HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	サラブレッド種当歳馬の昼夜放牧飼養管理に関する栄養学的・行動学的研究
Author(s)	田辺, 智樹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	乙第7094号
Issue Date	2020-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.r7094
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/84655
Type	doctoral thesis
File Information	Tomoki_TANABE.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

サラブレッド種当歳馬の昼夜放牧飼養管理に関する栄養学的・行動学的研究

（Nutritional and behavioral studies on grazing management for whole-day stocked Thoroughbred foals）

北海道大学大学院環境科学院

田　辺　智　樹

目次

第 1 章　緒言　1

1-1.　本研究の背景および目的　1

1-2.　研究史　6

1-2-1.　ウマの放牧草採食量・養分摂取量　6

1-2-2.　ウマの飼料消化能力　7

1-2-3.　ウマの運動　8

1-2-4.　ウマの社会関係　9

第 2 章　昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の放牧草採食量、養分摂取量および消化能力の変化　11

2-1. 放牧草採食量および養分摂取量の変化　【試験 1】　11

2-1-1.　目的　11

2-1-2.　材料および方法　12

2-1-3.　結果および考察　17

2-2. 飼料消化率の変化　【試験 2,3】　31

2-2-1. 目的　31

2-2-2. 材料および方法　32

2-2-3. 結果および考察　36

2-3. 血液性状の変化【試験 4】　47

2-3-1. 目的　47

2-3-2. 材料および方法　48

2-3-3. 結果および考察　49

2-4. 小括 55

第 3 章　昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の移動距離の変化　【試験 5】 56

3-1. 目的 56

3-2. 材料および方法 56

3-3. 結果 57

3-4. 考察 59

3-5. 小括 62

第 4 章　昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の社会関係の変化【試験 6】 63

4-1. 目的 63

4-2. 材料および方法 64

4-3. 結果 65

4-4. 考察 71

4-5. 小括 72

第 5 章　総合考察 73

要約 79

付表 81

参考文献 85

謝辞 97

第 1 章　緒言

1-1.　本研究の背景および目的

世界のウマ総飼養頭数は、2014 年時点でおよそ 5,890 万頭、国別にみるとアメリカが 1,026 万頭ともっとも多く、メキシコ（636 万頭）、中国（603 万頭）と続き、日本は 6.9 万頭と諸外国にくらべると非常に少ない。我が国においてウマは、軽種馬、農用馬、乗用馬、小格馬、在来馬、肥育馬と分類されており、2015 年時点で総飼養頭数の約 60%（40,866 頭）を軽種馬が占めている（農林水産省生産局畜産部畜産振興課 2017）。軽種馬という呼び名は、明治期の軍馬政策の中でつけられたものであるが、現代の日本では主として競走用のサラブレッド種のことを指す。日本における競走馬の年間生産頭数は 1992 年の 12,874 頭をピークに 2015 年では 6,779 頭と減少傾向にあるものの、サラブレッド生産主要国の中では世界第 5 位の規模を誇る。このように、日本はウマの飼養頭数に対するサラブレッド生産頭数の占める割合が大きい国であり、日本のウマ産業においてサラブレッド生産は主要な位置づけにあるといえる。

サラブレッドは約 2 年間の育成期間を経て競走馬としてデビューする。育成期は、誕生から離乳までの初期育成期、離乳後から 1 歳秋に騎乗馴致を開始するまでの中期育成期、そして騎乗馴致開始から 2 歳で競走馬登録するまでの後期育成期と、大きく 3 つに分けられる（日本ウマ科学会 2013）。育成期において、サラブレッドの体重は誕生時の 45～55 kg から生後 1 カ月で約 2 倍（Martin-Rosset 2015）となり、4 カ月齢時で成馬体重の 33.7%、6 カ月齢時で 42.4%、12 カ月齢時で 69%まで成長する（NRC 2007）。ホルスタイン種雌牛の場合、生時体重は 30～40 kg であり、生後 4 カ月齢時で成牛体重の 17%、6 カ月齢時で 24%、12 カ月齢時で 43%（Heinrichs と Hargrove 1987）であることから、サラブレッド種の 12 カ月齢までの育成期は身体成長の著しい時期であるといえる。一方、こうした身体成長の著しい育成期における急速な発育が正常な骨発育の妨げになるといった報告もあり（Thompson ら 1988; Jeffcott 1991）、特に近年では育成期特有の運動器疾患である発育期整形外科疾患（Developmental Orthopedic Disease: DOD）の発症が競走馬生産現場において大きな問題となっている。運動能力が要求される競走馬にとって、骨格や筋肉といった運動器の成長は適正なものでなければならず、育成期の運動器疾患は競走馬としての市場価値および将来の競走能力を大きく低下させる可能性があ

る。したがって、育成期の不適切な発育を予防するためにも適切な飼養管理が求められる。

初期および中期育成期のサラブレッド種育成馬は、主に生産牧場において体力養成や栄養供給および群れへの順応などを目的として放牧飼養が行われる。すなわち、放牧地を養分摂取、運動、社会関係構築の場としてとらえ、それぞれの観点から適切な放牧飼養管理について検討する必要があるだろう。また、我が国におけるサラブレッド種育成馬の放牧飼養としては、これまで比較的放牧地面積が狭く、管理の行き届かない夜間の事故を危惧して、日中 10 時間程度の昼間放牧が一般的であった（早川 1991）。しかし、育成馬の身体成長が運動によって促進されることや（van Weeren と Barneveld 1999）、放牧時間の延長によって運動量が増加すること（Asai ら 1999）が明らかになり、日中または夕方から翌朝まで 20 時間程度に放牧時間を延長する昼夜放牧が 1 歳馬で普及してきた。さらに、近年では、1〜2 カ月齢の時期から母馬とともに昼夜放牧を導入する牧場も増えてきている。しかしながら、サラブレッド種育成馬の放牧飼養管理が普及しているにも関わらず、乳牛や肉牛などの家畜にくらべてウマの放牧飼養管理に関する知見は少なく、特に当歳馬の放牧飼養管理に関する研究蓄積はほとんどない。

育成期の中でも、初期育成期における当歳馬の主な栄養源は母乳であると考えられるが、成長に伴って哺乳行動や哺乳量は減少し（朝井ら 1999）、採食時間が増加することが知られている（Crowell-Davis ら 1985; Tyler 1972）。また、2 カ月齢以降では子馬の成長に必要な養分要求量を母乳のみで満たすには不十分だとされており（Schryver ら 1986）、子馬の養分要求量の増加分を補うために母乳以外の栄養源が必要となる。すなわち、放牧飼養している初期育成期の子馬にとって、母乳とともに放牧草も主要な栄養源となり始める時期である。

これまで、当歳馬の養分要求量の増加分については、補助飼料の給与（クリープフィーディング）で対応することが推奨されてきた。一方、Aiken ら (1989) は、飼料の過剰摂取は育成馬の適正な成長を乱す可能性があると報告している。さらに、Glade と Belling（1984）は、飼料の摂取不足および過剰摂取はいずれも骨の成長に悪影響をもたらし、特に過剰摂取は適正な発育を乱すことを報告している。すなわち、養分摂取量不足による発育停滞は当然のことながら、栄養素の過剰摂取による急速な発育も子馬の成長にとっては望ましいものでないといえる。しかしながら、初期育成期に要求される母乳以外の養分摂取量についてはこれまでほとんど明らかになっておらず、米国のウマの

飼養標準である NRC（2007）においても、母乳由来の養分摂取量や母乳以外の飼料摂取量については詳しく示されていない。したがって、当歳馬の飼料摂取量の変化は、初期育成期における適切な飼養管理を行う上でまず第一に必要不可欠な情報であるといえる。

放牧飼養下の当歳馬にとって、母乳以外の栄養源は放牧草であることから、子馬の養分摂取量には当然放牧草採食量が大きく影響を及ぼす。これまで軽種馬の放牧草採食量について、乾物で体重の 1.5～3.1%であることが繁殖牝馬（Marlow ら 1983; Grace ら 2002b）、去勢馬（Dulphy ら 1997）、1 歳の育成馬（Grace ら 2002a）、離乳後の当歳馬（Grace ら 2003）を用いて報告されているが、離乳前の当歳馬の放牧草採食量については知見がない。当歳馬の場合は、成長に伴って母乳から牧草へと栄養源が変化するため、放牧草の摂取量は成長による影響を大きく受けると考えられる。

また、ウマは他の草食動物と同様、繊維分解能を持つ微生物叢を消化管内に持つことによって植物由来の繊維成分を消化し、得られる発酵産物をエネルギー源として利用している。一方で、出生直後のウマの腸管内に繊維分解能を持つ微生物はほぼ存在しておらず、飼料摂取や食糞などによって後天的に微生物を獲得する（Francis-Smith と Wood-Gush 1977）。したがって、若齢時のウマの消化管における飼料の消化能力は成熟時とは異なり、月齢の進行に伴って起こる身体成長や摂取する飼料によって大きく変化し、成長すると考えられる。よって、養分摂取の場としての放牧地における当歳馬の飼養管理を行う上で、まず放牧草採食量の変化について、飼料消化能力の発達とともに把握する必要があるだろう。

第 2 に、サラブレッド種にとっての放牧地は養分摂取の場だけでなく、自発的運動の場としても非常に重要な役割がある。すなわち、放牧地における当歳馬の自発的運動量の変化やその特徴について明らかにすることが重要だと考えられる。放牧地においてウマは 1 日の大部分を食草行動に費やすとされているが（Waring 1983）が、自然草地に終日放牧されている再野生当歳馬の食草時間は成馬にくらべると短く、休息時間が長い（Crowell-Davis ら 1985）ことが報告されている。したがって、放牧地におけるサラブレッド種当歳馬の行動や運動を成馬と比較し、その特徴を明らかにする必要がある。

さらに、Asai ら（1999）はサラブレッド種 1 歳馬を用いた放牧試験を行い、昼夜放牧では昼間放牧にくらべて移動距離が約 3 倍、牧草採食量は 2 倍に増加したことを報告している。これは、昼夜放牧では運動によるエネルギー消費量の増加によってエネルギー

摂取量が昼間放牧より増加したことを意味しており、当歳馬の適切な昼夜放牧を行うためには養分摂取量と運動との関係についても検討すべきであろう。

第 3 に、サラブレッド種にとっての放牧地は他馬との社会関係を構築する場として重要であり、昼夜放牧飼養した当歳馬の心理的な発育や他馬との社会関係の変化について明らかにする必要がある。群居性動物であるウマにとって他個体の存在が放牧地での食草行動に大きな影響を与えることが知られており、Sweeting ら（1985）はポニーを厩舎内で個別飼養した際、他馬を視覚的に確認できる状態にくらべ、確認できない状態では食草時間が短かったと報告している。また、Rifá（1990）は再野生のポニーを用いた研究において、群内の食草行動は他個体と時間的に同期することを報告した。当歳馬の放牧飼養において、複数頭の親子で放牧飼養した場合、母馬以外の個体が存在することで子馬は 2~3 カ月齢から他個体との遊戯行動や敵対行動といった社会行動を発現するようになり（Tyler 1972; Crowell-Davis ら 1986a）、こうした行動を通して馬同士の社会関係は構築されていくと考えられる。特にサラブレッドの場合、群内における他馬との社会関係の構築は競走馬としての群れへの順応性を養う上で重要であるとされている（日本ウマ科学会 2013）。

ウマなどのフォロワータイプの群居性草食動物の群れは母子関係が基本で、この母子関係が哺乳期間を通して徐々に変化して、群内の一般的な個体間関係へと発達していく（近藤 2002）。家畜ウマの離乳は 4-7 カ月齢（Houpt ら 1984; Heleski ら 2002; Waran ら 2008）と、8-9 カ月齢で離乳する野生下や半野生下のウマにくらべて早く（Waran ら 2008）、Fraser ら（1975）は馬にとって離乳は大きなストレスのかかるイベントの 1 つであるとしており、Lewis （1995）は離乳時のストレスとして飼料摂取量の低下、発育停滞、疾病発症率の上昇を挙げている。一方で、当歳馬を単独で離乳するよりも複数頭の当歳馬と一緒に離乳することで離乳時のストレスを軽減できることが報告されている（Houpt ら 1984）。このように母馬や他個体との社会関係の変化について把握することは、サラブレッド種当歳馬を適切に昼夜放牧飼養する上で重要であり、また離乳を適切に行う上でも有用であると考えられる。

以上より、本研究では、サラブレッド種当歳馬の適切な昼夜放牧飼養管理方法を確立するために、その養分摂取、運動、社会関係に関する飼養管理上の問題点を明確にすることを目的として、以下の項目について検討した。まず第 2 章では、昼夜放牧飼養したサラブレッド種当歳馬の放牧草採食量および牧草由来の養分摂取量を明らかにし、飼料

消化能力の変化についても検討した。第 3 章では、放牧地における運動の指標として月齢の進行に伴う移動距離の変化とその特徴について明らかにした。第 4 章では、母馬および母馬以外の他個体との社会関係の変化について明らかにした。最後に第 5 章では、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の適切な離乳時期について検討するとともに、運動によるエネルギー消費量と放牧草採食量との関係から適切な飼料給与量について総合的に考察した。

1-2. 研究史

1-2-1. ウマの放牧草採食量・養分摂取量

ウマはウシやヒツジなどの反芻動物にくらべて採食時間が長く（Arnold 1984）、1 日の大部分を採食に費やすことから（Waring 1983）、ウマにとっての放牧地は栄養摂取の場として特に重要であると考えられる。ウマの放牧草採食量についてはこれまでいくつかの研究があり、Dulphy ら （1997）は去勢軽種馬に刈り取った生牧草を自由採食させた際の乾物採食量は、1 番草で体重の 1.8%、2 番草で体重の 2.0%だったと報告している。ペレニアルライグラスと白クローバー混播草地におけるサラブレッド種の放牧草採食量を全糞採取と指示物質を用いて測定をした研究では、泌乳中の繁殖雌馬で体重の 2.4%（Grace ら 2002b）、1 歳馬で体重の 2.0%（Grace ら 2002a）、離乳後 1 歳未満の馬で 1.8%（Grace ら 2003）であったと報告されている。また、Marlow ら（1983）は泌乳期のサラブレッド種繁殖雌馬の放牧草採食量は乾物で体重の 2.6-3.1%であること報告しており、養分要求量の高い泌乳馬の採食量は育成馬や泌乳も成長もしていない体重維持の去勢馬にくらべて高く、放牧草採食量は養分要求量や生育ステージによって変化する。

生後間もない子馬にとって、主な栄養源は母乳である。朝井ら（1999）は昼間放牧飼養下のサラブレッド種当歳馬を用いて 3 日齢から 17 週齢まで乳摂取量と授乳行動を調査した結果、1 日当たりの乳摂取量および哺乳回数は、1 週齢までは約 19 kg/日および約 86 回/日、3 週齢から 7 週齢までは約 16 kg/日および 48～59 回/日、10 週齢で約 13.0 kg/日および 41.0 回/日、17 週齢で 11.4 kg/日および 37.6 回/日だったと報告している。また、Crowell-Davis ら（1985）は、生後 1 週齢から 21 週齢にかけて終日放牧下の再野生ポニーの母子群を観察した結果、母馬が採食に費やした時間は試験期間を通して概ね 1 日の 70%だったのに対して、子馬では 1 週齢の 8.1%から 21 週齢で 46%まで増加したことを報告した。Tyler（1972）は終日放牧下のニューフォレストポニーの母子群を生後 1 週齢から 52 週齢まで昼間（0600h から 1800h）観察を行ない、子馬の採食時間は 2 週齢から 12 週齢までは約 10～15 分/時、17～20 週齢で約 25 分/時、25 週齢から 52 週齢までは約 40 分/時であったと報告している。これらの結果は、終日放牧飼養されている当歳馬において若齢時には栄養源として母乳への依存度が比較的高いことを示唆している。馬乳中の総エネルギー（GE）含量は、分娩後 1～4 週で 580 kcal/kg、5～8 週で 530 kcal/kg、

9〜21 週で 500 kcal/kg と、泌乳日数の進行に伴い減少するとされている（NRC 2007）。また、泌乳中期以降では、子馬の成長に必要な養分要求量を母乳のみで満たすには不十分だとされている（Burns ら 1992 ; Gibbs ら 1982）。Schryver ら（1986）も、2 カ月齢以降の子馬は母乳のみでは養分要求量を満たせないとしており、この時期から養分要求量の増加分を補うために固形飼料の給与（クリープフィーディング）を開始することを推奨している。しかしながら、育成期の中でも特に哺乳期や離乳前後の子馬の飼料摂取量についての知見は少なく、特に放牧地における当歳馬の牧草採食量に関する研究は測定方法が困難なこともあり、ほとんどない。

1-2-2. ウマの飼料消化能力

草食動物は、繊維分解能を持つ微生物叢を消化管内に持つことによって、植物由来の繊維成分を消化し、得られる発酵産物をエネルギー源として利用している。ウマは、ウシに代表される胃を発達させた反芻動物とは異なり、小腸以降の消化管部位、すなわち盲腸および結腸を特異的に発達させた後腸発酵動物に分類される（Stevenes と Hume 1998）。ウマは後腸内微生物の働きによって植物由来のセルロースやヘミセルロースなどの繊維成分を消化し、微生物消化の発酵産物である酢酸、プロピオン酸、酪酸などの揮発性脂肪酸（VFA）をエネルギー源として利用している。ウマの盲腸において生成される VFA は、維持エネルギー要求量の最大 30%を満たすとされている（Glinsky ら 1976）。

ウマは当歳から 1 歳齢の間、体重や消化管などの身体成長が特に著しい（NRC 2007）。Smyth（1988）はウマの消化管は胎児期から 1 歳齢の間にもっとも成長するとしており、小腸は生後 1 カ月間で、盲腸は生後 1 カ月から 6 カ月の間に、上行（腹側・背側）結腸は生後 1 週齢から 1 歳齢の間にもっとも成長することを報告している。出生直後のウマの腸管内に繊維分解能を持つ微生物はほぼ存在しておらず、飼料摂取や食糞などによって後天的に微生物を獲得する（Francis-Smith と Wood-Gush 1977）。また、子馬の腸内微生物叢は生後 1 カ月齢までに急激に増加し、2 カ月齢以降では比較的安定していること（Costa ら 2016）、糞中の微生物叢は生後 6 週齢において成馬との類似性が高いこと（Earing ら 2012）が報告されている。これらのことから、若齢時のウマの飼料消化能力は、成熟時とは異なると考えられる。

ウマと同じ草食動物であるウシも、出生時においては反芻胃を含む第 1 胃〜3 胃は未

発達で微生物も存在しておらず、粗飼料の摂取による物理的、科学的刺激によって反芻胃が発達し微生物発酵が促進される（Baldwin ら 2004）。出岡ら（1998）は、哺乳期の子羊に固形飼料を給与することでルーメン内発酵が促進され、4 カ月齢時で成羊と同等のルーメン内 VFA 濃度を示したことを報告しており、草食動物の飼料消化能力は月齢の進行に伴って起こる身体成長や摂取する飼料によって大きく影響を受ける。

ウマによる放牧草の採食量や消化率は、牧草の生育段階や消化性（Moffitt 1987）、炭水化物および糖含量（Rogalski 1984）、粗タンパク質含量や細胞壁成分（Benyovsky ら 1998）といった飼料の特性によって影響を受ける。さらに放牧飼養した当歳馬の場合、主な栄養源が母乳から牧草に徐々に移行すること、また消化管が発達段階であることから月齢の進行に伴う牧草消化能力の変化について把握する必要がある。

1-2-3．ウマの運動

Raub ら（1989）は、サラブレッドとクォーターホースの育成馬（平均日齢 147 日）を運動群と非運動群に分け、255 日齢まで体重、体高、骨量、骨密度を計測した結果、体重や体高に差はみられなかったものの、167 日から 215 日齢にかけて第三中手骨の増加量は運動群の方が非運動群よりも高く、試験終了時の骨密度は運動群の方が高い傾向があったと報告している。また、Kasashima ら（2002）はサラブレッド種育成馬を通常の飼養管理（対照群）と短時間のトレッドミルでの運動を加えた群（試験群）に分け、浅指屈筋腱の断面積を 50 日齢から 450 日齢まで計測した結果、試験群で高かったことを報告している。他にも運動によって骨や筋肉の発達が促進されることはいくつか報告されており（Smith ら 1984; Williams ら 1984; van Weeren と Barneveld 1999; Hiney ら 2004）、育成期の運動はウマの筋肉や健、骨などの運動器の成長を促し、将来の競走能力にも大きく影響を及ぼすと考えられる。

サラブレッド種育成馬の一般的な管理として、1 歳齢後半で調教が始まるまでの初期および中期育成期の間に強制的な運動負荷をかけることはほとんどない。すなわち、調教開始までの生後約 1 年半の期間、育成馬にとっては放牧地が運動の場なのである。Bell ら（2001）はアラブ種離乳馬を、舎飼い飼養もしくは放牧飼養した時、放牧飼養の方が骨のミネラル含量の維持また増加に有益であったと報告しており、放牧時の運動によって育成馬の骨成長は促進されると考えられる。

放牧地におけるウマの運動は、放牧地の面積（楠瀬ら 1985）や形状（楠瀬ら 1987）、放牧頭数（楠瀬ら 1986）および放牧時間（Asai ら 1999）にそれぞれ影響を受けることが報告されている。楠瀬ら（1985）はサラブレッド種育成馬を 0.2 ha、1.1 ha、1.5 ha、2.1 ha、4.2 ha の放牧地でそれぞれ個体間相互行動、移動および心拍数を測定し、平均総移動量は 1.1 ha 以上の放牧地において 5,000-7,000 m と有意な差は認められなかったこと、1 回あたりの駆歩の平均完歩数に放牧地面積が影響するが、放牧地面積が 2 ha 以上になると駈歩による移動への制約が弱まることを報告している。また、Asai ら（1999）はサラブレッド種 1 歳馬を、17 時間昼夜放牧した場合、7 時間の昼間放牧にくらべて牧草採食量が 2 倍、移動距離は約 3 倍になったと報告しており、昼夜放牧ではウマの自発的運動量の増加が期待されるが、養分要求量も増加すると考えられる。

ウマは 1 日の大部分を採食に費やすことから（Waring 1983）、成馬の場合、放牧時の移動は食草行動を伴う移動が多いと考えられる。一方で、当歳馬の食草時間は成馬にくらべると短い（Crowell-Davis ら 1985）。また、フランスのカマルグ地方の再野生当歳馬の自然草地における駈歩および速歩の頻度は 1 カ月齢時で最も高いことや（Boy と Duncan 1979）、オランダ温血種の放牧時の移動量は 1 カ月齢が最も大きいことも報告されており（Kurvers ら 2006）、放牧地における当歳馬の移動距離や移動速度といった運動の特徴は成馬とは異なると考えられる。したがって、適切な当歳馬の昼夜放牧飼養管理を行うためには成長に伴う移動距離や移動速度といった運動の変化やその特徴について明らかにし、またエネルギー消費量との関係についても検討する必要があるだろう。

