

口之島牛 (*Bos Taurus*) の成長曲線の作成とその特徴

○吉村文孝, 安藤洋

教育・研究技術支援室 生物・生体技術系

概要

生命農学研究科附属設楽フィールド（以下、設楽フィールド）では、日本在来であり野生集団に由来する口之島牛 (*Bos taurus*) を 2012 年までの 22 年間管理していた。口之島牛は外国牛からの遺伝子導入、選抜を受けず、野生種としての特徴、遺伝子を保持している。

本研究では日常管理で得た口之島牛の体重情報を用い、成長曲線を作成し、他種との比較により口之島牛の成長の特徴を明らかにすることを目的とし、口之島牛の非線形成長曲線を作成した。結果、口之島牛は他のウシよりも成長速度が特に遅いという、品種改良や遺伝子導入を受けたとは考えにくい成長特性を示した。以上より、口之島牛の成長特性は品種改良を受ける前の野生動物的なウシ科動物の成長特性を示すと考えられる。家畜化前の状態を保ち、その成長曲線を伴う長期記録を有する動物は世界的にも稀有であり、口之島牛の成長情報は畜産学だけではなく、動物学的にも貴重な情報となる。

1 緒言

生命農学研究科附属設楽フィールド（以下、設楽フィールド）では、日本在来であり野生集団に由来する口之島牛 (*Bos taurus*) を 1990 年 5 月 13 日～2012 年 8 月 7 日までの 22 年間管理していた。富田 (1996) によると、1918～1919 年にかけて鹿児島県トカラ列島諏訪之瀬島から同口之島に導入された家畜牛が山林に逃亡し、野生状態で生息してきたものが口之島牛の起源とされる。現在の和牛は明治時代に外国牛を用いた品種改良を受けたが、口之島牛は遺伝子導入、選抜を受けず、野生種としての特徴、遺伝子を保持している。

これまで口之島牛に関しては遺伝、行動、形態などの研究が行われてきた。その成果は印牧 (2014) などにまとめられているので本研究では割愛する。特に形態に関する研究としては、林田ら (1964) や大塚ら (1984)、印牧 (2014) によって体尺測定値を用いた体型の分析が行われている。しかしこれまでの形態学的研究は、体型（プロポーション）に着目したものが主で、個体成長の特性に関するものは行われていない。これは個体成長の記録には対象動物を長期間飼育する必要があるため、データ採取が容易ではないことに起因する。個体の成長は畜産現場において重要な要素であることに疑いはなく、和牛の原型とされる口之島牛の成長特性は育種学上重要な情報となる。また、大型獣であり、野生に近い動物の家畜化初期の成長特性を知ることには、人類の野生動物家畜化の変遷を知る上で重要な知見となる。

本研究では、22 年間の管理によって得た口之島牛の体重情報を用い、口之島牛の個体成長を示す成長曲線を作成し、他種との比較により口之島牛の成長特性を明らかにすることを目的とする。家畜化以前の野生種が現存し、その長期飼育記録を有する動物は世界的にも稀有であり、口之島牛の発育特性に関する情報は畜産学だけではなく、動物学的、人類史的にも貴重な情報となる。

2 材料および方法

名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター・設楽フィールドでは、1990 年に雄 1 頭、雌 3 頭の口之島牛を導入した。雄は民間牧場所所有の個体、雌は口之島で捕獲された個体であった。

さらに 1993 年に雄 2 頭、雌 3 頭を口之島で捕獲し、設楽フィールドに導入した。捕獲時点で妊娠していた雌が生産した個体（雄 3 個体、雌 1 個体）を加えた捕獲口之島牛のうち、雄 4 頭と雌 6 頭がその後の設楽フィールド口之島牛個体群の始祖となった。印巻（2013）によると、2012 年時点で設楽フィールドにおいて管理されていた個体と始祖牛間の平均世代数は雄 4.36（n=6）、雌 3.22（n=14）であった。

