

シンポジウム

草からの牛肉生産の研究

秦 寛

北海道大学北方圏フィールド科学センター

北海道において粗飼料主体での牛肉生産がされ始めたのは1960年代後半からである。当時すでに肉専用種の繁殖牛は北海道の豊富な草資源を活用して放牧を取り入れた飼養がなされていたが、さらに乳用雄子牛の肉用化が始まり、その一部が放牧で育成して出荷前の6ヵ月間だけ濃厚飼料を飽食させて肥育牛として出荷されるようになった。1970年代に入ると牛肉の輸入制限枠がある中での国内の生活向上による牛肉消費の増大を背景にして、新たな肉専用種としてヘレフォード、アンガス等の外国種の導入も加えて北海道の草資源を活用した牛肉生産の研究が北大・新得畜試（現道総研畜試）・北農試（現北農研センター）を中心に勢力的に進められた。放牧を主体とする育成肥育方式¹⁻³⁾、とうもろこしやえん麦のホールクロップサイレージ給与による肥育成績^{4,5)}が検討され、1980年代には放牧ととうもろこしサイレージを組み合わせた粗飼料主体での育成肥育方式が確立されている。

その概要について、北大牧場におけるヘレフォード種を用いた2シーズン放牧方式での育成肥育実績⁶⁾を例示して紹介する。季節繁殖により春に生産された子牛を27ヵ月齢で体重650kgを目標に仕上げるこの方式では、飼育期間は大きく4つに区分される(図1)。1) 哺育期(1年目夏季)：母牛と共に昼夜放牧する、2) 舎飼育成期(1年目冬季)：離乳後、舎内に収容して貯蔵飼料(コーンサイレージ、グラスサイレージ、乾草)を給与する、3) 放牧育成期(2年目夏季)：補助飼料無給与で昼夜放牧する、4) 舎飼肥育期(2年目冬季)：出荷時まで濃厚飼料(上限日量9kg)と乾草を給与する。このような生産方式での体重推移(約160頭)は、生時で平均40kg、離乳時(8ヵ月齢)で236kg、舎飼育成終了時(14ヵ月齢)で326kg、放牧育成終了時(20ヵ月齢)で433kg、出荷時で632kgであり、生時から出荷までの全期間を通じた平均日増体量は0.7kgとなっている(表1)。枝肉成績は表1に示すように、枝肉重量と枝肉歩留は平均347kgおよび55%であり、皮下脂肪厚、BMS、胸最長筋面積、BCSはそれぞれ平均2.5cm、1.6、40.8cm²および5.2で、格付としてはB1・B2が大部分を占める。ヘレフォード種は脂肪を皮下に蓄積す

る割合が高い品種特性⁷⁾があり、枝肉の全脂肪量は明らかに少ないが、皮下脂肪厚は必ずしも薄くなっていない。そのことを除いても枝肉重量が小さく脂肪交雑が少ないことから、現状の取引基準では高い評価とはならない。哺育期を除く育成期から出荷までの総飼料消費量を図2に示した。これを枝肉生産1kgあたりに換算すると、放牧草、貯蔵飼料および濃厚飼料の消費量は乾物でそれぞれ5.6、7.2および4.5kg、MEでそれぞれ66、68および69MJであり、MEベースでみるとほぼ1/3ずつとなっている。枝肉生産1kgあたりの濃厚飼料の消費量は約5kgであるが、これは濃厚飼料主体の肉牛生産での消費量⁸⁾に比べ1/3程度である。

このように牧場内の土地で消費飼料の7割以上を賄う粗飼料主体の育成肥育方式は人間の食糧との競合も少ない循環型の生産方式であるが、現在までそれ

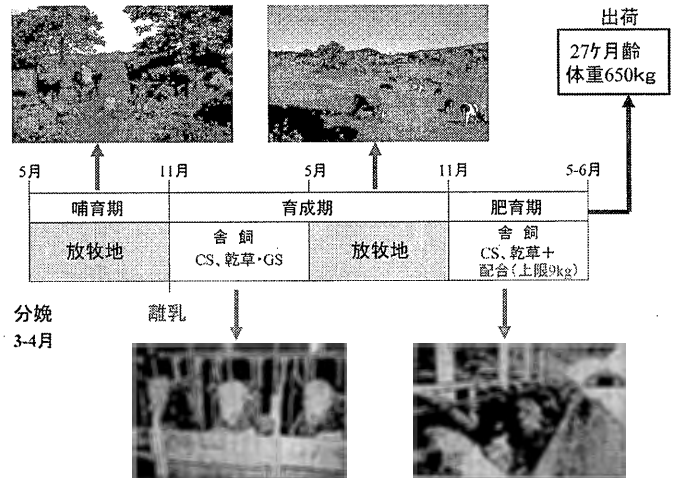


図1. 2シーズン放牧を取り入れた粗飼料主体の肉牛生産方式

表1. 2シーズン放牧方式での増体成績 (kg/日)