1-2-4. ウマの社会関係

群居性動物であるウマにとって、他個体の存在は様々な行動に種々の影響を与える。Sweeting ら（1985）は舎飼い飼養のポニーを厩舎内で個別飼養した際、他馬を視覚的に確認できる状態にくらべ、確認できない状態では食草時間が短かったと報告している。また、Rifá（1990）は再野生ポニーを用いた研究において、群内の食草行動は他個体と時間的に同期化しており、これは他個体による影響、すなわち社会的促進によって食草行動が誘発された結果であると考察している。このようにウマにとって他個体の存在は、採食行動にも大きく影響することが確認されている。

また、母子関係が強い馬にとって、離乳は母子間の社会関係の終了を意味し、子馬に

様々な影響を与える。家畜ウマにおける離乳は 4-7 カ月齢（Houpt ら 1984; Heleski ら 2002; Waran ら 2008）と、再野生や半野生下のウマが 8-9 カ月齢程度であるのとくらべて早い（Waran ら 2008）。Fraser ら（1975）はウマにとって離乳は大きなストレスのかかるイベントの 1 つであるとしており、Lewis (1995）は、離乳時のストレスとして飼料摂取量の低下、発育停滞、疾病発症率の上昇を挙げている。Malinowski ら（1990）は、離乳後の生理的反応として離乳 28 時間後の子馬の血中コルチゾールは上昇し、免疫反応が低下したことを報告している。また Heleski ら（2002）や Waters ら（2002）は、離乳後数日から数週にわたって子馬の異常行動が増加したことを報告している。さらに Heleski ら（2002）は離乳時の飼養環境について馬房内とパドックで比較した結果、馬房内で離乳した方が子馬の異常行動の発現が多く、馬房の閉鎖的な環境が異常行動を増加させた原因であると結論付けている。

複数の親子を同一群として放牧飼養した場合、最も結びつきの強い社会関係は母子関係であるが、子馬の母馬に対する心理的依存は成長に伴って減少すること（Houpt 2002）、また子馬は自分の母馬以外の他個体との遊戯行動や敵対行動といった社会行動を発現するようになる（Tyler 1972; Crowell-Davis ら 1986a）ことが確認されている。また、子馬の社会関係が離乳に及ぼす影響として、単独での離乳よりも複数頭で離乳した方が離乳時の子馬のストレスは緩和できることが報告されている（Houpt ら 1984）。

以上より、当歳馬の適切な放牧飼養管理を行うためには、成長に伴う母馬または他個体との社会関係の変化についても把握することが重要であると考えられる。

第 2 章　昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の放牧草採食量、養分摂取量および消化能力の変化

2-1. 放牧草採食量および養分摂取量の変化 【試験 1】

2-1-1. 目的

ウマの生育ステージや用途により、各種栄養素の必要量は異なる。NRC (2007) では、育成期、競走期、妊娠期、授乳期の生育ステージや用途に応じた養分要求量が明記されており、育成期の養分要求量は維持要求量と成長に要する要求量からなり、体重、日増体量、月齢をもとに算出される。舎飼い飼養の場合、養分要求量に基づいて飼料給与量の設計をすることができるが、放牧飼養の場合、牧草採食量や養分摂取量を把握することは非常に困難であり、栄養管理が難しい。放牧地での牧草採食量は、季節、草高や草量、併給飼料などの要因に大きく影響され、また育成期では馬体の成長が著しいため、成長による影響も大きいと考えられる。

昼夜放牧飼養下の当歳馬にとって、哺乳期の主な栄養源は母乳と放牧草であり、離乳後は放牧草がほぼ唯一の栄養源となる。Schryver ら（1986）は、2 カ月齢以降の当歳馬は母乳のみでは養分要求量を満たせないと報告しており、養分要求量の増加分を補うためにこの時期から固形飼料の給与（クリープフィーディング）を開始することを推奨している。一方、Aiken ら (1989) は，飼料の過剰摂取は育成馬の適正な成長を乱す可能性があると報告しており、当歳馬の骨や健などに発症する育成期特有の発育期整形外科疾患（Developmental Orthopedic Disease: DOD）の発症も近年では大きな問題となっている。Glade と Belling（1984）は、養分摂取量の不均衡が骨の成長に悪影響となることを報告しており、養分摂取量不足による発育停滞は当然のことながら、栄養素の過剰摂取による急速な発育も子馬の成長にとっては望ましいものでないといえる。したがって、昼夜放牧飼養下における当歳馬の放牧草採食量および養分摂取量の把握は適切な飼養管理を行う上で非常に重要であるが、これについての報告はほとんどない。

そこで本試験では、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の食草量について、月齢の進行にともなう変化を明らかにするとともに離乳前後で比較した。

2-1-2．材料および方法

①試験の概要

試験は北海道浦河郡浦河町の日本中央競馬会日高育成牧場において 2015 年から 2017 年にかけて 3 月または 4 月生まれのサラブレッド種当歳馬のべ 35 頭（雄 22 頭、雌 13 頭）を用いて行った（表 1）。母馬の平均年齢は 6.8 歳、平均産次数は 3.1 だった（表 2）。

当歳馬は 4ha のケンタッキーブルーグラス（*Poa pratensis* L.）主体マメ科混播草地に母馬とともに母子馬群として 5 月中旬まで昼間放牧、それ以降は昼夜放牧を行った。昼夜放牧は 2 つの放牧地を用いて約 10 日間隔で輪換放牧した。放牧時間は 2015 および 2016 年が 21.5 時間（1030h – 0800h）で 2017 年は 19 時間（6 月: 1300h – 0800h, 8 月および 9 月: 1530h – 1030h）であった。放牧時間帯以外哺乳期は母子ペアで、離乳後は子馬のみで馬房内に収容した。各年共通して、収牧後、併給飼料として子馬に濃厚飼料 A（STAMM30 ; レッキス工業株式会社, 東大阪市）を 4 および 5 カ月齢時それぞれ 1.0 kg/日/頭給与した。2017 年のみ 6 月に濃厚飼料 B（ACE CREEP ; 日本農産工業株式会社, 横浜市）を 0.25 kg/日/頭給与した。馬房内および放牧地において、供試馬は自由に飲水することができた。当歳馬の離乳は、 各年 8 月中旬から下旬に行った。離乳の約 2 週間前から親子群に乳母（リードホース）として成雌馬を 1 頭導入し、離乳後 1 カ月間はリードホースと当歳馬で放牧していた。

②採食量

当歳馬の採食量を哺乳期中である 2 カ月齢時（6 月）および 4 カ月齢時（8 月）と離乳直後の 5 カ月齢時（9 月）にそれぞれ測定した。1 回の試験期間は予備期 8 日、本期 2 日の計 10 日間とした。本期中の 48 時間、各供試馬の排泄直後の糞を採取し、Cr_2O_3 とアルカン（C_{31}）を用いた Double indicator 法により放牧草採食量を推定した。外部マーカーとして、各供試馬に酸化クロム（Cr_2O_3）含有ペレット（脱脂米ヌカ：フスマ：酸化クロム＝6：3：1）を試験開始日から毎日、朝夕 2 回に分けて 1 日量の半量ずつ給与した。酸化クロム含有ペレットの給与量は、6 月は 40 g/日/頭、8 月は 60 g/日/頭、9 月は 70 g/日/頭とした。

Table 1. Sex, birth date and body weight of the experimental foals

Year	Name	Sex	Birth date	Body weight (kg)			
				At birth	2 months	4 months	5 months
2015	DN 15	Colt	Apr. 7th	58	146	(199)	228
	FT 15	Filly	Apr. 8th	47	135	194	230
	BS 15	Colt	Apr. 9th	56	155	226	261
	KC 15	Colt	Apr. 13th	53	130	188	221
2016	BC 16	Colt	Mar. 12th	56	(183)	233	215
	DN 16	Filly	Mar. 24th	59	(166)	(226)	228
	TM 16	Colt	Apr. 10th	56	123	181	194
	KC 16	Filly	Apr. 16th	55	129	193	252
	IE 16	Filly	Apr. 18th	50	111	163	251
2017	P 17	Colt	Mar. 17th	45	149	200	241
	KC 17	Colt	Apr. 11th	57	137	197	243
	TM 17	Colt	Apr. 13th	57	130	182	230
	IE 17	Filly	Apr. 17th	57	119	167	207
Mean ± SD				54 ± 4	133 ± 13	193 ± 21	231 ± 18

( ) indicates that it could not be used for the experiments of the months.

Table 2. Age of year, parity and body weight of the experimental dams

Year	Name	Age	Parity	Body weight (kg)	
				2 months	4 months
2015	DN	7	3	679	662
	FT	15	6	640	596
	BS	8	5	621	609
	KC	5	2	609	599
2016	BC	8	6	657	630
	DN	8	4	679	661
	TM	4	1	608	599
	KC	6	3	612	600
	IE	4	1	543	550
2017	P	4	1	549	559
	KC	7	4	587	607
	TM	5	2	602	604
	IE	5	2	543	552
Mean ± SD		6.8 ± 2.8	3.1± 1.7	610 ± 45	602 ± 34

各供試馬につき、採取した糞ごとに生重量の 30%ずつ採取し、1 日分をひとまとめにした。一部をアルカン分析用に 48 時間凍結乾燥、残りは 60℃の通風乾燥機で 2 日間乾燥させた後、それぞれ 2 日間以上室温で静置し、重量を測定してから 1 mm メッシュを通過するように粉砕し、分析に供した。

本期中 1 日 2 回、朝（0500h）と夕（1700h）に当歳馬が採食している周辺の牧草を生重量にして約 200 g、手摘みで採取し、採食牧草サンプルとした。サンプルは採取後すぐに冷凍保存した。試験終了後、採取したサンプルをそれぞれ 48 時間凍結乾燥し、乾燥直前と直後に秤量した値を用い、牧草原物中の水分含量を測定した。その後室温で 2 日間以上静置し風乾物とした後、1 mm メッシュを通過するように粉砕し、アルカン、化学成分およびエネルギー含量の分析に用いた。

糞中の Cr_2O_3 の回収率は 100％（河合ら 1996）、アルカン（C_{31}）の回収率は 96%（Ferreira ら 2009）とした。併給していた濃厚飼料は、試験期間中毎日、各馬の給与量と残飼量を記録し、給与量から残飼量を差し引いた値を摂取量とした。

・排糞量 （gDM/日） $= \dfrac{\textbf{Cr}_2\textbf{O}_3\textbf{ 投与量（gDM/日）}}{\textbf{糞中 Cr}_2\textbf{O}_3\textbf{ 濃度（\%DM）}}$

・放牧草由来の糞中 C_{31} 含量（mg/日）

$$= \frac{\text{排糞量}\left(\frac{\text{gDM}}{\text{日}}\right) \times \text{糞中}C_{31}\text{ 含量}\left(\frac{\text{mg}}{\text{gDM}}\right) - \text{濃厚飼料由来}C_{31}\left(\frac{\text{mg}}{\text{gDM}}\right)}{0.96}$$

・放牧草採食量（gDM/日） $= \dfrac{\textbf{放牧草由来の糞中 C}_{31}\textbf{ 含量（mg/日）}}{\textbf{放牧草中の C}_{31}\textbf{ 含量（mg/gDM）}}$

③個体維持行動

2015 年 4 月生まれ 4 頭（雄 3 頭、雌 1 頭）、2016 年 3 月または 4 月生まれ 5 頭（雄 2 頭、雌 3 頭）の計 9 組のサラブレッド種当歳馬とその母馬について、5 月から 9 月まで 48 時間連続の行動観察を各月 1 回行い、放牧時の行動型を食草、横臥位休息、立位休息、その他に分けて 5 分間隔で記録した。記録した行動型は 5 分間継続したものとみなし、各行動時間を算出した。また、同時に当歳馬の哺乳行動について、哺乳行動が発現するたびに哺乳時間を記録し、1 日あたりの哺乳回数と累積哺乳時間を算出した。

④体重および平均日増体量

当歳馬および母馬の体重を哺乳期は本期の 30 日前から、離乳後は離乳日から 30 日間それぞれ毎日放牧終了後に測定した。試験時の体重は 30 日間の平均値を用い、平均日増体量（ADG）は馬体重の日数に対する直線回帰式を用いて算出した。

⑤放牧地の草高および草量

植生調査は、各月 1 回、行動観察の前日に行った。ライジングプレートメーター（FOLDING PLATE PASTURE METER；JENQUIP, Feilding, New Zealand）を用いて放牧地内の圧縮草高を 10 m 間隔で測定した。さらに放牧地を 6 つのブロックに分け、各ブロックの代表的な草地と考えられる地点2カ所において1 m×1 mのコドラートを用いて植生調査を行った。各ブロックにつき、コドラート内の冠部被度、圧縮草高を 3 カ所、イネ科およびマメ科の自然草高を 5 カ所測定し、その後コドラート内の牧草を地際から刈り取って、生重量を測定した。刈り取った牧草は 60℃の通風乾燥機で 2 日間乾燥させた後，2 日間以上室内で静置し，重量を測定してから 1 mm メッシュを通過するように粉砕し、乾物（DM）含量を測定した。各試験時の計 12 地点のコドラート内の圧縮草高と DM 含量から直線回帰式を求め，得られた式から放牧地の草量を推定した。

⑥化学成分およびエネルギー含量

植生調査で刈り取った牧草サンプルの化学成分は DM、粗タンパク質（CP）、中性デタージェント繊維（NDF）の測定を行った。採食牧草サンプルは DM、CP、NDF に加え、有機物（OM）、 粗脂肪（EE）、酸性デタージェント繊維（ADF）、酸性デタージェントリグニン（ADL）、水溶性炭水化物（WSC）を測定した。分析項目のうち DM， OM，

CP，EE は常法（AOAC, 1980）で分析し、NDF，ADF および ADL は Van Soest ら（1991）の方法で分析した。総エネルギー（GE）は熱研式ボンブカロリーメーター（CA-4P，島津製作所，京都市）で測定した。また、牧草中の可消化エネルギー（DE）は以下の式（NRC 2007）に従って算出した。

DE (Mcal/kgDM) = 2.118 + 0.001218 CP – 0.00937 ADF – 0.00383 (NDF-ADF)
+ 0.04718 EE + 0.02035 NFC – 0.0262 Ash

※ NFC = 100 – (NDF + CP + EE + Ash)

（NRC 2007）

採食牧草および糞のアルカン含量は C_{34} を内部標準として直接鹸化法（Dove と Mayes 2006）により測定した。WSC はアンスロン法（Yemm と Willis 1954）により測定した。糞の Cr_2O_3 含量はリン酸カリ試薬法（森本 1971）により測定し、DM, CP, GE については採食牧草と同様の方法で分析を行った。

⑦統計処理

すべてのデータは統計解析ソフトウェア JMP（ver. 14.0.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA）を用いて解析した。維持行動の比較は、混合モデルの分散分析により行った。変量効果として個体の効果を加え、固定効果として月齢、母子およびそれぞれの交互作用を加えた。交互作用に有意差が認められた場合、月齢ごとに母子間の比較を行った。当歳馬の採食量の比較は混合モデルの分散分析により行った。変量効果として個体の効果を加え、固定効果として月齢、性別およびそれぞれの交互作用を加えた。月齢ごとの差については Tukey の HSD 検定で解析した。$P < 0.05$ であった場合に統計的に有意であると判断した。

2-1-3．結果および考察

① 維持行動を測定した際の供試放牧地の草高および草量

試験に用いた放牧地の冠部被度、草高、草量および化学成分含量について表 3 に示した。冠部被度は各月 70～80%をイネ科が優占していた。自然草高はイネ科が 13.6～18.4

Table 3. Sward characteristics of experimental pasture

	May	June	July	August	September
Crown coverage (%)					
Kentucky bluegrass	71.3 ± 18.7	69.2 ± 13.7	78.8 ± 13.1	83.8 ± 10.0	77.5 ± 17.0
White clover	26.7 ± 18.2	30.4 ± 13.5	20.8 ± 13.0	14.2 ± 8.6	20.8 ± 16.6
Sward height (cm)					
Kentucky bluegrass	14.3 ± 3.0	18.4 ± 3.0	13.6 ± 4.0	15.5 ± 2.9	14.7 ± 4.1
White clover	9.3 ± 1.8	10.5 ± 1.9	8.4 ± 1.6	8.3 ± 2.0	7.8 ± 2.0
Compressed herbage height (cm)	18.1 ± 3.1	18.1 ± 2.9	13.8 ± 3.1	13.5 ± 2.2	13.3 ± 2.7
Herbage mass (tDM/ha)	1.9 ± 0.6	1.7 ± 0.4	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.6 ± 0.3
Chemical compositions					
DM (% of FM)	23.2 ± 2.6	23.1 ± 1.7	23.7 ± 2.3	29.4 ± 4.6	25.7 ± 1.6
CP (% of DM)	16.7 ± 2.2	17.9 ± 2.7	18.1 ± 1.6	18.3 ± 2.2	21.2 ± 2.2
NDF (% of DM)	54.8 ± 4.0	50.4 ± 7.9	59.6 ± 3.6	55.8 ± 2.9	55.1 ± 2.0

Values are Mean ± SD.

DM: dry matter, FM: fresh matter, CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber.

cm、マメ科が 8.3～10.5 cm とそれぞれ季節による大きな違いはほとんどみられなかった。放牧地の草量は 1.6～1.9 tDM/ha であった。一般的にサラブレッド用の放牧地では 2, 3 週間で掃除刈りを行うため、草高は 13～18 cm と比較的低く保たれていたものの、放牧地の草量は 1.9 t 前後と昼夜放牧を行う上では十分量であったと考えられる。放牧地の CP および NDF はそれぞれ 16.7～21.2%、50.4～59.6%であり、化学成分含量の変化は小さかった。

② 当歳馬の哺乳回数および哺乳時間

子馬の哺乳回数および哺乳時間について表 4 に示した。1 日あたりの哺乳回数は 1 カ月齢時で 36 回/日、4 カ月齢時で 28 回/日であり、累積哺乳時間は 1 カ月齢時で 40 分/日、4 カ月齢時で 33 分/日と、それぞれ 4 カ月齢時は 1 カ月齢時よりも少なかった（$P < 0.05$）。1 回あたりの哺乳時間はいずれの月齢においてもおおむね 70 秒であり、月齢間における統計的な差はみられなかった。

子馬の哺乳行動については、再野生馬や家畜ウマいずれにおいても先行研究でいくつか報告されている（Duncan ら 1984；Kusunose と Sawazaki 1984；Usagawa ら 1998；朝井ら 1999）。 Duncan ら（1984）は、終日放牧飼養下の再野生当歳馬が生後 2 週齢では 1 日のうち 6～8%を哺乳行動に費やしていたが、2 週齢から 8 週齢にかけて 2.3%まで急激に減少し、その後 9 週齢から 29 週齢までは 2%程度で推移したと報告している。また、朝井ら（1999）は、昼間放牧飼養下のサラブレッド種当歳馬の哺乳回数および累積哺乳時間は、1 週齢で 86.1 回および 91.4 分、7 週齢で 48.4 回および 38.4 分、17 週齢で 37.6 回および 30.1 分だったと報告しており、いずれも成長に伴って哺乳行動が減少することを示している。本試験における子馬の哺乳回数および累積哺乳時間は 1 カ月齢から 3 カ月齢時にかけての変化は小さかったものの、4 カ月齢時では 1 カ月齢時よりも有意に少なく、先行研究と同様に成長に伴う哺乳行動の減少は確認された。また Kusunose と Sawazaki（1984）は、昼間放牧飼養下のサラブレッド種当歳馬において、子馬の 1 回あたりの哺乳時間は約 70 秒であり、3 週齢から 6 カ月齢の間で統計的な差はみられなかったことを報告している。本試験においても 1 回あたりの哺乳時間はすべての月齢で約 70 秒であり、Kusunose と Sawazaki（1984）の観察結果と一致した。したがって、昼夜放牧飼養下においても、サラブレッド種当歳馬の哺乳行動は終日放牧飼養下の再野生馬や昼間放牧したサラブレッド種と同様の変化を示すことが示唆された。

Table 4. Frequencies, time budgets and duration of suckling per day for whole-day stocked Thoroughbred foals

		Age of months for foals				Significance
		1	2	3	4	
Frequencies	(times/ day)	36 ± 8 [a]	31 ± 8 [ab]	33 ± 6 [ab]	28 ± 6 [b]	**
Time budgets	(min/day)	40 ± 9 [a]	36 ± 10 [ab]	37 ± 7 [ab]	33 ± 8 [b]	*
Duration of suckling bout	(sec.)	66 ± 4 [a]	68 ± 7	68 ± 6	70 ± 6	NS

Values are Mean ± SD.

[a-b] Values in the same row with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences according to age (*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$).

NS means not significant.

③ 放牧地における当歳馬の食草および休息時間

子馬および母馬の食草時間および休息時間を表 5 に示した。哺乳期の子馬の食草時間は1カ月齢時の335分から3カ月齢時の576分と月齢の進行に伴って長くなり（$P < 0.01$）、3 カ月齢から 4 カ月齢時にかけてはほとんど変化しなかった。離乳直後の 5 カ月齢時の子馬の食草時間は 796 分/日と、離乳直前の 4 カ月齢時よりも長かった（$P < 0.01$）。母馬の食草時間は 1 カ月齢時から 4 カ月齢時にかけてほとんど変化しなかった。子馬の休息時間は 1 カ月齢時の 761 分から 4 カ月齢時の 526 分と月齢の進行に伴って短くなった（$P < 0.05$）。さらに、離乳直後の 5 カ月齢時の子馬の休息時間は 435 分/日と離乳前よりも短かった（$P < 0.05$）。母馬の休息時間は 316～366 分であり、子馬の月齢の進行に伴う大きな変化はみられなかった。1 カ月齢から 4 カ月齢のすべての月齢で、子馬は母馬にくらべて、食草時間は短く（$P < 0.01$）、休息時間は長かった（$P < 0.01$）。

再野生馬（Boy と Duncan 1979；Crowell-Davis ら 1985）および家畜ウマ（Usagawa ら 1998； Kurvers ら 2006）の両方において、成長に伴って子馬の食草行動は増加し、休息行動は減少することが報告されている。本試験においてもこれらの先行研究と同様、成長に伴って子馬の食草時間は増加、休息時間は減少しており、子馬の栄養源が母乳から牧草へと変化していることを確認した。

一方で、母馬の食草時間は 1 カ月齢から 4 カ月齢までほとんど変化しなかったが、母馬の伏臥位休息時間は 1，2 カ月にくらべて 3，4 カ月で短かった。Arnold（1984）は終日放牧下のサラブレッド種成馬の食草時間は 4～16 時間、横臥時間は 0～2.1 時間だったと報告している。本研究における母馬の維持行動時間は、伏臥位休息時間を含めてこの範囲内であり、一般的なものであったと考えられる。

子馬の食草時間は離乳直前の 4 カ月齢時においても母馬よりも短かったが、離乳直後の 5 カ月齢時では 796 分/日と離乳直前よりも大きく増加し、母馬の食草時間と同程度であった。子馬の成長に伴う食草時間の増加は、牧草への栄養的依存度の増加を示唆しており、特に離乳後は母乳由来の栄養源が完全に断たれたことで、栄養分を補うために食草時間が大きく増加したと考えられる。したがって、子馬は離乳直前まで栄養源として母乳に大きく依存していたものの、離乳後は母馬と同程度の食草行動を発現するまで成長していたと考えてもよいかもしれない。

Table 5. Grazing and resting time on pasture per day for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (min/d)

		Age of months for foals					Significance		
		1	2	3	4	5	Age	Horse	Interaction
Grazing	Foal	335 ± 71 [d]	408 ± 51 [c]	576 ± 59 [b]	556 ± 48 [b]	796 ± 40 [a]	**	**	**
	Dam	844 ± 55	821 ± 36	748 ± 104	792 ± 76	-			
Resting	Foal	761 ± 88 [a]	679 ± 48 [a]	542 ± 40 [b]	526 ± 89 [b]	435 ± 57 [c]	**	**	**
	Dam	316 ± 40	363 ± 38	366 ± 119	322 ± 54	-			
Standing	Foal	331 ± 92 [a]	226 ± 58 [b]	243 ± 41 [ab]	239 ± 59 [b]	228 ± 111 [c]	NS	NS	**
	Dam	233 ± 35	279 ± 54	319 ± 135	304 ± 42	-			
Lying	Foal	430 ± 32 [a]	453 ± 37 [a]	299 ± 19 [b]	287 ± 106 [b]	207 ± 59 [c]	**	**	**
	Dam	83 ± 40 [a]	83 ± 34 [a]	47 ± 28 [b]	19 ± 22 [b]	-			

Values are Mean ± SD.

