

山形市周辺に生息するニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) の 体重, 腎脂肪脂肪酸, 第一胃内容液消化性および 血漿成分に関する栄養生理学的研究

高橋敏能^{*1)}・渡邊啓一郎^{**}・松山裕城^{*}・堀口健一^{*}

^{*}山形大学農学部食料生命環境学科

^{**}山形大学大学院農学研究科生物生産学専攻

(令和2年9月1日受付・令和2年11月25日受理)

Nutritional-Physiological Study on Body Weight, Fatty Acids of Kidney Fat,
Digestive Characteristics in Ruminant Liquor and Blood Plasma Components
in Japanese Serow (*Capricornis crispus*) That Lived around Yamagata City

Toshiyoshi TAKAHASHI^{*1)}, Keiichiro WATANABE^{**},
Hiroki MATSUYAMA^{*} and Ken-ichi HORIGUCHI^{*}

^{*}Department of Food, Life and Environmental Science,
Faculty of Agriculture, Yamagata University,
Wakaba-machi, Tsuruoka City 997-8555, Japan

^{**}Science of Bioproduction, Graduate School of Agricultural Science (Master Program),
Yamagata University, Wakaba-machi, Tsuruoka City 997-8555, Japan

(Received September 1, 2020 · Accepted November 25, 2020)

Summary

By using 137 Japanese serows that lived around Yamagata city in the winter of 1993, 1996, 1997 and 1998, a nutritional-physiological study was conducted to investigate about body weight, kidney fatty acids, rumen liquor and its digestibility, and plasma components. The average age of 137 Japanese serows was 6.1 years old (male 5.2 years old, pregnant female 7.7 years old and non-pregnant female 5.5 years old). The average body weight of 137 Japanese serows was 38.8 kg (36.9 kg for males, 45.5 kg for pregnant females and 34.1 kg for non-pregnant females). The average body weight of Japanese serows in Yamagata city was heavier and the whole kidney fat index (WKFI) was higher than those of Japanese serows captured in other areas during winter. In addition, WKFI tended to increase when the average temperature was high in January and decreased when the amount of snow was much in same month, respectively. There was no difference in kidney major fatty acid compositions among sexes. As the result of applying the rumen liquor properties and plasma chemical components at the capture time to a third-order polynomial regression equation, the pH was 5.9 on average, with little change and stable during capture time. The average volatile fatty acid concentration was 653 mg/dL, peaked near 13:00, and then tended to decrease slightly. The concentration of ruminal ammonia nitrogen showed a minimum value around 13:00 and tended to increase thereafter. The mean of plasma glucose concentration was 103 mg/dL, the maximum value tended to appear after 10:00 and the minimum value tended to appear after 13:00, but the fluctuation was large. The plasma insulin concentration reached its highest level around 11:30, but remained low as a whole. The plasma free fatty acid concentration reached its highest value around 13:00 and averaged 397 μ Eq/L, maintaining a high value during capture time. As the result of *in vitro* digestion

¹⁾ 現在：山形大学名誉教授，連絡先：高橋敏能，E-mail: konzen@khaki.plala.or.jp

Present: professor emeritus, Correspondence: Toshiyoshi Takahashi, E-mail: konzen@khaki.plala.or.jp

キーワード：血漿成分，捕獲時間，腎脂肪，ニホンカモシカ，消化特性

test using the rumen liquors of three kinds of animals, there was no significant difference among animals in dry matter digestibility and amount of volatile fatty acid production. In acetic acid/propionic acid production ratio, cattle and Japanese serow tended to be higher than sheep, and in the amount of methane production those animals were significantly higher than sheep ($P < 0.01$), respectively. From the above results, it was inferred that the Japanese serow living around Yamagata city ingested a large amount of nutritious coniferous leaves before winter to promote fatty acid synthesis from carbohydrates and increased accumulated fat in body. In addition, since Japanese serow ingested intermittently the leaves of coniferous trees while moving during the daytime in winter, it was found that they can inhabit under sufficient nutritional conditions for overwintering. It was speculated that the digestion of rumen liquor of Japanese serow had intermediate fermentation characteristics between cattle and sheep.

Key words : blood plasma components, capture time, digestive characteristics, Japanese serow, kidney fat

緒 言

ニホンカモシカ (*Capricornis crispus*; 以下, カモシカと略す) は, 偶蹄目, ウシ科, ヤギ亜科, シャモニ属, カモシカ亜属に分類される我が国固有の野生の反芻動物であるが, 1934年に天然記念物, 1955年に特別天然記念物に指定され, 本州・四国・九州の山岳地帯に生息している(千葉, 1991). しかし, これらの保護政策が制定された後, カモシカの分布域の拡大に伴って食害が社会問題化し, 1979年から岐阜・長野両県においてカモシカによる森林被害削減のため本格的な捕獲が始まった(常田, 1991).

カモシカの生態を調べたり, カモシカによる被害等を把握し, その対策を講じるためにはカモシカの生息密度や頭数を把握する必要がある. これらを調べる方法に, 最近ではヘリコプターを使って密度を調査する方法が試みられるが, 当初は直接動物を観察する方法と, 一定面積中のカモシカの糞塊を数える方法(糞塊法)で行っていた(石川県自然保護センター, 1990). 2009年の環境省の調査で我が国のカモシカの頭数は10万頭を越えると推定されており, 保護政策以降生息頭数が増加し, 人家近くの里山にも出没するなど生息地域が拡大し, 人身被害や農林業被害が問題化している(中山ら, 2009)ことを指摘しているが, 10年以上経過した現在も, 頭数は一層増加して深刻な状況が続いていると思われる.

山形県の山形市でもカモシカによる農作物被害対策のため1991年から1999年までの9年間, 山形市社会教育青少年課の情報によると毎年30頭余りの合計304頭のカモシカを捕獲して駆除した. Ito (1995) が山形市周辺の西蔵王山麓に生息するカモシカに送信機を設置して10月の行動範囲について調査を行い, 行動範囲が14.5~91.0haと他地区のカモシカの行動範囲に比較すると広い

ことを報告している. この原因として, 落合(2016)は著書の中で, 山形市はヒメアオキ等の常緑低木が主要食物として利用され, 冬の高い糞中空素量で示されるように食物条件が良好と推測される場所であるが, そのような場所で広い行動圏サイズが示される理由は分かっていないと考察している. また, 安田ら(2012)はカモシカの行動特性として, 宮崎県北部に生息するカモシカは, 標高400m以上に分布し, 最大傾斜32度以上の急峻な地形を好むことを報告している.

著者らは, 1992年と1993年の2月~3月に捕獲されたカモシカの第一胃内容液性状を調べた結果, プロピオン酸発酵源泉の植物を採取していること, ヒツジに比較すると酢酸発酵優勢, プロピオン酸発酵劣性型の特性を持っている(高橋ら, 1996)こと, 1993年に捕獲されたカモシカの体脂肪の脂肪酸組成は, リノール酸(C18:1)が特に多く含まれている脂肪酸である(Takahashi *et al.*, 1996)ことを報告した.

4年前に落合(2016)が執筆したカモシカに関する諸項目を集大成した216ページに亘る著書が刊行された. この著書は, 生態, 行動, 繁殖, 食物と栄養, 生息環境, 個体史および保全までに関わる引用文献数約700編が載せられており, カモシカに関する冠前絶後の名著作物に値すると思われる. また, 今でもカモシカに関する研究が続けられており, カモシカに興味を持つ研究者は今後も途絶えることはないだろう. 最近のカモシカの研究に関する研究の特徴として, 高田(2018)は, 浅間山に生息するカモシカの生態・行動を高次元で観察研究して博士論文として公表しているが, その中で妊娠と非妊娠の雌を分けた三つの性間で人間に対する逃避行動の可塑性について論究し, 妊娠雌が最も敏感である(Takada *et al.*, 2019)ことを明らかにした. また, 常田(2016)は, カモシカとニホンジカの食性, 繁殖性および森林被害を

比較している。それによるとカモシカは、ブラウザー（栄養価が高いが木の葉や芽をつまみ食いする）、ニホンジカはグレイザー（栄養価は低いが、集中して大量に存在するイネ科草本などを食べる）であると分類しており、矢部ら（2007）は捕獲したニホンジカの第一胃内物を回収してグレイザーであることを確かめている。成獣の繁殖率は、カモシカ7割、ニホンジカ9割であり、ニホンジカの繁殖率が高い。また、カモシカによる森林被害は幼齢林などに限られ限定的であるのに対し、ニホンジカは被害の形態は様々で可変的であることを述べ、池田（2002）もカモシカとニホンジカの食性を比較したらニホンジカはカモシカより造林木を好むことを指摘している。また、常田（2019）は、カモシカを保護観察するために自然科学と社会科学の両面から言及し、カモシカの保護観察施策に関する全体像を博士論文として描き出している。このように最近のカモシカに関する研究報告は、より高度な次元でのカモシカの生態行動や人間と野生動物としてのカモシカとの共生を目的とした保護観察に関する研究動向が主流のようである。

一方では、カモシカが我が国の特別天然記念物であるので特別の許可を取らないと捕獲は出来なく、一介の研究者が50頭から100頭位の規模で体脂肪、血液および第一胃内容液などの生体試料を採取するのが極めて困難であるし、今後もこの状況は続くと考えられる。

我々は、1993年後1996年から1998年までの3カ年間連続で捕獲された4カ年間の合計137頭のカモシカから生体試料を山形市産業部農政課から許可を得て採取することが出来た。現在、カモシカは特別天然記念物であることに加えて、昨今の野生動物保護政策や動物愛護の観点からも多くのカモシカを安易に捕獲することは抑制されている様相である。また、先の著書（落合，2016）にも生体試料に関する詳細なデータ等の記載はない。そこで、著者らが20余年前に入手した4カ年間のカモシカの腎脂肪、血液および第一胃内容液の生体試料に関わるデータは、極めて貴重な数値であると判断し、捕獲時間、捕獲年別の気温・積雪量、妊娠雌と非妊娠雌および雄を区別した比較を行って栄養生理学的に考察し、他の反芻動物との*in vitro*の消化試験を実施してカモシカの消化特性を加えて比較・検討したので、ここに報文として報告する。

材料および方法

1. 供試動物および供試試料の採取方法

1993、1996、1997および1998年の冬季（2月中旬～3月上旬）に山形県山形市の蔵王山麓で捕獲されたカモシカ137頭を供試動物にした。捕獲されたカモシカは、直ちに（株）山形県くみあい畜産研修センターに移送され、性別および妊娠の有無を確認した。各年の捕獲頭数は、1993年39頭（雄18頭、雌21頭（内妊娠18頭、妊娠率85.7%）、1996年33頭（雄14頭、雌19頭（内妊娠15頭、妊娠率78.9%）、1997年33頭（雄14頭、雌19頭（内妊娠13頭、妊娠率68.4%）、1998年32頭（雄16頭、雌16頭（内妊娠11頭、妊娠率68.8%））であり、全雌75頭のうち妊娠頭数は57頭の76.0%だった。なお、各年の捕獲頭数は、予め環境庁から許可された頭数（山形市、1993；山形市、1996；山形市、1997；山形市、1998）があり、1993年と1998年がそれぞれ1頭少ないが1996年と1997年は許可頭数を捕獲した。

