

エゾシカの糞中アンモニア、短鎖脂肪酸 およびアルコール濃度の季節比較

佐藤 博

Seasonal Comparisons in Ammonia, Short Chain Fatty Acids and Alcohol Concentrations in Feces of Yeso Sika Deer (*Cervus nippon yesoensis*)

Hiroshi SATO

(Accepted 27 December 2011)

緒 言

人里や居住地への野生動物の出現が増え各地で問題になっており、北海道ではエゾシカの生息数が著しく増加しその対策が急務になっている(梶 2006)。野生動物の個体数や生息地の把握のためには栄養生理学的な面についての基礎研究も必要となる。エゾシカのエサ(食資源)は地域によって異なるほか、季節的な変動も著しい(梶 2006, 國重 2006)。それは結果的に鹿体内における消化や吸収に量・質的变化を生じることにつながる。シカの食資源となる植物中の大部分は炭水化物であるが、植物性炭水化物の消化においては発酵プロセスが大きな意義をもち、反芻動物の前胃(第一, 第二および第三胃)のほか全動物種とも大腸内の微生物がそれを担っている。大腸での炭水化物発酵の主要産物としては短鎖脂肪酸およびその中間産物としてのアルコールや乳酸などがあげられる。これらは大腸から吸収されるとともに一部は糞中に排泄されているので、糞中のこれら成分は摂取食資源の特性を反映しやすいと考えられる。エゾシカの排糞量から採食量あるいは植物種を求めた試みは多いが(國重ら 2006)、エゾシカの糞中発酵産物を分析した情報は見当たらない。さらに、緬羊や鹿では生殖活動の季節性はもとより、採食量や代謝量あるいはそれに関連した消化管内通過速度、消化率さらには内分泌面での季節変動が広く知られている(Forbes 1986, Kay 1988, Milne ら 1978, 小田島ら 1991)。今回は野生条件下のエゾシカの糞を採取し、大腸(とくに結腸)内での発酵特性の季節的な差異について栄養生理学的な面から検討した。

材料および方法

1. 鹿糞の採取: 2009~2011年に北海道東部の厚岸町で野生エゾシカの糞を採取した。採取の時期および点数は、積雪の深い2月(冬期)に29点、5月下旬(早春; 当地では桜開花の約1週間後)に22点、6および7月(夏期)に21点、9月(上旬から中旬まで3回)に54点、10月(下旬に2回)に44点、11月(中旬, 積雪なし)に54点であった。鹿では短日化および生殖活動にともなって採食量の低下が著しい(Forbes 1986, Kay 1988)ため短日化の秋分以降は10月と11月に採材した。冬期の採取は鉄道沿線の同町糸魚沢地区であり、植生的にはヨシ群落(冬期の採食は不可)、ハンノキ林および灌木が主体であった。その最も近い地点(厚岸町太田; 距離は約12 km)の気象データによると当該2月の上旬, 中旬および下旬の最深積雪は31 cm, 44 cm および40 cmであった(気象庁 2011)。早春から晩秋の間の採取は同町の末広および奔渡地区とした。そこは冬期の採取地とは15 kmほど離れており、広葉樹(ミズナラ, エゾイタヤ, シナノキなど)およびトドマツの混交林が主体の植生であった。

地表あるいは雪原上にある鹿糞で、表面に輝きのある新鮮なものをポリエチレン袋に採取した。排糞密度の高かった場所では約5 m以上離れた地点のものを別個体由来とした。なお、9月上旬の採取時(1回のみ)には下痢糞が多くみられたので、同様に採取し追加的な試料とした(16点)。いずれも、採取糞は冷却して酪農学園大学動物病院に搬入、あるいは冷却宅配便に依頼した。

2. 糞試料の前処理: 採取の翌々日までに以下の処理を行った。プラスチック容器内に新鮮糞3 g 前

C-RSA CHROMATOPAC CH=1 Report No.=1651 DATA=1:@CHRM1.C50 11/09/18

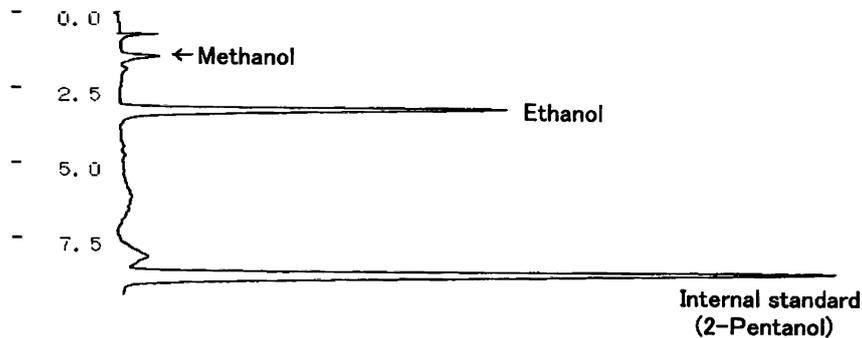


Fig. 1 Chromatogram of fecal alcohol analysis by gaschromatography

後を秤量し、その6倍量の水を加えてよく攪拌し抽出した（7倍希釈）。つぎに80-100メッシュ金網で濾過し、その濾液を4℃2800gで10分間の遠心分離後、上清をマイクロチューブに分注し分析まで凍結保存した。いっぽう、新鮮糞をアルミニウムカップに精秤採取し、110℃の通風恒温器内で5~6時間の乾燥後に精秤して乾物率を求めた。