[a-d] Values in the same row with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences according to age (**, $P < 0.01$). N.S. means not significant.

Resting means sum of standing and lying.

④ 当歳馬の牧草採食量

放牧草採食量を測定した月の放牧地の冠部被度、自然草高、圧縮草高および草量を表6に、放牧地の化学成分含量を表7にそれぞれ示した。6，8および9月のCP含量はそれぞれ21.5， 22.5，27.3%DMと9月でもっとも高く、NDF含量は41.7，45.8，38.1%DMと9月でもっとも低かった。GE含量はいずれの季節においても4.6Mcal/kgDMで同程度であった。NRC（2007）の寒地型イネ科主体放牧草のCP，NDF，ADF含量はそれぞれ26.5，45.8，25.0%DM、DE含量は2.39 Mcal/kgDMであり、軽種馬飼養標準（日本中央競馬会競走馬総合研究所 2004）では日高地方の放牧草 CP，ADF 含量はそれぞれ20.1，29.0%DMと記されている。本試験で用いた放牧地の6，8月のCP含量はこれらの値と同程度であり、9月ではそれよりも高かった。ADF含量は同程度もしくは低く、DE含量はいずれの季節においても高かった。したがって、本試験で供試した放牧地の栄養価としては、標準もしくはそれよりも高かったと考えられる。

当歳馬の採食量は、雌雄の違いによる統計的有意差はみられなかったので（表 8)、供試馬全体の月齢ごとの値を表9に示した。哺乳期中の食草量は2カ月齢時で1.2 kgDM/日、4カ月齢時で2.1 kgDM/日と4カ月齢時で多かったが（$P < 0.05$)、体重当たりの食草量（%BW）は乾物でそれぞれ0.8, 1.0%と、月齢間で有意な差はみられなかった。離乳直後である5カ月齢時の食草量は4.7 kgDM/日（2.0%BW）と離乳前よりも増加し（$P < 0.05$)、4カ月齢時の約2.2倍だった。濃厚飼料を含めた飼料の総摂取量は2カ月齢時で1.3 kgDM/日(0.8%BW)、4カ月齢時で2.7 kgDM/日(1.3%BW)、5カ月齢時で5.5 kgDM/日（2.4%BW）と実量および体重あたりの摂取量いずれにおいても月齢の進行に伴って増加した（$P < 0.01$)。

ウマの放牧草採食量は乾物で体重の 1.5～3.1%と報告されている（Marlow ら 1983, Dulphy ら 1997, Grace ら 2002a, 2002b, 2003)。なかでも、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種育成馬の放牧草乾物採食量は、1歳馬で2.2%BW（Asai ら 1999）や2.0%BW（Grace ら 2002a）であり、離乳馬（1 歳未満）で 1.8%BW（Grace ら 2003）といった報告がある。本試験における当歳馬の放牧草採食量は乾物として、2，4，5カ月齢時でそれぞれ体重の0.8，1.0，2.0%であり、哺乳期の食草量は上記の成馬または離乳後の育成馬と比較しても少なく、当歳馬の栄養源としては母乳への依存度がまだ高かったと推察される。

一方、離乳直後の食草量は 4.7 kg/日（2.0%BW）と離乳直前よりも大きく増加した。

Table 6. Sward characteristics of experimental pasture

	June	August	September
Crown cover (%)			
Kentucky bluegrass	71.4 ± 12.5	80.8 ± 12.6	80.8 ± 14.9
White clover	26.9 ± 12.9	16.9 ± 12.0	17.8 ± 14.4
Sward height (cm)			
Kentucky bluegrass	18.0 ± 3.0	16.0 ± 2.8	16.4 ± 4.4
White clover	10.2 ± 1.9	8.8 ± 2.2	8.2 ± 2.0
Compressed herbage height (cm)	17.5 ± 5.6	14.5 ± 5.2	14.9 ± 5.7
Herbage mass (tDM/pasture)	6.2 ± 1.4	6.6 ± 0.4	5.8 ± 1.0
(gDM/m^2)	185.8 ± 68.1	199.4 ± 41.6	175.5 ± 43.9

Values are Mean ± SD.

Table 7. Chemical compotision of experimental pasture and concentrate

		Pasture			Concentrate	
		June	August	September	A	B
DM	(% of FM)	20.7 ± 3.9	21.0 ± 3.9	21.2 ± 4.0	88.7	91.1
OM	(% of DM)	91.9 ± 0.4	91.6 ± 0.6	91.7 ± 0.5	81.9	91.6
CP	(% of DM)	21.5 ± 1.5	22.5 ± 1.3	27.3 ± 2.0	36.0	25.2
EE	(% of DM)	4.3 ± 0.5	4.7 ± 0.8	5.3 ± 1.0	2.3	2.4
NDF	(% of DM)	41.7 ± 2.2	45.8 ± 2.9	38.1 ± 2.1	15.1	18.9
ADF	(% of DM)	23.0 ± 1.6	25.6 ± 1.5	20.9 ± 1.9	10.2	7.2
ADL	(% of DM)	2.0 ± 0.4	2.7 ± 0.4	2.1 ± 0.2	1.8	1.6
WSC	(% of DM)	12.6 ± 1.9	8.7 ± 1.6	10.4 ± 1.5	-	-
GE	(Mcal/kgDM)	4.6 ± 0.2	4.6 ± 0.1	4.6 ± 0.1	4.1	4.5
DE	(Mcal/kgDM)	2.6 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.1	3.1	3.4

Values are Mean ± SD.

DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; EE: either extract; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; ADL: acid detergent lignin; WSC: water soluble carbohydrate; GE: gross energy; DE: digestible energy.

DE were calculated using the equation given NRC (2007).

Concentrate A: STAMM 30; B: ACE CREEP

Table 8. Dry matter intake (DMI) of pasture and concentrate feeds per day for whole-day stocked Thoroughbred foals at 2 months, 4 months and 5 months of age for foals.

	2 months		4 months		5 months		SEM	Significance		
	Colt	Filly	Colt	Filly	Colt	Filly		Age	Sex	Interaction
DMI (kgDM/d)										
Pasture	1.2	1.3	2.0	2.1	5.1	4.2	0.4	**	NS	NS
Concentrate	0.0	0.0	0.6	0.6	0.9	0.9	0.1	**	NS	NS
Total	1.3	1.3	2.6	2.7	6.0	5.1	0.4	**	NS	NS
DMI (%BW)										
Pasture	0.9	1.1	1.0	1.2	2.2	1.9	0.2	**	NS	NS
Concentrate	0.0	0.0	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	**	NS	NS
Total	0.9	1.1	1.3	1.5	2.5	2.3	0.2	**	NS	NS
DMI (gDM/kgMBW)										
Pasture	26.9	30.8	36.1	39.8	83.2	72.8	6.7	**	NS	NS
Concentrate	0.8	0.4	11.1	12.5	14.5	15.4	1.4	**	NS	NS
Total	28.1	31.4	47.0	52.5	97.7	88.2	7.0	**	NS	NS

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$), NS means not significant

Table 9. Dry matter intake (DMI) of pasture and concentrate feeds per day on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals at 2 months, 4 months and 5 months of age for foals

	Before weaning		After weaning	Significance		
	2 months	4 months	5 months	Age	Sex	Interaction
DMI (kgDM/d)						
Pasture	1.2 ± 0.2 [c]	2.1 ± 0.2 [b]	4.7 ± 0.2 [a]	**	NS	NS
Concentrate	0.0 ± 0.0 [c]	0.6 ± 0.0 [b]	0.9 ± 0.0 [a]	**	NS	NS
Total	1.3 ± 0.2 [c]	2.7 ± 0.2 [b]	5.5 ± 0.2 [a]	**	NS	NS
DMI (%BW)						
Pasture	0.8 ± 0.1 [b]	1.0 ± 0.1 [b]	2.0 ± 0.1 [a]	**	NS	NS
Concentrate	0.0 ± 0.0 [c]	0.3 ± 0.0 [b]	0.4 ± 0.0 [a]	**	NS	NS
Total	0.8 ± 0.1 [c]	1.3 ± 0.1 [b]	2.4 ± 0.1 [a]	**	NS	NS
DMI (gDM/kgMBW)						
Pasture	28.9 ± 3.4 [b]	38.0 ± 3.4 [b]	78.0 ± 3.1 [a]	**	NS	NS
Concentrate	0.6 ± 0.7 [c]	11.8 ± 0.7 [b]	14.9 ± 0.6 [a]	**	NS	NS
Total	29.8 ± 3.5 [c]	49.7 ± 3.5 [b]	92.9 ± 3.2 [a]	**	NS	NS

Values are Least Mean ± SE.

[a, b, c,] Means in the same row with different superscripts differ in months ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$), NS means not significant.

BW: body weight; MBW: metabolic body weight.

体重当たりの乾物摂取量としては、放牧飼養下における離乳直後の当歳馬の採食量（1.8%BW, Grace ら 2003）や乾草給与下における離乳直後の当歳馬の乾物採食量（2.0%BW, Saastamoinen と Särkijärvi 2018）と同程度もしくはそれよりも高かった。したがって、哺乳期は栄養源として離乳直前まで母乳への依存度は比較的高いものの、乾物として体重の 1%程度の放牧草採食量が見込めることが示唆された。また、離乳直後においては、放牧草乾物採食量が体重の 2.0%、総飼料乾物採食量は体重の 2.4%と大きく増加したことから、4 カ月齢で離乳した 5 カ月齢の当歳馬は成馬と同程度の放牧草採食能力を有していると考えられた。

⑤ 当歳馬の養分摂取量

DM，CP，GE 消化率および CP，DE 摂取量を表 10 に、NRC（2007）の維持と増体に必要な要求量に対する摂取量の割合（充足率）および試験期間中の当歳馬の日増体量（Average Daily Gain: ADG）を表 11 にそれぞれ示した。DM 消化率は 56.3～69.3%であり、6 月と 8 月にくらべ 9 月で高かった（$P < 0.05$）。CP 消化率は 72.2～81.7%と 9 月がもっとも高かった（$P < 0.05$）。GE 消化率は 55.8～68.2%と 9 月がもっとも高く、8 月がもっとも低かった（$P < 0.05$）。哺乳期中の放牧草由来の CP および DE 摂取量はそれぞれ 2 カ月齢時で 266 g/日，3.6 Mcal/日、4 カ月齢時で 462 g/日，4.8 Mcal/日と CP 摂取量は 2 カ月齢よりも 4 カ月齢で高かったが（$P < 0.05$）、DE 摂取量には統計的な差はみられなかった。濃厚飼料を含めた CP および DE の総摂取量はそれぞれ 2 カ月齢時で 275 g/日，3.7 Mcal/日、4 カ月齢時で 690 g/日，6.8 Mcal/日と CP および DE ともに 4 カ月齢時で高かった（$P < 0.05$）。離乳直後の 5 カ月齢時の放牧草由来の CP および DE 摂取量は 1268 g/日、14.6 Mcal/日であり、CP および DE の総摂取量も 1587 g/日、17.3 Mcal/日といずれも離乳直前の 4 カ月齢時よりも大きく増加した（$P < 0.05$）。

CP および DE の要求量に対する放牧草からの摂取割合は、哺乳期中の 2 カ月齢時で 35.0，29.2%、4 カ月齢時で 59.3，30.2%だった。離乳直後の 5 カ月齢時では CP、DE の摂取割合はそれぞれ 166.9，87.0%であり、CP は放牧草のみで維持と増体要求量を満たしていたが、DE 摂取量は要求量を満たしていなかった。濃厚飼料を含めた総摂取量でみると、CP, DE それぞれ哺乳期は 2 カ月齢時で 35.9, 30.0%、4 カ月齢時で 89.0, 42.7%だった。2 カ月齢および 4 カ月齢時でそれぞれ 1.16, 0.96 kg/日の平均日増体量を得ていたことから、残りは母乳に依存していたと考えられる。特に DE は離乳直前の 4 カ月齢

Table 10. Total tract nutrient digestibility, crude protein (CP) and digestible energy (DE) intake per day on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals at 2 months, 4 months and 5 months of age for foals

	Before weaning		After weaning	Significance		
	2 months	4 months	5 months	Age	Sex	Interaction
DM digestibility (%)	60.6 ± 1.6 [b]	56.3 ± 1.6 [b]	69.3 ± 1.4 [a]	**	NS	NS
CP digestibility (%)	72.6 ± 1.2 [b]	72.2 ± 1.2 [b]	81.7 ± 1.2 [a]	**	NS	NS
GE digestibility (%)	62.2 ± 1.4 [b]	55.8 ± 1.4 [c]	68.2 ± 1.3 [a]	**	NS	NS
CP intake (g/d)						
Pasture	266 ± 57 [c]	462 ± 57 [b]	1,268 ± 52 [a]	**	NS	NS
Concentrate	6 ± 14 [c]	229 ± 14 [b]	319 ± 12 [a]	**	NS	NS
Total	275 ± 60 [c]	690 ± 60 [b]	1,587 ± 54 [a]	**	NS	NS
DE intake (Mcal/d)						
Pasture	3.6 ± 0.8 [b]	4.8 ± 0.8 [b]	14.6 ± 0.7 [a]	**	NS	NS
Concentrate	0.1 ± 0.1 [c]	2.0 ± 0.1 [b]	2.8 ± 0.1 [a]	**	NS	NS
Total	3.7 ± 0.8 [c]	6.8 ± 0.8 [b]	17.3 ± 0.7 [a]	**	NS	NS

Values are Least Mean ± SE.

DM: dry matter; CP: crude protein; GE: gross energy; DE: digestible energy.

[a, b, c,] Means in the same row with different superscripts differ in months ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$), NS means not significant.

Table 11. Proportion of crude protein (CP) and digestible energy (DE) intake to maintenance and growth requirements (NRC 2007) and average daily gain (ADG) for whole-day stocked Thoroughbred foals at 2 months, 4 months and 5 months of age for foals

	Before weaning		After weaning
	2 months	4 months	5 months
CP (%)			
Pasture	35.0 ± 6.4	59.3 ± 15.5	166.9 ± 36.7
Concentrate	0.9 ± 1.3	29.7 ± 9.8	41.0 ± 1.0
Total	35.9 ± 6.8	89.0 ± 21.3	207.9 ± 36.9
DE (%)			
Pasture	29.2 ± 6.1	30.2 ± 10.4	87.0 ± 21.4
Concentrate	0.8 ± 1.0	12.5 ± 4.0	16.1 ± 0.6
Total	30.0 ± 6.3	42.7 ± 12.2	103.1 ± 21.6
ADG (kg/day)			
In this study	1.16 ± 0.21	0.96 ± 0.12	1.01 ± 0.12
Standard growth	1.12 ± 0.03	0.93 ± 0.05	0.86 ± 0.03

Values are Mean ± SD.

Standard growth (The Japan Bloodhorse Breeders' Association 2016).

時においても要求量の約 60%を母乳に依存していた。

離乳直後の 5 カ月齢時では CP、DE でそれぞれ 207.9，103.1%であり、それぞれ維持と増体に必要な要求量を満たしていた。平均日増体量は 1.01 kg/日と標準発育（日本軽種馬協会 2016）よりも高い日増体量が得られていたことから、離乳直後において当歳馬は維持と増体に必要な養分量を摂取できていたと考えられる。

しかし、5 カ月齢時においては、CP 充足率が 207.9%に対して DE 充足率は 103.1%と、エネルギー摂取量に対するタンパク質摂取量の割合が大きすぎる不均衡が生じていた。タンパク質単独の過剰摂取は DOD の発症要因ではないことが確認されているが（Stromberg 1979, Savage ら 1993）、肝臓や腎臓に負担がかかるため、CP 含量の高い良質な放牧地で昼夜放牧を行う際には特に、濃厚飼料中のタンパク質給与を抑えるような飼養管理が必要であると考えられる。

以上より、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の放牧草採食量は、哺乳期では乾物で体重の 1%程度であり、4 カ月齢時の離乳直前においても母乳への依存度が比較的高いことが明らかとなった。一方、5 カ月齢時の離乳直後では乾物で体重の 2.0%であり、食草量は離乳直前よりも大きく増加し、CP と DE の維持と増体に必要な要求量を満たすことができていた。

2-2. 飼料消化率の変化 【試験 2,3】

2-2-1. 目的

草食動物であるウマは、ウシなどの反芻動物とは異なり、盲腸および結腸を特異的に発達させた後腸発酵動物に分類される。後腸における微生物の働きによって植物由来のセルロースやヘミセルロースなどの繊維成分を消化し、微生物消化の発酵産物である酢酸、プロピオン酸、酪酸などの VFA を反芻動物と同様にエネルギー源として利用している。

当歳馬にとって、1 歳までの期間は消化管の成長も著しく（Smyth 1988）、同時に母乳から牧草へと栄養源が切り替わる時期であり（Tyler 1972）、後腸での消化能力も発達すると言われている。先行研究において、飼料の繊維分解を行う後腸内微生物は誕生時にはほとんど存在しておらず、飼料摂取や食糞などによって後天的に微生物を獲得するこ

とが確認されている（Francis-Smith と Wood-Gush 1977）。Costa ら（2016）は、子馬の腸内微生物叢は生後 30 日間で急激に増加し、60 日齢以降では安定していたことを報告している。また、子馬の糞中微生物叢は 6 週齢で成馬との類似性が高いことや（Earing ら 2012）、離乳前後で子馬の糞中微生物叢に変化みられなかったこと（Faubradier ら 2014）が報告されている。こうした後腸内微生物叢の発達に関する報告はあるが、子馬による飼料消化率の変化や消化能力の発達に関する報告はほとんどみられない。

成長や離乳による食草量の変化は、牧草の消化能力や利用性にも影響を与えると考えられ、当歳馬の牧草消化能力について把握することは重要であると考えられる。そこで、本試験では、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の牧草の消化率を *in vitro* で測定し、月齢の進行にともなう変化を明らかにするとともに、離乳前後でも比較した。はじめに試験 2 では、供試馬を放牧していた放牧地から前年に採取した牧草サンプルを用いて、当歳馬の成長に伴う乾物消化率の変化を明らかにし、母馬の消化率と比較した。試験 3 では、同じく前年度と当年度にも放牧草サンプルを採取し、繊維消化率の変化について母馬と比較した。

2-2-2. 材料および方法

①試験の概要

①-1. 哺乳期および離乳前後における当歳馬の *in vitro* 乾物消化率【試験 2】

試験は北海道浦河町の JRA 日高育成牧場において親子放牧飼養しているサラブレッド種母子馬群 6 組のうち 2017 年 4 月生まれの当歳馬 3 頭（雄 2 頭、雌 1 頭）を用いて哺乳期中である 2 カ月齢時（6 月）および 4 カ月齢時（8 月）と、離乳直後の 5 カ月齢時（9 月）に行った。母馬を用いた試験は離乳後の 10 月に行った。

当歳馬は 4 ha の放牧地に母馬とともに母子馬群として 5 月中旬まで昼間放牧（0800h-1530h）し、それ以降は昼夜放牧を行った。放牧時間は 19 時間であり、放牧時間帯は昼夜放牧を開始した 5 月中旬から 7 月下旬までは 1300h-翌 0800h、7 月下旬から 9 月中旬までは 1530h-翌 1030h であった。離乳は 8 月中旬（3 月生まれ 2 頭、4 月生まれ 1 頭）と下旬（4 月生まれ 2 頭、5 月生まれ 1 頭）にそれぞれ 3 頭ずつ 2 回に分けて行った。7 月の下旬から親子群に成雌馬 1 頭を乳母（リードホース）として導入し、離

乳後から 9 月中旬まではリードホースと当歳馬で同放牧地にて放牧していた。9 月中旬から 11 月末まで当歳馬は別の放牧地（5 ha）に移動し、1030h－翌 0800h まで 21.5 時間の昼夜放牧を行っていた。離乳後の母馬は 2ha の放牧地にて 24 時間の昼夜放牧を行っていた。放牧時間帯以外、哺乳期は母子ペアで、離乳後は当歳馬のみで馬房内に収容した。収牧後、併給飼料として、母馬には分娩後から昼夜放牧開始した 5 月下旬まではエンバク 4kg/日/頭、濃厚飼料 A（STAMM30；レッキス工業株式会社，東大阪市）を 1.5kg/日/頭、昼夜放牧開始後の 5 月下旬から 6 月中旬まではエンバクを 2kg/日/頭、濃厚飼料 A を 1.5kg /日/頭､6 月中旬から 7 月中旬まではエンバクを 1kg/日/頭､濃厚飼料 A を 1.5kg/日/頭、7 月中旬から離乳までは濃厚飼料 A を 1.5kg /日/頭、離乳後は 1.0 kg/日/頭を給与していた。当歳馬には 6 月に濃厚飼料 B（ACE CREEP；日本農産工業株式会社，横浜市）を 0.25 kg/日/頭、8 月以降は配合飼料 A をそれぞれ 1.0 kg/日/頭給与していた。10 月から当歳馬は濃厚飼料 A（1.0 kg/日/頭）に加えエンバク 1.0 kg/日/頭を給与していた。馬房内および放牧地において、供試馬は自由に飲水することができた。放牧に使用していた放牧地はいずれもケンタッキーブルーグラス（*Poa pratensis* L.）主体マメ科混播草地であり、約 2 週間に一度の頻度で掃除刈りを行っていた。

①-2. 哺乳期おける当歳馬の *in vitro* NDF 消化率【試験 3】

試験は北海道浦河町の JRA 日高育成牧場において親子放牧飼養しているサラブレッド種母子馬群 9 組のうち 2018 年 3 月または 4 月生まれ（3 月 2 日 - 4 月 2 日）の親子 6 組を用いて、哺乳期中の 2 カ月齢時（5 月）から 5 カ月齢時（8 月）まで毎月 1 回行った。