捕獲したカモシカ全頭数の捕獲（射殺）時間を記録し体重を測定後、角輪法（Miura, 1985）により年齢を測定した。腹部を切開して解体し、第一胃より第一胃内容液、心臓より血液、腎臓重量と腎周囲脂肪を測定後、左腎周囲の脂肪を採取した。腎周囲脂肪は、脂肪酸組成を測定するまで凍結保存した。第一胃内容液は切開した第一胃内容液をよく攪拌してその一部を200mLのビーカーで採取後、pH、揮発性脂肪酸（VFA: Volatile Fatty Acids）およびアンモニア態窒素（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）分析用は八重ガーゼで濾過し、微生物による成分変化を防ぐためホルマリン2～3滴を加えて保冷して研究室に持ち帰り、分析に供するまで -20°C で凍結保存した。それとは別にビーカーに採取したプロトゾアの検索と計数用の第一胃内容液は1997年33頭および1998年32頭の計65頭から採取し、四重ガーゼで濾過後プロトゾアを検索・計数するまで10%ホルマリンで常温保存した。血液を採取する際、予めヘパリン処理した注射筒で採取し保冷して研究室に持ち帰った後、12,000rpmで15分間 0°C の温度下で遠心分離した血漿を分析に供するまで -20°C で凍結保存した。

2. 採取試料の分析方法および統計処理方法

1) 腎周囲脂肪の脂肪酸組成

1993、1996、1997および1998年の4カ年のうち133頭分を供試した。脂質の抽出は、Folch, J. and M. Lees

(1957)の方法に準じて行った。即ち、腎周囲脂肪約1gを乳鉢に入れ、クロロホルム：メタノール(2:1(V:V))溶液50mLを2~3回に分けてホモジナイズして溶かした。純水10mLを加えてシリコンキャップをして2分間激しく振盪した後、室温で一昼夜静置した。二層に分かれた上層部をアスピレーターで除去し下層部のクロロホルム層から0.2mLを試験管に取り窒素ガスで完全に乾固後、5% (W/V) 無水硫酸メタノール溶液7mLを加えてテフロンライナー付きキャップでしっかり締めた後、95℃のウオーターバス内で3時間脂肪酸のメタノリシスを行った。冷却後、純水2mLとヘキサン10~15mL加えて10回程度縦方向に振盪した後分離した上層部から脂肪酸エステルを抽出した（この操作を繰り返し3回行った）。

脂肪酸エステルのヘキサン液を完全に乾固後、少量のヘキサンに溶解してガスクロマトグラフィー（3300GC, バリアン（株）、東京）を用いて脂肪酸エステルの分離・定量を行った。その際、30mのキャピラリーカラム（DB-225；内径0.53cm；コーティング剤25%cyanopropil 25% phenyl 50%methyl polysiloxane, バリアン（株）、東京）を用いた。その際、キャリアガスに窒素を用いて流速は10mL/min, 分配比1:50とした。また、水素の流速は30mL/minとし、注入部温度220℃, カラム温度210℃および検知器温度250℃の設定下で運転した。

2) 第一胃内容液性状

揮発性脂肪酸とアンモニア態窒素濃度は、1993, 1996, 1997および1998年に4カ年捕獲したうち137頭のうち96頭（pHは95頭）を供試した。

研究室に持ち帰った第一胃内容液は、直ちにpHメーター（F-52, (株)日立堀場, 京都）でpHを測定した。

揮発性脂肪酸の抽出と定量は、柗木・大山（1971）の方法に準じて行った。その際、抽出は第一胃内容液5mLに触媒として20%MgSO₄5mL, 50%H₂SO₄2.5mLを加えて200mLまで水蒸気蒸留して行った。蒸留液は0.1N NaOHで適定後、更に0.1N NaOH約0.5mLを加えて90℃で乾燥して乾固した。各VFAをガスクロマトグラフィーで分離・定量する際、少量の燐酸でVFAの燐酸塩を溶解した溶解液0.2~0.3 μLをマイクロシリンジで取り、ガスクロマトグラフィー（G-5000A, GLサイエンス（株）、東京）を用いて分離・定量を行った。その際、2mのステンレス製充填カラム（充填剤：Unisole F-200 30/60mesh,

GLサイエンス（株）、東京）を用いて行った。キャリアガスに窒素を用いて流速50mL/min, 水素30mL/minとし、注入部温度210℃, カラム温度145℃および検知器温度250℃の設定下で運転した。

アンモニア態窒素濃度は、Conway（1950）の微量拡散法により滴定法で行った。

プロトゾアの検索と計数は、栗原（1969）の方法に従って行った。即ち、1997年33頭と1998年32頭の計65頭の濾過した第一胃内容液をMFS液（10%ホルマリン溶液1LにNaCl8.5gとメチレングリーン0.3gの割合で溶解した液）で10倍に希釈して0.1mLをプランクトン計算盤に滴下しカバーガラスを静かにのせて光学顕微鏡にて100倍で検鏡し、カウンターで数えた。

3) 血漿成分

1996, 1997および1998年の3カ年のうち、遊離脂肪酸は59頭、グルコースは56頭およびインスリンは46頭分をそれぞれ分析に供試した。

血漿中遊離脂肪酸（NEFA; non-esterified fatty acids）濃度は、分析用市販キット（NEFA-Test Wako, 和光純薬（株）、東京）、血漿中グルコースは分析用市販キット（Glucose C-Test Wako, 和光純薬（株）、東京）を用いて、それぞれ分光光度計（101型, (株)日立製作所, 東京）を用いて比色法により行った。血漿中インスリン濃度は、北里大学に委託して栄研化学（株）のキットを用いたラジオイムノアッセイにて行った。

4) *In vitro*による乾物消化率, メタン生成量および揮発性脂肪酸生成量

ウシとヒツジを対象動物に用いて*in vitro*による消化試験を行った。

カモシカは、1998年2月22日と3月15日捕獲した14頭、ウシは、同年10月19日と11月2日に山形県庄内食肉衛生検査所において屠殺されたウシ4頭から採取した第一胃内容液を供試した。また、第一胃フィステル装着ヒツジ4頭を用いて14日間の飼養試験を行った。その際、アルファルファハイキューブを体重の2%の乾物量（維持量）を一日一回給与する制限給与、水は自由飲水とし、無機塩を自由摂取として飼育した。飼養試験最終日に飼料給与3時間後に第一胃内容液を採取した。

採取した第一胃内容液は、四重ガーゼで濾過した後、39℃の保温瓶に入れて保温して研究室に持ち帰った。な

お、カモシカの捕獲から研究室までの移送時間は約5時間だったので、ウシとヒツジの第一胃内容液も採取後5時間39℃の保温瓶で保温後、*in vitro*による消化試験に供した。

*In vitro*による消化試験は、Tilley and Terry (1963)の方法に準じて行った。即ち、100mL容試験管に基質(飼料)として粉碎したアルファルファヘイキューブ0.4gを精秤して入れ、第一胃内容液8mLおよび39℃でCO₂を通気して飽和したMcDougall (1963)の人工唾液32mLを加えた後、試験管のヘッドをCO₂で置換後シリコンキャップにて密封した。培養は、39℃の振盪培養器(振盪回数45times/min)で48時間培養した。基質を入れないブランクテストも同様に振盪培養して実施した。

培養終了後、室温まで温度を下げて4~5回上下に振盪し、シリコンキャップからマイクロシリンジでヘッドスペースのガス100 μLを採取してガスクロマトグラフィー(G-5000A, GLサイエンス(株), 東京)によりメタン濃度を測定した。その際、2mのステンレス製充填カラム(充填剤; モレキュラーシーブ60/80mesh, 西尾工業(株), 東京)を用いて行った。キャリアガスに窒素を用いて流速100mL/min, 水素30mL/minとし、注入部温度100℃, カラム温度80℃および検知器温度110℃の設定下で運転した。なお、メタン濃度は市販のメタンガス(純度99.8%, GLサイエンス(株), 東京)を用いて絶対濃度検量線から算出し、試験管のヘッドスペース容積を乗じてメタン生成量を算出した。

乾物消化率測定のための乾物濃度は、メタンガス測定後試験管のキャップを空けて残渣を予め恒量を求めてある濾紙(No.5A)で吸引濾過して135 ± 2℃, 2時間乾燥法(堀井ら, 1971)により測定した。

5) 統計処理

年齢, 体重, 腎脂肪指数および腎周囲脂肪の脂肪酸組成は, JMP[®]10 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)を用いて性別(妊娠の有無別含む)を要因, 乾物消化率, メタン生成量およびVFA生成量は動物種を要因とする, それぞれ一元配置法による分散分析を行って平均値と標準偏差(SD)求めて5%水準で有意差が認められた場合, Tukeyの多重検定を行った。また, エクセル統計(Ver.6, (株)エスミ, 東京)を使って, 腎脂肪指数は, 横軸(X軸)に1月の平均気温および1月の積雪量を取って一次回帰式, 第一胃内容液性状と血液成分は横軸(X軸)に捕獲時間を取って三次の多項式回帰にそれぞれ当てはめた。さらに, 三次の多項式回帰式から極値(変曲点), 分析値の標準偏差および変動係数(CV)を求めた。

結果および考察

1) カモシカの性別年齢, 体重および腎脂肪指数

性別, 体重, および腎脂肪指数を表1に示した。

前述のように国の特別天然記念物だった故に捕獲頭数の上限を設定していたが, これらの頭数を捕獲して当初の目標だった農業被害が減少したかどうか興味があるところである。このことについて, 出口ら(2000)は, 1990年度から山形市で捕獲が始まったが, 捕獲当初から捕獲期間の捕獲対象地域の個体数調整による個体数の減少率は16~18%とほぼ一定だったが, 被害面積の割合は捕獲当初から年々減少するが, この原因として耕作地周辺に生息するカモシカであることを特定しないで個体数調整をしていると推察している。また, 農作物はカモシカの主要な食物資源でないことを指摘している。

平均年齢は, 全頭6.1歳, 雄5.2歳, 妊娠雌7.7歳, 非妊

表1. ニホンカモシカの性別頭数、年齢、体重およびWKFI¹⁾の比較

性別	捕獲頭数	年齢(歳)	体重(kg)	WKFI
雄	62	5.2 ± 3.7 ^{b2)}	36.9 ± 6.2 ^b	31.0 ± 15.7 ^b
妊娠雌	57	7.7 ± 4.9 ^a	45.5 ± 4.8 ^a	46.8 ± 26.9 ^a
非妊娠雌	18	5.5 ± 7.9 ^{ab}	34.1 ± 7.1 ^b	35.8 ± 16.1 ^{ab}
P値	—	0.022	0.001	<0.001

¹⁾ Whole Kidney Fat Index (腎脂肪指数), ²⁾ 平均値 ± 標準偏差, 異符号間に1%水準で有意差あり。

妊娠雌5.5歳と妊娠雌が雄より年齢が有意 ($P < 0.01$) に高かった。三浦 (1991) によれば、カモシカの平均寿命は、雄6.2歳、雌6.5歳であり、平均3.7歳から初産が始まり年齢別の繁殖率は6歳で約80%のピークに達し、12歳位まで70%位の繁殖率を維持し、15歳位から急激に減少する知見がある。これらの知見と比較すると、捕獲したカモシカの雄、雌とも長い寿命のように思えるが、年齢差の原因を言及するにはデータ数が少ないと考えられた。妊娠雌8.0歳と妊娠率68%~86%は、三浦 (1991) の知見に当てはまり、山形市周辺のカモシカは繁殖に悪影響を与える特別な条件下で生息しているカモシカではないと思われた。

平均体重は、全頭38.8kg、雄36.9kg、妊娠雌45.5kg、非妊娠雌34.1kgと妊娠雌が有意 ($P < 0.01$) に重かった。全頭の体重を岐阜、長野両県で同時期に捕獲した成獣の体重は平均体重35kg程度であり (山形市, 1993)、これらの体重と比べると当地区の個体は全頭平均で4kg近く重いことが分かった。