	去勢	雌	平均
哺育期	0.84	0.80	0.82
舎飼育成期	0.45	0.55	0.50
放牧育成期	0.69	0.58	0.61
舎飼肥育期	1.06	0.89	0.97
全期間	0.77	0.71	0.74

(秦, 2000)

表2. 2シーズン放牧方式での枝肉成績

	去勢	雌	平均
屠殺月齢	26.3	27.6	27.0
屠殺体重 (kg)	646	621	632
枝肉重量 (kg)	353	342	347
枝肉歩留 (%)	54.7	55.1	54.9
皮下脂肪厚 (cm)	2.1	2.9	2.5
BMS	1.5	1.6	1.6
ロース面積 (cm)	41.8	40.0	40.8
BCS	5.4	5.0	5.2

(秦, 2000)

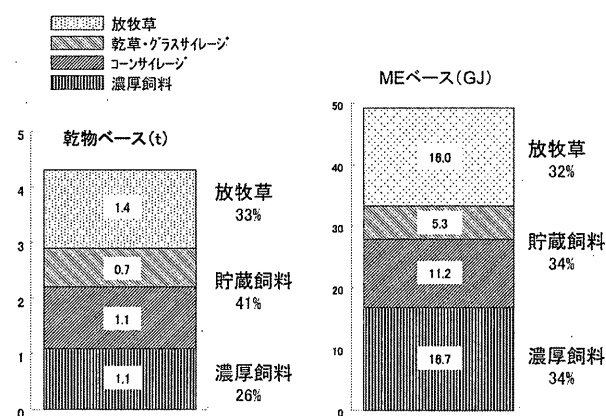


図2 育成・肥育期における飼料消費量 (秦, 2000)

が主要な生産方式になることはなく依然として濃厚飼料主体の生産方式が主流となっている。その理由について、牛肉自由化3年後の1994年に開催された北海道草地研究会シンポジウムの中で池田哲也氏は、1) 放牧地・耕地面積が足りない、2) 市場で求められる肉質が得にくい、3) 飼養期間が長くなる、4) 粗飼料生産は輸入飼料購入に比べてコスト面・労力面・安定性で不利であることを挙げている⁹⁾。

しかし、牛肉自由化から20年が経過した今日、粗飼料主体の生産方式がもつそのような側面が必ずしも不利にはならない状況が生まれつつある。消費者の嗜好が「赤身肉」へ確実にシフトし始めており、料理人の中には柔らかいだけの牛肉よりも成熟した牛のしっかりとした味の肉を求める向きも多い。さらに放棄された草地在山間地を中心に散見される一方で、輸入飼料の価格は上がることはあっても下がる要素は見当たらない。そのような中でとくに日本短角種、褐毛和種など地方特定品種による放牧を取り入れた粗飼料主体での牛肉生産が注目され、赤肉生産や持続的生産の観点から放牧の意義を見直す研究もみられるようになってきた。

放牧飼養した牛の体構成は濃厚飼料で舎飼した牛

とは異なることが認められている。放牧飼養した育成牛の体構成と臓器重量を同体重・同月齢の濃厚飼料主体で舎飼した育成牛と比較した試験成績¹⁰⁾を表3に示した。放牧育成牛は舎飼育成牛に比べて枝肉重量が小さく内臓重量が大きくなり、とくに肺、肝臓、腎臓、第1・2胃、第4胃、小腸が重くなっている。放牧で育成肥育した牛は枝肉中の脂肪割合が少なく赤肉割合が高いことが知られている。放牧牛は一般に増体速度が低く、家畜の増体速度が脂肪蓄積と体組成に影響を及ぼすことから、放牧牛の低い増体が体組成を変化させる1つの要因として考えられる。しかし、増体速度とは別に放牧そのものが体組成に直接的に影響を及ぼしている可能性があり、増体速度の条件を同じにした研究¹⁰⁾でも放牧育成牛は枝肉中の脂肪含量が少なく蛋白質含量が高いことが認められている(表3)。さらにこの試験では放牧育成牛は舎飼育成牛に比べて血中のインスリンとIGF-1濃度が低く成長ホルモン濃度が高いことが認められており、放牧における粗飼料の多量摂取と運動の要因が代謝調節ホルモンを介して摂取エネルギーの体内配分を変化させ、牛の体組成に影響を及ぼす可能性が示されている。