当歳馬は 4 ha のケンタッキーブルーグラス（*Poa pratensis* L.）主体マメ科混播草地に母馬とともに母子馬群として 5 月中旬まで昼間放牧（0800h-1530h）し、それ以降は昼夜放牧を行った。放牧時間は 20 時間前後であり、放牧時間帯は昼夜放牧を開始した 5 月中旬から 6 月までは 1030h-翌 0800h、7 月から 8 月は 1530h-翌 0930h だった。放牧時間帯以外は母子ペアで馬房内に収容した。収牧後、併給飼料として、濃厚飼料 A（STAMM30；レッキス工業株式会社，東大阪市）を母馬には 1.5 kg/日/頭、子馬には濃厚飼料 A を 5 月は 0.25 kg/日/頭、6 月は 0.5 kg/日/頭、7 月は 0.75 kg/日/頭、8 月は 1.0 kg/日/頭給与していた。馬房内および放牧地において、供試馬は自由に飲水することができた。放牧地は約 2 週間に一度の頻度で掃除刈りを行っていた。

離乳は 8 月上旬、中旬および下旬に 3 頭ずつ 3 回に分けて行った。7 月の下旬から親子群に成雌馬 1 頭を乳母（リードホース）として導入し、離乳後から 9 月中旬まではリードホースと当歳馬で同放牧地にて放牧していた。

②供試試料

②-1.【試験 2】

供試試料は、母子馬群が昼夜放牧されている放牧地の牧草を試験前年の 2016 年 5 月から 9 月まで毎月 1 回 1 m×1 m のコドラート内の牧草を地際から刈り取り、60℃で通風乾燥させ、粉砕したものを用いた。

②-2.【試験 3】

試験 3 では、2 種類の試料を用いた。1 点目は、子馬の成長に伴う変化を明らかにするため、前年（2017 年）の 6 月，8 月および 9 月に手摘みで採取した放牧草サンプルを各月 48 時間凍結乾燥し、粉砕してから各月等量混合したもの（pasture of previous year: PPY）。2 点目は、試験時期による牧草の化学成分含量の変化を考慮して、2018 年の 5 月から 8 月まで試験実施の 1 週間前に放牧馬が採食している周辺の牧草を手摘みで採取し、60℃で通風乾燥させ、粉砕したもの（pasture of this year: PTY）を各月供試した。いずれの試料も 1mm メッシュを通過するように粉砕し、供試試料とした。

③微生物抽出液の調製および培養時間

in vitro 消化試験は、Theodorou ら（1994）の手順に従い、後腸内微生物培養の生育環境を提供するための培養液および還元状態を確認するための還元液をそれぞれ調製した。

培養液は、溶液 A（$CaCl_2$･$2H_2O$: 13.2 g, $MnCl_2$･$4H_2O$: 10.0 g, CoCl･$6H_2O$: 1.0 g, FeCl･$6H_2O$: 8.0 g を蒸留水で 0.1 L にメスアップ）、溶液 B（$NaHCO_3$: 35 g, NH_4HCO_3: 4 g を蒸留水で 1 L にメスアップ）、溶液 C（Na_2HPO_4･$12H_2O$: 9.45 g, KH_2PO_4: 6.20 g, $MgSO_4$･$7H_2O$: 0.60 g を蒸留水で 1 L にメスアップ）、溶液 D（Resazurin Sodium Salt : 0.1 g を蒸留水で 0.1 L にメスアップ）をそれぞれ調製したのち、溶液 A 0.1mL、溶液 B 200mL、溶液 C 200mL、溶液 D 1 mL と蒸留水 500mL を混合し、嫌気条件下で CO_2 ガスを通し

ながら2〜3時間撹拌した後、培養液900mLに対し2mlの還元液（$HSCH_2CH(NH_2)COOH$・HCL・H_2O: 0.625 g, Na_2S: 0.625 g, 1M-NaoH: 4mL, 蒸留水: 95mL を混合）を加えた。

試験2では、50 mlプラスチック容器に、放牧草試料0.5 g、培養液40 ml、還元液2.5 ml を入れた。また、ブランク（無試料）として放牧草飼料を入れず培養液と還元液のみを入れた容器も用意した。これを1つの試料につき3反復用意した。すなわち1頭につき（5試料＋無試料）×3反復＝18本のプラスチック容器を準備した。これらの容器は糞採取の約1時間前に39℃の恒温器内で温めておいた。

放牧地にて試験対象の子馬または母馬から排泄直後の新鮮糞を採取し、直ちに実験室に運び、糞と培養液を重量比1：2で混合後、内容物を4重ガーゼで濾過し、腸内微生物抽出液を調製した。恒温器内で温めておいたプラスチック容器を取り出し、速やかに微生物抽出液を各容器に7.5 ml分注後、再度恒温器内に戻し、39℃で24時間培養した。培養終了後は、容器を恒温器から取り出し、氷水中に入れて培養を停止させ、冷蔵庫で一晩静置した。培養終了後の容器内容物（消化残渣）は、予め恒量化（105℃，4時間）しておいた定量濾紙（No.5A，Φ185 mm，ADVANTEC）を用いて吸引濾過し、再度105℃で4時間乾燥させて重量を測定した。培養前サンプル量と培養後の消化残渣量の差分から *in vitro* 乾物（DM）消化率を算出した。

試験3では、*in vitro* 消化試験における、培養液、還元液および微生物抽出液の調製は試験2と同様の方法で行った。培養時間はEaringら（2010）を参考に72時間とした。

培養後残渣を用いて繊維消化率の測定を行うにあたり、試験は、試料量、培養液量、還元液量、微生物抽出液量を試験2の2倍量にして実施した。すなわち、100 mlプラスチック容器に、放牧草サンプル1.0 g、培養液80 ml、還元液5.0 mlを入れ、微生物抽出液15 ml分注後、39℃の恒温器内で72時間培養した。

培養終了後は試験2と同様の方法で *in vitro* DM消化率を算出した。さらに消化残渣については、DM重量測定後、濾紙内の消化残渣をガラスるつぼ（P2, FOSS）に回収し、供試試料と同様の方法でNDF含量を測定し、*in vitro* NDF消化率を算出した。

④化学成分分析

試験に用いた供試試料の乾物（DM）、有機物（OM）、粗タンパク質（CP）、中性デタージェント繊維（NDF）、酸性デタージェント繊維（ADF）、酸性デタージェントリグニン（ADL）含量を測定した。化学成分分析については試験1と同様の方法で行った。

⑤統計処理

すべてのデータは統計解析ソフトウェア JMP（ver. 14.0.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA）を用いて解析した。試験 2 の *in vitro* DM 消化率は、子馬の月齢間の比較は一元配置の分散分析により比較し、その後 Tukey の HSD 検定で解析した。また、母馬の消化率と各月齢の子馬の消化率との比較は Dunnett の多重比較法により検定を行った。

試験 3 において、PPY を用いて行った試験の *in vitro* DM 消化率および NDF 消化率は、子馬の月齢間の比較は一元配置の分散分析により比較し、その後 Tukey の HSD 検定で解析した。また、母馬の消化率と各月齢の子馬の消化率との比較は Dunnett の多重比較法により検定を行った。PTY を用いて行った試験の *in vitro* DM 消化率および NDF 消化率は、混合モデルの分散分析により行った。変量効果として個体の効果を加え、固定効果として母子、時期および母子と時期の交互作用を加えた。有意差が認められた場合、時期ごとに母子間の比較を行った。$P < 0.05$ であった場合に統計的に有意であると判断した。

2-2-3. 結果および考察

①哺乳期および離乳前後における当歳馬の *in vitro* 乾物消化率【試験 2】

試験に供試した放牧草の化学成分含量について、表 12 に示した。試料に用いた 5～9 月の牧草の CP は 17.0-20.5%DM、NDF は 54.7-58.6%DM、ADF は 27.2-31.4%DM と試料間で大きな違いはみられなかった。NRC（2007）に記載されている寒地型放牧草の化学成分は CP 26.5%DM, NDF 45.8%DM, ADF 25.0%DM, C.Ash 9.8%DM、軽種馬飼養標準（日本中央競馬会競走馬総合研究所 2004）によると日高地方の放牧草化学成分含量は CP 20.1%DM, ADF 29.0%DM とそれぞれ記載されている。本試験で用いた放牧草試料は NRC（2007）の値より CP は低く、NDF および ADF は高かったが、軽種馬飼養標準（日本中央競馬会競走馬総合研究所 2004）の CP、ADF と同程度の値であり、日高地方の標準的な放牧草であったと考えられる。

in vitro DM 消化率を図 1 に示した。DM 消化率は 5 月から 9 月の牧草間での差がほとんどみられなかったので（表 13）、試料全体の平均値を用いて月齢ごとに比較した。子

Table 12. Chemical composition of used pasture grass sample in the experiment

		May	June	July	August	September
DM	(% of FM)	23.5	23.7	20.4	29.4	28.4
OM	(% of DM)	92.2	91.4	91.9	92.5	91.7
CP	(% of DM)	17.0	17.0	20.5	17.6	17.4
NDF	(% of DM)	56.1	56.9	54.7	55.8	58.6
ADF	(% of DM)	27.2	30.0	29.7	29.2	31.4
ADL	(% of DM)	4.3	3.7	3.4	3.7	4.6

DM, dry matter; OM, organic matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin.

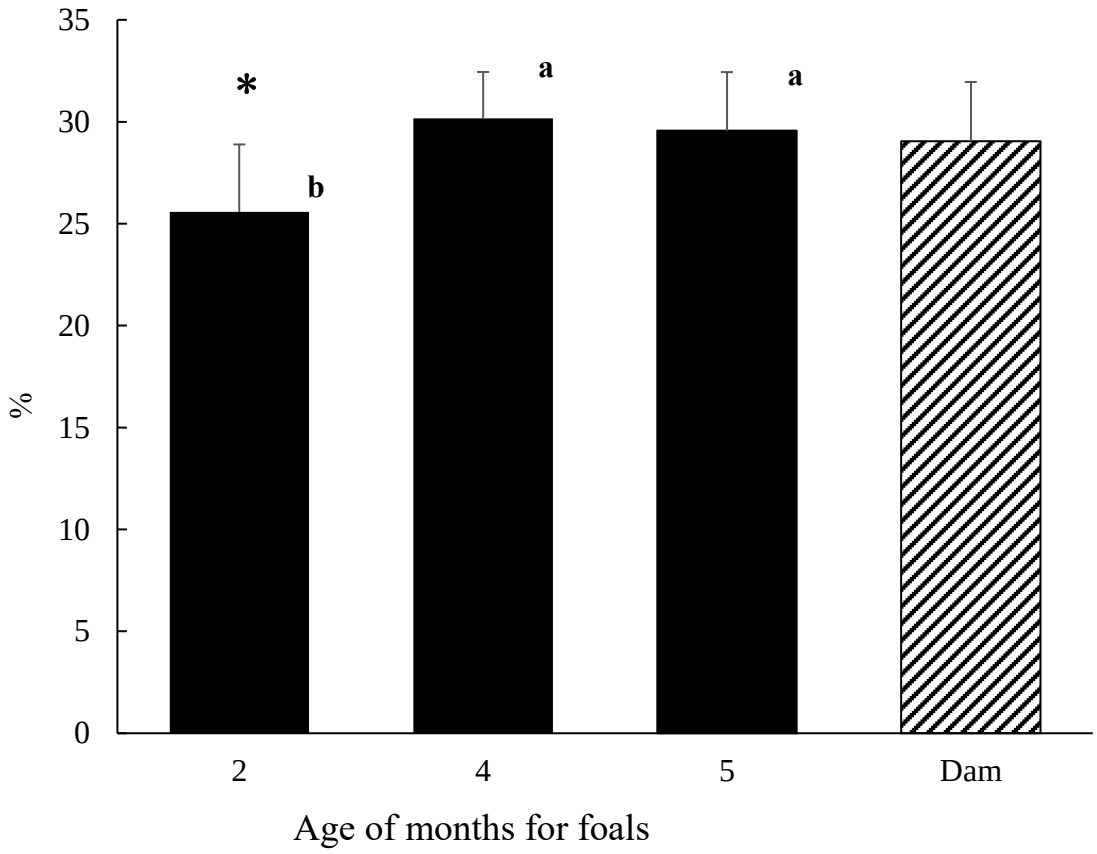

Figure 1. *in vitro* DM digestibility for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (24 hrs. incubation). The digestibility of the foals at 2 months, 4 months and 5 months of age and the dams on October.

[a, b] means differ in months of age for foals ($P < 0.05$).

Asterisks on bar indicate significant differences between Foal and Dam ($P < 0.05$).

Table 13. *in vitro* DM digestibility of whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (24 hrs. incubation)

Sample	Foal			Dam
	2months	4 months	5 months	
May	22.9	29.9	33.2	33.5
June	22.2	30.5	30.6	29.4
July	26.4	31.1	29.8	26.7
August	31.0	32.2	28.4	30.0
September	25.4	27.2	25.8	25.8

馬の DM 消化率は 2 カ月齢時で 25.6%、4 カ月齢時で 30.2%であり、4 カ月齢時の方が高かった（$P < 0.05$）。離乳後の 5 カ月齢時の子馬の DM 消化率は 29.6%であり、2 カ月齢より高く（$P < 0.05$）、離乳前後ではほとんど変化はみられなかった。また、母馬の DM 消化率と比較すると、2 カ月齢では低く（$P < 0.05$）、4 カ月および 5 カ月齢時では同程度だった。

Costa ら（2016）は子馬の腸内微生物は 60 日齢以降では比較的安定した腸内微生物叢を有することを示唆している。また、Faubradier ら（2014）は子馬の腸内微生物による炭水化物消化能力は 2 カ月齢時には確立していることを示唆している。しかし、本試験において DM 消化率は 2 カ月齢時よりも 4 カ月齢時の方が高かった。すなわち、当歳馬は 2 カ月齢時で成馬と同等の後腸内微生物叢を有しているされているが、この月齢ではまだ飼料消化に対する微生物叢のはたらきが成馬よりも小さく、腸内微生物による飼料消化能は 4 カ月齢時まで発達する可能性が示唆された。

②哺乳期おける当歳馬の *in vitro* NDF 消化率【試験 3】

供試試料 PPY および PTY の化学成分含量について、表 14 に示した。PPY の CP が 23.4%DM，NDF が 44.1%DM，ADF が 23.9%DM だった。PTY の化学成分含量は CP が 20.3～28.4%DM と 6 月で低く 8 月で高かった。NDF が 34.3～53.5%DM、ADF が 18.1～29.1%DM とともに 5 月で低く、6 月で高かった。

PPY を用いた *in vitro* DM 消化率を図 2 に、NDF 消化率を図 3 に示した。母馬の *in vitro* DM および NDF 消化率は 2 カ月齢から 5 カ月齢の間に差がほとんどみられなかったので（表 15）、試験全体の平均値を用いて比較した。子馬の DM 消化率は 2 カ月齢時で 48.1%であり、3～5 カ月齢時（55.5～59.1%）よりも低かった（$P < 0.05$）。また、母馬の DM 消化率と比較すると 2 カ月齢時では低かったが（$P < 0.01$）、3 カ月齢以降で差はみられなくなった。子馬の NDF 消化率は 2～5 カ月齢時で 27.9～33.6%といずれの月齢においても有意な差はみられず、母馬の NDF 消化率（28.3%）と比較しても統計的な差はみられなかった。

PTY を用いた *in vitro* DM 消化率を表 16 に、NDF 消化率を表 17 に示した。DM 消化率は子馬が 51.9～61.2%、母馬が 50.9～66.0%だった。放牧時期で比較すると、5 月の DM 消化率は母子ともに 6 月よりも高かった（$P < 0.05$）。いずれの時期においても DM 消化率に母子間の差はみられなかった。NDF 消化率は、子馬で 22.7～31.8%、母馬で 22.1

Table 14. Chemical compotion of used pasture grass sample in the experiment (72 hrs. incubation)

		PPY	PTY			
			May	June	July	August
DM	(% of FM)	-	25.1	18.7	21.5	26.4
OM	(% of DM)	91.7	94.0	91.9	92.2	91.5
CP	(% of DM)	23.4	24.2	20.3	22.7	28.4
NDF	(% of DM)	44.1	34.3	53.5	43.0	44.0
ADF	(% of DM)	23.9	18.1	29.1	24.2	24.5
ADL	(% of DM)	2.1	1.1	2.1	1.6	1.9
WSC	(% of DM)	10.9	22.9	8.5	15.4	11.0

DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; ADL: acid detergent lignin; WSC: water soluble carbohydrate.

PPY: pasture of previous year; PTY: pasture of this year.

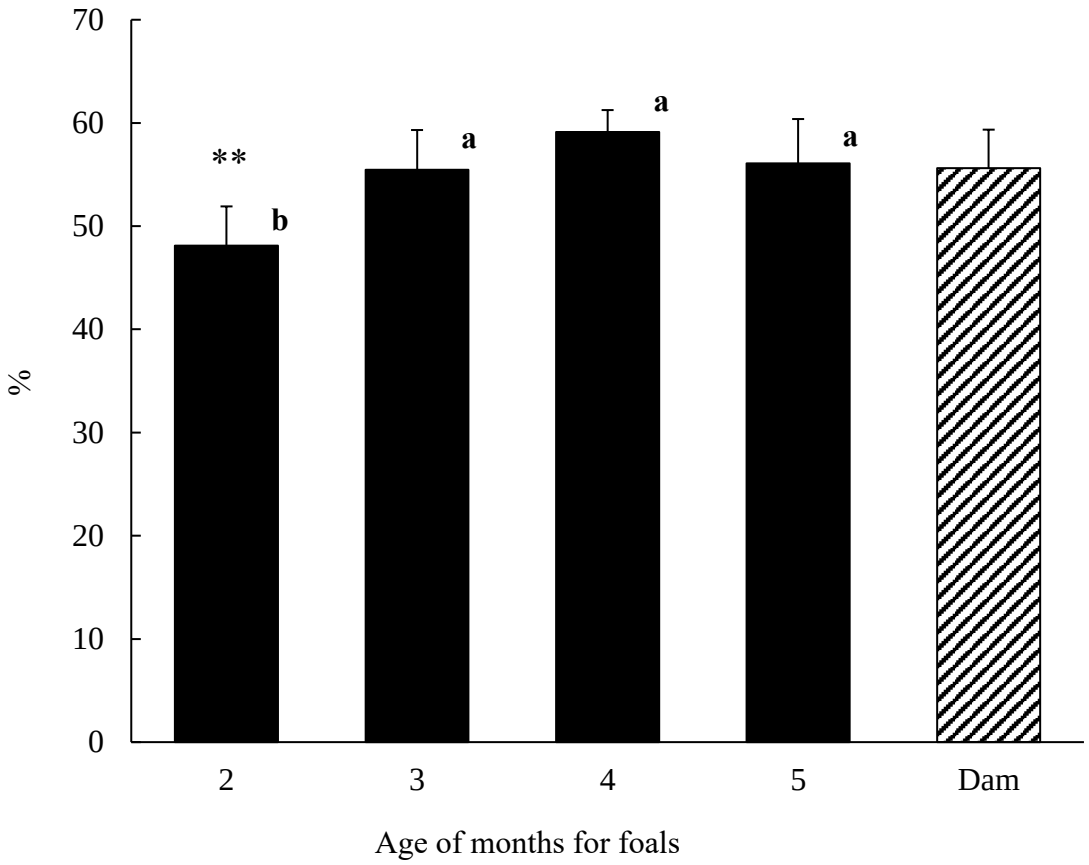

Figure 2. *in vitro* DM digestibility of pasture of previous year (PPY) for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (72 hrs. incubation). The digestibility of the foals at 2 months, 3months, 4 months and 5 months of age and the average digestibility of the dams from 2 months to 5 months of age for foals.

[a, b] means differ in months of age for foals ($P < 0.05$).

Asterisks on bar indicate significant differences between Foal and Dam ($P < 0.01$).

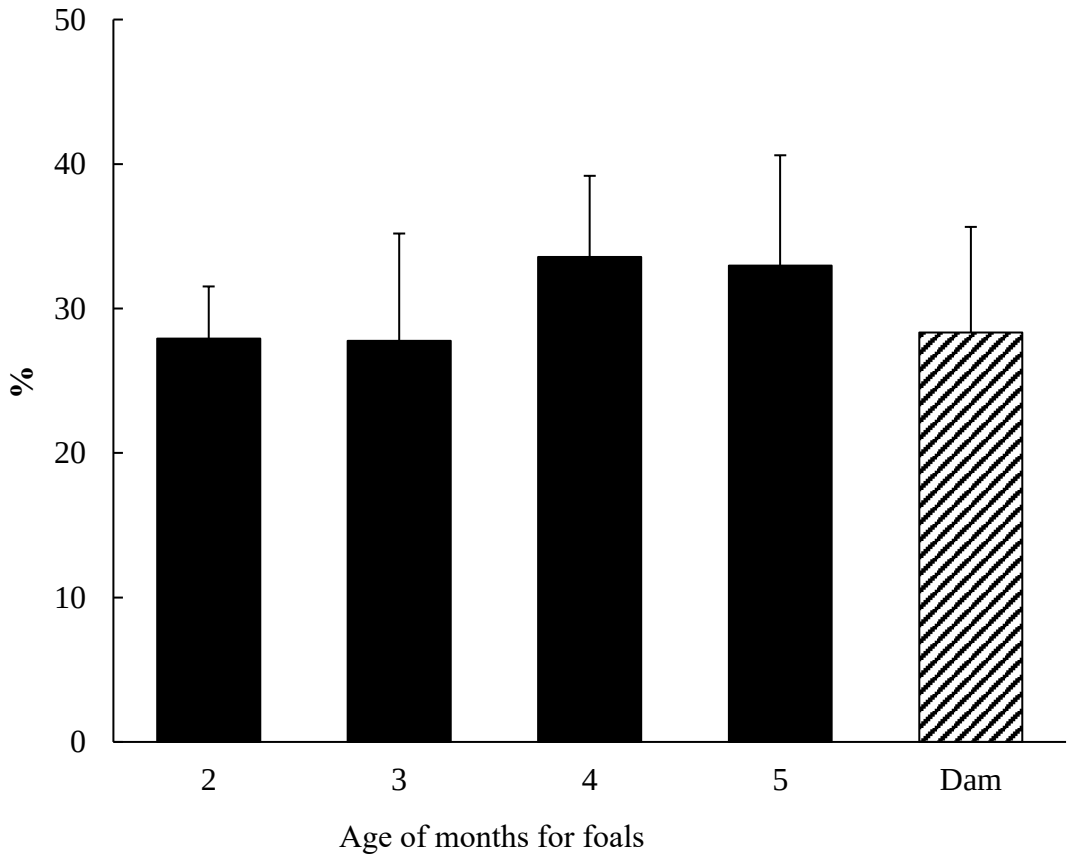

Figure 3. *in vitro* NDF digestibility of pasture of previous year (PPY) for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (72 hrs. incubation). The digestibility of the foals at 2 months, 3months, 4 months and 5 months of age and the average digestibility of the dams from 2 months to 5 months of age for foals.