カモシカやニホンジカなどの野生の反芻動物の栄養状態を評価する方法として、Riney (1955) が提唱した腎脂肪指数 (WKFI: Whole kidney fat index, (腎周囲脂肪重量/腎臓重量) $\times 100$) がある。栄養状態の程度の指標、特に、高栄養状態の指標として大腿骨髄内脂肪指数および下顎骨管内脂肪指数と比較した結果、腎脂肪指数が有効な指標であることが示された (Maruyama, 1985; 野崎・三原, 1992; 鳥居ら, 2006)。また、栄養状態が極度に悪化しないうちは、腎脂肪指数が低下しても大腿骨髄内脂肪指数は変化しないが、腎脂肪指数がなくなる直前、即ち極貧栄養状態になって初めて骨髄内脂肪指数が低下し始める (丸山, 1991) ことから、この場合は腎脂肪指数を使って栄養状態を評価するのが妥当であると判断する。前述のグレイザーに分類したニホンジカの腎脂肪指数 (高山ら, 2017) は、栄養価の低いグラミノイドや広葉樹葉植物を主に摂取しているため、15~20位であり、本研究のカモシカや丸山 (1991) の値よりかなり低いようである。

カモシカやニホンジカの採食した植物を調べる食性の調査方法は、第一胃内容物分析、糞分析、食痕調査および直接観察の4方法がある (落合, 2016)。それによると、第一胃内容物分析法は、消化率が高い広葉草本は過小評価され易く労力が掛かるが、種レベルまでの分析が可能である。糞分析は比較的分析試料 (糞) が容易に得られ

るが、ニホンジカと同所的に生息している地域は混同し易い欠点がある。食痕調査は採食植物リストを比較的簡単に作成出来るが、食痕が目立たなかったり、食痕が残らない採食もあるので見逃す誤差を生じ易い。直接観察は正確であるが観察が局所的・限定的であるので、どの方法も一長一短であることを指摘している。

これらの方法を駆使してカモシカの食性を調査した報告が多数見られる。報告された調査法を手法別に列記すると、静岡県で冬季に害獣駆除のため捕獲されたカモシカの食性は緑色植物を主とするブラウザーであることが確認された (第一胃内容物分析法; Jiang *et al.*, 2008)、高知県で2月に斃死していたカモシカの第一胃内容物はグラミノイドが67.6%だった (第一胃内容物分析法; 金城, 2006)、中央アルプスと北アルプスで死亡していたカモシカの第一胃内容物は針葉樹が圧倒的に多かった (第一胃内容物分析法; 宮尾, 1976)、岐阜大学附属演習林に生息しているカモシカはニホンジカよりササが少なく双子葉植物を多く摂取している (糞分析法; 安藤ら, 2016)、三重県大台ヶ原山に生息しているカモシカとニホンジカはヒノキ幼樹葉を常食としている (糞分析法; Horino and Kuwahara, 1996)、山形市周辺と東北大学附属農場に生息しているカモシカは広葉草本に高い嗜好を示すが、グラミノイドには忌避を示す (食痕法; Deguchi *et al.*, 2002)、長野県木曾駒ヶ岳に生息するカモシカの冬型食植物は常緑針葉樹とササ類で周年型食植物の不足を補う (食痕法; 鈴木ら, 1978) などがある。総じて言えることは、カモシカの食性は季節や生息地域の差があるとは言え、冬季の山形市周辺に生息していたカモシカは針葉樹を中心とした栄養価の高い餌を好んで採取していたことが、カモシカの餌の嗜好性からも考えられた。

従って、山形市周辺に生息するカモシカの体重が重く腎脂肪指数が高かったことから、この地区に生息するカモシカは高栄養の餌を採取していたことが容易に想像された。このことに関する知見として、高槻 (1991) は糞分析法を用いて調べた結果、冬季の山形市周辺のカモシカの餌として粗タンパク質と可溶性炭水化物 (SC; Soluble Carbohydrate) に富むハイイヌガヤ40%およびヒメアオキ8.8% (高橋ら, 1996) などの常緑の多雪地に適応した木本類であり、カモシカの重要で主流の飼料だったこと、また、胃内容物を調べた結果、当地区のカモシカは岐阜・長野両県カモシカよりササ類が少なかったことを示した。同じ東北でも太平洋側のカモシカやニホ

ンジカの冬季の採食植物の栄養成分は、著しく悪化することを示し(池田・高槻, 1999), 東海地方の愛知県のカモシカも同様に針葉樹が少なく広葉樹が多く採食している報告がある(佐藤ら, 1993; 佐藤ら, 1994). これらのことから, 冬季のカモシカの餌は, 積雪地帯に生息している方が温暖な地域に生息しているより栄養価の高い常緑針葉樹を採食している(落合, 1992)ことが伺える. また, ササは, 常緑性の広葉植物であるが, 粗タンパク質含量が乾物中2.1%と低く, 可溶性炭水化物が0.0%と殆ど含まれていない(高橋ら, 1996)ことから低栄養植物(飼料)であることが頷ける. これらのことから, 山形市周辺に生息しているカモシカは秋から冬にかけて常緑樹を多量に摂取して, 炭水化物からの脂肪酸合成が進み十分な体脂肪を蓄えており, 寒い冬を越冬するにはエネルギー不足にならないと判断される.

当地区のカモシカの捕獲年別体重と腎脂肪指数の大小と気象との関係を比較検討するために, 山形地方気象台(2020)が発表している捕獲した当該年の前年の11月から当該年の3月までの月別平均気温と月間積雪量の差が最も大きかった1月の気温と積雪量を横軸に取り, 縦軸に腎脂肪指数を取った相関図を図1, 図2にそれぞれ示した.

その結果, 気温が高くなるほど, および, 積雪量が少なくなるほど腎脂肪指数が高くなる傾向だった. 気温および積雪量と腎脂肪指数の一次回帰式の決定係数 R^2 は, それぞれ0.3423, 0.3126であり, 気温と腎脂肪指数は有意($P < 0.05$)な値を示した. 即ち, 捕獲年の1月の低平均気温と多積雪量が食性に悪影響を与えてカモシカの増体重を抑えて, 腎脂肪指数が低下したことが伺えた.

なお, カモシカの腎脂肪指数と気温や積雪量などの気象要因との関係に関する報告は, 本報告以外に見当たらない.

2) カモシカの性別腎周囲脂肪の脂肪酸組成

性別腎脂肪の脂肪酸組成を表2に示した.

ウシやブタの家畜では, 一般に栄養状態を尺度に腎周囲脂肪の脂肪酸, 環境温度の尺度に皮下脂肪の脂肪酸組成をそれぞれ指標にしている. 本供試カモシカのメジャーな脂肪酸である, パルミチン酸(C16:0), ステアリン酸(C18:0)およびリノール酸(C18:1)は性間に有意差がなかった. このことは, 性間に栄養摂取に違いがなかったと考えられる. 一方, マイナー脂肪酸であるリノール酸(C18:2)とリノレイン酸(C18:3)は, 雄で高くなる傾向だった. これらの脂肪酸は体内で合成されない必

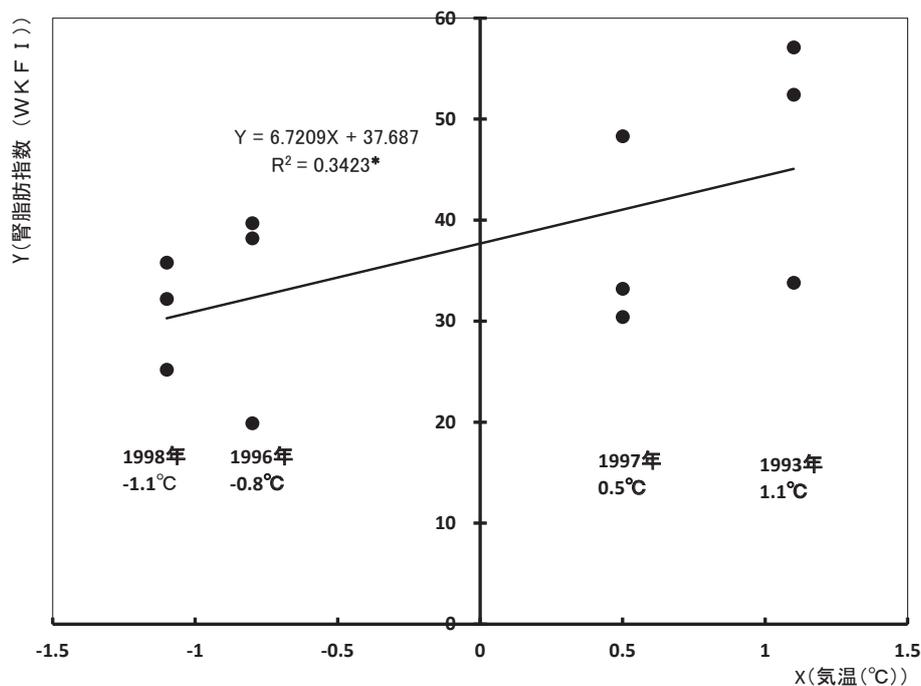


図1. 1月平均気温と腎脂肪指数(WKFI)の相関図
*; $P < 0.05$.

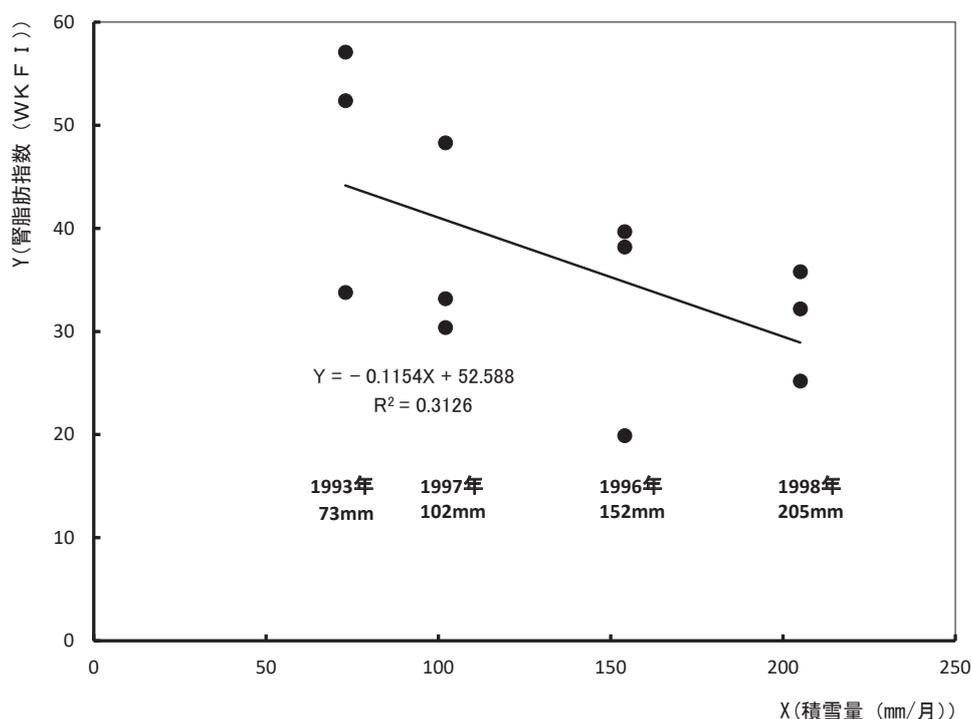


図2. 1月積雪量と腎脂肪指数 (WKFI) の相関図

表2. ニホンカモシカの性別腎周囲脂肪の脂肪酸組成の比較

性別	頭数	C14:0	C16:0	C16:1	C17:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	USFA/SFA
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
雄	59	4.3±1.4 ¹⁾	25.8±2.6	2.2±0.6	3.1±1.0	32.0±4.5	28.5±4.9	2.5±1.4	1.4±0.5 ²⁾	0.5±0.1
妊娠雌	57	4.3±1.3	25.8±2.4	2.1±0.5	2.8±0.9	31.3±4.2	30.3±4.2	2.2±0.5	1.2±0.4 ^b	0.6±0.1
非妊娠雌	17	4.6±1.6	26.6±2.6	2.1±0.5	2.3±1.6	31.7±4.7	28.5±4.6	2.1±0.4	1.1±0.5 ^b	0.5±0.1
P値	—	0.571	0.481	0.628	0.110	0.529	0.0923	0.074	0.007	0.251

¹⁾ 平均値±標準偏差, ²⁾ 異符号間に5%水準で有意差あり.