1991 年 9 月 27 日から 2012 年 7 月 31 日の期間に、動物の日常管理として約 1 か月間隔で測定した口之島牛の体重データから、口之島牛の成長曲線の作成を行った。雌雄のデータを分けて取り扱い、肥育、去勢などの成長に直接影響を及ぼす処理を行われた個体については、処理日以降のデータを排除した。また、口之島で捕獲された生年月日不明の個体については分析から除外した。雄では 35 個体による 561 回分の測定値を用い、雌では 27 個体による 1419 回分の測定値を用いた。体重測定時の牛の月齢は雄 0~189 ヶ月齢、雌 0~229 ヶ月齢であった。

Brody, Logistic, Gompertz, Bertalanffy の 4 つの非線形成長曲線モデル（表 1）について口之島牛の体重データを目的変数とし、月齢を説明変数とする非線形成長曲線の作成を試みた。各モデルへのあてはめには最小二乗法を用いた。作成したモデルそれぞれの式について、決定係数と赤池情報量規準（AIC）とを求め、最適モデルを選定した。決定係数は大きいほど式がもとのデータを説明していることを示し、AIC は小さいほどその式がもとのデータを説明していることを示す。

表 1. あてはめを試みた非線形成長曲線モデル式

名称	式
Brody	$Y_t = A(1 - Be^{-kt})$
Logistic	$Y_t = A / (1.0 + Be^{-kt})$
Gompertz	$Y_t = Ae^{-Be^{-kt}}$
Bertalanffy	$Y_t = A(1.0 - Be^{-kt})^3$

*A:成熟値、k:成熟速度、B:積分定数

さらに、口之島牛の成長上の特徴を明らかにするために、作成した口之島牛の非線形成長曲線を文献で報告されている他の牛のものと比較した。非線形成長曲線の作成には、その動物を長期間、人間の管理下に置かねばならない。しかし、家畜であるウシの雄はほとんどの個体が去勢されてしまうため、非去勢雄の非線形成長曲線の情報が乏しかった。従って本研究では雄に関しては口之島牛と黒毛和種との比較を行い、雌に関しては、他の 6 品種との比較を行った。

以下に、秋篠宮ら（2009）を参考に、比較に用いたウシ品種の特徴を記した。

黒毛和種は黒褐色の肉用品種で、日本で和牛と呼ばれる牛の 98% を占める品種である。各地で役用として用いられていた日本在来品種に大型の外国種を交配して改良され現在に至る。筋肉内に脂肪交雑（サシ）が入るのが特徴。

日本短角種は南部藩（岩手県盛岡周辺）を中心に飼われていた南部牛を基にした肉用牛である。当初、乳肉兼用品種を目指して改良がおこなわれたが、1957 年以降肉用として改良されている。枝肉歩留まりは 70% を越えるが、肉は赤身で市場評価が低い。

見島牛は山口県萩市の見島において飼われてきた黒褐色小型の日本在来牛である。西洋種と交配されることなく、日本在来種としての特徴を維持しており、1928 年に天然記念物に指定された。主に役用として利用されてきたが、近年は肉用としても利用されている。

ヘレフォードはイギリス、イングランド地方南西部ヘレフォード州原産の肉用品種である。日本にも複数回導入されたが、筋繊維の粗い肉質のため、日本人の嗜好に合わず定着していない。現在は肥育も当市とし

て利用される。

ホルスタインはオランダのフリースランド州からドイツのホルスタイン地方で飼われていた乳用品種である。日本で飼われている乳牛の99%を占めている。雌は乳生産に利用されるが、雄は去勢され肉生産に用いられる。

Anatolian Buffalo (*Bubalus bubalis*) はスイギュウ属 (*Bubalus*) に属するシリア、エジプト、南ヨーロッパで飼われてきたスイギュウの一種である。主に乳用と役用として利用されていた。1970年代に乳生産の高度化と農業の機械化、消費者の嗜好変化により、その数を劇的に減らし、現在ではトルコ北部に少数が残るのみの品種である。

3 結果

各非線形成長曲線モデルへの体重データを当てはめた際に求められたパラメーターを表2に示した。また、非線形成長曲線モデルごとへの決定係数およびAICを表3に示した。雄では決定係数、AICともにBertalanffyモデルを支持した。雌では決定係数、AICともにBrodyモデルを支持した。