Table 15. *in vitro* DM and NDF digestibility of pasture of previous year (PPY) for whole-day stocked Thoroughbred dams (72 hrs. incubation)

		Age of foals				Mean ± SD
		2	3	4	5	
DMD	(%)	54.7	57.4	55.2	55.1	55.6 ± 1.0
NDFD	(%)	33.1	26.8	24.3	30.7	28.7 ± 3.4

Table 16. *in vitro* DM digestibility of pasture of this year (PTY) between May and August for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (72 hrs. incubation)

	May	June	July	August
Foal (%)	61.2[a]	51.9[b]	56.2[ab]	55.7[ab]
Dam (%)	66.0[a]	50.9[b]	56.6[ab]	55.3[ab]
P between foal and dam	NS	NS	NS	NS

[a-b] Values in the same row with different superscript letters differd ($P < 0.05$).

NS means not significant.

Table 17. *in vitro* NDF digestibility of pasture of this year (PTY) between May and August for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (72 hrs. incubation)

	May	June	July	August
Foal (%)	31.8	29.4	22.7	29.0
Dam (%)	39.5	25.5	22.1	27.0
P between foal and dam	NS	NS	NS	NS

NS means not significant.

～39.6%であり、母子ともに放牧時期による有意な差はみられなかった。また、DM 消化率と同様にいずれの時期においても NDF 消化率に母子間の統計的な差はみられなかった。PPY を用いた 2 カ月齢における子馬の DM 消化率は 24 時間培養時と同様に他の月齢や母馬よりも低かったが、3 カ月齢時の DM 消化率は 2 カ月齢時よりも高く、それ以降ではほとんど変化しなかった。また、3 カ月齢時の DM 消化率は母馬の DM 消化率と同程度であった。

PTY の化学成分含量は試験時期によって大きく変動し、CP は 8 月（28.4%DM）に高く、6 月（20.3%DM）で低かった。NDF は 6 月（53.4%DM）と 5 月（34.3%DM）で約 20 ポイントも異なっていた。PTY の DM 消化率は母子ともに 5 月が他の月齢にくらべて高かった。これは用いた牧草の NDF、ADF、ADL といった繊維成分含量が他の月に比べて低く、易消化性の WSC が多く含まれていたことに起因するものであると推察される。

Maeta ら（1992）は異なる刈り取り時期のチモシー乾草を軽種馬に給与して、繊維消化率を測定しており、CP 含量が低く、繊維含量が高い飼料ほど繊維消化率が低下することを報告している。しかし、本試験において NDF 消化率は PPY および PTY いずれの試料においても子馬の月齢の進行および放牧時期による明らかな変化は確認されなかった。ただし、統計的な差はみられなかったもの、PPY を用いた試験において子馬の NDF 消化率は 3 カ月齢時（27.8%）から 4 カ月齢時（33.6%）にかけて約 6 ポイントと比較的大きな上昇もみられることから、サラブレッド種当歳馬の繊維消化能力は 4 カ月齢まで発達する可能性も考えられる。

以上より、当歳馬の腸内微生物による飼料の乾物消化率は 3 カ月齢時まで増加しており、繊維含量が少なく易消化性の炭水化物含量が高い飼料であれば 2 カ月齢時の当歳馬でも成馬と同程度の消化能力を有していることが示唆された。一方、繊維消化率については 4 カ月齢まで徐々に高くなる可能性も示唆された。

2-3. 血液性状の変化【試験 4】

2-3-1. 目的

家畜の飼養管理や栄養状態の指標として、血中代謝産物が用いられることがある。子

牛では、血中グルコース濃度の変化は、エネルギー源の転換を示しているとされており（Hammon ら 2002）、血中のβヒドロキシ酪酸（BHBA）濃度の変化はルーメン機能の発達指標としても用いられる（Khan ら 2011; Nemati ら 2015, 2016）。

ウマの後腸内で生成された揮発性脂肪酸（VFA）は、糞（Brøkner ら 2016）や、血中（Jansson と Lindberg 2012; Jensen ら 2016）に反映されることが確認されている。ウマの血中 VFA 濃度について、粗飼料割合の高い飼料を給与すると酢酸濃度が上昇すると言われており（Jansson と Lindberg 2012; Jensen ら 2016）、子馬の血中 VFA 濃度の変化は成長に伴う牧草摂取量や後腸機能の発達の指標となる可能性がある。そこで、本試験では、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の血液性状について、月齢の進行にともなう変化を明らかにした。

2-3-2. 材料および方法

①試験の概要

試験は試験 2 で供試したサラブレッド種母子馬群 6 組のうち 2017 年 4 月生まれの当歳馬 3 頭（雄 2 頭、雌 1 頭）および 3 月生まれの当歳馬 2 頭（雄 1 頭、雌 1 頭）とその母馬計 5 組 10 頭の親子の血液を用いて、2017 年 6 月から 11 月まで各月 2 回測定した。

②測定項目および分析方法

血液は 8:00～9:00 に馬房内で親子それぞれ頸静脈から採取した。採取した血液は 4℃、3000 rpm で 12 分間の遠心分離を行い、血漿を分析まで-30℃で冷凍保存した。採取した血液の血漿中グルコース濃度および VFA 濃度をそれぞれ測定した。

血漿中のグルコース濃度はグルコース測定キット（グルコース CⅡ-テストワコー；富士フイルム和光純薬株式会社，大阪市）を用いて測定した。

血漿中の VFA 濃度はアクリル酸とメタクリル酸を内部標準として Murase ら（1995）の方法により測定した。内部標準は、アクリル酸（25μg/ml）およびメタクリル酸（5μg/ml）それぞれ 1 ml を 100 ml メスフラスコに混合し、蒸留水で 100 ml にメスアップして調製した。血漿 200μl を入れた試験管に内部標準液 50μl、10 %スルホサリチル酸 50μl、ジエチルエーテル 3 ml を入れ、4℃、3000 rpm で 10 分間遠心分離し、除タンパク処理を行った。除タンパク処理後、上層（ジエチルエーテル層）を採取し、0.2 M 水

酸化ナトリウム 50 μl を入れた試験管に移した。試験管内のジエチルエーテル層を窒素ガスで揮発させ、残った水層に 25%リン酸を 10 μl 加え、1 μl をガスクロマトグラフィー（GC-2010；島津製作所，京都市）に注入し測定した。GC の分析条件は以下の通りとした.

キャリアガス：He

カラム：CP-FFAP CB（25 m, 0.32 mm i.d., 膜厚 0.3μ m; Agilent Technology, Santa Clara, CA, USA）

カラム温度：80℃（2 分間保持）→ 120℃まで 10℃/min 昇温→130℃まで 0.8℃/min 昇温→240℃まで 30℃/min 昇温（18 分間保持）

注入口温度：200℃

スプリット比：5.0

検出器温度：250℃

検出器：炎イオン化検出器（FID）

③統計処理

すべてのデータは統計解析ソフトウェア JMP（ver. 14.0.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA）を用いて解析した。血中グルコースおよび VFA 濃度の比較は混合モデルの分散分析により行った。変量効果として個体の効果を加え、固定効果として母子、子馬の月齢およびそれぞれの交互作用を加えた。交互作用に有意差が認められた場合、月齢ごとに母子間の比較を行った。$P < 0.05$ であった場合に統計的に有意であると判断した。

2-3-3. 結果および考察

子馬および母馬の血中グルコース濃度について表 18 に示した。子馬の血中グルコース濃度は、2 カ月齢時で 140 mg/dL と試験期間の中でもっとも高く、離乳直前の 4 カ月齢時では 116 mg/dL、離乳直後の 5 カ月齢時では 114 mg/dL であり、離乳前後における大きな変化はみられず、6 カ月齢以降においても 106～108 mg/dL とほとんど変化しなかった。母馬の血中グルコース濃度は 77～90 mg/dL と試験期間を通じてほとんど変化はみられず、いずれの時期においても子馬よりも低かった（$P < 0.05$）。

George ら（2009）は、昼夜放牧飼養している母馬に補助飼料として高デンプン飼料

Table 18. Glucose concentrate in plasma for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams between 2 months (June) and 7 months (November) of age for foals

	Age of months for foals						SEM	Significance		
	2	3	4	5	6	7		Age	Horse	Interaction
Foal (mg/dL)	140[a]	123[b]	116[b]	114[b]	108[b]	106[b]	3.1	**	**	**
Dam (mg/dL)	85	77	81	90	90	88				

[a-b] Values in the same row with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$).

または低デンプン飼料を給与した際、いずれの処理においても子馬の血中グルコース濃度は日齢の進行に伴って低下し、80 日齢以降で安定したことを報告している。また、母馬に高デンプン飼料を給与していた子馬の方が 80 日齢までは血中グルコース濃度が高いことを示した。本研究において子馬の血中グルコース濃度は 2 カ月齢でもっとも高く、3 カ月齢以降では月齢の進行に伴う有意な差はみられず、George ら（2009）の報告と同様の変化を示した。また、母馬に低デンプン飼料給与した子馬の 40 日齢時のグルコース濃度は 140 mg/dL（George ら 2009）と本試験における 2 カ月齢時の子馬のグルコース濃度（140 mg/dL）と同程度であった。昼夜放牧飼養下のサラブレッド種繁殖雌馬の血中グルコース濃度は泌乳初期で 71.9 mg/dL、泌乳後期で 81.0 mg/dL であることが報告されており（Hoffman ら 2003）、本試験における泌乳期の母馬の血中グルコース濃度も同程度の値（77～85 mg/dL）であった。

子ウシの血中グルコース濃度は、成長に伴って減少することが報告されている（Khan ら 2011; Nemati ら 2015, 2016）。また、成長に伴う子牛の血中グルコース濃度の低下は、ルーメンが機能し始め、子牛のエネルギー源がラクトースから VFA へ転換していることに起因するとされている（Hammon ら 2002）。本試験においても同様の変化がみられたことから、昼夜放牧飼養下の子馬は 2 カ月齢までは栄養源として母乳由来のラクトースへの依存度が高く、その後 3 カ月齢時にかけて VFA 由来のエネルギーへ転換していることを反映していると考えられる。

子馬および母馬の血中総 VFA 濃度の変化を表 19 に示した。子馬の血中総 VFA 濃度は、哺乳期中の 2、3 および 4 カ月齢時でそれぞれ 252、246、482 μmol/L と、2 カ月齢時から 3 カ月齢の間はほとんど変化しなかったが、3 カ月齢時から 4 カ月齢時にかけて顕著に増加した。しかしこの間の値は、母馬の VFA 濃度より低かった（$P < 0.01$）。離乳直後の母馬の VFA 濃度は 462 μmol/L と大きく低下したが、子馬の VFA 濃度は 686 μmol/L と離乳直前よりも上昇し、母馬よりも高かった（$P < 0.05$）。6 カ月齢時の子馬の VFA 濃度は 521 μmol/L と離乳前と同程度だった。一方で、母馬では 332 μmol/L と離乳前よりも低かった（$P < 0.05$）。7 カ月齢時の VFA 濃度は子馬および母馬ともに 6 カ月齢時と同程度であり、また 6 および 7 カ月齢時の VFA 濃度は母子間で差がみられなかった。

子馬および母馬の血中 VFA 組成について、表 20 に示した。子馬の血中 VFA 組成はいずれの時期においても酢酸が 8 割以上を占めており、プロピオン酸や酪酸などの他の

Table 19. Total Volatile Fatty acids concentrate in plasma for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams between 2 months (June) and 7 months (November) of age for foals

	Age of months for foals						SEM	Significance		
	2	3	4	5	6	7		Age	Horse	Interaction
Foal (μmol/L)	252[c]	246[c]	482[b]	686[a]	521[ab]	506[b]	40	**	**	**
Dam (μmol/L)	709[b]	799[ab]	958[a]	462[c]	332[c]	320[c]				

[a-b] Values in the same row with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$).

Table 20. Molar proportion of acetate, propionate, *iso*-butyrate, butyrate, *iso*-valerate and valerate in plasma (mol/100 mol) for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams between 2 months (June) and 7 months (November) of age for foals

		Age of months for foals						SEM	*P*- value
		2	3	4	5	6	7		
Foal	Acetate	89.3	87.3	87.3	85.3	85.1	87.8	0.9	0.03
	Propionate	3.2	2.9	3.6	3.1	4.2	2.9	0.3	0.12
	iso-Butyrate	2.4	3.2	2.4	3.7	3.0	2.8	0.2	< 0.01
	Butyrate	2.3	2.7	2.9	3.0	3.7	2.4	0.4	0.08
	iso-Valerate	2.4	3.5	2.7	4.3	2.9	2.6	0.3	< 0.01
	Valerate	0.4	0.4	1.1	0.7	1.0	1.6	0.1	< 0.01
Dam	Acetate	93.6	92.6	92.1	87.1	83.6	85.5	0.9	< 0.01
	Propionate	1.0	0.9	1.8	2.5	4.4	1.8	0.3	< 0.01
	iso-Butyrate	1.7	1.9	1.6	2.8	2.9	3.4	0.2	< 0.01
	Butyrate	1.1	1.4	1.7	3.1	4.5	3.1	0.3	< 0.01
	iso-Valerate	2.3	2.8	2.3	3.6	3.5	4.3	0.3	< 0.01
	Valerate	0.4	0.4	0.5	0.8	1.1	1.8	0.2	< 0.01

酸にくらべて高く、母馬の VFA における酢酸割合とくらべても大きな差はみられなかった。離乳直後の 5 カ月齢時において、母馬ではプロピオン酸、イソ酪酸、酪酸、イソ吉草酸、吉草酸のモル比が離乳直前よりも上昇し（$P < 0.01$）、子馬ではイソ酪酸およびイソ吉草酸のモル比が上昇した（$P < 0.01$）。

ウマの血中 VFA を測定した先行研究（Jansson と Lindberg 2012; Brøkner ら 2016; Jensen ら 2016）において、VFA 組成は酢酸の割合がプロピオン酸や酪酸などの他の酸にくらべてもっとも多かった。本試験においても同様に子馬および母馬の血中 VFA はいずれの時期においても酢酸が 8〜9 割を占めていた。これは、プロピオン酸は肝臓で糖新生の材料として利用され（Ford と Simmons 1985）、酪酸はアセト酢酸や β ヒドロキシ酪酸などのケトン体に転換されたため血中にはほとんど存在しなかったと考えられる。また、子馬の血中 VFA のモル比は母馬の血中 VFA のモル比とほとんど差がみられなかったことから、当歳馬においても成馬と同様にプロピオン酸および酪酸は腸壁から吸収され、糖新生やケトン体の合成に利用されていたと考えられる。

後腸内における酢酸、プロピオン酸、酪酸の生成は炭水化物由来であるのに対し、イソ酪酸、イソ吉草酸などの分枝鎖揮発性脂肪酸の生成はタンパク質由来であるとされている（Cardona ら 2005）。したがって、離乳直後の 5 カ月齢時の当歳馬の総 VFA 濃度、イソ酪酸およびイソ吉草酸のモル比の上昇は、当歳馬の牧草摂取量およびタンパク質摂取量が増加したことを示唆している。

哺乳期中の子馬の血中 VFA 濃度は、月齢の進行に伴って高くなったが、母馬の VFA 濃度より低い値だった。離乳後は母馬の VFA 濃度は大きく低下したが、子馬の VFA 濃度は離乳前よりも上昇し、母馬よりも高かった。粗飼料割合の高い飼料を給与した場合、ウマの後腸内での微生物発酵が活性化し VFA の生成が増加するため、血中の酢酸濃度も上昇するといわれている（Jansson と Lindberg 2012; Jensen ら 2016）。このことから、哺乳期の 2 カ月齢時から離乳直後の 5 カ月齢時までの子馬の VFA 濃度の上昇は、月齢の進行に伴って栄養摂取量に対する牧草摂取割合が増加し、後腸内での酢酸生成が増加していたことによるものであると推察される。

離乳前後の 4 および 5 カ月齢時において、子馬の総 VFA 濃度は上昇したが、母馬の総 VFA 濃度は大きく減少した。離乳直後の 5 カ月齢時の総 VFA 濃度は、母乳に依存していた栄養分を放牧草から摂取するために繊維摂取量が急激に増加したこと、母馬は離乳によって栄養要求量が急激に減少したことをそれぞれ反映した、一時的な変化である

と考えられる。6 カ月齢時の子馬の総 VFA 濃度は 4 カ月齢と同程度であり、7 カ月齢時においても変化はみられなかった。また、6 および 7 カ月齢時では母子間の VFA 濃度に差がみられなくなったことから、この時期の値が昼夜放牧飼養下の成馬と同等の VFA 濃度であると考えられる。すなわち、子馬は 4 カ月齢時において成馬と同等の VFA 吸収能力を有しているものと考えられた。

2-4. 小括

昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の放牧草採食量は、2 カ月齢時で 1.2 kgDM（0.8%BW）、4 カ月齢時で 2.1 kgDM（1.0%BW）であった。離乳直前においても食草時間は母馬よりも短く、DE の約 60%を母乳に依存していたが、離乳直後の 5 カ月齢時では放牧草採食量が 4.7 kgDM（2.0%BW）と離乳直前よりも増加し、食草時間も母馬と同程度であった。また、CP と DE の維持と増体に必要な要求量に対する摂取量の割合は 100%を超えていたことから、昼夜放牧飼養下の当歳馬は 5 カ月齢で必要な養分要求量を摂取することができると考えられた。また、月齢の進行に伴う *in vitro* 消化率および血中 VFA 濃度の変化から子馬の消化能力は 2 カ月齢から 4 カ月齢にかけて発達しており、4 カ月齢時で成馬と同程度の消化能力を有していると推察された。

第 3 章　昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の移動距離の変化　【試験 5】

3-1. 目的

ウマにとって放牧地は、栄養摂取の場であるとともに運動の場としても非常に重要である。これまでの研究において、育成期の運動は育成馬の身体成長を促進することが報告されており（van Weeren と Barneveld 1999; Kasashima ら 2002; Hiney ら 2004）、Bell ら（2001）はアラブ種の離乳馬において、舎飼飼養よりも放牧飼養の方が骨のミネラル含量の維持また増加に有益であると報告している。したがって、走能力を求められるサラブレッド種のような競走育成馬にとって、放牧地での運動は身体成長や将来の競走馬としてのポテンシャルに大きな影響を与えると考えられる。

自然草地での再野生当歳馬の食草時間や休息時間は成馬とは異なるといった報告があるが（Crowell-Davis ら 1985）、第 2 章で述べた通り、昼夜放牧飼養したサラブレッド種当歳馬の食草時間は母馬にくらべて短かった。したがって、放牧地における移動距離や走距離といった運動についても当歳馬と成馬とでは異なると考えられる。昼夜放牧は運動量の増加を期待して行われる放牧飼養方法であり、先行研究では主に 1 歳以上の育成馬を用いて放牧地での移動距離などが測定されてきている。一方、当歳馬を適切に昼夜放牧飼養するためには、当歳馬の成長に伴う移動距離や走距離の変化を明らかにし、その特徴について把握する必要がある。そこで本章では親子昼夜放牧されているサラブレッド種当歳馬の運動について、成長に伴う移動距離の変化および歩法ごとの移動距離の特徴について母馬と比較した。

3-2. 材料および方法

① 移動距離および移動速度の測定

供試馬および飼養管理については試験 1 と同様で、2015 年 4 月生まれ 4 頭（雄 3 頭、雌 1 頭）、2016 年 3 月または 4 月生まれ 5 頭（雄 2 頭、雌 3 頭）の計 9 頭のサラブレッド種当歳馬を用いて、2015 年および 2016 年の 5 月（1 カ月齢）から 9 月（5 カ月齢）まで各月 1 回実施した。

試験 1 の行動観察時に放牧中の各供試馬の無口頭絡に携帯型 GPS データロガー(Trip

Recorder 747Pro; Transystem Inc., Hsinchu, Taiwan) を装着して放牧中の位置情報を 5 秒ごとに記録した。得られた位置情報を解析ソフト（GPS Photo Tagger ver. 1.2.4, Transystem Inc.）により緯度経度に換算し、5 秒ごとの移動距離を算出した。5 分間の移動距離と行動観察時の行動型を照合し、各行動型の移動距離を算出した。放牧時間における総移動距離から横臥休息時に記録された移動距離を差し引いた値を 1 日の移動距離とした。また、行動型が食草だったものは食草移動とし、1 日の移動距離から食草移動を差し引いたものを非食草移動とし、それぞれ移動距離を算出した。1 日の移動距離を放牧時間で除した値を 1 日の移動速度（1 時間あたりの移動距離）とし、各行動型の移動距離をその行動型時間で除した値をそれぞれの行動型時の移動速度とした。

子馬および母馬の非食草時の移動速度について、Kurvers ら（2006）の方法により 3 m/秒未満を常歩、3 m/秒以上 6 m/秒未満を速歩、6 m/秒以上を駈歩と、それぞれ区分し各歩法の移動距離を算出した。

② 統計処理

すべてのデータは統計解析ソフトウェア JMP（ver. 14.0.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA）を用いて解析した。移動距離の比較は、混合モデルの分散分析により行った。変量効果として個体の効果を加え、固定効果として母子、月齢およびそれぞれの交互作用を加えた。交互作用に有意差が認められた場合、月齢ごとに母子間の比較を行った。また、子馬および母馬の月齢ごとの差を Tukey の HSD 検定で解析した。$P < 0.05$ であった場合に統計的に有意であると判断した。

3-3．結果

① 放牧時の移動距離

放牧地における子馬および母馬の移動距離を表 21 に示した。子馬の総移動距離は、1 カ月齢時（13.3 km/日）が 2 カ月齢時（10.3 km/日）と 5 カ月齢時（9.7 km/日）より長く（$P < 0.01$）、4 カ月齢時（15.2 km/日）が 2、3、5 カ月齢時よりも長かった（$P < 0.01$）。子馬の食草時の移動距離は 2 カ月齢時から 3 カ月齢時にかけて増加したが、その後はほとんど変化しなかった。非食草時の移動距離は 1 カ月齢時（8.3 km/日）と 4 カ月齢時（8.0 km/日）で長く、5 カ月齢時（3.0 km/日）がもっとも短かった（$P < 0.05$）。母馬の総移

Table 21. Moving distance per day ont pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (km/d)

		Age of months for foals					Significance		
		1	2	3	4	5	Age	Horse	Interaction
Total moving	Foal	13.3 ± 1.2 ^{ab}	10.3 ± 1.4 ^{cd}	12.1 ± 2.3 ^{bc}	15.2 ± 4.8 ^{a}	9.7 ± 1.2 ^{d}	**	NS	NS
	Dam	12.6 ± 1.4 ^{b}	10.2 ± 1.2 ^{b}	12.9 ± 3.0 ^{b}	16.5 ± 5.3 ^{a}	-			
With grazing	Foal	5.1 ± 1.4 ^{b}	5.0 ± 1.1 ^{b}	6.3 ± 1.1 ^{a}	7.2 ± 1.8 ^{a}	6.7 ± 0.8 ^{a}	**	**	*
	Dam	8.8 ± 0.8 ^{a}	7.3 ± 1.1 ^{b}	8.5 ± 1.3 ^{a}	9.5 ± 1.8 ^{a}	-			
Without grazing	Foal	8.3 ± 1.4 ^{a}	5.4 ± 1.1 ^{b}	5.8 ± 2.0 ^{b}	8.0 ± 3.4 ^{a}	3.0 ± 0.8 ^{c}	**	**	*
	Dam	3.8 ± 1.1 ^{b}	2.8 ± 0.9 ^{b}	4.3 ± 2.3 ^{b}	6.9 ± 4.1 ^{a}				

Values are Mean ± SD.