須脂肪酸であるので、餌由来の脂肪酸であることになり、餌の脂肪酸を調べるなど追跡調査をしない限り、摂取植物との関係など詳細は分からなかった。

ウシなどの反芻動物の体脂肪の脂肪酸組成は、飼料、環境温度、年齢、性別および体脂肪の部位で変化する(石田ら, 1988; Leat, 1975; 堀川・笹木, 2016) ことが広く知られている。著者らの本報告や既報(Takahashi *et al.*, 1996) 以外にカモシカの体脂肪の脂肪酸組成に関わる報告は見当たらない。我が国の特別天然記念物故に屠体からの体脂肪試料を入手し難いことが原因と思われるが、同じ反芻動物であるエゾシカの筋肉内脂肪と体脂肪(皮下脂肪)の報告(Kasai *et al.*, 1996) がある。エゾシカの

頭数が、北海道東部で急増したため交通事故の増加や農業被害が大きくなったため捕獲が進められているが(Kasai *et al.*, 1996), この報告は食肉としての観点から進められた報告であるため、食肉各部位と皮下脂肪の脂肪酸組成を調査した。皮下脂肪の不飽和脂肪酸を比較してみると、Takahashi *et al.* (1996) は平均59.6%であり、Kasai *et al.* (1996) の値42.2%より高かった。このことは、北海道東部は、8月～12月の積雪期前に捕獲しており、後述の気温と不飽和脂肪酸の関係から山形市蔵玉山周辺の12月～翌年3月の気温が低かったためと推察された。

一般に反芻動物の脂肪酸組成、特に、不飽和脂肪酸は

第一胃内容液の微生物により水素添加されて飽和化されるので飼料中脂肪酸組成の影響は受け難いことが知られている。また、体表面の体脂肪の脂肪酸組成は環境温度の影響を受け易いが、逆に体内の内部程環境温度の影響を受け難い（伊藤, 1980; Takahashi *et al.*, 1996）。寒冷条件下で育った恒温動物の脂肪酸は、体温保持のため神経伝達物質であるアドレナリンまたはノルアドレナリンのカテコールアミンの刺激により体脂肪の脂肪酸エステルがリパーゼにより加水分解されて血中に遊離脂肪酸として動員されるが、パルミチン酸やステアリン酸等の飽和脂肪酸が選択的に動員される（伊藤, 1980）。その結果、蓄積体脂肪が減少するとともに体脂肪が軟らかいリノール酸やパルミトレン酸（C16:1）に富む体脂肪になり寒冷時に動物が活動し易くなるという極めて重要な生理学的な意義を持つことになる。高緯度の寒冷地に生息する哺乳動物の体脂肪も不飽和化される（Alica and Tracey, 2019）。今後、例数を増やして気温や積雪量などの気象要因と体脂肪の脂肪酸組成の関係を追跡調査することが望まれる。年齢と体脂肪の脂肪酸組成の関係については、ウシ（石田ら, 1988; Leat, 1975）やヒツジ（Leat, 1975）は、1歳～15歳位までは飽和化であるステアリン酸とステアリン酸が増加し、その後減少し、不飽和脂肪酸であるオレイン酸がこれらの飽和脂肪酸と逆の変化をすることが報告されている。同様に平山ら（2002）もヤ

ギを用いて360日間飼育すると240日齢から大網膜脂肪の不飽和化が進むことを示した。即ち、反芻動物は、成長が旺盛なときは体脂肪が飽和化され、その後二次成長が進むに従って不飽和化されるようである。このことは、食肉として利用するときは食味を良くするという意味では合理的な現象である。堀川・笹木（2016）は、黒毛和種雌牛は去勢牛より体脂肪の不飽和化が進むので、オレイン酸（C18:1）が去勢牛より多くなることを報告している。本調査では雄で去勢との違いがあるが、環境温度の影響が大きかったため性別に関係なく腎脂肪のオレイン酸（C18:1）の割合が多くなり、メジャーな脂肪酸に性間の影響が現れなかったと推察された。

以上より、本調査に供試したカモシカの腎脂肪の脂肪酸組成は、性間に大きな差はなかったと判断される。

3) カモシカの捕獲時の第一胃内容液性状と血漿成分、および年別プロトゾア数

捕獲したカモシカの捕獲時間を横（X）軸に取り、第一胃内容液のpH、揮発性脂肪酸（VFA）濃度およびアンモニア態窒素を縦（Y）軸に取ったグラフを図3、図4および図5にそれぞれ示した。それぞれの図に三次の多項式、 R^2 （決定係数； $P \geq 0.05$ ）、平均値および標準偏差（CV: Coefficient of Valuation（変動係数））を記入した。三次の多項式回帰に当てはめた理由は、三次の多項式を

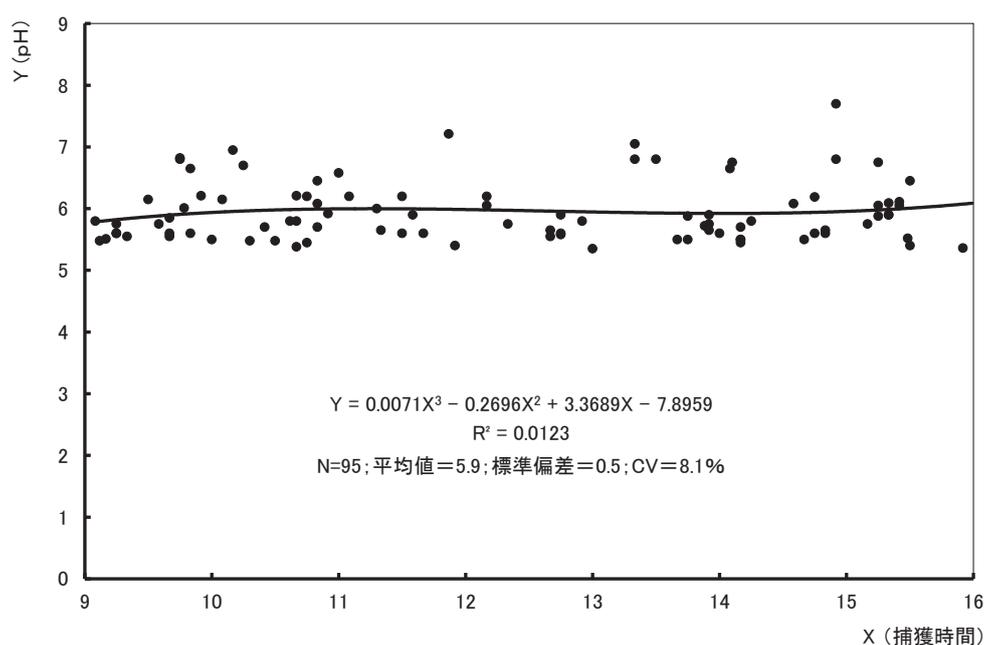


図3. ニホンカモシカの捕獲時の第一胃内容液pH

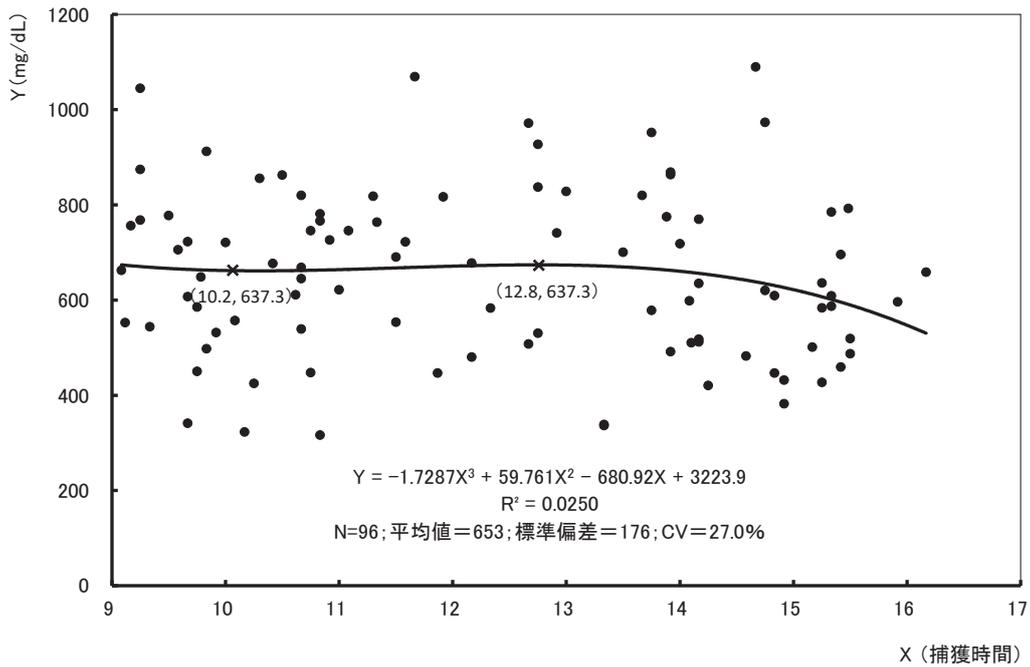


図4. ニホンカモシカの捕獲時の第一胃内容液揮発性脂肪酸(VFA)濃度

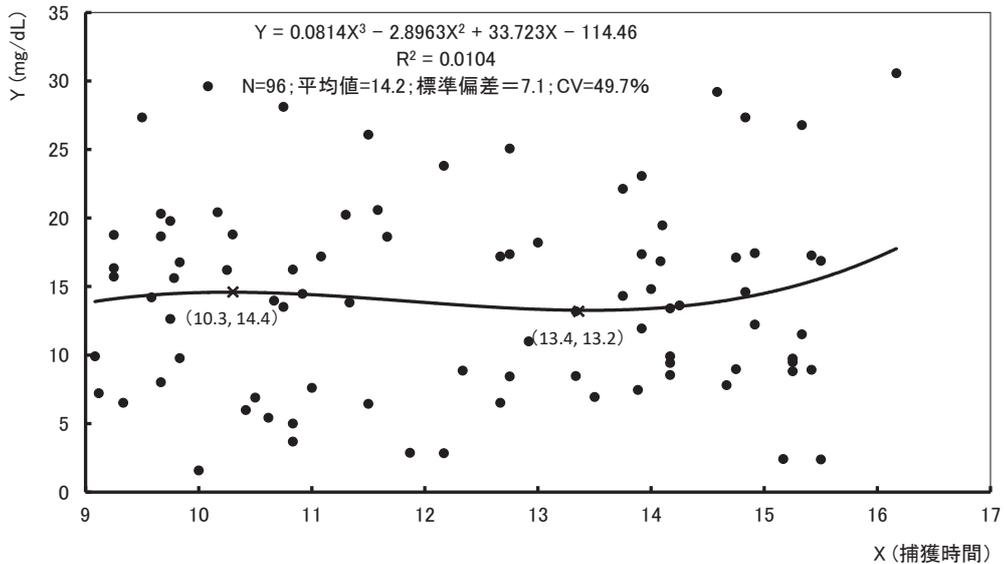


図5. ニホンカモシカの捕獲時の第一胃内容液アンモニア態窒素(NH₃-N)濃度

微分して値をゼロにして二次方程式を解けば簡単に極値を求められるからである。

第一胃内容液のpH平均値5.9, 変動係数8.1%であり, 9時から16時までは極値がなく微酸性を維持しており捕獲時間内の変動が少なかった(図3)。ヒツジの第一胃内容液のpHは採食前アルカリ性(7~8)から濃厚飼料と粗飼料を混合した飼料を採食すると飼料が微生物により分解されて揮発性脂肪酸の生成に伴い低下し, 採食6時