以上より、口之島牛の雄の成長曲線は以下の式によって表される。数式はある月齢 t とその体重 Y_t との関係を示す。その線形を図1に示した。

$$Y_t = 449.215(1.0 - 0.579e^{-0.062t})^3$$

次に、口之島牛の雌の成長曲線は以下の式によって表される。その線形を図2に示した。

$$Y_t = 347.641(1.0 - 0.950e^{-0.036t})$$

表2. モデル式ごとに求めたパラメーター

	雄			雌		
	A	k	B	A	k	B
Brody	456.159	0.044	0.999	347.641	0.036	0.950
Logistic	442.722	0.098	5.702	340.194	0.071	4.102
Gompertz	447.114	0.071	2.304	342.710	0.053	1.910
Bertalanffy	449.215	0.062	0.579	343.932	0.048	0.501

*A:成熟値、k:成熟速度、B:積分定数

表3. モデル式ごとの決定係数と赤池情報量規準 (AIC)

モデル式	雄		雌	
	決定係数*	AIC**	決定係数	AIC
Brody	0.832	8.210	0.8771	7.055
Logistic	0.830	8.222	0.8699	7.111
Gompertz	0.835	8.189	0.8755	7.068
Bertalanffy	0.836	8.184	0.8769	7.056

*決定係数は大きなものほど適 (赤太字)