3. 分析方法：上記の凍結保存の抽出液について水素炎イオン化検出器(FID)装着のガスクロマトグラフィー（島津製作所；京都）により短鎖脂肪酸およびアルコール濃度を測定した。キャリアーガスには窒素を用いた。短鎖脂肪酸の分析ではポリキシエチレンソルビタン系(F-18；島津製作所、以下同様)充填カラム（ガラス製：3.1mm, 2.1m）を用い、クロトン酸を内部標準とした。今回の短鎖脂肪酸は炭素数が2個の酢酸から5個のバレリアン酸までとし、これらの合計（異性体を含めて6種）を総短鎖脂肪酸とした。アルコール分析ではThermon-1000(T-88)を充填剤とし、内部標準として2-ペンタノールを用いてエタノールとメタノール濃度を算出した(Fig. 1)。プロパノール(*i*および n)を検出した例もあったが、今回のデータからは除外した。また、インドフェノール発色法によってアンモニアを分析した（奥田ら1966）。

4. データ処理：各項目の季節比較にはKruskal Wallis検定後にScheffe法で多重検定し、危険率が5%未満を有意差とした。なお、下痢の例についてはこの比較から外した。また、項目間の関係を見るため散布図を作成した。

結 果

糞採取の季節ごとおよび下痢糞について各項目の平均と標準偏差(SD)をTable 1に示し、各項目の散布状態はFig. 2~4に示した。

1. 乾物率とアンモニア濃度：

糞の乾物率とアンモニア濃度の散布状態をFig. 2に示した。乾物率には大きな変動が認められ、とくに早春には変動が著しかったが、夏期における乾物率の変動幅は概して小さかった(Fig. 2)。平均的には冬期に乾物率が高く、夏期および9月に低かった。アンモニアについては高濃度の例が早春および夏期に見られ(Fig. 2)、最低となった9月および11月との間に有意差があった。なお、冬期には全ての試料でアンモニア濃度が低く、またその変動幅も小さかった。

2. 短鎖脂肪酸：

短鎖脂肪酸の総濃度は冬期に最も低く、その後の早春~9月には高い傾向にあった。早春以降の変動幅が大きかった(Fig. 3)ので季節間の有意差を認めなかったが、冬期に次いで低いのは10月の試料であった。総短鎖脂肪酸に占める酢酸およびプロピオン酸の比率も冬期には変動が小さくまとまっていたが、他の季節には大きな変動を示した。とくに早春試料では変動が著しく、酢酸の比率は約20~80%、プロピオン酸では10~70%の間であった。すなわち、この季節には酢酸比率が有意に低く(54.3%)、プロピオン酸比率が有意に高く(35.4%)になった。夏期には両酸の比率は比較的安定していたが、秋には変動が拡大した。早春を除くと、酢酸比率は約70~80%、プロピオン酸比率は9~19%であった。ただし、10月採取の11点の糞でプロピオン酸が検出されず、それらの酢酸/プロピオン酸比(A/P比)を算出できなかったが、早春にはA/P比が有意に低く10月に最高となった(Table 1)。

n -酪酸比率も冬期には安定的であった。他の季節には大きな変動を示したが、平均的には10月に最高となった(Table 1)。反対に、*i*-酪酸、*i*-バレリアン

Table 1. Fecal dry matter (DM), ammonia, short chain fatty acids (SCFAs) and alcohol levels in deer.

	n	Season					Diarrhea*	
		Winter	Early spring	Summer	Sep.	Oct.		Nov.
		29	22	21	54	44	54	16
DM (%)	Mean	36.1 ^a	30.0 ^{ab}	20.5 ^d	23.8 ^d	29.0 ^{ab}	26.2 ^{bcd}	18.7
	SD	6.4	7.8	2.7	4.8	5.3	5.2	2.4
Ammonia (mM)	Mean	1.9 ^{ab}	4.7 ^a	4.3 ^a	1.7 ^b	2.3 ^{ab}	1.5 ^b	2.4
	SD	0.5	4.1	4.8	1.6	1.3	1.2	2.0
SCFAs (mM)	Mean	35.9	91.0	77.4	68.9	48.7	53.8	62.4
	SD	15.6	74.9	44.2	52.9	43.3	51.6	46.7
Acetate**	Mean	77.9 ^{ab}	54.3 ^c	74.2 ^b	75.4 ^b	82.5 ^a	76.6 ^b	70.6
	SD	4.4	16.2	7.0	9.3	7.4	6.8	10.8
Propionate**	Mean	13.9 ^b	35.4 ^a	17.1 ^b	17.5 ^b	9.1 ^c	18.5 ^b	17.9
	SD	2.1	16.8	6.0	8.5	7.0	6.9	6.2
<i>n</i> -Butyrate**	Mean	6.0 ^b	4.9 ^{bc}	6.0 ^b	4.0 ^c	6.9 ^a	2.8 ^c	5.5
	SD	1.9	2.9	3.0	2.2	2.9	2.2	1.6
Minor acids**	Mean	2.2 ^c	5.4 ^a	2.6 ^{bc}	3.2 ^{ab}	1.5 ^{cd}	2.2 ^{bc}	6.0
	SD	3.6	4.1	2.6	2.3	1.3	2.2	4.6
A/P***	Mean	5.7 ^{ab}	2.1 ^c	5.0 ^b	5.6 ^b	8.1 ^a	4.8 ^b	5.1
	SD	0.9	1.3	2.2	3.2	4.5	1.9	2.7
Ethanol (mM)	Mean	3.27 ^{bc}	3.37 ^{abc}	5.00 ^a	3.87 ^b	2.69 ^c	1.52 ^{cd}	3.48
	SD	0.7	2.0	3.6	1.8	1.5	1.0	0.7
Methanol (mM)	Mean	0.99 ^a	0.55 ^{bc}	0.81 ^{abc}	0.92 ^{ab}	0.65 ^{abc}	0.50 ^{cd}	0.34
	SD	0.5	0.4	0.7	0.6	0.2	0.1	0.1
Ethanol/SCFAs (%)	Mean	11.5	7.5	9.7	11.4	24.2	14.2	11.6
	SD	8.3	8.3	10.2	11.1	29.2	18.9	10.2
Methanol/SCFAs (%)	Mean	3.7 ^{ab}	1.6 ^c	2.0 ^{bc}	3.4 ^{ab}	6.7 ^a	3.8 ^{ab}	1.2
	SD	3.5	2.9	2.6	4.6	8.4	5.0	1.2

* Diarrheic samples taken in Sep.; ** % of SCFAs; *** Acetate/Propionate.