間後5.7程度の酸性になる(高橋ら, 1997)。カモシカの場合, 9時~16時まで極値がなかったことは, この時間帯には最大値または最小値がないことを示しており, この図から判断する限り, 若干上昇しているように見え, 明らかにヒツジとは異なっていた。

第一胃内容液の揮発性脂肪酸濃度(mg/100g(乾物))は, 平均値653.0, 変動係数27%と個体差はあるが, 朝9時~13時位まで平均で660~670位の値で推移し, 15時

以降濃度が低下する傾向をしている(図4)。濃厚飼料多給したヒツジの第一胃内容液揮発性脂肪酸濃度の報告(高橋ら, 1997)と比較すると最大値に達する採食6時間後の濃度(mg/dL)は、濃厚飼料多給で600~700、粗飼料多給で500位である。即ち、カモシカの場合、ヒツジに濃厚飼料多給した場合と近い濃度を維持している。このことは、カモシカは日中栄養価の高い餌を絶えず小刻みに採食していることを現す裏付けになっていると想像される。また、先のpHが日中上昇傾向であったことを併せて考察すると朝早くから餌を摂り始めて、明るい間、断続的に摂り続けている(高橋, 2012; 高橋, 2013)と思われる。第一胃内容液のアンモニア態窒素濃度も変動が大きかったが、平均14.2mg/dLだった(図5)。第一胃内の細菌に由来するウレアーゼにより第一胃内容液のアンモニア態窒素濃度は、採食後増加する(広瀬, 1973)ので、揮発性脂肪酸濃度と同様の変化をすると思われたが、揮発性脂肪酸濃度が最高値の13時頃アンモニア態窒素濃度は最低値の極値を示した。この揮発性脂肪酸とアンモニア態窒素濃度の関係は説明出来なかった。

カモシカは断続的に餌を摂取していることに関連して第一胃の大きさがあると思われるが、カモシカの第一胃重量は7kg前後でヤギやヒツジより著しく軽く(唐沢・菅原, 2016)、第一胃容積も4~5Lであり、ヤギの25Lに比較すると以外と小さい(杉村, 1991)。カモシカは小刻みに採食・消化することで、必要時に身軽な行動をとれるようにとれるように適応したと考えられている(杉村, 1991)。Yamamoto *et al.* (1998)がカモシカの第一胃の形態を顕微鏡で調べた結果、ウシとヒツジの中間の採食特性を持つ形態であるという興味深い報告がある。また、Hofmann (1988)によると、消化管の形態的特徴に基づいた反芻動物は大まかに三種類のタイプに分類される。即ち、多量の植物繊維を消化出来るGrass eater型、繊維消化能力が低いConcentrate selector型およびその中間型である。ヒツジやウシはGrass eater型に、red deerやカモシカは中間型に属している。従って、Grass eater型より前胃(第一胃)の容積が小さく繊維を多く含む草類の消化には優れていないので、若葉や木の芽を好んで採食すると述べている。一方では、前述の常田(2016)のカモシカはブラウザー(栄養価は高いが、木の葉や芽をつまみ食いする)であるという分類したことと、Yamamoto *et al.* (1998)のカモシカの第一胃の形態を顕微鏡で調べた結果、ウシとヒツジの中間

の採食特性を持つ形態であるというHofmann (1988)と必ずしも一致しない興味深い報告がある。

総じて考察すると、カモシカはウシやヒツジの反芻動物のように一度に多くの餌を摂取出来ないようであり、飼料を採取した後、長時間反芻行動(咀嚼→燕下→吐き戻し)を繰り返す採食反芻行動とは違うと思われる。カモシカは、断続的に採食していることより、排糞行動が気になる場所であるが、カモシカの排糞回数はニホンジカに比較すると明らかに少なく(高槻ら, 1981; 高槻, 1991)、一回の排糞量が多いようであるが、この理由としてカモシカの行動圏が狭いことによるカモシカの習性であると考えられている。

野生と飼育されている反芻動物間の消化率を調査した研究では、7種の反芻動物と2種の草食単胃動物を三季の季節に分けて消化試験を行った結果、カモシカを含む6種の動物の有機物消化率は約60%であり、酸性デタージェント繊維消化率は反芻動物で20%、単胃動物で30~40%、単胃動物で10~20%であり、反芻動物間や季節の差はなかった(Kozaki *et al.*, 1991)報告、およびカモシカ4頭を用いて*in vivo*により消化試験を行った結果、粗タンパク質、粗繊維および可溶無窒素物の消化率は高かったが、粗脂肪の消化率は低かった(鹿股・伊沢, 1990)報告があるが、カモシカの消化率を求めた研究はこれらの報告以外見付けられなかった。

カモシカの捕獲時の血漿中グルコース濃度、インスリン濃度および遊離脂肪酸濃度の散布図と三次の多項式、 R^2 (決定係数; $P \geq 0.05$)、平均値および標準偏差(CV: Coefficient of Variation(変動係数))を図6、図7および図8にそれぞれ示した。グルコース濃度(mg/dL)は、回帰式の極値からみると10.3時に最高値、13.4時に最低値を示したが、平均値は103と反芻動物の正常時(35~45; 佐々木, 1981)より著しく高い濃度だった(図6)。また、一般に反芻動物は食事性の血糖値は現れ難い特性を持っているが、13.4時に最低値を示したことは、この時間帯にカモシカの活動が活発であると想像される。インスリン濃度(μ U/mL)は、11.5時に最高値を示したが、数例の高値を除くと概ね1.5以下のレベルで推移していた(図7)。反芻動物のインスリン濃度は他の動物より低く採食後上昇するが、上昇幅は小さく採食前10から採食後30位の幅である(佐々木, 1981)。また、血漿中遊離脂肪酸濃度(μ Eq/L)は13.1時に最高値443.8を示した(図8)。ヒトは夏よりも冬の寒冷時に遊離脂肪酸は低

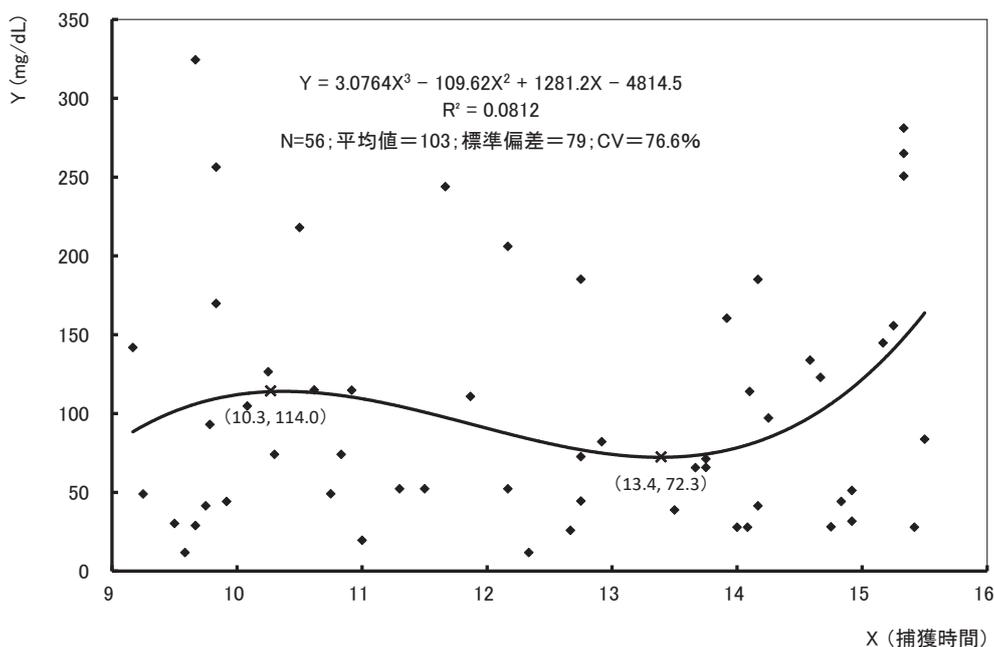


図6. ニホンカモシカの捕獲時の血漿グルコース濃度

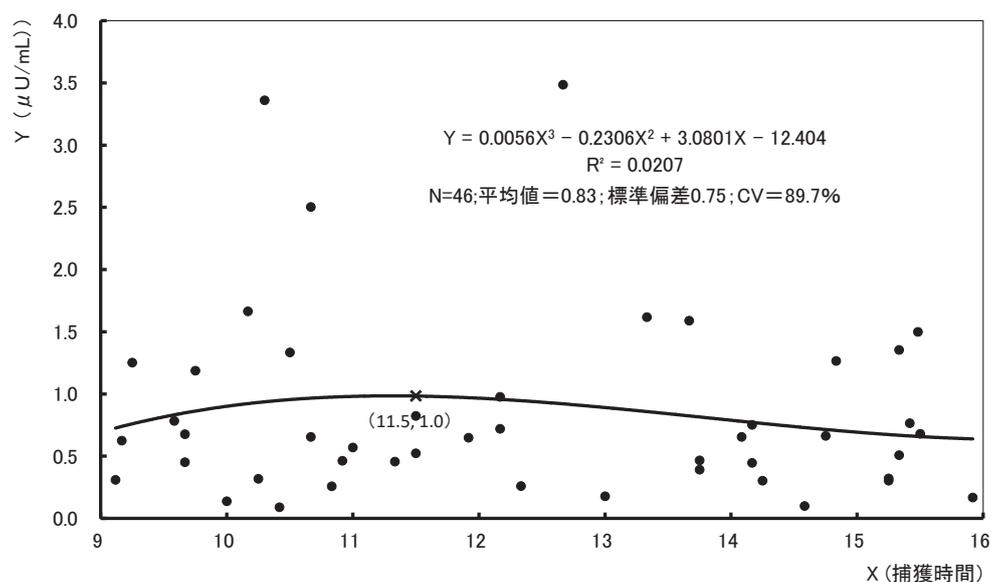


図7. ニホンカモシカの捕獲時の血漿インスリン濃度

く400程度（伊藤，1980）になり，藤田ら（1976）によると，ヒツジを寒冷温度条件下で飼育すると採食後も常温時より低くなり，その値は採食前600～800から採食後400程度まで減少するが，常温時の採食前500程度から採食後100程度と比較すると寒冷時が採食前と採食後ともにそれぞれ高い値を示した。

カモシカの血液性状と栄養状態に関する報告は，見当たらないが野生動物であるニホンジカと血液性状と栄養

状態について野口ら（2013）が言及している。本調査から，カモシカは日中移動しながら植物（餌）を採取しており，移動と採食に要するエネルギーが必要であるためインスリン濃度が低く推移して蓄積脂肪を動員してエネルギーとして費やしていたため血漿中遊離脂肪酸濃度が高くなり，カモシカの日中のエネルギー収支は同化作用より異化作用が進んでいると思われた。これらの血漿成分の結果は，カモシカが移動しながら断続的に餌を摂り

