- 8) LICKLITER, R.E., Mother-infant spatial relationships in domestic goats. *Applied Animal Behaviour Science*, **13**: 93-100. 1984/1985.
- 9) SHILLITO WALSER, E., Vocalization in sheep. *Journal of Physiology, Proceedings of the Physiological Society*, **226**: 45-46. 1972.
- 10) SHILLITO WALSER, E. and P. HAGUE, Variations in the structure of bleats from sheep of four different breeds. *Behaviour*, **75**: 22-35. 1980.
- 11) SHILLITO WALSER, E., E. WALTERS and P. HAGUE, A statistical analysis of the structure of bleats from sheep of four different breeds. *Behaviour*, **77**: 67-76. 1981.
- 12) SHILLITO WALSER, E. WALTERS and P. HAGUE, Vocal communication between ewes and their own and alien lambs. *Behaviour*, **81**: 140-151. 1982.

Summary

In this study we examined the fundamental frequency, formants, and vocal structure at the time of onset in 1 to 3 week-old and 6 to 8 week-old lambs and ewes. We found that fundamental frequency between ewes with open mouths at 1 to 3 weeks was higher than in lambs with closed mouths, while the first formant (F1) in ewes was higher between ewes with a closed mouth than with an open one. We took this as an indication of vocalization based on a low tongue position and suggestive of maternal attention displayed by ewes to their care.

We further found that fundamental frequency was higher in 1 to 3 week-old male lambs compared to females of the same age group, and that vocalization duration was also longer in males than in females, suggesting gender differences being already developed at this stage of lamb development. Fundamental frequency was also higher in both the 1 to 3 week-old and 6 to 8 week-old lamb groups than between ewes, suggesting a number of distinctive features between lamb and ewe vocalization structure.

Our study revealed that the F1 among 6 to 8 week-old lambs was higher between males than in female lambs, and that the F1 was higher overall between lambs than in ewes. Both of these findings are thought to be as a result of a low tongue position in lambs.

We also found that the second formant (F2) in 6 to 8 week-old lambs was higher between lambs than in ewes, indicating that vocalization in these cases was based on the forward location of the tongue. Through this study we were able to establish that the fundamental frequency between ewes and lambs was higher in 6 to 8 week-old lambs than in 1 to 3 week-old lambs, indicating a diversity in sound and development processes among the subjects. In both male and female lambs the F2 was higher in 6 to 8-week old lambs than in 1 to 3 week-old subjects a result of vocalization for both male and female 6 to 8 week-old lambs being based on the more forward location of the tongue in this group compared to 1 to 3-week old lambs.

The F1 in 6 to 8 week-old lambs was higher in males than in females, thought to be as a result of vocalization in male lambs being based on a lower tongue position than that of females. Our study also found that vocalization duration was longer in 1 to 3 week-old lambs compared to their 6 to 8 week-old counterparts, indicating a demand for attention and care on ewes between lambs.

F1 between males and F2 between females were both higher in 6 to 8-week old lambs than in 1 to 3 week-old lambs, which we took as being dependant on a separation between the high and low and forward and rear positioning of the tongue that accompanies the vocalization developmental stage in both male and female 6 to 8 week-old lambs. We also witnessed differences in developmental structures in 4 different varieties of ewes ; in particular the breed characteristics of fundamental frequency, formant construction, and duration of vocalization of the Finnish Landrace breed.