^{a,b,c,d}: Means with differed superscripts in a line are significantly different ($P < 0.05$), excepting diarrhea.

酸および *n*-バレリアン酸をまとめた Minor acids は 10 月に最低となり変動幅も小さかった。また、*n*-酪酸を検出できない試料が冬期（1 点）と 11 月（13 点）に認められた（Fig. 3）。

3. エタノールとメタノール：

アルコール濃度は Table 1, その散布状態を Fig. 4 に示した。冬期の糞中エタノール濃度は低い範囲に集中していたが、他の季節には大きな変動を示した。平均的にはエタノールは夏期に最高となり、11 月に最低であった（Table 1）。ところが、メタノール濃度については冬期に最高で、早春および晩秋には低値を示し変動幅も小さかった（Table 1）。今回はアルコールについては総短鎖脂肪酸との濃度比率（モル比）も算出した（Table 1, Fig. 4）。両アルコールとも 10 月に高かったが、それ以外は平均的にエタノールは短鎖脂肪酸量の約 10%前後、メタノールは 2~4%程度であった。

4. 下痢糞の特徴：

Table 1 および Fig. 2~4 には下痢糞 16 例のデータも併記した。下痢糞では乾物率が低く約 19%であったが、これは夏期糞の乾物率と同程度であった。アンモニア、短鎖脂肪酸の各事項いずれにも下痢での特異性は認められなかった。ところが、下痢時にはアルコールの濃度変動が小さく、とくに下痢でのメタノール濃度は全例とも痕跡に近かった。

考 察

エゾシカの食性に関連して採食量、糞や第一胃内容などの調査例はあるが（國重 2006, Masuko ら 2009）、糞中発酵産物に関しては情報が無い。野生動物の糞の化学分析においては排糞後の時間経過の不確か性は避けがたい問題点となる。本研究でもこの点に腐心し、とくに表面に輝きおよび湿潤性のあるものを新鮮糞として採取し、冷却して搬入した。よって、本研究でも一部糞試料においては採取以前の劣化（変性）などを完全には否定できないが、注意深

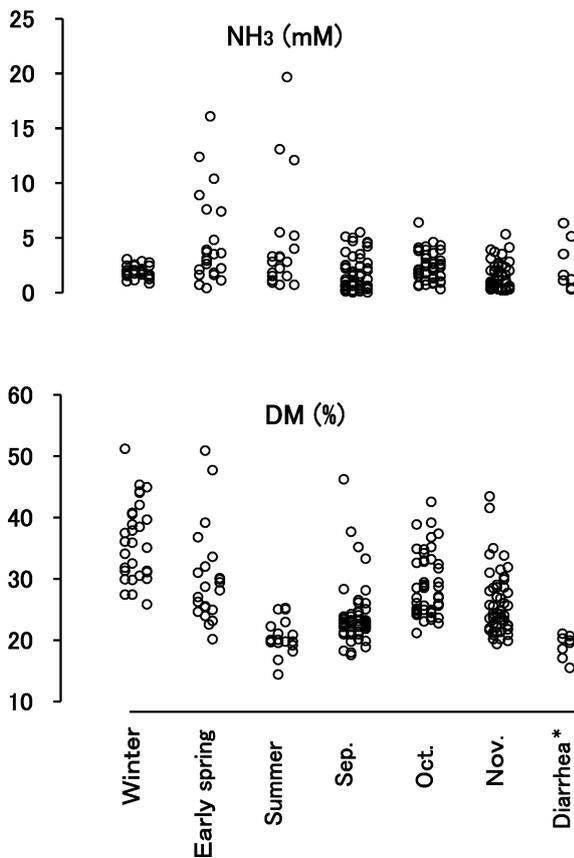


Fig. 2 Seasonal variations in dry matter (DM) content and ammonia levels in deer feces. (* Samples taken in Sep.)

い試料採取であればエゾシカの大腸発酵の把握などには意義あるものと考えられる。今回のデータでは家畜などの成績と比べると変動が大きかったが、調査項目によっては季節差あるいはその傾向が確認されたので、その要因や発酵産物間の相互関係などにつき考察を加えたい。

1. 糞の乾物率とアンモニア濃度：

糞の乾物率が冬期に高く、夏期に低い（水分が多い）ことは予期されたことであった。夏期においては高水分で高消化性の草本や樹葉を主体に採食するため糞の水分が多く、反対に積雪の深い冬期には樹皮などが主な食資源となるため糞中水分が少ないものといえる。このことはアンモニア濃度にも反映され、草本採食の多い早春や夏期には植物蛋白質の摂取量が多いのでその分解産物としての糞中アンモニア濃度にも高い個体が認められた。このことはMasukoら（2009）の鹿の第一胃内アンモニア濃度の推移とも基本的に同様であった。しかし、彼らの5月における第一胃内アンモニア濃度（69.6 mg/dl；約 41 mM）は今回の約 10 倍に相当し、この違い