$^{a-d}$ Values in the same row with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences (*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$). NS means not significant.

動距離は、4 カ月齢時で 16.5 km/日ともっとも長く、2 カ月齢時で 10.2 km/日ともっとも短かった（$P < 0.01$）。食草時の移動距離は 2 カ月齢時でもっとも短く（$P < 0.05$）、非食草時の移動距離は 4 カ月齢時でもっとも長かった（$P < 0.01$）。総移動距離に母子間の差はみられなかったが、食草時の移動距離は 1 カ月齢から 4 カ月齢すべての月齢において子馬より母馬の方が長く（$P < 0.01$）、非食草時の移動距離は、1 カ月齢時で子馬の方が母馬よりも長かった（$P < 0.01$）。

② 速歩および駈歩での移動距離

子馬および母馬の非食草時の移動距離について、歩法ごとの移動距離を表 22 に示した。子馬の速歩での移動距離は、1 カ月齢時で 981 m/日ともっとも長く（$P < 0.05$）、駈歩での移動距離は 1 カ月齢時（591 m/日）と 3 カ月齢時（527 m/日）が、4 カ月齢時の 141 m/日よりも長かった（$P < 0.05$）。速歩と駈歩の移動距離を合計した子馬の総走距離は 1 カ月齢時で 1572 m/日と試験期間の中でもっとも長かった（$P < 0.05$）。母馬の速歩での移動距離は、1 カ月齢時で 660 m/日と長く（$P < 0.05$）、駈歩での移動距離は 4 カ月齢時が 81 m/日と 1〜3 カ月齢時よりも短かった（$P < 0.05$）。速歩と駈歩の総移動距離は子馬と同様に 1 カ月齢時で 1074 m/日ともっとも長かった（$P < 0.05$）。

3-4. 考察

本試験の放牧地における移動距離は子馬が 9.7-15.2 km/日、母馬が 10.2-16.5 km/日であった。これらの結果は、昼夜親子放牧したクォーターホース当歳馬および母馬の移動距離を測定した Hampson ら（2010）の距離よりも長く、17 時間放牧したサラブレッド種 1 歳馬の移動距離（13-15 km/日, Asai ら 1999）と同程度だった。ウマは放牧中のほとんどの時間を食草行動に費やすため（Crowell-Davis ら 1985 ; Fleurance ら 2001）、放牧地における馬の移動距離は食草行動による影響を大きく受けると考えられる。本試験において、放牧時間における食草時間の占める割合が高かった母馬の移動距離は、食草移動距離が非食草移動距離を常に上回っていた。一方で哺乳期の子馬の移動距離は 1 カ月齢では非食草移動距離が長く、2 カ月から 4 カ月齢では食草移動距離と非食草移動距離は同程度であり、離乳後の 5 カ月齢時では食草移動距離が非食草移動距離の約 2 倍長かった。これらの結果から、母馬の移動には食草行動が大きく影響しているが、母馬よりも食草時間の短い哺乳期の子馬の移動は、食草を伴わないという特徴が大きく反映さ

Table 22 . Moving deistance without grazing per day on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams (m/d)

		Age of months for foals					Significance		
		1	2	3	4	5	Age	Horse	Interaction
Walk	Foal	6,666 ± 1,281 [a]	4,441 ± 971 [b]	4,775 ± 2,111 [b]	7,344 ± 3,253 [a]	2,215 ± 697 [c]	**	**	**
	Dam	2,743 ± 748 [b]	2,249 ± 681 [b]	3,841 ± 2,279 [b]	6,339 ± 3,903 [a]	-			
Trot	Foal	981 ± 413 [a]	612 ± 208 [b]	451 ± 285 [b]	493 ± 230 [b]	420 ± 281 [b]	**	*	NS
	Dam	660 ± 432 [a]	386 ± 244 [ab]	300 ± 215 [b]	503 ± 275 [ab]	-			
Canter	Foal	591 ± 324 [a]	369 ± 240 [ab]	527 ± 375 [a]	141 ± 108 [b]	393 ± 239 [ab]	**	*	NS
	Dam	414 ± 378 [a]	230 ± 222 [ab]	272 ± 266 [ab]	81 ± 71 [b]	-			
Total running	Foal	1,572 ± 607 [a]	982 ± 405 [b]	978 ± 552 [b]	634 ± 274 [b]	813 ± 487 [b]	**	**	NS
	Dam	1,074 ± 744 [a]	617 ± 433 [b]	572 ± 371 [b]	584 ± 310 [b]	-			

Values are Mean ± SD.

[a-b] Values in the same row with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences according to age (**, $P < 0.01$).

Total running means sum of trot and canter.

れていた。

哺乳期の食草行動や休息行動といった放牧時の維持行動は子馬と母馬で大きく異なっていたにも関わらず（試験 1)、子馬と母馬の総移動距離はいずれの月においても同程度であった。これは、哺乳期間中は子馬と母馬は個体間距離が短く、放牧時間中子馬は常に母馬の近くで過ごしていたことが理由として考えられる（Henry ら 2012; Sato ら 2017) 。したがって、子馬は成馬にくらべて食草行動を伴う移動は少ないものの、移動距離は母馬と同程度であるため、昼夜放牧飼養は当歳馬にとって成馬と同等の運動量が見込めるものと考えられた。

子馬および母馬ともに、総走距離は 1 カ月齢時でもっとも長く、また母馬にくらべ子馬の方が長い傾向がみられた。2 カ月齢以降の子馬の総走距離は約 0.6-1.0 km と月齢間で有意な差は見られなかった。子馬の放牧地における移動については、再野生当歳馬の駈歩および速歩は 1 カ月齢時で最も多いことや（Boy と Duncan 1979)、オランダ温血種の移動量は 1 カ月齢がもっとも多いことが報告されている（Kurvers ら 2006)。これらの先行研究同様、昼夜放牧飼養下のサラブレッド種当歳馬においても 1 カ月齢は活動量の多い時期であり、安全に放牧飼養管理するためには、特にこの時期に十分な放牧地面積の確保が必要であると考えられる。楠瀬ら（1985）は、サラブレッド種育成馬を異なる面積で放牧し、個体間相互行動、移動および心拍数を指標として解析し、放牧地面積は育成馬の駆歩による移動に制約を与えるが、2 ha 以上になるとこの制約が弱まると結論付けている。本試験で用いた放牧地面積は 4 ha であり、運動を制限しなかったと考えられるが、ウマの移動には面積以外にも形状（楠瀬ら 1987）や放牧頭数（楠瀬ら 1986）など様々な要因が影響する。今後より安全にサラブレッド種当歳馬を昼夜放牧飼養管理するためには、こうした移動や運動に影響する放牧環境についてさらに研究を重ねる必要があるだろう。

以上より、昼夜放牧飼養したサラブレッド種当歳馬と母馬の総移動距離は同程度であり、昼夜放牧は当歳馬にとって成馬と同等の運動量が見込める飼養方法であると考えられた。また、1 カ月齢時は当歳馬の非食草時移動が母馬よりも長く、走距離も母馬にくらべて長い傾向がみられたことから、この時期に最も活発に活動することが明らかとなり、放牧管理にはより注意が必要である。

3-5. 小括

昼夜放牧飼養したサラブレッド種当歳馬の移動距離は 9.7-15.2 km/日、母馬では 10.2-16.5 km/日であり、月齢ごとに違いはあるものの当歳馬と母馬の総移動距離は同程度であった。一方、子馬は食草行動を伴う移動よりも食草行動を伴わない移動距離が長いという特徴がみられた。特に 1 カ月齢時で子馬の非食草時の移動距離は母馬よりも長く、走っていた距離も長かったことから、放牧期間の中で最も活発に運動している時期であることが明らかとなった。

第 4 章　昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の社会関係の変化【試験 6】

4-1. 目的

複数頭の親子で放牧飼養した場合、母馬以外の個体が存在することで子馬は他個体との遊戯行動や敵対行動といった社会行動を発現するようになり（Tyler 1972; Crowell-Davis 1986a）、こうした行動を通して馬同士の社会関係は構築されていくと考えられる。サラブレッドの場合、特に群内における他馬との社会関係の構築は、競走馬としての群れへの順応性を養う上で重要であるとされている（日本ウマ科学会 2013）。

ウマにとって他馬の存在は、放牧地での採食行動に大きく影響することが確認されている（Rifá 1990）。親子放牧においては社会関係として母子関係が基本であり、子馬の主な栄養源は母乳であることから栄養面での母馬に対する依存度は当然高い。一方で、成長に伴って子馬の母馬に対する心理的依存度が低下すること（Houpt 2002）や、当歳馬の食草時間は成長に伴って増加すること（Crowell-Davis ら 1985）から、母馬以外の他個体との社会関係の構築は、当歳馬の食草行動や運動にも影響を与えると考えられる。

また、母馬以外の他個体との社会関係の構築は子馬の精神的成長を促し、離乳時のストレスを軽減するともいわれている（Waran ら 2008）。家畜下における馬の離乳は 4-7 カ月齢（Houpt ら 1984; Heleski ら 2002; Waran ら 2008）と、8〜9 カ月で離乳する再野生馬にくらべて早い（Waran ら 2008）。特にウマは母子で行動をともにする追従型（フォロワータイプ）の動物であるため、離乳は子馬にとって大きなストレスのかかるイベントの 1 つであるといわれており（Fraser ら 1975）、Lewis （1995）は離乳時のストレスとして飼料摂取量の低下、発育停滞、疾病発症率の上昇を挙げている。また、Heleski ら（2002）や Waters ら（2002）は、離乳後数日から数週にわたって子馬の異常行動が増加したことを報告している。このような離乳時のストレスは、子馬の母馬に対する心理的依存度が大きく影響していると考えられる。

本章では、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の母馬および母馬以外との個体間距離を指標として、社会関係の変化について明らかにした。

4-2. 材料および方法

① 試験の概要

供試馬、飼養管理および試験期間については試験 1 と同様で、2015 年 4 月生まれ 4 頭（雄 3 頭、雌 1 頭）、2016 年 3 月または 4 月生まれ 5 頭（雄 2 頭、雌 3 頭）の計 9 頭のサラブレッド種当歳馬を用いて、2015 年および 2016 年の 5 月（1 カ月齢）から離乳後の 9 月（5 カ月齢）まで各月 1 回実施した。供試馬は、イネ科主体放牧地（4 ha）に母子馬群として 5 月中旬まで昼間放牧、それ以降は昼夜放牧を行った。試験は 1 カ月齢から 5 カ月齢まですべて昼夜放牧管理時に実施しており、放牧時間は 2015 および 2016 年ともに 21.5 時間（1030h – 0800h）であり、放牧時間帯以外哺乳期については母子ペアで、離乳後は当歳馬単独でそれぞれ馬房内に収容した。当歳馬は 8 月中旬から下旬に離乳した。

② 個体間距離

各月の放牧時の個体間距離（子馬－母馬、子馬－他子馬、子馬－他母馬、母馬－他母馬）について、ヒュベニの公式を用いて測定した Sato ら（2017）の方法に従い、3 章で測定した GPS の位置情報から 5 秒ごとに各馬の位置座標データから 2 点間の距離を算出した。離乳後の 5 カ月齢時については子馬同士の距離のみを測定した。個体間距離は 5 分ごとの他馬との距離の平均値とし、また、もっとも近かった個体との距離を最近接個体間距離としてそれぞれ算出した。さらに、1 章で測定した放牧時の食草時間および休息時間を用いて、食草時および休息時における最近接個体頻度についても算出した。

③ 統計処理

すべてのデータは統計解析ソフトウェア JMP（ver. 14.0.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA）を用いて解析した。個体間距離および最近接個体間距離の比較は、混合モデルの分散分析により行った。変量効果として個体の効果を加え、固定効果として子馬の月齢、個体間の組合せおよびそれぞれの交互作用を加えた。交互作用に有意差が認められた場合、月齢ごとに組合せの比較を行った。最近接個体頻度の結果の解析は、混合モデルの分散分析により月齢間の比較を行った。$P < 0.05$ であった場合に統計的に有意であると判断した。

4-3．結果

1 カ月齢時から 4 カ月齢時における放牧時の個体間距離について表 23 に示した。子馬－母馬の距離は 1 カ月齢の 7.2 m から 3 カ月齢時の 8.7 m へと月齢の進行に伴い延長したが（$P < 0.01$）、4 カ月齢時では 7.9 m とほとんど変化しなかった。子馬－母馬の距離は、1 カ月齢時から 4 カ月齢時まで子馬－他子馬間、母馬－他母馬間の距離よりも常に短かった（$P < 0.01$）。

放牧時の最近接個体間距離について表 24 に示した。1 カ月齢時における子馬－他子馬、子馬－他母馬、母馬-他母馬の最近接個体間距離はそれぞれ 14.7 m、16.4 m、16.0 m であり、4 カ月齢時では 9.2 m、9.9 m、10.4 m とそれぞれ月齢の進行に伴って短くなった（$P < 0.05$）。1 カ月齢時および 2 カ月齢時の子馬－母馬の距離はその他の最近接個体間距離（子馬－他子馬、子馬－他母馬、母馬－他母馬）にくらべて短かったが（$P < 0.05$）、3 カ月齢以降では子馬－母馬間距離は子馬－他子馬、子馬－他母馬間距離と統計的な差はみられなくなり、4 カ月齢時ではすべての最近接個体間距離の有意差はみられなくなった。

図 4 に親子放牧時の子馬にとっての最近接個体の割合について示した。子馬にとっての最近接個体は 1 カ月齢時では母馬が 75.4%、他子馬が 16.7%、他母馬が 7.9%だった。3 カ月齢時では母馬が 53.4%、他子馬が 32.1%、他母馬 14.5%と、1 カ月齢時から 3 カ月齢時にかけて最近接個体が自分の母馬である割合は減少し、他子馬および他母馬の割合は増加した（$P < 0.01$）。親子放牧期間を通して子馬にとっての最近接個体は他の個体にくらべて自分の母馬の割合がもっとも高かった。

さらに、最近接個体について図 5 に子馬が食草していた時、図 6 に子馬が休息していた時の最近接個体の割合をそれぞれ示した。食草時の最近接個体は 1 カ月齢では母馬が 74.7%、他子馬が 19.5%、他母馬が 5.9%だった。4 カ月齢時では母馬が 59.9%、他子馬が 25.3%、他母馬が 15.6%だった。休息時の最近接個体は 1 カ月齢では母馬が 78.7%、他子馬が 13.0%、他母馬が 8.3%だった。4 カ月齢時では母馬が 47.1%、他子馬が 30.8%、他母馬が 22.0%だった。食草時および休息時ともに月齢の進行に伴って、母馬の割合は減少し（$P < 0.05$）、他馬（他子馬、他母馬）の割合は増加した（$P < 0.05$）。

Table 23. Interindividual distance on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams

	Age of months for foals				Significance		
	1	2	3	4	Age	Pare	Interaction
Foal - its dam	7.2 ± 1.4	8.8 ± 2.0	8.7 ± 1.5	7.9 ± 2.3			
Foal - other foal	30.7 ± 7.6	30.7 ± 7.5	30.7 ± 12.3	24.6 ± 8.3	**	**	NS
Dam - other dam	32.6 ± 7.7	32.6 ± 7.0	29.0 ± 9.3	26.8 ± 9.0			

Values are Mean ± SD.

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$), NS means not significant.

Table 24. Interindividual distance of closest horse on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals and dams

	Age of months for foals				Significance		
	1	2	3	4	Age	Pare	Interaction
Foal - its dam	7.2 ± 1.4 [b]	8.8 ± 2.0 [c]	8.7 ± 1.5 [b]	7.9 ± 2.3	**	**	**
Foal - other foal	14.7 ± 3.4 [a]	12.3 ± 2.2 [b]	9.8 ± 2.0 [b]	9.2 ± 2.0			
Foal - other dam	16.4 ± 3.5 [a]	13.9 ± 2.2 [ab]	11.3 ± 2.0 [b]	9.9 ± 2.1			
Dam - other dam	16.0 ± 3.2 [a]	14.8 ± 2.9 [a]	12.2 ± 2.6 [a]	10.4 ± 2.6			

Values are Mean ± SD.

[a-c] Values in the same month with different superscript letters differed ($P < 0.05$).

Asterisks indicate significant differences (**, $P < 0.01$).

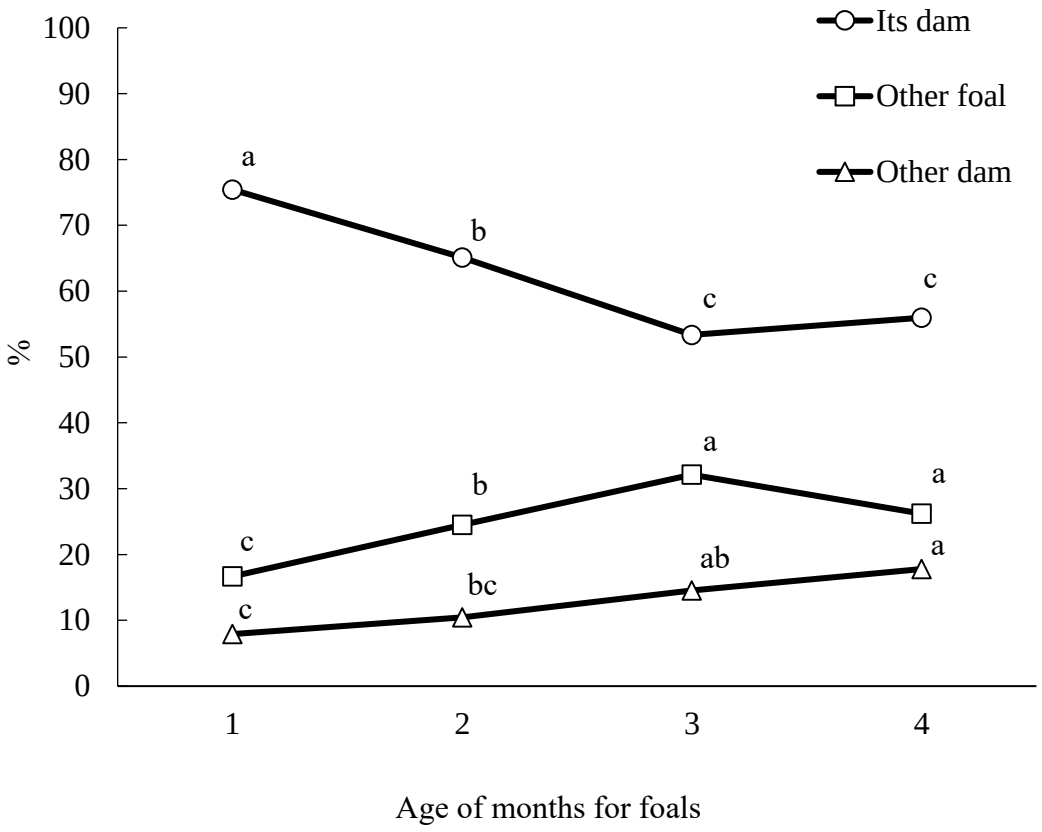

Figure 4. The ratio of the nearest horse on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals.

a, b, c means differ in months of age for foals ($P < 0.05$).

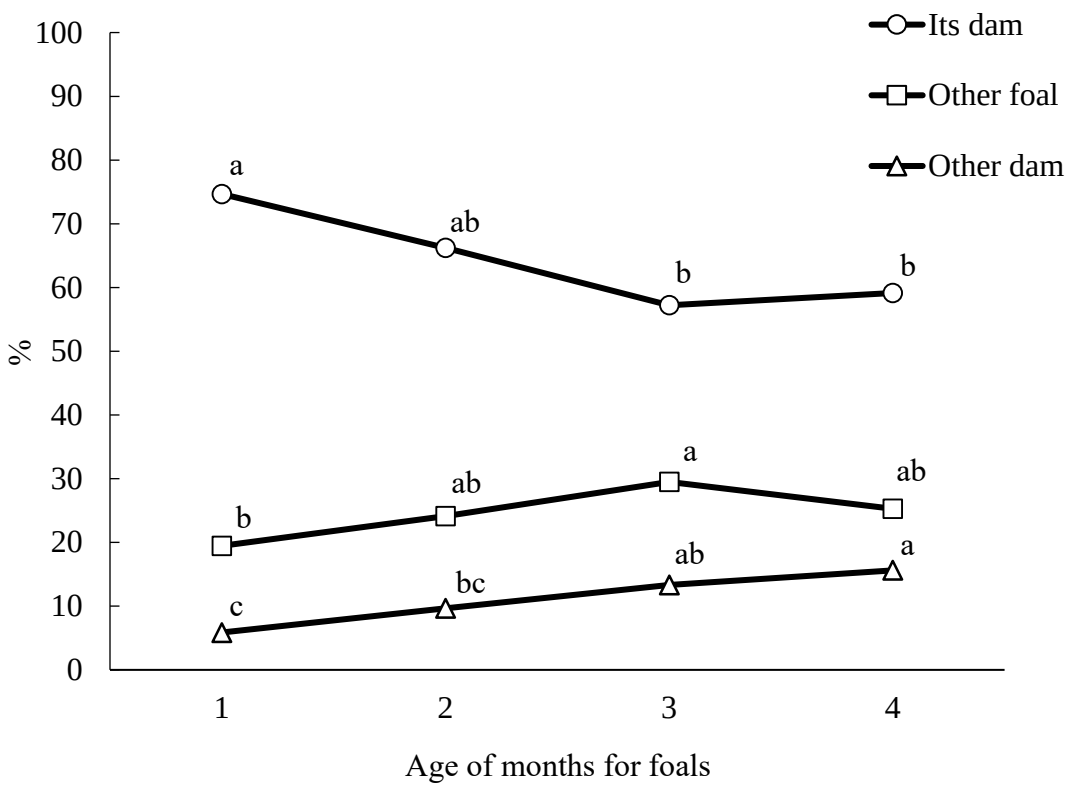

Figure 5. The ratio of the nearest horse during grazing for whole-day stocked Thoroughbred foals.

a, b, c means differ in months of age for foals ($P < 0.05$).