**AICは小さなものほど適 (赤太字)

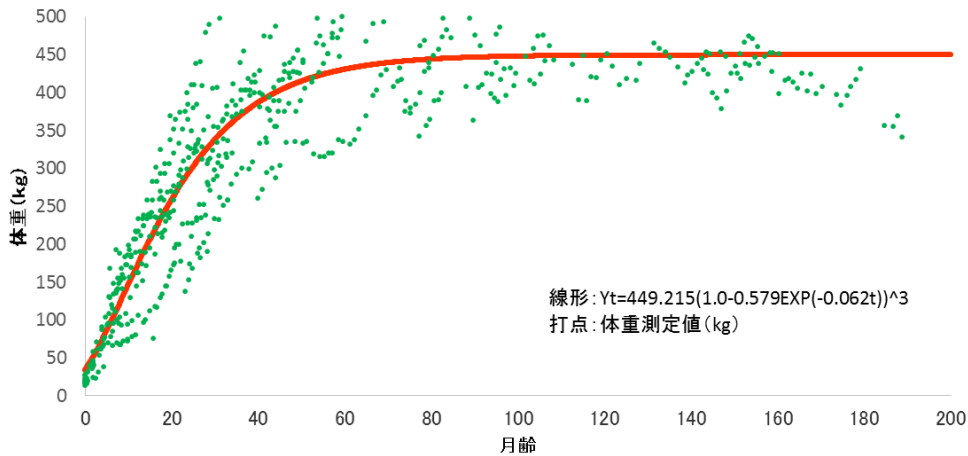


図 1. 口之島牛雄の非線形成長曲線と実測値の関係

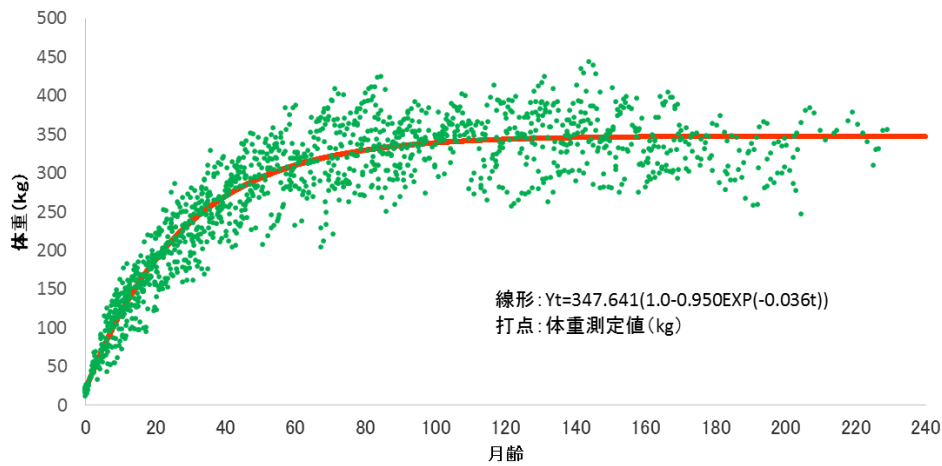


図 2. 口之島牛雌の非線形成長曲線と実測値の関係

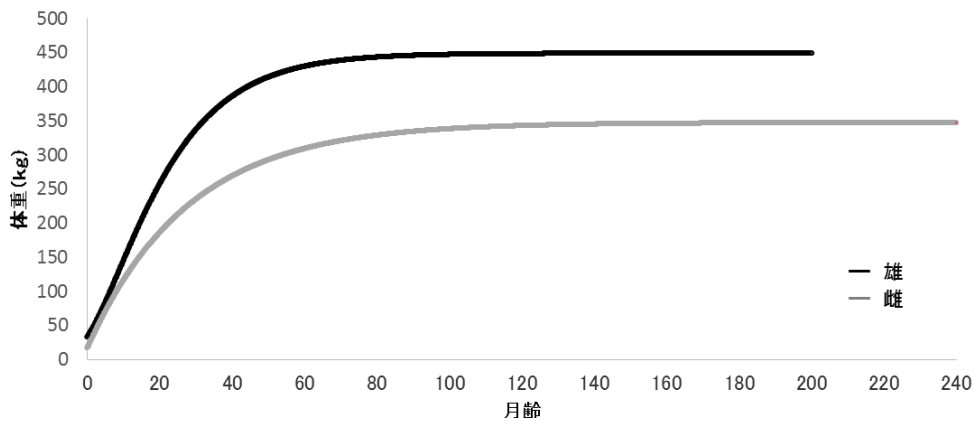


図 3. 口之島牛雌雄間の成長曲線の比較

口之島牛の雄と雌との非線形成長曲線を比較した結果を図 3 に示した。

次に、口之島牛と他のウシとの成長曲線の比較を行った。雄については、口之島牛と黒毛和種との比較を行った結果を図 4 に示した。雌については口之島牛と日本のウシ（黒毛和種、日本短角種、見島牛）との比較を行った結果を図 5 に示した。口之島牛と外国産牛（ヘレフォード、ホルスタイン、Anatlian Buffalo）との比較を行った結果を図 6 に示した。比較に用いたウシ品種と、その用途、非線形成長曲線式、出展を表 4

に示した。また、それぞれの成熟値 (kg) と 90%成熟値到達時期月齢とを表 5 に示した。

表 4. 比較したウシ品種とその非線形成長曲線式

	雄	雌	引用文献
黒毛和種	$Y_t=718.1e^{(-2.91255e^{(-0.16834t)})}$	$Y_t=453.85e^{(-2.72003e^{(-0.16834t)})}$	全国和牛登録協会(2004)
見島牛	-	$Y_t=256.4(1.0-0.9227e^{(-0.05361t)})$	米屋ら(2007)
日本短角種	-	$Y_t=655.3(1.0-e^{(-0.0415(t+2.372)})$	松川ら(1978)
ホルスタイン	-	$Y_t=566.3(1.0-65.1e^{(-3.6t)})^3$	Berry et al (2005)
ヘレフォード	-	$Y_t=552.0(1.0-0.944e^{(-0.042t)})$	細野ら(1983)
Anatolian Buffalo	-	$Y_t=538.4(0.0-0.966e^{(-0.0386t)})^{1.18}$	Sahin et al (2014)

表 5. 比較に用いたウシの成熟値と 90%成熟値到達月齢

	用途	雄		雌		引用文献
		成熟値(kg)	90%成熟時期(月齢)	成熟値(kg)	90%成熟時期(月齢)	
口之島牛	-	449.2	45.5	347.6	62.6	本研究
黒毛和種	肉	718.1	24.4	453.9	19.4	全国和牛登録協会(2004)
見島牛	肉・役	-	-	256.4	41.5	米屋ら(2007)
日本短角種	肉	-	-	655.3	53.2	松川ら(1978)
ホルスタイン	乳	-	-	566.3	27.2	Berry et al (2005)
ヘレフォード	肉	-	-	552.0	53.5	細野ら(1983)
Anatolian Buffalo	乳・役	-	-	538.4	62.9	Sahin et al (2014)