が第一胃内と結腸の部位的な違いによるのかは今後の課題といえるが、彼らによる第一胃内 pH は異常な値（pH 5.45）であり疑問も残る。つぎの注目点として、早春の5月時点で糞乾物率がまだ高かったのは消化管運動などが冬期状態から脱却しきれなかったためと考えられる。晩秋にかけて乾物率が再び高まることには摂食資源の繊維化が考えられ、これは蛋白質異化産物であるアンモニア濃度の推移とも合致したものであった。

2. 短鎖脂肪酸：

家畜としての牛や綿・山羊においても結腸あるいは糞中の短鎖脂肪酸に関する情報は多くない。そのため発酵部位としてのデータが豊富な第一胃性状が参考とされやすい。第一胃と他の消化管部位の短鎖脂肪酸を比較した成績によると、大腸（厳密には盲腸）での酢酸（比）はやや高いものの短鎖脂肪酸濃度は概ね第一胃のそれに近いとされ（松本 2004）、また発酵原料（基質）に対応した短鎖脂肪酸組成も両部位で同様といわれる（Gressleyら 2011）。よって、本論文では第一胃についての蓄積情報を参考にしながら短鎖脂肪酸について考えたい。Fig. 3のように冬期の短鎖脂肪酸濃度はどの試料でも定常的に低いものの、他の季節での変動（バラツキ）が大きかったため季節間の有意差は検出されなかった。冬期には低栄養価の樹皮などが主な食資源であることと、採食量も少ないために（Milneら 1978, 相馬ら 1998）下部消化管への基質供給量も少なくなって発酵活性が低かったものと考えられる。新緑の草本を採食できる早春（5月）には短鎖脂肪酸濃度が最高になり、その後には晩秋にかけ低下したことは上記のアンモニア濃度の推移とも同様であった。

5月の試料を除くと酢酸比率は約 70~80%、プロピオン酸比率は約 10~20%であった。この値は放牧のみで飼養した乳牛（乾乳中）の値（Satoら 2005）に近いものといえる。ところが、早春のデータをみると酢酸（21~77%）およびプロピオン酸比率（15~69%）には大きな変動幅があり、平均的には酢酸が 54%、プロピオン酸が 35%であったことは注目に値する。早春の幼若草本に含まれる糖類の多くが下部消化管に流入してプロピオン酸発酵を促進させるとともに、酢酸産生の発酵過程に乱れがあったとも考えられる。

反対に珍しい現象として、プロピオン酸を検出できない糞が 11 点あり、その全てが 10 月の糞であった。この現象および上記 5 月試料における酢酸比率の著しい低下の現象を解析するため糞中アンモニア

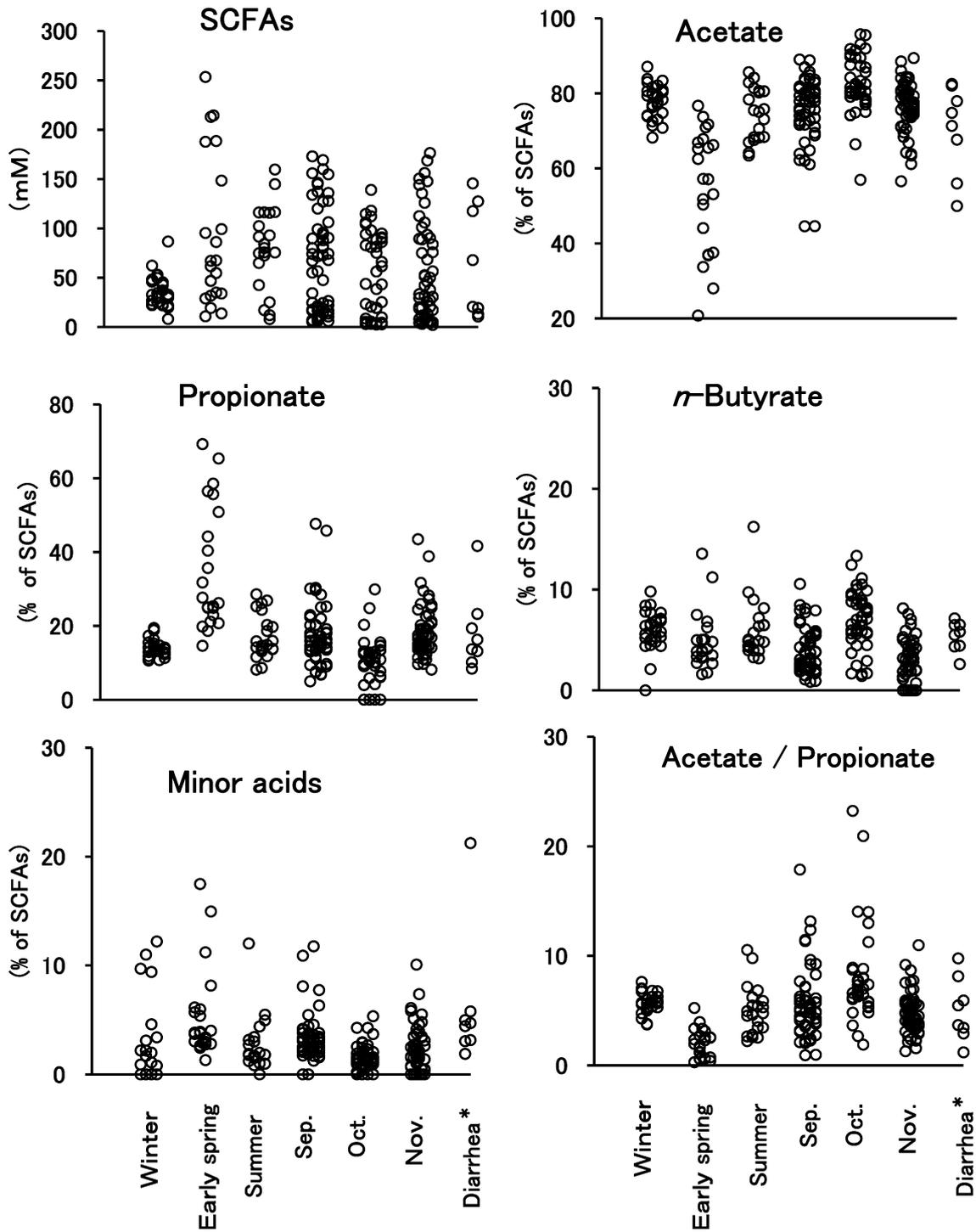


Fig. 3 Seasonal variations in short chain fatty acids (SCFAs) levels in deer feces. (* Samples taken in Sep.)