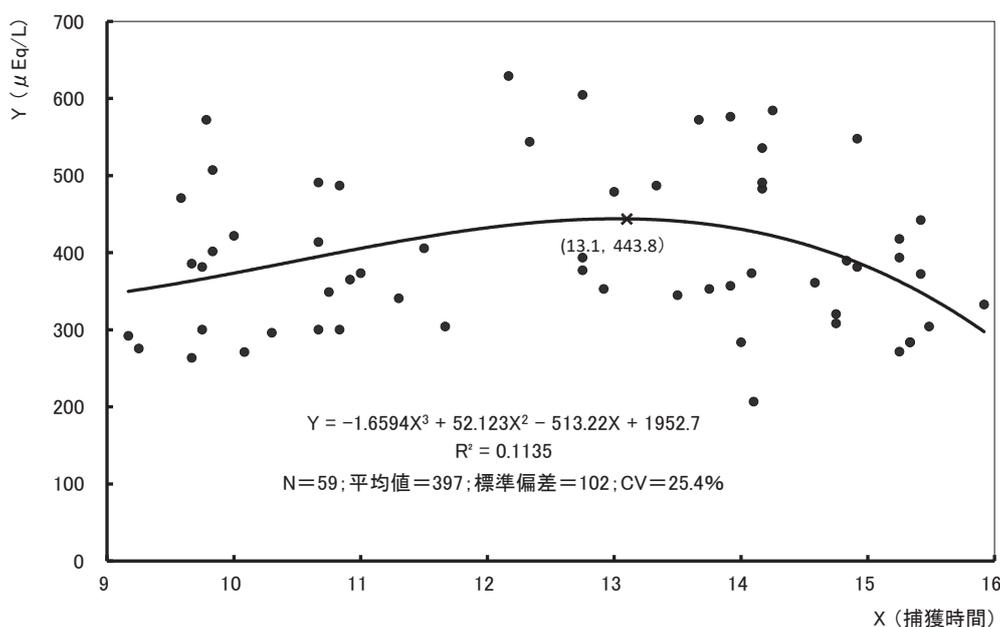


図8. ニホンカモシカの捕獲時の血漿遊離脂肪酸(NEFA)濃度

表3. ニホンカモシカの第一胃内容液のプロトゾア総数および科属別プロトゾア数の割合

頭数	項目	プロトゾア総数	Isotrichidae	Ophryoscolecidae (%)		
		(個/mL)	(%)	Entodinium	Diprodinium	Epidinium
65	平均値	618,211	1.1	70.8	27.8	0.3
	標準偏差	±309,050	±1.6	±14.1	±13.9	±0.6
	最大値	1,389,600	10.5	95.5	63.9	2.6
	最小値	79,200	0.0	38.5	4.5	0.0

続けていることを裏付ける結果だった。

ところで、カモシカの血液を採取した研究報告は殆ど見当たらないが、松原ら(2006)が岩手大学演習林に生息しているカモシカ6頭の血液を採取してタンパク多型の研究を実施している。また、本研究のカモシカを含む151頭の血漿を供試して、カモシカ特有の口蹄疫に類似しているウイルス感染症であるパラポックスウイルス感染症の罹患率を調査した結果、4年間の平均で17.7% (年度別範囲: 6.7~28.6%) であり、年齢が高くなると感染率が高かった (Inoshima *et al.*, 2001) 報告がある。

1997年33頭と1998年32頭、計65頭の第一胃内容液中プロトゾアの総数属種別構成割合の結果を表3に示した。総数の平均は 6×10^5 個/mL位であり、最低値 8×10^4 個/mL位~最高値 13×10^5 個/mL位の範囲だった。また、属別ではOphryoscolecidae科のEntodinium属が概

ね70%で最も高い割合であり、次いでOphryoscolecidae科のDiprodinium属が23~29%だった。Isotrichidae科とOphryoscolecidae科のEpidinium属は1%前後と僅少の割合だった。

野生動物のプロトゾア数に関しては、野生の反芻動物である仙台市八木山動物園のカモシカ31頭 (Imai *et al.*, 1981), 岩手県五葉山に生息していたニホンジカ19頭 (Imai *et al.*, 1993) および飼育下のエゾシカ (増子ら, 2003) の報告がある。その結果、カモシカの総数は $3.64 \sim 6.42$ (平均5.14) $\times 10^5$ 個/mL、ニホンジカ $0.07 \sim 5.81$ (平均0.74) $\times 10^5$ 個/mLおよびエゾシカ 8.9×10^5 個/mLであり、ニホンジカはカモシカより少なく、本報告のカモシカはImaiら(1981)のカモシカとエゾシカ(増子ら, 2003)とほぼ同数だった。Entodinium属は、本報告で概ね70%前後だったが、Imaiら(1981)の報告では88%と

高かった。また、Imaiら(1981)は、10種の本邦の反芻動物からも認められているものであったが、一種はカモシカ特有のものであり、*Epidinium ecaudatum forma capricornisi*と命名し、この研究から系統間の関係を示唆する特徴があることに興味を示したとの記載がある。

4) *In vitro*によるカモシカの乾物消化率、揮発性脂肪酸生成およびメタン生成の特性

ウシとヒツジを対象動物にして行ったカモシカ *in vitro*による乾物消化率を図9、揮発性脂肪酸生成量を図10、酢酸/プロピオン酸生成比を図11およびメタン生成量の比較を図12にそれぞれ示した。その結果、乾物消化率および揮発性脂肪酸生成量は三種の動物間に有意差はなかった。一方、揮発性脂肪酸のうち、酢酸/プロピオン酸生成比はウシが高い傾向を示し、メタン生成量はウシとカモシカが有意 ($P < 0.01$) に多かった。

高橋ら(1996)は、ヒツジとヤギを対象動物に用いて *in vitro*により、カモシカの第一胃内容液での消化試験を行い、揮発性脂肪酸生成量および不飽和脂肪酸への水素添加能を調査した。その結果、カモシカはヒツジとヤギに比較して消化率に差がなかったが、プロピオン酸生成は劣性、酢酸生成は優勢な生成特性を持ち、オレイン酸(C18:1)への水素添加能が強かったことを報告した。本研究の結果でも、消化率はウシとヒツジと比較して差がなく、揮発性脂肪酸の酢酸/プロピオン酸生成比が高くなる発酵特性は高橋(1996)の報告を裏付けた。第一胃内で炭水化物が消化されると酢酸の側路として蟻酸が生成されるが、蟻酸は不安定なため直ちに水素と二酸化炭素に分解され、生成された水素は第一胃内の飼料の不飽和脂肪酸へ添加されて不飽和脂肪酸が飽和化されるが、不飽和脂肪酸へ添加を免れた水素はメタン菌により二酸化炭素と結合してメタンが生成されて呼気として放出される(Leng, 1970)。高橋(1996)および本実験において、第一胃内容液のカモシカの揮発性脂肪酸生成のうち、酢酸/プロピオン酸生成比がヒツジより高くウシより低い傾向を示し、メタン生成量はヒツジより多かったことは、水素の発生と水素がメタンの基質になっていることを裏付ける酢酸優勢型である(高橋ら, 1996; 高橋, 2013)と判断出来る。

反芻動物間で同じ飼料を採食した場合、pHの違いおよび揮発性脂肪酸の酢酸とプロピオン酸の生成比率に関す

る報告は見当たらない。我々は、ウシに粗飼料2(稲ワラ):濃厚飼料8(堀口, 2002)、ヒツジに粗飼料2(イタリアンライグラス牧乾草):濃厚飼料8(高橋ら, 1997)の原物給与比率で給与して採食3時間後の第一胃内容液のpHはヒツジ6以下、ウシ6以上であり、酢酸/プロピオン酸比はヒツジ1程度、ウシ2程度だったことを報告した。一般に濃厚飼料を多給すると第一胃内容液のpHは低下することが知られているが、粗飼料種の違いこそあるが、粗飼料と濃厚飼料の給与比率の飼料を給与したてもウシの第一胃内容液pHは高く、ヒツジは低かった。

第一胃内容液pHと揮発性脂肪酸生成の関係は、pHが6.0~7.0の範囲では酢酸の生成、pH5.5~5.8の範囲ではプロピオン酸の生成がそれぞれ活発になる(安保, 1987)。即ち、第一胃内容液のpHの違いで揮発性脂肪酸の酢酸/プロピオン酸の生成比が異なるようであり、稲ワラとイタリアンライグラス牧乾草の粗飼料種の違いが第一胃内容液pHの違いに影響するとは考え難く、高橋ら(1997)のヒツジの結果と堀口(2002)のウシ第一胃内容液pHの違いは第一胃容積と唾液量の違いがあると思われる。一方、反芻動物の唾液は、重炭酸ナトリウムを主成分とするpH9程度を示し、第一胃内で燕下されて咀嚼もれた食塊が吐き戻され唾液と混合して再咀嚼された後、再燕下により揮発性脂肪酸が中和されて第一胃内容液pHを7前後に調節する緩衝作用が働いて第一胃の恒常性を維持する(佐々木, 1981; 広瀬, 1973)ことは広く知られている。両動物の第一胃内容液のpH値の違いは、第一胃の単位容積当たりの一日の唾液分泌量の違いが考えられるが、本研究のカモシカ、ウシおよびヒツジの比較は *in vivo* 試験ではなく *in vitro* 試験の比較である。従って、カモシカとウシまたはヒツジの酢酸/プロピオン酸生成比の違いは第一胃容積と唾液分泌量比等の違いからは説明出来なく、両動物の第一胃内の微生物叢、特に酢酸生成菌とプロピオン酸生成菌の違いから生じた結果と思われる。また、カモシカの酢酸/プロピオン酸生成比とメタン生成量は、ウシとヒツジの中間の値を示した。今後、カモシカとカモシカ以外の反芻動物(ウシやヒツジ)に同一飼料を給与した *in vivo*による飼養試験を実施しての第一胃内容液のpHの違い、および酢酸とプロトゾア生成比を比較・検討することが必要であると思われる。

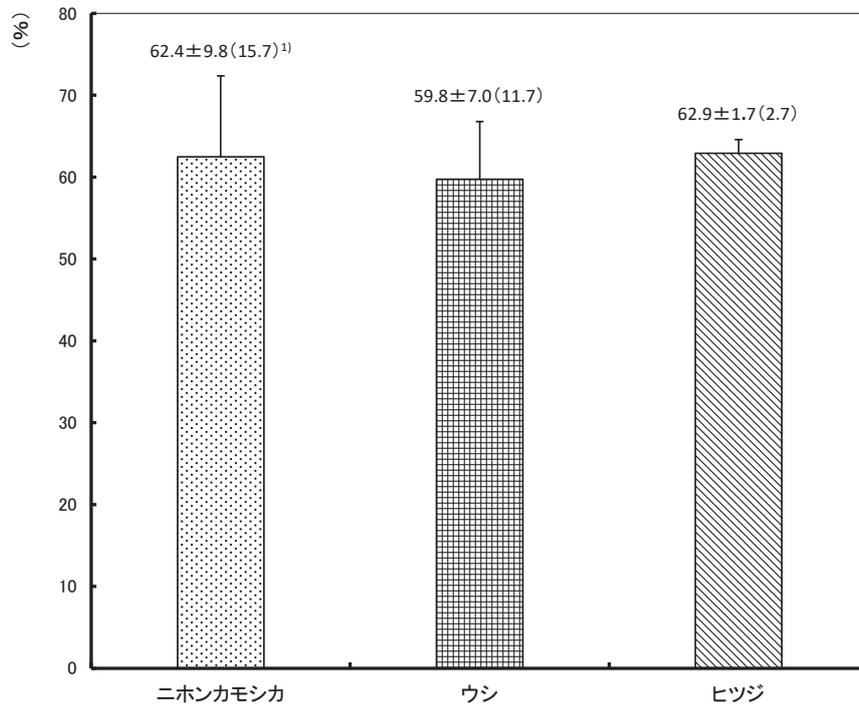


図9. *In vitro* による乾物消化率の動物間の比較
¹⁾ 平均値 ± 標準偏差 (変動係数(CV)).