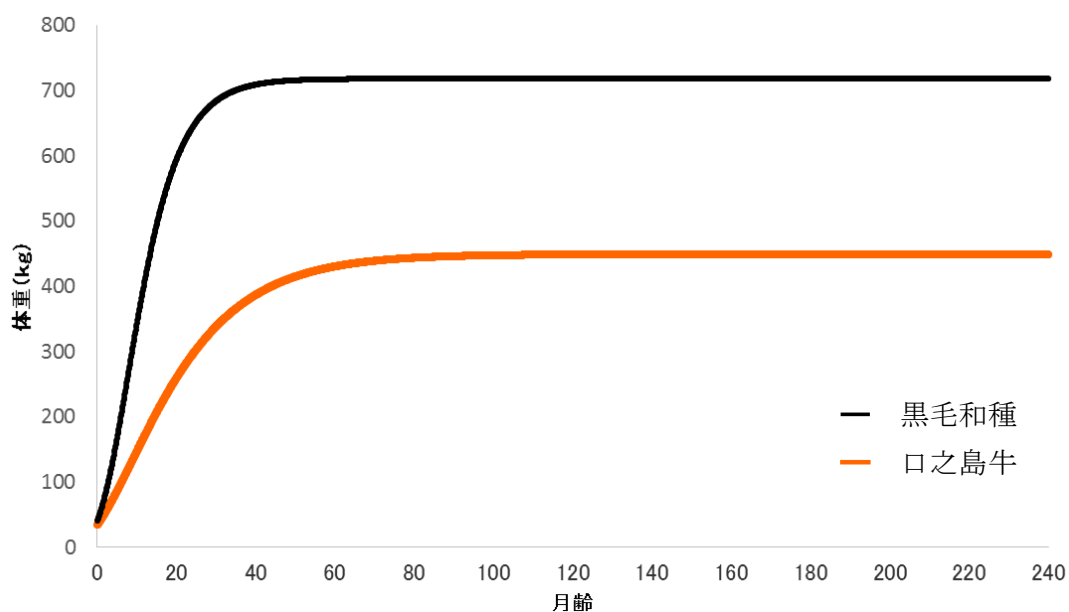


図 4. 雄の口之島牛と黒毛和種の成長曲線の比較

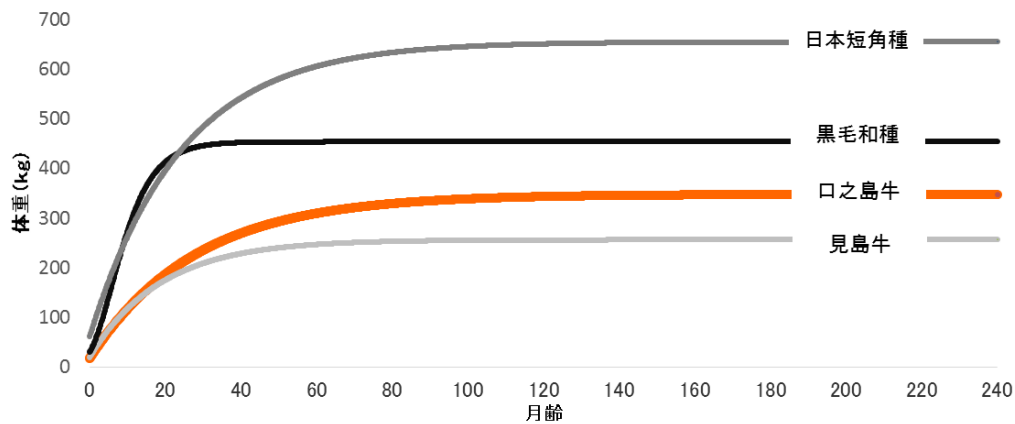


図 5. 雌の口之島牛と日本産ウシ品種との成長曲線の比較

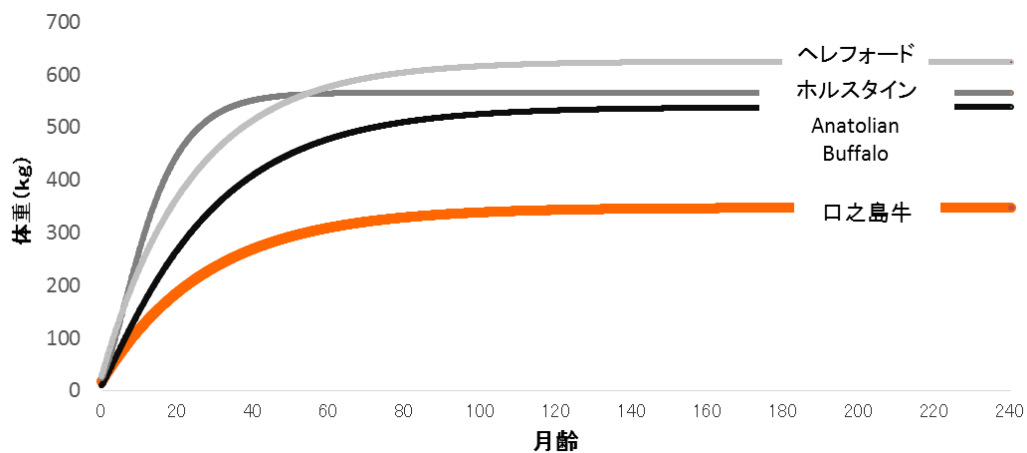


図 6. 雌の口之島牛と外国産ウシ品種との成長曲線の比較

4 考察

設楽フィールドでは、口之島牛を夏季には放牧され、冬季には牛舎内で管理していた。牛舎内における管理では、2~4頭を収容できる大部屋10室と単飼用個室6室とを利用し、ウシの順位制、優劣によりウシを各部屋に振り分け、平等に採餌できるよう心掛けた(安藤ら, 2013)。また、牛舎内管理の際には飼料として青刈りの草と自給サイレージ、輸入乾草を主に給与し、加えてふすまを1個体1日2kg程度与えていた。このため、本研究で作成した口之島牛の成長曲線は、島の個体群のものよりも成長速度では早く、成熟値では大きくなっている可能性を考えられる。

雌雄の口之島牛の成長曲線を比較すると、雄のほうが成長速度では早く、成熟値では大きかった。成熟値については黒毛和種と同じ傾向であったが、成長速度については黒毛和種と反対の結果となった。

非去勢雄の口之島牛と黒毛和種との比較では、黒毛和種のほうが成熟値では大きく、成長速度では早かった。産肉に利用される黒毛和種の特徴としてこの成長曲線は合目的であることから、反対に口之島牛は産肉用としては目的に適さない成長特性であると考えられる。