濃度と酢酸比率およびプロピオン酸比率の関係を示した。図から、①アンモニア濃度が概ね 6 mM 以下において酢酸比率の低下とプロピオン酸比率の上昇が見られ、また②プロピオン酸を検出できないのはアンモニア濃度が約 4 mM 以下の場合

であった。植物細胞壁などの繊維成分を分解(消化)する細菌には窒素源としてアンモニアが必須であり(Journy ら 1994)、③アンモニア不足条件の一部例では繊維消化および付随的に酢酸産生が減退して、相対的にプロピオン酸が増加したものと考えられ

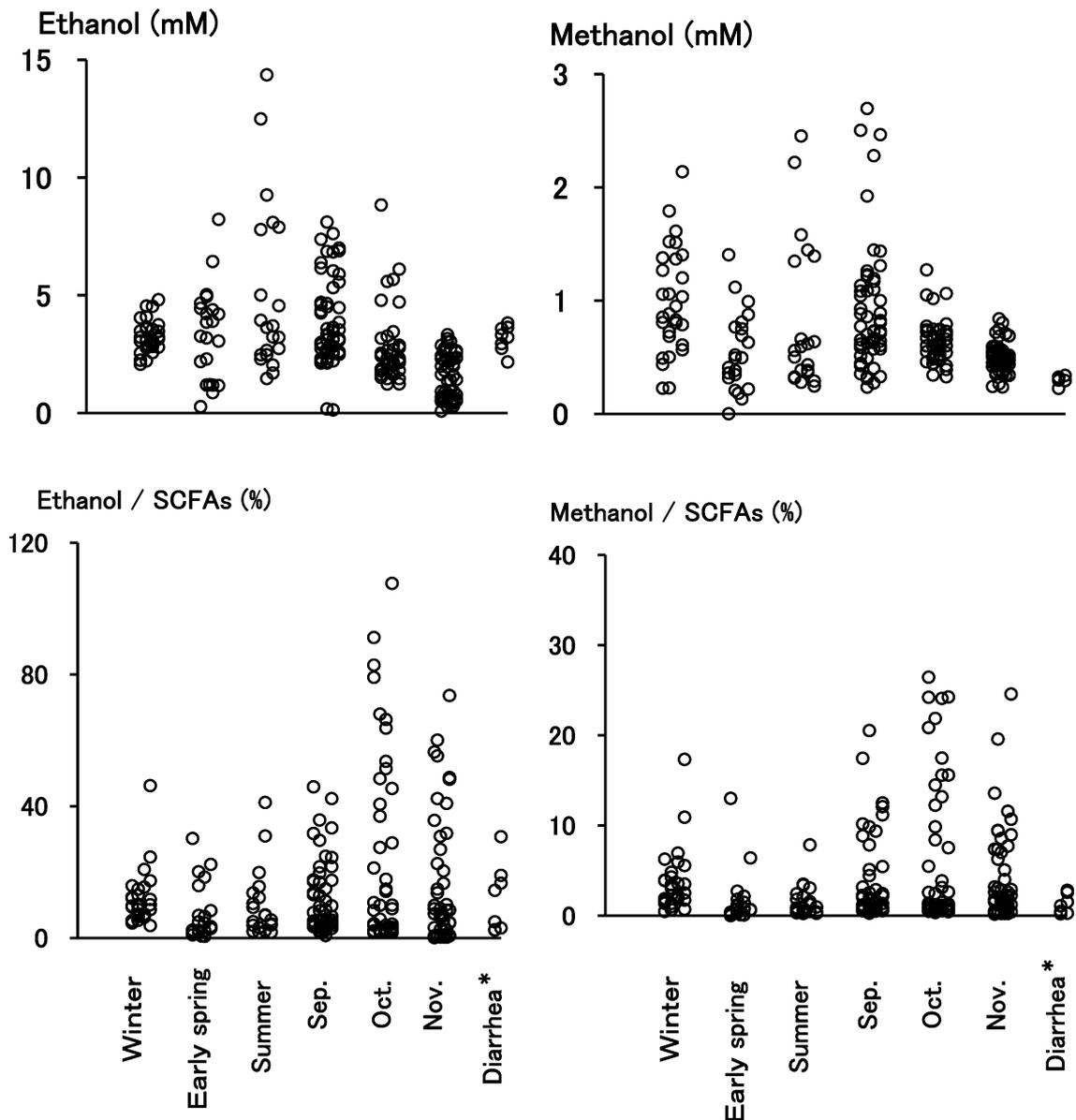


Fig. 4 Seasonal variations in alcohol levels in deer feces.
(* Samples taken in Sep.)