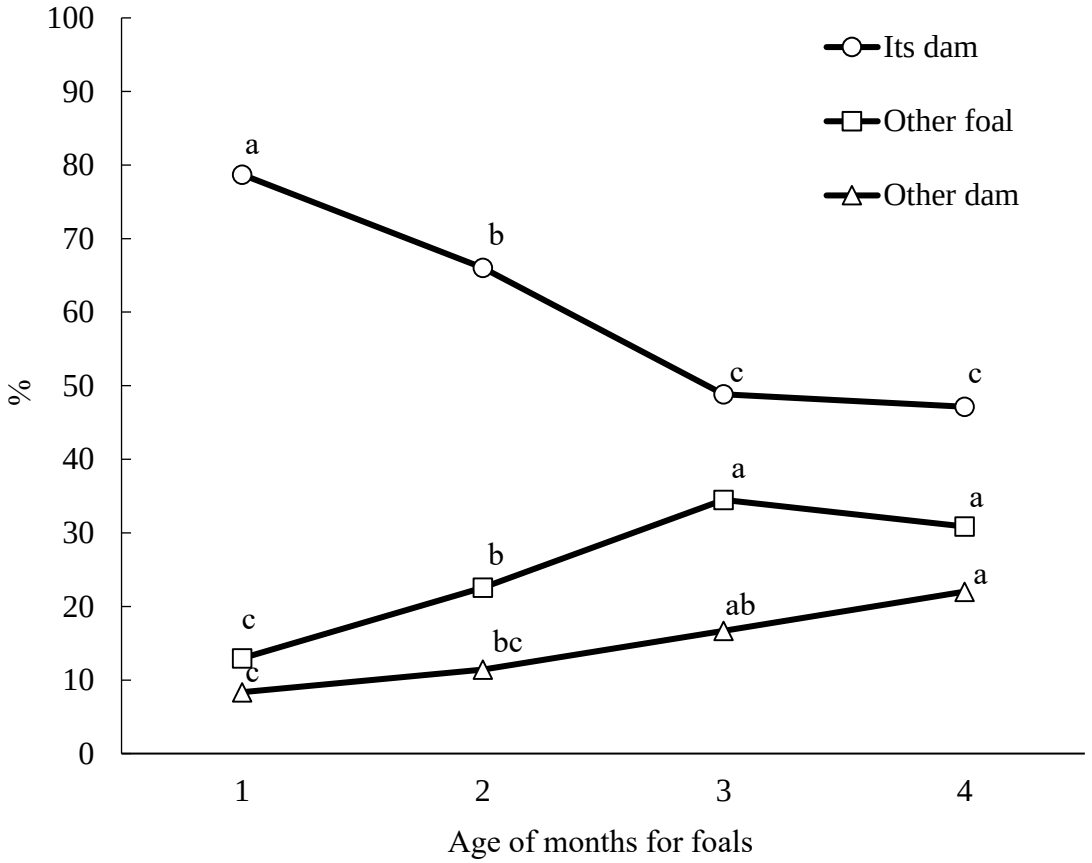

Figure 6. The ratio of the nearest horse during resting for whole-day stocked Thoroughbred foals.

a, b, c means differ in months of age for foals ($P < 0.05$).

4-4. 考察

本試験の結果から、子馬は 1 カ月齢から 4 カ月齢の間で自分の母馬との距離が近く、常に母馬の近くで行動していたことが推察される（表 23, 図 5)。Henry ら（2012）は、昼夜放牧を行っているアングロアラブ種母子馬群において、離乳直前の 7 カ月齢時における子馬の最近接個体は約 50%が母馬だったことを報告している。本試験において、子馬にとっての最近接個体は 1 カ月齢では 74.7%、離乳直前の 4 カ月齢時で 56.0%を母馬が占めていた。これらの結果は、離乳直前において子馬は精神的に母馬への依存度が高いこと、2 章で示した子馬の哺乳行動や食草時間の結果から、栄養源として母乳への依存度も高いことが反映していると考えられる。

最近接個体間距離でみると、1 カ月齢時や 2 カ月齢時では個体間距離と同様に母子間距離が他の個体間距離にくらべてもっとも短かったが、子馬の成長に伴って他馬との距離は短くなり、4 カ月齢時にはすべての最近接個体間距離で統計的な差がみられなくなった。また、1 カ月齢時の子馬にとっての最近接個体は母馬が約 75%を占めていたが、子馬の成長に伴って 50%程度まで減少した。3 カ月齢時で子馬にとって母馬が最近接個体であった割合は 53%であり、4 カ月齢時においてもほとんど変化しなかった。これらの結果は、昼夜放牧を開始した 1 カ月齢時では各親子が群の中で点在していたが、子馬の月齢が進むにつれて、子馬が他馬との社会関係を構築し始めたことで群占有面積が小さくなったことを反映している。再野生の子馬は 2〜3 カ月齢時から他馬との交流が増加すると言われており（Crowell-Davis 1986b ; Tyler 1972)、本試験の結果からもサラブレッド種当歳馬は 3 カ月齢くらいから積極的に他馬との社会関係を構築していたと考えられる。

一方、離乳後の 5 カ月齢時における平均子馬間距離は 10.1 m、最近接の子馬間距離は 3.0 m と、哺乳期の母子間距離にくらべても短かった。したがって、離乳直後の当歳馬の個体間距離は離乳前よりとは大きく異なり、4 カ月齢での離乳が当歳馬の心理面に及ぼす影響は比較的大きいと考えられた。

Heleski ら（2002）は、馬房内で離乳した方がパドックで離乳した子馬よりも異常行動の発現が多く、馬房のような閉鎖的な環境が異常行動を増加させた原因であると結論付けている。また、Houpt ら（1984）は、子馬を単独で離乳させるよりも複数頭で離乳した方が離乳時のストレスが緩和することを報告している。さらに周年屋外飼養してい

る北海道和種馬の母子馬群では、母子間距離は 6 カ月齢以降で他馬との個体間距離と差がみられず（近藤 2002）、昼夜放牧飼養下のサラブレッド種当歳馬の子馬間距離は 6 カ月齢時で母子間距離よりも短くなったとする報告もある（Sato ら 2017）。したがって、本試験で離乳を行った 4 カ月齢はまだ母馬への心理的依存度が大きな時期であり、適切な離乳時期および離乳方法については今後さらに検討する必要があると考えられた。

4-5. 小括

母子間距離は 1 カ月齢から 4 カ月齢の間 7.2-8.8 m とほとんど変わらず、いずれの月齢においても他子馬や他母馬との個体間距離よりも短かった。また、子馬にとっての最近接個体は母馬である割合が最も高く、離乳直前の 4 カ月齢時においても約 50%を母馬が占めていた。しかし、最近接個体間距離は 3 カ月齢以降に母馬、他子馬、他母馬との距離に差が見られなくなったことから、当歳馬は 3 カ月齢以降積極的に母馬以外の他個体との社会関係を築き始める時期であると考えられる。

第 5 章　総合考察

競走馬ハンドブック（日本ウマ科学会 2013）には、子馬の離乳時期は精神面および肉体面の成熟から判断すべきだと記載されている。すなわち精神面からみた離乳時期は、母子間の距離が延長し、子馬同士の距離が短く、かつ安定した時期としており、肉体面からみた離乳時期は、子馬が発育に必要な栄養を飼料から摂取できる時期としている。

試験 1 で測定した当歳馬の放牧草採食量は、哺乳期の 2 カ月齢で 1.2 kgDM（0.8%BW）、4 カ月齢で 2.1 kgDM（1.0%BW）であり、離乳直後の 5 カ月齢では 4.7 kgDM（2.0%BW）と成長に伴って増加した。DE 要求量に対する摂取量の割合は、哺乳期の 2 カ月齢で 30.0 %、4 カ月齢時で 42.7%、離乳直後の 5 カ月齢では 103.1%であった。また、2 カ月齢、4 カ月齢および 5 カ月齢の日増体量は、1.16 kg, 0.96 kg, 1.01 kg であり、いずれの月齢においても日本軽種馬協会（2016）の標準発育と同程度もしくはそれ以上の増体が得られた。さらに、試験 2～4 で実施した *in vitro* 消化率および血液性状からみた当歳馬の飼料消化能力は、4 カ月齢において成馬と同等であると考えられた。したがって、飼料摂取量および飼料消化能力といった養分摂取の面からは、当歳馬の適切な成長を妨げるような問題点はみられなかった。

放牧地における運動の指標とした 1 日の移動距離は、子馬が 9.7- 15.2 km、母馬が 10.2 -16.5 km であり、母子間で移動距離に統計的な差はみられなかった。また、放牧地で走っていた距離は 1 カ月齢の当歳馬で 1,572 m と、母馬の 1,074 m よりも長く、2 カ月齢から 4 カ月齢にかけては母子間で差はみられなかった。さらに、当歳馬の食草時間は月齢の進行に伴って増加し、離乳直前の 4 カ月齢では母馬の食草時間よりも短かったが、離乳直後の 5 カ月齢時では哺乳期の母馬の食草時間と同程度であった。したがって、昼夜放牧飼養において当歳馬は、放牧地での食草時間や移動距離といった行動の面からみても成馬と同程度まで成長していたと考えられた。

一方で、他個体との社会関係について検討した試験 6 において、母子間距離は 1 カ月齢から 4 カ月齢で 7.2-8.8 m と月齢の進行に伴う変化はほとんどみられず、離乳直前の 4 カ月齢においても最も近い個体の割合は母馬が大きかった。また、離乳直後の 5 カ月齢時における平均子馬間距離（10.1 m）および最近接の子馬間距離（3.0 m）は離乳前より極端に短く、哺乳期の母子間距離よりも短かった。したがって、4 カ月齢時の離乳直前まで当歳馬の母馬に対する心理的依存度は比較的高く、心理面からみた場合、4 カ月齢

は離乳時期としては早い可能性があった。

家畜ウマの離乳は 4-7 カ月齢（Houpt ら 1984; Heleski ら 2002; Waran ら 2008）と、再野生馬の 8-9 カ月にくらべて早い（Waran ら 2008）。そのため、離乳は当歳馬にとって大きなストレスであり（Fraser ら 1975）、離乳後の異常行動（Heleski ら 2002）や飼料摂取量の低下（Fraser ら 1975）を引き起こすことも報告されている。一方、これらの心理的ストレスは、複数頭での離乳（Houpt ら 1984）や屋外での離乳（Heleski ら 2002）といった離乳方法を工夫することで軽減することが報告されていることから、比較的早期の 4 カ月齢で離乳を適切に行うためには、その方法について今後さらに検討する必要があるだろう。

放牧飼養は、家畜が移動しながら採食を行うため、舎飼い飼養にくらべると採食や移動に要するエネルギー消費量は増大すると推測される。放牧飼養した乳牛の場合、運動に伴う補正量として維持エネルギー要求量の 15%を増加することになっている（農業・食品産業技術総合研究機構 2017）。ウマの可消化エネルギー（DE）要求量については、運動負荷が加えられる際に運動量に応じて維持要求量を 1.2，1.4，1.6，1.9 倍するように記されている（NRC 2007）が、これは調教や競走時の飼料給与基準として示されており、放牧飼養管理下における基準は特に設けられていない。

軽種馬飼養標準（日本中央競馬会競走馬総合研究所 2004）では、競走期における運動時の DE 要求量を求める推定式として軽種去勢成馬を用いた推定式（Pagan と Hintz 1986）を提示している。そこで、試験 5 で測定した当歳馬および母馬の各月の放牧時の移動距離から平均移動速度を算出し、運動による DE 消費量（kcal/kg/時）を計算した。さらに、試験 1 で用いた供試馬の体重および試験時の放牧時間から当歳馬の 1 日当たりの運動の DE 消費量（Mcal/日）を試算した（表 25）。

$$\text{運動による DE 消費量（kcal/kg/時）} = \frac{(e^{(3.02 + 0.0065x)} - 13.92) \times 0.06}{0.57}$$

$\mathbf{x}$ = 移動速度（m/分）

(Pagan と Hintz 1986)

運動による 1 日あたりの DE 消費量（Mcal/日）＝運動 DE×馬体重×放牧時間

Table 25. Estimated digestible energy (DE) expenditure for exercise, DE requirements for maintenance and growth (NRC 2007) and average daily gain (ADG) of whole-day stocked Thoroughbred foals

	Age of month for foals				
	1	2	3	4	5
DE expenditure for exercise (Mcal/day)	2.5	2.8	3.5	3.8	4.0
DE intake in this study (Mcal/day)					
Pasture	-	3.6	-	4.8	14.6
Concentrate	-	0.1	-	2.0	2.8
Total	-	3.7	-	6.8	17.3
DE requirement for maintenance and growth (Mcal/day)					
In this study	10.9	12.1	14.4	15.7	18.3
*Standard growth	10.5	12.5	14.3	15.8	17.2
ADG (kg/day)					
In this study	1.48	1.16	1.09	0.96	1.01
*Standard growth	1.31	1.12	1.01	0.93	0.86

* The Japan Bloodhorse Breeders' Association (2016).

運動による DE 消費量は 1 カ月齢時の 2.5 Mcal/日から 5 カ月齢時の 4.0 Mcal/日と月齢の進行に伴って増加した。これら DE 消費量の増加は、試験 5 において 1 日の総移動距離に月齢間で大きな変化がなく、放牧時間も試験期間を通して同じであったため、子馬の体重増加を反映した結果となった。運動の DE 消費量は、本試験の実増体量から NRC（2007）を用いて算出した各月齢での DE 要求量の 22.2~24.3%に相当した。

NRC（2007）の式により 2 および 4 カ月齢時の標準発育（日本軽種馬協会 2016）での日増体量を用いて算出した DE 要求量は、それぞれ 12.5 Mcal、15.8 Mcal であった。本研究では当歳馬の哺乳量を測定していないが、飼料由来の DE 摂取量が 2 カ月齢で 3.7 Mcal、4 カ月齢で 6.8 Mcal であったことから（試験 1）、DE 要求量から飼料由来の DE 摂取量を差し引くと、2 カ月齢および 4 カ月齢の DE はそれぞれ 8.8 Mcal、9.0 Mcal であり、これが乳由来の DE 摂取量と考えられる。一方、NRC（2007）には、母馬の分娩後日数と体重を用いた馬乳量の推定式が記載されている。

$$\textbf{馬乳量（kg）} = (\mathbf{a} \times \mathbf{0.0274287}) \times \left(\mathbf{d}^{\mathbf{0.0953}}\right) \times \boldsymbol{e}^{\,(\mathbf{-0.0043d})}$$

a = 母馬の体重（kg），**d** = 分娩後日数（日）

この式を用いて 2 カ月齢および 4 カ月齢時における馬乳量を試算した結果、2 カ月齢で 18.3 kg、4 カ月齢で 15.0 kg であった。さらに、馬乳のエネルギー含量を分娩後 2 カ月で 58 kcal/100g、4 カ月で 50 kcal/100g（NRC 2007）として、上記で試算した馬乳量にかけあわせると、2 カ月齢で 9.1 Mcal、4 カ月齢で 7.5 Mcal を馬乳から摂取していたことになる。このように推定した乳由来の DE 摂取量を、実際に本研究で測定した飼料摂取量と DE 要求量の差から算出した値と比較すると、2 カ月齢では同程度であったが、4 カ月齢では本研究での値の方が高く、実際の哺乳量は推定馬乳量よりも高かったと推察される。一方で、2 および 4 カ月齢時ともに標準発育（日本軽種馬協会 2016）と同程度の日増体量であったことは
、いずれの月齢においても DE 要求量を満たしていたことを示している。したがって、NRC（2007）における DE 要求量は 21 時間程度の昼夜放牧で約 10 km/日程度の運動量であれば、飼料設計上はこれに運動に要するエネルギーを追加する必要はないと考えられた。

一方、試験 1 において、当歳馬の 5 カ月齢の日増体量は 1.01 kg/日と、標準発育（日

本軽種馬協会 2016）の 0.86 kg/日を上回っていた。すなわち、増体に必要な DE の要求量に対して余分に摂取していたと考えられる。飼料の過剰摂取は、急速な発育や過肥を引き起こし、骨や健などに過度の負担がかかり DOD の発症要因となる可能性があるため（Aiken ら 1989）、離乳後の昼夜放牧飼養においては、適切な濃厚飼料の給与量について検討する必要がある。

NRC（2007）における DE 要求量は、体重の維持と増体に要するエネルギーから構成されており、維持に要するエネルギーは体重と月齢から、増体に要するエネルギーは月齢と日増体量から計算する。5 カ月齢時の DE 要求量について、維持に要するエネルギーは標準発育時、実際の体重どちらを用いても 10.6 Mcal となるが、これに増体に要するエネルギーを加えると標準発育時で 17.2 Mcal、実増体量を用いると 18.3 Mcal であり、増体に要する DE として 1.1 Mcal/日余分に摂取していたことになる。5 カ月齢で摂取していた濃厚飼料は 1.0 kgFM/日で DE 含量が 2.8 Mcal/kgFM であることから、余剰分は濃厚飼料の 40%（1.1/2.8×100）すなわち 0.4 kgFM に相当する。したがって、本試験で給与していた 5 カ月齢における当歳馬の濃厚飼料の給与量としては、0.4 kgFM 減量した 0.6 kgFM が十分量であると考えられる。

さらに、試験 1 において、5 カ月齢の DE 摂取量（17.3 Mcal/日）で 1.01 kg/日の日増体量が得られており、これを標準発育（日本軽種馬協会 2016）の馬体重および本試験における日増体量から NRC（2007）の式を用いて計算すると DE 要求量は 18.3 Mcal/日となる。すなわち、実際に必要な DE 要求量としては、NRC（2007）で算出した DE 要求量の 95%（17.3/18.3×100）程度で充足できると考えられる。したがって、DE 要求量をさらに 5%削減、つまり濃厚飼料として 300gFM/日（0.9 Mcal/日/頭）の削減が可能であると考えられ、上記で試算した増体に要する DE の削減量と合わせると、離乳後の濃厚飼料給与量は 0.3 kgFM/日/頭で標準発育を得ることが可能であると考えられる。

離乳前、哺乳期の濃厚飼料給与量についても見直してみることにする。今回試験を行った牧場では、濃厚飼料を 2 カ月齢で 0.5 kgFM/日/頭、3 カ月齢で 0.75 kgFM/日/頭、4 カ月および 5 カ月齢では 1.0 kgFM/日/頭それぞれ給与していたが、実際の摂取量は 2 カ月齢で 0.03 kgFM/日/頭とほとんど摂取しておらず、離乳直前の 4 カ月齢においても 0.71 kgFM/日/頭と給与量の 7 割程度であった。にもかかわらず、2 カ月齢および 4 カ月齢時でそれぞれ標準発育（日本軽種馬協会 2016）と同程度の日増体量が得られていたことから、哺乳期の当歳馬は給与された濃厚飼料を全量摂取しなくても必要な栄養要求量を

満たしていたことになる。すなわち、昼夜放牧飼養しているサラブレッド種当歳馬に対して、2 カ月齢時までは濃厚飼料を給与する必要はなく、3～4 カ月齢時は最大値として 0.7 kgFM/日/頭の給与量で十分だと考えられた。

以上から、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬への適切な濃厚飼料給与量は、2 カ月齢までは給与する必要がなく、3～4 カ月齢時に最大量として 0.7 kgFM/日/頭、5 カ月齢時以降の離乳後は 0.3 kgFM/日/頭である。この適正量の濃厚飼料を給与し、十分な草量と良質な牧草を確保できる放牧地を提供することにより、哺乳期の当歳馬は 1.2 ～2.1 kgDM （0.8～1.0%BW）、離乳直後では 4.7 kgDM（2.0%BW）の放牧草を摂取して、適正な日増体量を見込んだ昼夜放牧飼養管理を行うことが可能であることを本研究結果から提言する。

要約

1. 本研究では、昼夜放牧飼養下におけるサラブレッド種当歳馬の 1）放牧草採食量およびエネルギー摂取量と飼料消化能力、2）放牧地における自発的運動、3）他個体との社会関係について、成長に伴う変化を把握するとともに離乳前後の影響についても明らかにした。

2. 哺乳回数および哺乳時間は 1 カ月齢時で最も多く、それぞれ 4 カ月齢時では 1 カ月齢時よりも少なかった。月齢の進行に伴って子馬の食草時間は増加し、休息時間は減少した。特に離乳直後の食草時間の増加量は大きく、哺乳期の母馬の食草時間と同程度だった。

3. 放牧草採食量は、哺乳期の 2 カ月齢時で 1.2 kgDM/日（0.8%BW）、4 カ月齢時で 2.1 kgDM/日（1.0%BW）、離乳直後である 5 カ月齢時の食草量は 4.7 kgDM/日（2.0%BW）と離乳前よりも大きく増加した。配合飼料を含めた DE 摂取量は、2, 4, 5 カ月齢時でそれぞれ要求量の 30.0%、42.7%、103.1%であり、標準発育と同等の日増体量が得られた。

4. 当歳馬の腸内微生物による放牧草の *in vitro* 乾物消化率は 3 カ月齢時まで増加し、母馬の消化率と同程度だった。また、NDF 消化率は月齢間および母馬との間に明らかな差はみとめられず、血中総 VFA 濃度の変化をあわせてみると当歳馬の消化能力は 4 カ月齢にかけて発達し、この時期に成馬と同程度の消化能力を有していると考えられた。

5. 放牧地における移動距離は、当歳馬が 9.7-15.2 km/日、母馬が 10.2-16.5 km/日だった。また、当歳馬の移動には食草を伴わない移動の割合が大きいこと、さらに 1 カ月齢時が最も活発に運動する時期である、という特徴が明らかとなった。

6. 母子間距離は 7.2-8.8 m と、哺乳期間中ほとんど変わらなかった。3 カ月齢以降は、母馬以外の他個体との最近接個体間距離と母子間距離との間に差がみられなくなっ

たことから、この時期に他馬との社会関係を築き始めると考えられた。しかし、離乳直前まで母子間距離が最も短く、離乳直前の 4 カ月齢時においてもまだ母馬への心理的依存度が比較的高いことが推察された。

7. 本研究の結果から離乳時期について検討すると、4 カ月齢での離乳は放牧草採食量および飼料消化能力といった養分摂取の面からは当歳馬の適切な成長を妨げるような問題点はみられず、行動の面からみても成馬と同程度まで成長していた時期と考えられた。一方、心理面からみた場合、4 カ月齢での離乳は若干早い時期である可能性が示唆された。

8. 本試験で測定した放牧草採食量を用いることで、昼夜放牧飼養下における当歳馬の適切な濃厚飼料給与量を提示することができた。すなわち、十分な草量と良質な牧草を確保できる放牧地を提供することにより、2 カ月齢までは濃厚飼料を給与する必要がなく、3〜4 カ月齢時は最大量として 0.7 kgFM/日/頭、離乳後は 0.3 kgFM/日/頭として、適正な日増体量を見込んだ昼夜放牧飼養管理が可能であると提言した。

Appendix table 1. Sward chracteristicts of experimental pasture

	June			August			September		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Crown coverege (%)									
Kentucky bluegrass	64.2	74.2	75.8	91.7	75.8	75.0	75.0	80.0	87.5
White clover	35.8	25.0	20.0	8.3	20.0	22.5	25.0	16.7	11.7
Sward height (cm)									
Kentucky bluegrass	18.3	18.5	17.2	13.8	17.2	16.9	11.5	17.9	19.9
White clover	10.3	10.7	9.5	7.2	9.5	9.8	6.5	9.0	9.2
Compressed herbage height (cm)	17.2	17.4	17.9	14.0	14.3	16.3	12.0	14.0	16.5
Herbage mass (tDM/pasture)	4.2	7.1	7.3	6.0	7.0	6.9	4.4	6.3	6.7
(gDM/m^2)	124.3	214.3	219.6	181.2	209.8	207.3	133.0	192.8	200.4

Appendix table 2. Chemical compotision of experimental pasture and concentrate

		June			August			September		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
DM	(% of FM)	21.8	19.3	21.1	21.9	19.8	21.5	20.9	21.6	21.2
OM	(% of DM)	91.8	91.8	92.2	90.9	92.0	91.9	91.3	92.1	91.6
CP	(% of DM)	22.8	20.3	21.3	22.8	22.4	22.2	27.9	26.1	28.0
EE	(% of DM)	4.5	3.8	4.7	3.8	4.9	5.5	4.4	5.2	6.4
NDF	(% of DM)	40.9	43.3	40.9	43.4	47.4	46.7	38.4	39.2	36.8
ADF	(% of DM)	22.3	24.1	22.8	25.4	25.9	25.5	19.4	22.1	21.2
ADL	(% of DM)	2.5	2.1	1.7	3.1	2.6	2.2	2.2	2.1	2.0
WSC	(% of DM)	12.4	10.4	14.9	7.3	8.0	10.9	8.7	12.3	10.1
GE	(Mcal/kgDM)	4.8	4.5	4.6	4.5	4.6	4.7	4.6	4.6	4.7
DE	(Mcal/kgDM)	2.6	2.5	2.6	2.5	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7

DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; EE: either extract; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; ADL: acid detergent lignin; WSC: water soluble carbohydrate; GE: gross energy; DE: digestible energy.