以下の比較は、雌牛同士によるものである。黒毛和種、日本短角種、見島牛との成長特性の比較では、成熟値について口之島牛は日本短角種、黒毛和種よりも小型で、見島牛よりも大きかった。成長速度ではこの4品種中口之島牛がもっとも遅い成長速度を示した。下桐ら(2006)によるAFLPによる口之島牛の系統解析によると、口之島牛は黒毛和種、褐毛和種、無角和種、日本短角種の4種和牛の外側に位置づけられたとされるが、成長特性に関しても、口之島牛は黒毛和種、日本短角種とは異なる特徴を示した。

原田ら（1998）の報告によると見島牛の体型は小型化を続けているとされる。また、役用牛だった黒毛和種の祖先の在来種は外国牛との交配を経て大型化したものの、脚の丈夫さを欠き役に適さなくなったとされる水間（2010）ことから、役用牛として大型であることは必ずしも利点とはならないと考えられる。見島牛の成長速度は口之島牛の 0.036 やヘレフォードの 0.042 よりも大きな 0.054 を示すことから、見島牛は一定の選抜を受けたと推測される。従って見島牛の成熟値についても純粹に近交退化と考えるよりも小型化へ選抜を受けた可能性が考えられる。見島は面積が矮小な割にかなりの起伏がある地形（原田ら、1998）であることから、田畑の面積も小さく、小型ウシのほうが好まれた可能性を考えられる。