る。④アンモニアがさらに不足するとプロピオン酸産生のできない細菌叢になりやすかったものと判断される。この境界的なアンモニア水準の約 4 mM は、第一胃内細菌のためのアンモニア濃度の有効水準値 (要求量) とされる 50 mg/L (約 3 mM; Ørskov 1992, Satter ら 1981) とも概ね一致した値となった。しかし、晩秋にプロピオン酸の非検出例がみられたことには生殖期シカの特異行動や摂食などの面からも解析が望まれる。

反芻家畜では第一胃内短鎖脂肪酸に関して A/P 比がしばしば算出され、これは濃厚飼料給与との適正水準の設定や乳脂肪率の維持などの観点で広く利用

されている (Hutjens ら 1997)。今回は早春例を除くと平均的に A/P 比は概ね 5 以上であり、繊維質資源を採食している鹿の特徴を反映したものと見える。有害獣として駆除されたエゾシカの第一胃内の酢酸、およびプロピオン酸比率を 48.2 および 35.4% (A/P 比は 1.36 になる) とした報告 (Masuko ら 2009) もあるが、それは前記のように異常 pH (5.45) の第一胃試料によるものであった。

冬期および 11 月には *n*-酪酸を検出できない糞もあり (13 点)、とくに 11 月には酢酸とプロピオン酸の合計で全短鎖脂肪酸の 95% 以上を占めていた。大腸細胞の機能維持における酪酸の役割 (原 2000) か

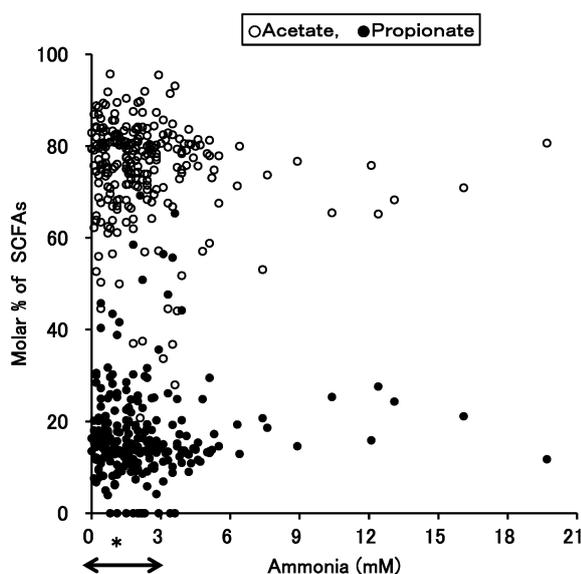


Fig. 5 Relationship of fecal ammonia concentration with acetate and propionate proportions in short chain fatty acids (SCFAs).

*: Range of nitrogen (ammonia) deficiency for gut microbes (Ørskov 1992).

ら判断して、冬期(初冬近い11月を含め)の野生シカの大腸機能は特異的でもあり、消化生理面から注目し値する。あるいは、栄養摂取の少ないこの時期には大腸細胞によってn-酪酸が優先的に摂取・利用されるため、糞には排泄されなかった可能性も否定できない。また、早春(5月)のn-酪酸には痕跡程度の例が多いのは上述の酢酸およびプロピオン酸産生の混乱による付随的影響と思われる。短鎖脂肪酸のうち相対的に低濃度の酸(3種)をまとめたMinor acidsの比率は平均的には5月に最高となった(5.4%)。これら酸の多くはアミノ酸の異化・発酵によって産生されており(Ørskov 1992, Williamsら 2001), 早春においては新緑で高蛋白質の草本の採食増加に関係あるものといえる。

以上のように、主要な短鎖脂肪酸(3種)のうちプロピオン酸あるいはn-酪酸を検出できないことは反芻家畜では経験され難いことであり、本データは野生条件下での極限的な発酵状態を反映するものとして意義深い知見といえる。

3. アルコール発酵:

消化管内での短鎖脂肪酸産生につながるグローバルな発酵システムにおいてはエタノールや乳酸は中間産物であり、大部分は最終的には短鎖脂肪酸にまで発酵される(Macfarlaneら 2003)。消化管の部位別の比較によると、糞ではエタノール濃度が高く第

一胃内の数倍に達することが乳牛で報告されている(Satoら 2010)。冬期にはエタノール濃度の変動幅が小さかったが、早春以降には大きな濃度変動がみられ、可消化炭水化物成分の摂取量さらにはその結腸への流入量の変動を反映したものと考えられる。いっぽう、毒性の強いメタノールは短鎖脂肪酸系とは独自に産生されやすいので、採食量および発酵活動が减弱している冬期においても衰えることなく、春~夏期に匹敵するメタノールが産生されたものといえる。いずれ、消化管発酵によって必然的に産生されるアルコールの処理や解毒の過程は腸内細菌叢をもつ哺乳類の宿命ともいえる。微生物によるメタノールのエステル化も無視できないが(Garnerら 2007), アルコール解毒の大任を担うべく進化した結末が肝臓でのアルコール脱水素酵素の具現ともいわれる(Krebsら 1970)。

つぎに、大腸発酵における代謝シフトを簡略的に把握するためにアルコールと短鎖脂肪酸との比率を求めた(Fig. 4)。量的にはエタノールは短鎖脂肪酸量の約10%程度、メタノールは2~4%程度であったが、両アルコールとも10月には特異的にこの比率が高まっており、とくにエタノール濃度においては短鎖脂肪酸と同水準の例もみられ、11月にもエタノール比率が高かった。晩秋には採食行動の変化さらには採食減退があり、それは気温よりも日照時間すなわち短日化の影響を強くうけるとされ(Forbesら 1986), さらに生殖行動にともなう摂食変化も考えられる。これらは蛋白質摂取の減少を伴いやすく、晩秋には窒素源不足のもとでプロピオン酸あるいはn-酪酸を産生できない発酵にもつながり、代わってエタノールやメタノールの産生あるいは蓄積が増加したものといえる。