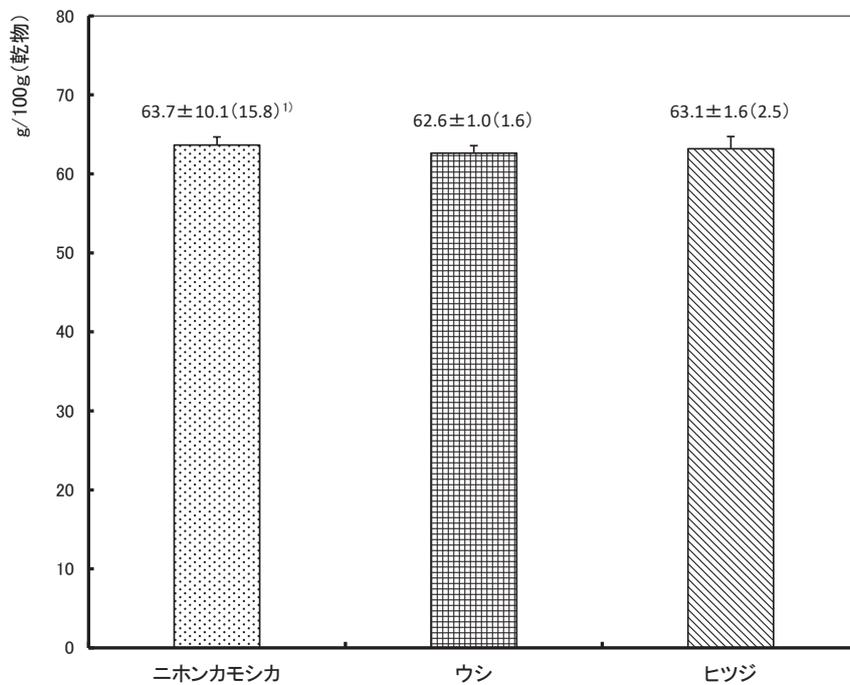


図10. *In vitro* による揮発性脂肪酸(VFA)生成量の動物間の比較
¹⁾ 平均値 ± 標準偏差 (変動係数(CV)).

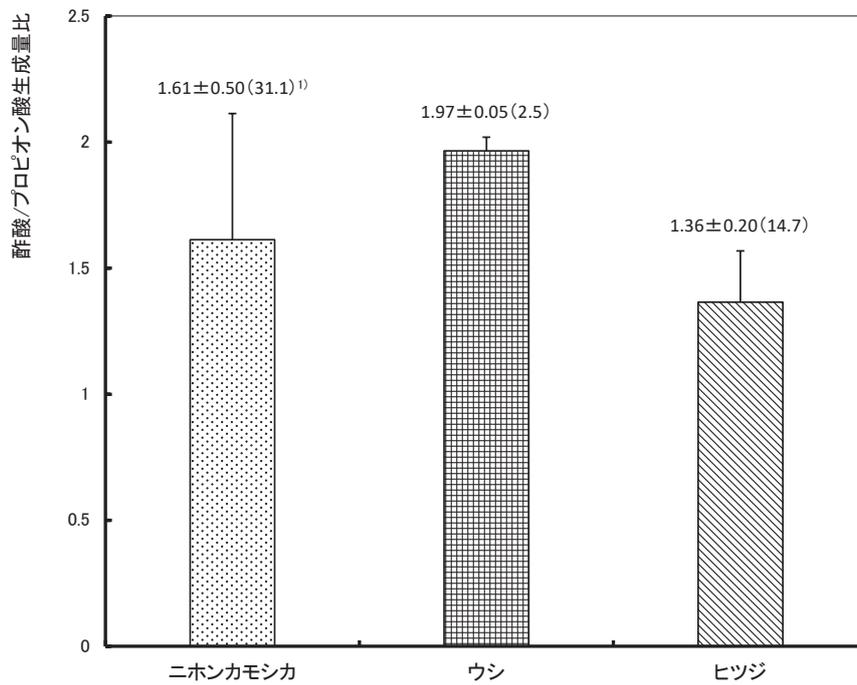


図11. *In vitro* による酢酸/プロピオン酸生成量比の動物間の比較
¹⁾平均値 ± 標準偏差 (変動係数(CV)).

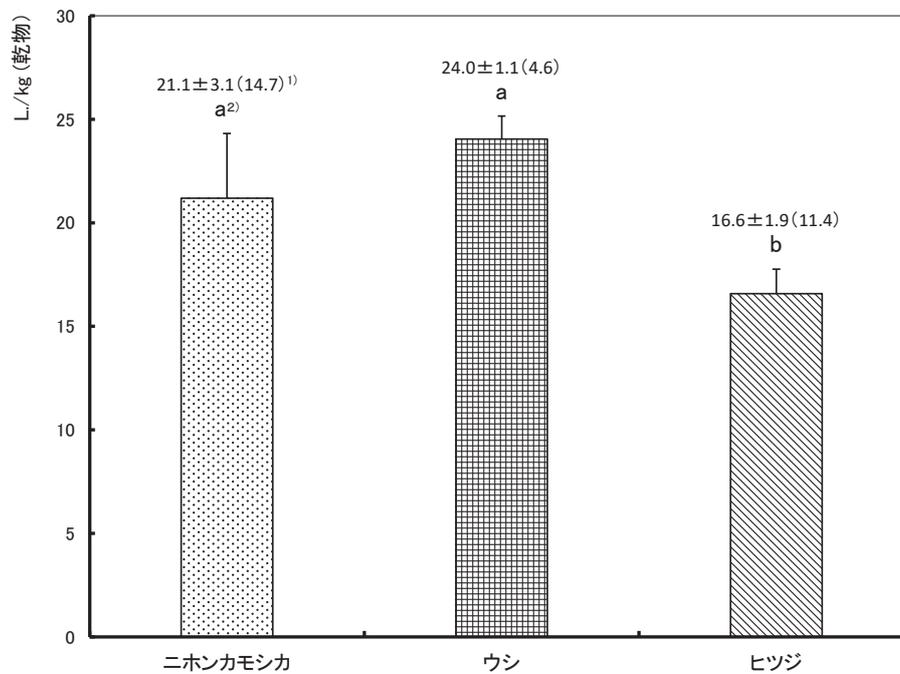


図12. *In vitro* によるメタン生成量の動物間の比較
¹⁾平均値 ± 標準偏差 (変動係数(CV)), ²⁾異符号間に1%水準で有意差あり.

摘 要

1993, 1996, 1997および1998年の4カ年の冬季に山形市周辺で捕獲されたニホンカモシカ137頭を供試して、体重、腎脂肪脂肪酸、第一胃内容液消化性および血漿成分を調査して、カモシカに関する栄養生理学研究を行った。全頭の平均年齢6.1歳(雄5.2歳, 妊娠雌7.7歳および非妊娠雌5.5歳)だった。全頭の平均体重は、38.8kg(雄36.9kg, 妊娠雌45.5kgおよび非妊娠雌34.1kg)だった。他地区で冬季捕獲されたカモシカと比較して当地区の平均体重が重く腎脂肪指数が高かった。また、腎脂肪指数は、捕獲年の1月の平均気温が高いと高くなり、積雪量が多いと低くなる傾向だった。カモシカの腎脂肪の脂肪酸組成は、性間に大きな差がなかった。カモシカの捕獲時の第一胃内容液性状と血漿成分を三次の多項式回帰式に当てはめた結果、pHは平均5.9で変化が小さく捕獲時間中安定していた。また、揮発性脂肪酸濃度は平均653mg/dLの値で13時近くにピークがあり、その後若干低下する傾向だった。第一胃内容液アンモニア態窒素濃度は13時頃最小値を示し、その後増加する傾向だった。血漿中グルコース濃度の平均値103mg/dLであり、最大値は10時、最小値は13時過ぎに現れる傾向だったが、変動は大きかった。血漿中インスリン濃度は11時半頃最高値を示したが、総じて低く推移した。血漿中遊離脂肪酸濃度は13時頃に最高値を示し平均397 μ Eq/Lであり、捕獲時間内高い値を維持した。三種の動物の第一胃内容液を使用した*in vitro*による消化試験の結果、乾物消化率と揮発性脂肪酸生成量に動物間による有意差はなかったが、酢酸/プロピオン酸生成比はウシとカモシカはヒツジより高い傾向を示し、メタン生成量はヒツジより有意($P < 0.01$)に多かった。以上より、山形市周辺に生息しているカモシカは冬季前に栄養価の高い針葉樹の葉を多く摂取して炭水化物からの脂肪酸合成が促進されて蓄積脂肪が多くなると推察された。また、冬季も日中移動しながら断続的に針葉樹の葉を摂取しているため、越冬するのに十分な栄養条件下で生息出ることが伺われた。カモシカの第一胃内容液の消化は、ウシとヒツジの中間型の発酵特性を持つと推察された。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、山形市役所産業部農政課にはカモシカの生体試料採取等で便宜を図っていただいた。本実験の手法および統計処理については、萱場猛夫山形大学元教授から貴重な助言を賜った。東 善行北里大学元教授からは血漿インスリンの測定を快く引き受けてくださった。試料の採取では、山形大学農学部動物生産学研究室の学生諸氏には試料の採取、実験補助および動物の飼養管理では多大の協力を得た。

ここに記して、各位に深甚の謝意を申し上げる。

ニホンカモシカの生体試料(体重、腎脂肪指数、第一胃内容液性状および血液性状)については、付表として電子版で公開している。

引用文献

- Alica, I. G. and L. R. Tracey (2019) From low to high latitudes: changes in fatty acid desaturation in mammalian fat tissue suggest a thermoregulatory role. *Guerrero and Rogers BMC Evolutionary Biology*. 19:155-166.
- 安藤正規・酒井愛里・島村咲衣・後藤真希(2016) 同所的に生息するニホンジカとカモシカの食性比較. *日本森林学会大会要旨*. 127: 356.
- 安保佳一(1987) 新乳牛の科学(津田恒之監修・柴田章夫編) 第2節ルーメンアシドーシス. pp335-342. 農山漁村文化協会, 東京.
- 千葉彬司(1991) カモシカの生態 1. ニホンカモシカとは 2. 北アルプスのカモシカ: カモシカ 氷河期を生きた動物(大町山岳博物館編). 信濃毎日新聞社. pp5-66. 長野.
- Conway, E.J. (1950) Microdiffusion analysis and volumetric error. pp87-123. Crosby Lockwood and Son Ltd., London.
- 出口善隆・佐藤衆介・菅原和夫・伊藤健雄(2000) 食害状況から推定された山形市に生息するニホンカモシカの農作物への依存割合. *野生生物保護*. 5: 13-20.
- Deguchi, Y., S. Sato and K. Sugawara (2002) Food plant selection by the wild Japanese serow (*Capricornis*