Kawahara ら（2011）による口之島牛のゲノム解読によると、口之島牛はヨーロッパ系の家畜による遺伝的影響を受けない表現型を保っているとされる。Kawahara ら（2011）ではウシ属 (*Bovina*) の中では、ヘレフォード、ホルスタインが口之島牛に比較的近縁であるとされているため、本研究ではこの 2 品種との比較を実施した。ヘレフォード、ホルスタインとの比較では口之島牛の成熟値、成長速度は小さく遅いという相違を示した。成長特性に関しては口之島牛が肉生産、乳生産用途品種とは異なる特徴を持つと言える。

成長曲線は肉や乳を生産する品種に対し改良を念頭に作成される。そのため、野生動物や品種改良を受けていない低生産性の動物の成長曲線は少ない。本研究で比較に用いた Anatlian Buffalo は生産性の低さからウシとの競合により利用されなくなり、絶滅を危ぶまれる状況になった在来品種である。Anatlian Buffalo 保護のための政府により成長曲線が作成されたため、Anatolian Buffalo は低生産性品種でありながら成長曲線を有する。ウシ類 2 属とスイギュウ類 3 属間での雑種の報告は全くなく、スイギュウ類 3 属間での雑種の報告も見ない（野村、2009）とされることから、Anatolian Buffalo は改良されたウシからの遺伝的影響を受けず、かつ、利用されなくなったことから高度な品種改良も受けていないことが推測される。以上から、Anatolian Buffalo は品種改良を受けていない動物の特徴を有していると考えられる。本研究において比較に用いた品種で、Anatolian Buffalo の 90% 成熟時期は口之島牛とほぼ同じ（約 62 ヶ月）であった。しかし成熟値は口之島牛の 347.9kg に対して、Anatolian Buffalo は 538.4 kg と約 200 kg 大きいことから、口之島牛は Anatolian Buffalo に比べてより成熟速度が遅いと考えられる。非線形成長曲線式の成長速度の値についても口之島牛 0.036 に対し、Anatolian Buffalo 0.039 と口之島牛の成長速度は遅いことを示す。このことから口之島牛の成長速度は家畜化されたウシ科動物の中では特に遅いと言え、その原因は未改良であることによると考えられる。

Lyudmila（1999）によるキツネの家畜化実験では、キツネの人に対する警戒心を低下させるように選抜を実施している。雄 30 雌 100 から開始し、人への慣れやすさを基準に産子から 4~5 % の雄と 20% の雌を次世代として残している。この実験では 6 世代目で人との接触を積極的に行おうとする個体が現れ始め、10 世代目には産子の 18% が、20 世代目には 35% がそのような個体になったとされる。形態に関しては 8~10 世代目に毛色の変化、15~20 世代以降手足と尾の短縮が見られたとされる。口之島牛の平均世代数は 2012 年時点で雄 4.4 世代、雌 3.2 世代（印巻、2013）であったことから、口之島時の口之島牛とは異なる形質を示し始めていた可能性がある。しかし、筆者らは口之島牛に対して特別な選抜を行っていない点、選抜強度に影響する群の個体数が 20 年間の合計で 61 頭（安藤ほか、2013）と少数であった点、始祖牛が雄 4、雌 6 頭と少数であった点から、先に述べたキツネの例に比べると設楽フィールド口之島牛個体群は選抜を受ける前に近い遺伝子構成を留めていると考えられる。ただし、設楽フィールド口之島牛個体群はその個体数の少なさから遺伝的浮動の影響を受けやすいと考えられる。種雄牛として利用された雄の偏りによるボトルネック効果および、管理者による無意識の選抜（種雄牛選定）により、口之島と設楽フィールドの個体群間で必ずしも同一の遺伝子構成を有さないことに留意する必要がある。個体群の管理を継続した場合、性格的、形態的変化が顕在化していた可能性がある。しかしながら、設楽フィールドの口之島牛個体群は最小限の人為的影響下で管理されたと考えられることから、口之島牛の成長特性を得た本研究は口之島牛の変化の基準点として、