このことを例示するため、Fig. 6には短鎖脂肪酸に対してのエタノールおよびメタノールの割合(エタノール/短鎖脂肪酸, メタノール/短鎖脂肪酸)とアンモニア濃度の関係を示した。図から、エタノールおよびメタノールの産生比率の高まるのは低アンモニア濃度時、とくに窒素不足状態(Fig. 6で矢印の範囲)にあることが明瞭である。さらに、図からはプロピオン酸あるいはn-酪酸を検出できない糞試料(Fig. 6に黒丸, 黒三角で表示)でアルコールの多いことがわかり、窒素不足時の結腸発酵においては短鎖脂肪酸よりもアルコール産生(あるいは蓄積)への代謝シフトをとめないやすいことを意味するといえる。

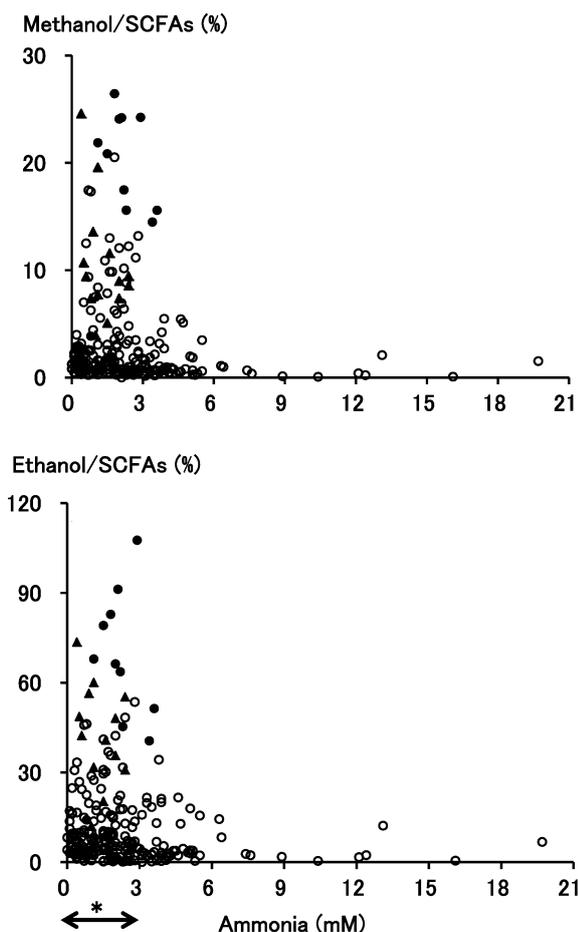


Fig. 6 Contribution of alcoholic fermentation in relation to fecal ammonia concentrations.

*: Range of nitrogen (ammonia) deficiency for gut microbes (Ørskov 1992).

SCFAs: Short chain fatty acids. Propionate(●) or n-butyrate(▲) was not included, and the both were included(○).

4. 下痢糞の特性：

下痢例では当然ながら糞中水分率は高かったが、夏期の普通糞と同程度の水分であった。子牛の下痢例では *n*-酪酸の減少がみられるが (Sato 2009), 今回のエゾシカではそれを確認できず, 下痢 1 例では Minor acids 比率が高かった。興味あることに下痢ではメタノールの濃度および対短鎖脂肪酸比が全例で低く, 高毒性のメタノール産生を抑制するシステムの作動が考えられる。

以上, 本調査では冬期に高かった糞乾物率は夏期にむかって低下した後に晩秋にかけ再び上昇を示した。冬期には低濃度の短鎖脂肪酸およびアンモニアで示されるように結腸発酵の活性が低い状態にあった。早春 (5 月) には異常なほど酢酸比率が低くプロピオン酸比率の高い糞が多く, エサ資源の急変に

ともなった発酵の混乱によると考えられる。また, 採食減退が始まる晩秋の窒素不足時にはプロピオン酸あるいは *n*-酪酸を含まない糞がみられ, それらではアルコール発酵のウエイトが増大していた。

要 約

エゾシカの食性と後腸発酵の関係を調べるため, 冬期, 早春, 夏期, 9 月, 10 月および 11 月に新鮮糞 224 (29, 22, 21, 54, 44 および 54) 点を採取し, 乾物率, アンモニア, 短鎖脂肪酸およびアルコール濃度を測定した。冬期に最高だった乾物率は夏期にかけて低下し, 再び晩秋にかけて上昇した。アンモニア濃度は早春および夏期に高かった。短鎖脂肪酸濃度も冬期に低く, 早春に上昇した後は徐々に低下した。早春の糞では奇異的に酢酸比率が低くプロピオン酸比率が上昇した例もあったが, 他の季節には酢酸比率は 74% 以上, プロピオン酸比率は 19% 以下であった。糞のエタノールおよびメタノールは平均的には短鎖脂肪酸の約 10% および 2~4% くらいであった。しかし, 晩秋には低アンモニア条件下 (約 4 mM 以下) でプロピオン酸あるいは *n*-酪酸を産生しないでアルコール比率の高い糞試料が多く認められ, それは窒素源の不足による結腸発酵の混乱によると考えられた。以上, 主に繊維質食資源に依存しているエゾシカの早春や晩秋の結腸内においては中間産物の増加など発酵シフトをとめないやすいといえる。

文 献

- Forbes JM. 1986. *The Voluntary Food Intake of Farm Animals*. Butterworths, London.
- Garner CE, Smith S, Costello BL, White P, Spencer R, Probert CSJ, Ratcliffe NM. 2007. Volatile organic compounds from feces and their potential for diagnosis of gastrointestinal disease. *FASEB Journal* **21**, 1675-1688.
- Gressley TF, Hall MB, Armentano, LE. 2011. Ruminant nutrition symposium: Productivity, digestion and health response to hindgut acidosis in ruminant. *Journal of Animal Science* **89**, 1120-1130.
- 原 健次. 2000. 短鎖脂肪酸の生化学と応用. 幸書房, 東京.
- Hutjens MF, Overton TR, Brand A. 1997. Monitoring milk production: Optimizing rumen digestion in the dairy cow. In: Brand A, Noordhuizen JPTM, Schukken YH. (eds).