- crispus*) with reference to the traces eaten. Animal Science Journal. 73: 67-72.
- Folch, J. and M. Lees (1957) A simple method for the isolation purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological chemistry. 226: 497-509.
- 藤田正範・菅原盛幸・安保佳一・津田恒之 (1976) 寒冷暴露におけるめん羊の一般生理反応および血液・尿成分の変化. 生物環境調節. 14: 107-114.
- 平山琢二・比嘉辰雄・平川守彦・城間定夫 (2002) ヤギの成長に伴う大網膜脂肪酸組成の変化. 西日本畜産学会報. 45: 93-95.
- 広瀬可恒 (1973) 反芻胃をめぐる消化栄養の生理. 化学と生物. 11: 490-498.
- Hofmann, R. R. (1988) Aspect of digestive physiology in ruminant. pp1-20. Comstock Publishing Associate. Ithaca.
- 堀口健一 (2002) 第一胃刺激用具を投与した肉牛における反芻行動, 第一胃性状および肥育成績に関する研究. 岩手大学博士論文 (農学). pp1-180.
- 堀井 聡・倉田陽平・林 弥太郎・田辺 忍 (1971) 動物栄養試験法 (森本 宏監修). 第1版. pp280-310. 養賢堂. 東京.
- 堀川明彦・笹木教隆 (2016) 福井県で肥育された黒毛和種牛肉における性別, 種雄牛および飼養管理の違いが不飽和脂肪酸割合に及ぼす影響. 福井県畜産試験場研究報告. 28: 1-6.
- Horino, S. and T. Kuwahata (1996) Food Habits of Japanese serow (*Capricornis crispus*) and Japanese deer (*Cervus nippon*) in a co-habitat. Bulletin of Forestry and Forest Product Research Institute. 341: 47-61.
- 池田浩一 (2002) 九州北部の造林木被害発生地におけるニホンジカの食性. 日本林学会誌. 84: 175-179.
- 池田昭七・高槻成紀 (1999) ニホンジカとニホンカモシカの採食植物の栄養成分の季節変化 - 仙台地方の例 -. 東北畜産学会報. 49: 1-8.
- Imai, S., M. Abe and K. Ogimoto (1981) Ciliate protozoa from the rumen of the Japanese serow, *Capricornis crispus* (Temminck). Japanese Journal of Veterinary Science. 43: 359-367.
- Imai, S., M. Matsumoto, A. Watanabe and H. Sato (1993) Rumen ciliate protozoa in Japanese Sika deer (*Cervus nipponcentralis*). Animal Science and Technology (Japan). 64: 578-583.
- Inoshima, Y., Y. Yamamoto, T. Takahashi, M. Shino, A. Katsumi, S. Shimizu and H. Sentsui (2001) Serological survey of parapoxvirus infection in wild ruminants in Japan in 1996-9. Epidemiology and Infection. 126: 153-156.
- 石田光晴・武田武雄・斎藤孝夫・鹿野裕志・松本 忠・高橋 功 (1988) 肥育中における黒毛和種去勢牛の皮下脂肪脂肪酸組成の変動. 日本畜産学会報. 59: 496-501.
- 石川県白山自然保護センター (1990) 白山の自然史10 ニホンカモシカの1年. pp1-21. 吉野谷村.
- 伊藤真次 (1980) 適応の仕組み. pp197-206. 北海道大学図書刊行会. 札幌.
- Ito, T. (1995) Early winter home range of Japanese serow at the western foothill of Mt. Zao, Northern Japan. Bulletin of Yamagata University (Natural Science). 11: 271-276.
- Jiang, Z., H. Torii, S. Takatsuki and T. Ohba (2008) Local variation in diet composition of the Japanese serow during winter. Zoological Science. 25: 1220-1226.
- 金城芳典 (2006) 高知県香美市におけるニホンカモシカの胃内容物の一例. 四国自然史科学研究. 3: 102-105.
- 鹿股幸喜・伊沢 学 (1990) 動物園飼育のニホンカモシカの飼料の摂取と消化について. 動物園水族館雑誌. 32: 46-49.
- 唐沢 豊・菅原邦夫 (2016) 動物の栄養第2版 2.カモシカ. pp277-283. 文永堂. 東京.
- Kasai, T. and M. Yokohama, K. Inoue and Y. Ishijima (1996) Fatty acids composition in Yeso Sika deer (*Cervus nipponyesoensis*) living around Abashiri City. Animal Science and Technology. 67: 1086-1089.
- Kozaki, M., R. Oura and J. Sekine (1991) Studies on digestion physiology herbivorous animals. 2. The comparison of intake of total digestive nutrients among divers sizes of ruminants and monogastric animals. Journal of the Faculty of Agriculture. Tottori University. 27: 61-618.

- 栗原 康 (1969) 反芻動物の第一胃 (ルーメン) における絨毛虫相の検索と計数. 日本獣医学会誌. 22: 132-153.
- Leat, W. M. F. (1975) Fatty acid composition of adipose tissue of Jersey cattle during growth and development. *Journal of Agricultural Science*. 85: 551-558.
- Leng, R. A. (1970) Formation and production of volatile fatty acids in rumen. *In: Physiology of digestion and metabolism in ruminant* (Phillipson, A. T. ed.). pp406-421. Oriel Press. Newcastle upon Tyne.
- Maruyama, N. (1985) Kidney and marrow fats as indices of fat reserves of Japanese serow. *Japanese Journal of Ecology*. 35: 31-35.
- 丸山直樹 (1991) カモシカと栄養: カモシカ 氷河期を生きた動物 (大町山岳博物館編). 信濃毎日新聞社. pp88-96. 長野.
- 榎木茂彦・大山嘉信 (1971) サイレージの揮発性脂肪酸のガスクロマトグラフィーによる迅速定量法. 日本畜産学会報. 42: 648-652.
- 増子孝義・相馬幸作・石島芳郎 (2003) 飼育下におけるエゾシカ (*Cervus nipponyesoensis*) の栄養生理学的研究. 栄養生理研究会報. 47: 53-67.
- 松原和衛・西村貴志・出口善隆・山内貴義・青木美樹子・青井俊樹・辻本恒徳・平野紀夫・岡田幸助 (2006) 孤立林分に生息するニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) - その生態研究と野生動物医学研究 -. 日本野生動物医学誌. 12: 27-34.
- McDougall, E. J. (1963) Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical Journal*. 43: 99-109.
- Miura, S. (1985) Horn and cementum annulation as age criteria. *Journal of Wildlife Management*. 49: 152-156.
- 三浦慎悟 (1991) 年齢と繁殖: カモシカ 氷河期を生きた動物 (大町山岳博物館編). 信濃毎日新聞社. pp72-81. 長野.
- 宮尾嶽雄 (1976) 胃内容からみた北アルプス南部産ニホンカモシカの食性. 哺乳動物学雑誌. 6: 199-209.
- 中山寛之・坂庭浩之・姉崎智子 (2009) カモシカの生息状況と対策について. 群馬県野生動物調査・対策報告会 (要旨集). pp7-8.
- 野口裕美子・細井栄嗣・田戸裕之 (2013) 山口県に生息するニホンジカの血液性状による栄養状態. 第29回日本霊長類学会・日本哺乳類学会合同大会 (要旨). pp239.
- 野崎英吉・三原ゆかり (1992) 死亡ニホンカモシカの大腿骨髄による栄養判定. 石川県白山自然保護センター研究報告. 19: 79-84.
- 落合啓二 (1992) カモシカの生活誌. pp39-44. 新日本印刷株式会社. 東京.
- 落合啓二 (2016) ニホンカモシカ - 行動と生態. pp1-276. 東京大学出版会. 東京.
- Riney, T. (1955) Evaluating condition of free-range red (*Cervus elaphus*), with special reference to New Zealand. *New Zealand Journal of Science and Technology*. 36: 429-463.
- 佐々木康之 (1981) 反すう動物の消化機能と腺内分泌. 化学と生物. 19: 168-175.
- 佐藤孝二・牛田晴久・島田清司 (1993) ニホンカモシカの第一胃内容物の構成 - 方法の検討 -. 東海畜産学会報. 2: 16-21.
- 佐藤孝二・金丸桂二・島田清司・齊藤 昇 (1994) ニホンカモシカ食性調査報告書. 愛知県農地林務部自然保護課. pp1-12. 名古屋.
- 杉村 誠 (1991) 解剖学的にみたカモシカの特徴: カモシカ 氷河期を生きた動物 (大町山岳博物館編). 信濃毎日新聞社. pp67-72. 長野.
- 鈴木茂忠・宮尾嶽雄・西沢寿晃・高田靖司 (1978) 木曾駒ヶ岳の哺乳動物に関する研究 第IV報 木曾駒ヶ岳東斜面低山帯上部におけるニホンカモシカの食性 - 採食痕の調査を中心に -. 信州大学紀要. 15: 47-79.
- 高田隼人 (2018) 浅間山におけるニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) の行動生態. 麻布大学博士論文 (学術). pp1-110.
- Takada, H., K. Nakamura and M. Minami (2019) Effect of the physical and environment on flight response and habit use in a solitary ungulate, the Japanese serow (*Capricornis crispus*). *Behavioural Processes*. 158: 228-223.
- 高橋敏能・安藤 学・萱場猛夫 (1996) 山形市周辺に生息する日本カモシカ (*Capricornis crispus*) の第一胃内液における *in vitro* による消化特性. 山形大学紀

- 要（農学）. 12: 291-300.
- Takahashi, T., M. Ando and T. Kayaba (1996) Characteristics of fatty acids composition of adipose tissue in Japanese serow (*Capricornis crispus*) living around Yamagata city. *Animal Science and Technology*. 67: 28-31.
- 高橋敏能・田中信也・萱場猛夫（1997）メン羊における濃厚飼料と粗飼料の分離と混合給与が第一胃内液と血液性状に及ぼす影響. 山形大学紀要（農学）. 12: 373-381.
- 高橋敏能（2012）山形に生息するカモシカは厳寒期になぜ越冬できるのか？森の時間59. 荘内日報2012年1月18日記事.
- 高橋敏能（2013）カモシカの“ゲップ”は地球の温暖化を早めるか？森の時間60. 荘内日報2013年12月10日記事.
- 高槻成紀・鹿股幸喜・鈴木和男（1981）ニホンジカとニホンカモシカの排糞量・回数. 日本生態学会誌. 31: 435-439.
- 高槻成紀（1991）胃内容からみた食性：カモシカ 氷河期を生きた動物（大町山岳博物館編）. 信濃毎日新聞社. pp37-48. 長野.
- 高山耕二・園田 正・林田雄大・石井大介・柳田大輝・富永 輝・松本里志・片平清美・稲留陽尉・塩谷克典・赤井克己・大島一郎・中西良孝（2017）牧草地で捕獲した野生シカの第一胃内容物の植物組成および栄養状態. 鹿児島大学学術報告. 67: 1-7.
- Tilly, J. M. A. and R. A. Terry (1963) A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grass and Forage Science*. 18: 14-1011.
- 常田邦彦（1991）カモシカの保護・管理：カモシカ 氷河期を生きた動物（大町山岳博物館編）. 信濃毎日新聞社. pp169-178. 長野.
- 常田邦彦（2016）シカの増加とカモシカの現状・課題（基調講演）. 鳥獣フォーラム2016「カモシカは生き残れるか?」. http://www.jwms.or.jp/forum_memo2016.html（2020年5月30日確認）
- 常田邦彦（2019）カモシカの保護管理に関する研究. 早稲田大学博士論文（人間科学）. pp1-428.
- 鳥居春己・高野彩子・大場孝裕（2006）静岡県で駆除されたニホンカモシカ *Capricornis crispus* の下顎骨管内脂肪と腎脂肪. 55: 55-58.
- 矢部恒晶・當房こず枝・吉山桂代・小泉 透（2007）九州山地の落葉広葉樹林帯におけるニホンジカの胃内容. 九州森林研究. 60: 99-100.
- 山形地方气象台（2020）国土交通省気象庁山形市の過去の気象データ検索. <https://www.jma-net.go.jp/yamagata/>（2020年6月4日確認）
- 山形市（1993）平成4年度特別天然記念物カモシカ捕獲固体調査報告書. 財団法人自然環境研究センター. 山形. pp1-10.
- 山形市（1996）平成7年度特別天然記念物カモシカ捕獲固体調査報告書. 財団法人自然環境研究センター. 山形. pp1-13.
- 山形市（1997）平成8年度特別天然記念物カモシカ捕獲固体調査報告書. 財団法人自然環境研究センター. 山形. pp1-13.
- 山形市（1998）平成9年度特別天然記念物カモシカ捕獲固体調査報告書. 財団法人自然環境研究センター. 山形. pp1-14.
- Yamamoto, Y., Y. Atoji, S. Agungpriyono and Y. Suzuki (1998) Morphological study of the forestomach of the Japanese serow (*Capricornis crispus*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 27: 73-81.
- 安田雅俊・栗原智昭・緒方俊輔（2012）宮崎県におけるカモシカの生息記録の分布の特徴. 日本哺乳類学会. 52: 41-45.