DE were calculated using the equation given NRC (2007).

Appendix table 3. Dry matter intake of pasture and concentrate feeds per day for whole-day stocked Thoroughbred foals at 2 months, 4 months and 5 months of age for foals. (Yearly differences)

	2 months			4 months			5 months		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
DMI (kgDM/d)									
Pasture	1.2	1.2	1.4	2.5	2.1	1.6	5.8	4.1	4.5
Concentrate	0.0	0.0	0.1	0.8	0.7	0.4	0.9	0.9	0.9
Total	1.2	1.2	1.4	3.3	2.8	2.0	6.7	5.0	5.4
DMI (%BW)									
Pasture	0.9	1.0	1.0	1.2	1.1	0.9	2.5	1.8	2.0
Concentrate	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4
Total	0.9	1.0	1.1	1.6	1.5	1.1	2.8	2.2	2.4

Appendix table 4. Crude protein (CP) and digestible energy (DE) intake per day on pasture for whole-day stocked Thoroughbred foals at 2 months, 4 months and 5 months of age for foals.

	2 months			4 months			5 months		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
CP (g/d)									
Pasture	266	232	277	542	454	344	1,546	1,033	1,215
Concentrate	0	0	20	281	261	154	319	319	319
Total	266	232	297	823	715	497	1,865	1,353	1,534
DE (Mcal/d)									
Pasture	3.9	3.0	3.9	6.6	4.6	3.5	19.0	12.5	13.8
Concentrate	0.0	0.0	0.3	2.4	2.3	1.3	2.8	2.8	2.8
Total	3.9	3.0	4.2	9.1	6.8	4.9	21.7	15.2	16.6

参考文献

Aiken GE, Potter GD, Conrad BE, Evans JW. 1989. Growth performance of yearling horses grazing bermudagrass pastures at different grazing pressures. *Journal of Animal Science*, 67(10), 2692-2697.

AOAC. 1980. Official methods of analysis. 13th ed., Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D. C.

Arnold GW. 1984. Comparison of the time budgets and circadian patterns of maintenance activities in sheep, cattle and horses grouped together. *Applied Animal Behaviour Science*, 13(1-2), 19-30.

Asai Y, Matsui A, Osawa M, Kawai M, Kondo S. 1999. Digestible energy expenditure in grazing activity of growing horses. *Equine Veterinary Journal,* 31(S30), 490-492.

朝井　洋，松井　朗，藤川洋史，大沢登茂子，松井　徹，矢野秀雄. 1999. 子馬の乳摂取量および乳由来ミネラル摂取量に関する研究. 馬の科学, 36(6)：516-522.

Baldwin RL, McLeod KR, Klotz JL, Heitmann RN. 2004. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87, E55-E65.

Bell RA, Nielsen BD, Waite K, Rosenstein D, Orth M. 2001. Daily access to pasture turnout prevents loss of mineral in the third metacarpus of Arabian weanlings. *Journal of Animal Science,* 79(5),1142-1150.

Benyovsky BM, Penksza, J Hausenblasz. 1998. Quality requirements of pasture for horses. Zavod za Pomurje, Murska Sobota, Slovenia.

Boy V, Duncan P. 1979. Time-budgets of Camargue horses I. Developmental changes in the time-budgets of foals. *Behaviour*, 71(3-4), 187-201.

Brøkner C, Austbø D, Næsset JA, Blache D, Knudsen KB, Tauson AH. 2016. Metabolic response to dietary fibre composition in horses. *Animal*, 10(7), 1155-1163.

Burns HD, Gibbs PG, Potter GD. 1992. Milk-energy production by lactating mares. *Journal of Equine Veterinary Science*, 12(2), 118-120.

Cardona ME, Collinder E, Stern S, Tjellström B, Norin E, Midtvedt T. 2005. Correlation between faecal iso-butyric and iso-valeric acids in different species. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 17(3), 177-182.

Costa MC, Stämpfli HR, Allen‐Vercoe E, Weese JS. 2016. Development of the faecal microbiota in foals. *Equine Veterinary Journal*, 48(6), 681-688.

Crowell-Davis SL, Houpt KA, Carnevale J. 1985. Feeding and drinking behavior of mares and foals with free access to pasture and water. *Journal of Animal Science,* 60(4), 883-889.

Crowell-Davis SL, Houpt KA, and Carini CM. 1986a. Mutual grooming and nearest-neighbor relationships among foals of *Equus caballus*. *Applied Animal Behaviour Science*, 15(2), 113-123.

Crowell-Davis SL. 1986b. Spatial relations between mares and foals of the Welsh pony (*Equus caballus*). *Animal Behaviour*, 34(4), 1007-1015.

出岡謙太郎，斉藤利明，大坂郁夫. 1998. 2-4 ヵ月齢離乳のクリープフィーディング子羊と成羊における消化率の比較. 日本草地学会誌, 44(3), 229-233.

Dove H, Mayes RW. 2006. Protocol for the analysis of n-alkanes and other plant-wax

compounds and for their use as markers for quantifying the nutrient supply of large mammalian herbivores. *Nature protocols*, 1(4), 1680.

Dulphy JP, Martin-Rosset W, Dubroeucq H, Ballet JM, Detour A, Jailler M. 1997. Compared feeding patterns in ad libitum intake of dry forages by horses and sheep. *Livestock Production Science*, 52(1), 49-56.

Duncan P, Harvey PH, Wells SM. 1984. On lactation and associated behaviour in a natural herd of horses. *Animal Behaviour*, 32(1), 255-263.

Earing JE, Cassill BD, Hayes SH, Vanzant ES, Lawrence LM. 2010. Comparison of in vitro digestibility estimates using the DaisyII incubator with in vivo digestibility estimates in horses. *Journal of Animal Science*, 88(12), 3954-3963.

Earing JE, Durig AC, Gellin GL, Lawrence LM, Flythe MD. 2012. Bacterial colonization of the equine gut; comparison of mare and foal pairs by PCR-DGGE. *Advances in Microbiology*, 2, 79-86.

Faubladier C, Sadet-Bourgeteau S, Philippeau C, Jacotot E, Julliand V. 2014. Molecular monitoring of the bacterial community structure in foal feces pre-and post-weaning. *Anaerobe*, 25, 61-66.

Ferreira LMM, Celaya R, Garcia U, Rodrigues MAM, Osoro K. 2009. Differences between domestic herbivores species in alkane faecal recoveries and the accuracy of subsequent estimates of diet composition. *Animal Feed Science and Technology*, 151: 128-142

Fleurance G, Duncan P, Mallevaud B. 2001. Daily intake and the selection of feeding sites by horses in heterogeneous wet grasslands. *Animal Research*, 50(2), 149-156.

Ford EJH, Simmons HA. 1985. Gluconeogenesis from caecal propionate in the horse. *British*

Journal of Nutrition, 53(1), 55-60.

Francis-Smith K, Wood-Gush DGM. 1977. Coprophagia as seen in thoroughbred foals. *Equine Veterinary Journal*, 9(3), 155-157.

Fraser D, Fraser AF, Ritchie JSD. 1975. The term "stress" in a veterinary context. *British Veterinary Journal*, 131(6), 653-662.

George LA, Staniar WB, Treiber KH, Harris PA, Geor RJ. 2009. Insulin sensitivity and glucose dynamics during pre-weaning foal development and in response to maternal diet composition. *Domestic Animal Endocrinology*, 37(1), 23-29.

Gibbs PG, Potter GD, Blake RW, McMullan WC. 1982. Milk production of quarter horse mares during 150 days of lactation. *Journal of Animal Science*, 54(3), 496-499.

Glade MJ, Belling JT. 1984. Growth plate cartilage metabolism, morphology and biochemical composition in over-and underfed horses. *Growth*, 48(4), 473-482.

Glinsky MJ, Smith RM, Spires HR, Davis CL. 1976. Measurement of volatile fatty acid production rates in the cecum of the pony. *Journal of Animal Science*, 42(6), 1465-1470.

Grace ND, Gee EK, Firth EC, Shaw HL. 2002a. Digestible energy intake, dry matter digestibility and mineral status of grazing New Zealand Thoroughbred yearlings. *New Zealand Veterinary Journal*, 50(2), 63-69.

Grace ND, Shaw HL, Gee EK, Firth EC. 2002b. Determination of the digestible energy intake and apparent absorption of macroelements in pasture-fed lactating Thoroughbred mares. *New Zealand Veterinary Journal*, 50(5), 182-185.

Grace ND, Rogers CW, Firth EC, Faram TL, Shaw HL. 2003. Digestible energy intake, dry

matter digestibility and effect of increased calcium intake on bone parameters of grazing Thoroughbred weanlings in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*, 51(4), 165-173.

Hammon HM, Schiessler G, Nussbaum A, Blum JW. 2002. Feed intake patterns, growth performance, and metabolic and endocrine traits in calves fed unlimited amounts of colostrum and milk by automate, starting in the neonatal period. *Journal of Dairy Science*, 85(12), 3352-3362.

Hampson BA, Morton JM, Mills PC, Trotter MG, Lamb DW, Pollitt CC. 2010. Monitoring distances travelled by horses using GPS tracking collars. *Australian Veterinary Journal*, 88(5), 176-181.

早川康夫. 1991. 軽種育成馬の放牧管理. 1.夜間放牧. 日本草地学会誌, 37(3), 330-336.

Heinrichs AJ, Hargrove GL. 1987. Standards of weight and height for Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 70(3), 653-660.

Heleski CR, Shelle AC, Nielsen BD, Zanella, AJ. 2002. Influence of housing on weanling horse behavior and subsequent welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 78(2-4), 291-302.

Henry S, Zanella AJ, Sankey C, Richard-Yris MA, Marko A, Hausberger M. 2012. Adults may be used to alleviate weaning stress in domestic foals (*Equus caballus*). *Physiology & Behavior*, 106(4), 428-438.

Hiney KM, Nielsen BD, Rosenstein D. 2004. Short-duration exercise and confinement alters bone mineral content and shape in weanling horses. *Journal of Animal Science*, 82(8), 2313-2320.

Hoffman RM, Kronfeld DS, Cooper WL, Harris PA. 2003. Glucose clearance in grazing mares

is affected by diet, pregnancy, and lactation. *Journal of Animal Science*, 81(7), 1764-1771.

Houpt KA, Hintz HF, Butler WR. 1984. A preliminary study of two methods of weaning foals. *Applied Animal Behaviour Science*, 12(1-2), 177-181.

Houpt KA. 2002. Formation and dissolution of the mare–foal bond. *Applied Animal Behaviour Science*, 78(2-4), 319-328.

Jansson A, Lindberg JE. 2012. A forage-only diet alters the metabolic response of horses in training. *Animal*, 6(12), 1939-1946.

Jeffcott LB. 1991. Osteochondrosis in the horse—searching for the key to pathogenesis. *Equine Veterinary Journal*, 23(5), 331-338.

Jensen RB, Austbø D, Blache D, Knudsen KB, Tauson, AH. 2016. The effect of feeding barley or hay alone or in combination with molassed sugar beet pulp on the metabolic responses in plasma and caecum of horses. *Animal Feed Science and Technology*, 214, 53-65.

Kasashima Y, Smith RKW, Birch HL, Takahashi T, Kusano K, Goodship AE. 2002. Exercise‐induced tendon hypertrophy: cross‐sectional area changes during growth are influenced by exercise. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), 264-268.

河合正人，十二邦子，安江　健，小川貴代，近藤誠司，大久保正彦，朝日田康司. 1996. 北海道和種馬における Cr_2O_3 と酸不溶性灰分(AIA)の回収率および糞中濃度の経時変化. 北海道畜産学会報, 38:72-76

Khan MA, Weary DM, Von Keyserlingk MAG. 2011. Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. *Journal of Dairy Science*,

94(7), 3547-3553.

近藤誠司（編）. 2002. ウマの動物学. 東京大学出版会. 東京.

Kurvers CMHC, van Weeren PR, Chris WR, Machteld C, van Dierendonck. 2006. Quantification of spontaneous locomotion activity in foals kept in pastures under various management conditions. *American Journal of Veterinary Research*, 67(7), 1212-1217

Kusunose R, Sawazaki H. 1984. The behavioral development of thoroughbred foals and the relationship between dams and foals. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 55(4), 263-271.

楠瀬　良，畠山　弘，久保勝義，木口明信，朝井　洋，藤井良和，伊藤克己. 1985. 育成期の馬の至適放牧地条件 1. 放牧地の面積がサラブレッド種育成馬の行動に及ぼす影響. 日本中央競馬会競走馬総合研究所報告, 22, 1-7.

楠瀬　良，畠山　弘，久保勝義，木口明信，朝井　洋，藤井良和，伊藤克己. 1986. 育成期の馬の至適放牧地条件 2. サラブレッド種育成馬の行動からみた至適放牧頭数. 日本中央競馬会競走馬総合研究所報告, 23, 1-6.

楠瀬　良，畠山　弘，久保勝義，木口明信，朝井　洋，藤井良和，伊藤克己. 1987. 育成期の馬の至適放牧地条件 3. サラブレッド種育成馬の行動からみた放牧地形状の得失. 日本中央競馬会競走馬総合研究所報告, 24, 1-5.

Lewis LD. 1995. Equine Clinical Nutrition: Feeding and Care, Williams & Wilkins, Baltimore. pp viii, 587.

Maeta Y, Yoshida S, Kamide A, Ishiguri T. 1992. Effect of cutting time on digestivility, intake and nutritive value of timothy hay in horses. *Japanese Journal of Equine Science*, 3, 137-142.

Malinowski K, Hallquist NA, Helyar L, Sherman AR, Scanes CG. 1990. Effect of different separation protocols between mares and foals on plasma cortisol and cell-mediated immune response. *Journal of Equine Veterinary Science*, 10(5), 363-368.

Marlow CHB, Van Tonder EM, Hayward FC, Van Der Merwe SS, Price LEG. 1983. A report on the consumption, composition and nutritional adequacy of a mixture of lush green perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and cocksfoot (*Dactylis glomerata*) fed ad libitum to thoroughbred mares. *Journal of the South African Veterinary Association*, 54(3), 155-157.

Martin-Rosset W. 2015. Equine nutrition. Wageningen Academic Publishes. Netherlands.

Moffitt DL. 1987. Seasonal differences in apparent digestibilities of fescue and orchardgrass/clover pastures by horses (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University).

森本　宏. 1971. 第 3 章 8-2, リン酸カリ試薬法. 動物栄養試験法. pp393. 養賢堂. 東京.

Murase M, Kimura Y, Nagata Y. 1995. Determination of portal short-chain fatty acids in rats fed various dietary fibers by capillary gas chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 664(2), 415-420.

National Research Council. 2007. Nutrient Requirements of Horses. Six revised edition. The National Academies Press. Washington DC.

Nemati M, Amanlou H, Khorvash M, Moshiri B, Mirzaei M, Khan MA, Ghaffari MH. 2015. Rumen fermentation, blood metabolites, and growth performance of calves during transition from liquid to solid feed: Effects of dietary level and particle size of alfalfa hay. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 7131-7141.

Nemati M, Amanlou H, Khorvash M, Mirzaei M, Moshiri B, Ghaffari MH. 2016. Effect of different alfalfa hay levels on growth performance, rumen fermentation, and structural growth of Holstein dairy calves. *Journal of Animal Science*, 94(3), 1141-1148.

日本ウマ科学会. 2013. 競走馬ハンドブック. 丸善出版. 東京.

日本軽種馬協会. 2016. 軽種馬牧場管理ソフト「SUKOYAKA」ガイドブック. 東京.

日本中央競馬会競走馬総合研究所. 2004. 軽種馬飼養標準（2004 年版）. アニマル・メディア. 東京.

農業・食品産業技術総合研究機構（編）. 2017. 日本飼養標準　乳牛（2017 年版）. 中央畜産会, 東京.

農林水産省生産局畜産部畜産振興課. 2017. 平成 28 年度馬関係資料.

Pagan JD, Hintz HF. 1986. Equine energetics. II. Energy expenditure in horses during submaximal exercise. *Journal of Animal Science*, 63(3), 822-830.

Raub RH, Jackson SG, Baker JP. 1989. The effect of exercise on bone growth and development in weanling horses. *Journal of Animal Science*, 67(10), 2508-2514.

Rifá H. 1990. Social facilitation in the horse (*Equus caballus*). *Applied Animal Behaviour Science*, 25(1-2), 167-176.

Rogalski M. 1984. Effect of carbohydrates and lignin on preferences for and intakes of pasture plants by mares. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 27, 183-193.

Saastamoinen MT, Särkijärvi S. 2018. Digestibility of a forage-based diet in weanling horses

during development and maturation. *Livestock Science*, 215, 49-53.

Sato F, Tanabe T, Murase H, Tominari M, Kawai M. 2017. Application of a wearable GPS unit for examining interindividual distances in a herd of Thoroughbred dams and their foals. *Journal of Equine Science*, 28(1), 13-17.

Savage CJ, McCarthy RN, Jeffcott LB. 1993. Effects of dietary phosphorus and calcium on induction of dyschondroplasia in foals. *Equine Veterinary Journal*, 25(S16), 80-83.

Schryver HF, Oftedal OT, Williams J, Soderholm LV, Hintz HF. 1986. Lactation in the horse: the mineral composition of mare milk. *The Journal of Nutrition*, 116(11), 2142-2147.

Smith RT, Sunde ML, Smith EL. 1984. The influence of dietary calcium and exercise on the mechanical properties of bone. *Medicine and Science in sports and exercise*, 16(2), 164.

Smyth GB. 1988. Effects of age, sex, and post mortem interval on intestinal lengths of horses during development. *Equine Veterinary Journal*, 20(2), 104-108.

Stevens CE, Hume ID. 1998. Contributions of microbes in vertebrate gastrointestinal tract to production and conservation of nutrients. *Physiological reviews*, 78(2), 393-427.

Stromberg B. 1979. A review of the salient features of osteochondrosis in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 11(4), 211-214.

Sweeting MP, Houpt CE, Houpt KA. 1985. Social facilitation of feeding and time budgets in stabled ponies. *Journal of Animal Science*, 60(2), 369-374.

Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), 185-197.

Thompson KN, Jackson SG, Rooney JR. 1988. The effect of above average weight gains on the incidence of radiographic bone aberrations and epiphysitis in growing horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 8(5), 383-385.

Tyler SJ. 1972. The behaviour and social organization of the New Forest ponies. *Animal Behaviour Monographs*, 5, 87-196.

Usagawa T, Tagawa M, Asai Y, Osawa T, Matsui A, Fujikwa H. 1998. Self-Maintenance behaviour of Thoroughbred foals in nursing period. *Japanese Journal of Livestock Management*, 34(2), 43-49.

Van Soest PV, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.

van Weeren PR, Barneveld A. 1999. Introduction: Study design to evaluate the influence of exercise on the development of the musculoskeletal system of foals up to age 11 months. *Equine Veterinary Journal*, 31(S31), 4-8.

Waran NK, Clarke N, Farnworth M. 2008. The effects of weaning on the domestic horse (*Equus caballus*). *Applied Animal Behaviour Science*, 110(1-2), 42-57.

Waring GH. 1983. Horse behavior. The behavioral traits and adaptations of domestic and wild horses, including ponies. Noyes Publications, Mill Road.

Waters AJ, Nicol CJ, French NP. 2002. Factors influencing the development of stereotypic and redirected behaviours in young horses: findings of a four year prospective epidemiological study. *Equine Veterinary Journal*, 34(6), 572-579.

Williams JA, Wagner J, Wasnich R, Heilbrun L. 1984. The effect of long-distance running upon appendicular bone mineral content. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(3), 223-227.

Yemm EW, Willis A. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57(3), 508.

謝辞

本研究をとりまとめるにあたり、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター河合正人准教授、同 農学研究院上田宏一郎教授、同 北方生物圏フィールド科学センター三谷朋弘助教には、終始懇篤なる御指導、御鞭撻を賜った。また、同 北方生物圏フィールド科学センター山田敏彦教授、同 荒木肇教授、同 地球環境科学研究院鈴木仁教授には論文の校閲の労をお執り頂き、有益なご助言を賜った。

本研究の遂行にあたり、日本中央競馬会日高育成牧場の松井 朗主任研究役には試験遂行のため多大なるご協力を頂いた。同 生産育成研究室の佐藤文夫室長、羽田哲朗前室長、村瀬晴崇主査、同 業務課冨成雅尚課長、遠藤祥郎係長、ならびに同 繁殖班職員の皆様には試験の場を提供して頂くとともに、試験遂行にあたり多大なるご協力とご理解を頂いた。

北海道大学近藤誠司名誉教授、酪農学園大学中辻浩喜教授、帯広畜産大学花田正明准教授には、本研究に関する御助言と激励を頂いた。

北海道大学農学部畜牧体系学研究室の大学院生、学生、卒業生諸氏およびその他研究室の多くの大学院生ならびに学生諸氏にも、時には厳しい自然環境下でのフィールドワークを快く引き受けて頂いた。

北海道立総合研究機構農業研究本部酪農試験場の職員の皆様には試験試料作製にあたり多大なる御協力を頂いた。

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター静内研究牧場技術職員猪瀬善久氏、山田文啓氏、山田美幸さん、兼松勝寿氏、野村夏樹氏、古川 望さん、同 元技術職員中城敏明氏、川畑昭洋氏、尾島徳介氏、同 前係長福田政彦氏、北海道大学文学研究院瀧本彩加准教授、株式会社ホクチク谷川智幸氏、松谷陽介氏には、終始変わらぬご支援と激励を頂いた。

ここに以上の各位に対し、衷心より感謝の意を表する次第である。