- Herd Health and Production Management in Dairy Practice*. pp. 203-221. Wageningen Pers, Wageningen. The Netherlands.
- Journy JP, Ushida K. 1994. Plant cell- wall degradation by rumen protozoa. In: Prins RA, Stewart CS. (eds). *Micro-Organisms in Ruminant Nutrition*. pp. 69-78. Nottingham University Press, Dalfsen, The Netherlands.
- 梶 光一. 2006. 北海道の自然環境とエゾシカの歴史. 分布と生態. In: 梶 光一, 宮木雅美, 宇野裕之(編), *エゾシカの保全と管理*. pp. 3-9. pp. 11-17. 北海道大学出版会, 札幌.
- Kay RNB. 1988. Seasonal variation of appetite in ruminants. In: Haresign W, Cole DJA. (eds), *Recent Developments in Ruminant Nutrition 2*. pp. 34-45. Butterworths, London.
- 気象庁. 2011. 気象統計情報. //www.data.jma.go.jp. (2011.10/28 引用)
- Krebs HA, Perkins JR. 1970. The physiological role of liver alcohol dehydrogenase. *Biochemical Journal* **118**, 635-644.
- 國重亮子, 戸刈哲郎. 2006. エゾシカはどのぐらいの栄養を必要とするか?. In: 梶 光一, 宮木雅美, 宇野裕之(編), *エゾシカの保全と管理*. pp. 149-163. 北海道大学出版会, 札幌.
- Macfarlane S, Macfarlane GT. 2003. Regulation of short-chain fatty acid production. *Proceedings of the Nutrition Society* **62**, 67-72.
- Masuko T, Souma K. 2009. Nutritional physiology of wild and domesticated Japanese Sika deer. In: McCullough DR, Takatsuki S, Kaji K. (eds), *Sika Deer: Biology and Management of Native and Introduced Populations*. pp. 61-82. Springer, Tokyo.
- 松本光人. 2004. 下部消化管における栄養素の代謝. In: 板橋久雄(編), *新ルーメンの世界*. pp. 543-553. 農文協, 東京.
- Milne JA, Macrae JC, Spence AM, Wilson S. 1978. A comparison of the voluntary intake and digestion of a range of forages at different times of the year by the sheep and the red deer (*Cervus elaphus*). *British Journal of Nutrition* **40**, 347-357.
- 小田島守, 梶田泰史, 南 基澤, 李 相洛, 千家弘行, 加藤和雄, 庄司芳男, 太田 実, 佐々木康之. 1991. 制限給餌下のニホンジカおよびヒツジにおける飼料片の消化管内通過速度および消化率の季節変動. *日本畜産学会報* **62**, 308-313.
- 奥田拓道, 藤井節郎. 1966. 血中アンモニア直接比色定量法. *最新医学*, **21**, 622-627.
- Ørskov ER. 1992. Protein Nutrition in Ruminants. 2nd ed. Academic Press, London.
- Sato H. 2009. Increased fecal lactate and decreased volatile fatty acid (VFA), particularly *n*-butyrate concentrations in diarrheic young calves. *Journal of Veterinary Medical Science* **71**, 117-119.
- Sato H, Nakajima J. 2005. Fecal ammonia, urea, VFA and lactate levels in dairy cows and their pathophysiological significance during diarrhea. *Animal Science Journal* **76**, 595-599.
- Sato H, Shiogama Y. 2010. Acetone and isopropanol in ruminal fluid and feces of lactating dairy cows. *Journal of Veterinary Medical Science* **72**, 297-300.
- Satter LD, Roffler RE. 1981. Influence of nitrogen and carbohydrate inputs on rumen fermentation. In: Haresign W, Cole DJA. (eds). *Recent Development in Ruminant Nutrition 1*. pp. 115-139. Butterworths, London.
- 相馬幸作, 増子孝義, 小林雄一, 石島芳郎. 1998. エゾシカ (*Cervus nippon yesoensis*) における乾草採食量の季節変化. *北海道畜産学会報* **40**, 27-30.
- Williams BA, Verstegen MWA, Tamminga S. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutrition Research Reviews* **14**, 207-227.

Abstract

For evaluating the relationship between food habits and hind gut fermentation in wild Yeso Sika deer (*Cervus nippon yesoensis*) in eastern Hokkaido, fecal samples were collected in winter (Feb. sample size 29), early spring (May, 22), summer (Jun. and Jul. 21), September (54), October (44) and November (54). Their concentrations of ammonia, short chain fatty acids (SCFAs) and alcohols were evaluated. Fecal dry matter content was highest in winter with decreasing till summer and returning to higher level again in late autumn.

Fecal ammonia was comparatively lower excepting in early spring and summer. Fecal SCFAs were lower in winter, and they showed to increase in early spring in spite of large variations among the individuals. Although many fecal samples in early spring showed strangely lower acetate and higher propionate proportions in SCFAs probably owing to an abrupt transition in food sources, mean proportions of acetate and propionate in SCFAs in the other seasons were more than 74 %, and less than 19 %, respectively. Ethanol and methanol were approximately 10 % and 2-4% of SCFAs concentrations on the average. Comparing the SCFAs concentration, however, ethanol and methanol showed an elevation in some October and November samples which had no propionate or no *n*-butyrate with extremely lower ammonia concentrations corresponding to nitrogen deficiency from food sources. Thus in early spring and late autumn, wild deer living mainly on fibrous food sources would face with many alterations accompanying by fermentative shifts in SCFAs and alcoholic production cascades in the colon.