野生動物の家畜化モデルの基準点として、産肉性、増体性などの量的遺伝子解析の際の交配候補として有用であると考えられる。

引用文献

- [1] 秋篠宮文仁・小宮輝之. 2009. フィールドベスト図鑑日本の家畜・家禽. 学習研究社, 東京, 270pp.
- [2] 安藤洋・築地原延枝・吉村文孝. 2013. 口之島牛とその飼育を振り返って. 第8回名古屋大学技術研修会ポスター発表本稿, PSEI-1:1-5.
- [3] Aziz ŞAHİN, Zafer ULUTAŞ, Ufuk KARADAVUT, Arda YILDIRIM, Servet ARSLAN. 2014. Comparison of Growth Curve Using Some Nonlinear Models in Anatolian Buffalo Calves. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 20: 357-362.
- [4] Berry D. P., Horan B. and Dillon P. 2005. Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Animal Science*, 80:151-160.
- [5] 原田佳典・小澤忍・細井栄嗣・福倉一浩・石川豊・阪田昭次・秋友一郎・篠田稔彦. 1998. 見島牛の性能調査 (1) 一見島牛の系譜及び牛群の体型値一. *山口県畜産試験場報告*, 14: 43-58.
- [6] 林田重幸・野澤謙. 1964. トカラ群島における牛. *日本在来家畜調査団報告*, 1: 24-30.
- [7] 細野信夫・光本孝次・鈴木三義. 1983. ヘレフォード雌牛の体重と体各部位に対する5種類の非線型成長曲線モデルの適合性比較. *北海道立新得畜産試験場研究報*, 13:1-10.
- [8] Kawahara-Miki, R., Tsuda K., Shiwa Y., Arai-Kichise Y., Matsumoto T., Kanesaki Y., Oda S., Ebihara S., Yajima S., Yoshikawa H. and Kono T. 2011. Whole-genome resequencing shows numerous genes with nonsynonymous SNPs in the Japanese native cattle Kuchinoshima-Ushi. *BMC Genomics*, 12: 103-110.
- [9] 印牧美佐生. 2014. 口之島野生化. *The Journal of Animal Genetics*, 42:39-47.
- [10] 印牧美佐生・安藤洋. 2013. 名古屋大学で維持・育成された口之島野生化牛集団の特性. *在来家畜研究会報告*, 26: 79-97.
- [11] Lyudmila N. T. 1999. Early Canid Domestication: The Farm-Fox Experiment. *American Scientist*, 87:160-169.
- [12] 松川正・中野秀治・有吉俊・小杉山基昭・林孝. 1979. 日本短角種ならびに黒毛和種雌牛の発育に関する考察. *日本畜産学会*, 50:95-99.
- [13] 水間豊. 2010. 第I章畜産概論. 家畜人工授精師講習会テキスト (正木淳二, 編), pp1-22. 日本家畜人工授精師協会, 東京.
- [14] 野村こう. 2009. II-2 スイギュウ. アジアの在来家畜 (在来家畜研究会, 編), pp161-186. 名古屋大学出版, 愛知.
- [15] 大塚関一・並河鷹夫・野澤謙. 1984. 東アジアの在来牛および野生バンテンの体型測定値についての主成分分析. *日本畜産学会報*, 53: 174-182.
- [16] 下桐猛・奥村史彦・龍野巳代・花田博之・伊村嘉美・河邊弘太郎・岡本新・前田芳賓. 2006. AFLPを用いた口之島野生化牛の遺伝的変異性. *鹿児島大学農場研究報告*, 29:13-15.
- [17] 富田武. 1996. 日本の野生化牛. *畜産の研究*, 50: 125-129.
- [18] 米屋宏志・恵本茂樹・島田芳子・宗綱良治・安部康人・森重祐子・澤井利幸・小澤忍・広岡博之. 2007. 見島牛の発育調査に基づく成長曲線の作成. *山口県畜産試験場研究報*, 22: 19-23.
- [19] Yilmaz O., Ertugrul M. and Wilson R. T. 2012. Domestic livestock resources of Turkey. *Tropical animal health production*, 44:707-714.
- [20] 全国和牛登録協会. 2004. 黒毛和種正常発育曲線. 全国和牛登録協会, 京都, 36pp.