放牧の影響は牛の体組成だけでなく、筋肉や脂肪などの組織レベルの性状にも及ぶことが報告されている。放牧によって牛の骨格筋を構成する筋繊維の

表3. 放牧による育成牛の体構成と代謝調節ホルモンの変化

	放牧区	舎飼区
開始体重 (kg)	159	161
屠殺体重 (kg)	256	259
日増体量 (kg)	0.80	0.79
枝肉重量 (kg)	118 ^a	126 ^b
内臓重量 (kg)	35.8 ^b	31.6 ^a
肝臓	3.9 ^b	3.3 ^a
1・2胃	5.8	4.9
3胃	1.8	1.7
4胃	1.2 ^b	0.9 ^a
小腸	6.0 ^b	5.1 ^a
大腸	3.2	3.3
枝肉の化学組成		
蛋白質 (%)	21.4 ^b	19.2 ^a
脂肪 (%)	6.0 ^a	9.0 ^b
灰分 (%)	5.6	5.5
水分 (%)	67.0	66.3
血漿中代謝調節ホルモン		
成長ホルモン (ng/ml)	8.8 ^b	6.8 ^a
インスリン (μu/ml)	4.7 ^a	10.0 ^b
IGF-1 (ng/ml)	49.6 ^a	67.7 ^b

a,b:P<0.05

(秦, 2005)

タイプやサイズが変化することが認められている¹¹⁾。筋繊維には、型（遅筋・赤色筋）、「A型（速筋・赤色筋）」、「B型筋（速筋・白色筋）」などのタイプがあるが、放牧は、型筋繊維の構成割合を増加させ「型筋繊維の構成割合を低下させる（図3）。しかし、こうした筋繊維型構成割合の変化は放牧育成後に舎飼肥育すると消失する。これは、放牧後の肥育期間での運動量の低下と配合飼料による摂取エネルギーの増大によってエネルギー代謝が嫌氣的に変化して、型筋繊維が減少するためと考えられている。一方、筋繊維の太さも放牧によって増加するが、放牧による筋繊維の肥大は放牧後の舎飼肥育期間を経ても持続することが認められている（図4）。

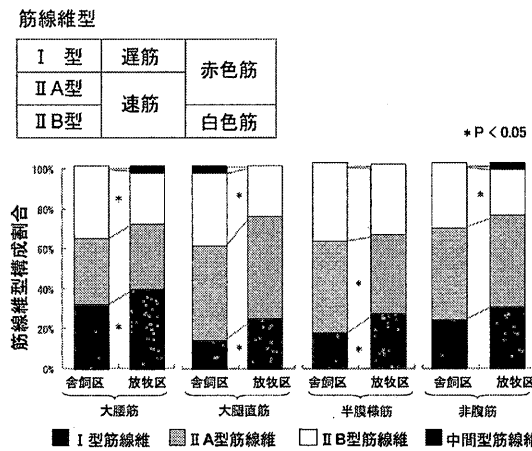


図3. 放牧牛および舎飼牛の後肢筋における筋繊維型構成割合（木戸 2010）

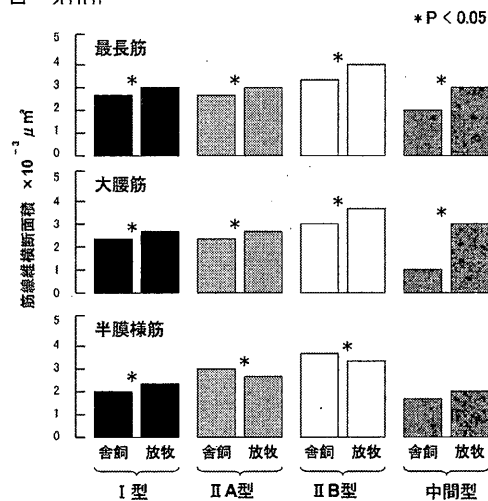


図4. 放牧育成牛および舎飼育成牛の肥育後における筋繊維横断面積（木戸, 2010）

牛肉の食味に関係する牛肉中の遊離アミノ酸含量は慣行牛に比べ放牧牛で高いことが報告¹²⁾されている（表4）。とくに甘みを示すとされるアミノ酸（Thr+Ser+Gln+Gly+Ala+Val）の含有量が高いことから、放牧牛の肉は呈味成分が豊富であると考

えられる。放牧仕上げ牛の肉は慣行肥育した牛の肉に比べて保水性が高くドリップロスが少ないが、肉色については貯蔵期間中のメトミオグロブリンの増加割合が高く変色しやすい特徴がある¹³⁾（図5）。

放牧により牛肉中の人間の健康や病気予防に有効とされる種々の機能性成分の含量が高まることが報告^{12,13)}されている。抗酸化活性による細胞の老化防止作用や免疫調整作用をもつβカロチンやαトコフェノール（ビタミンE）の牛肉中含量は慣行肥育牛よりも放牧牛で高いが、放牧草中にそれらの成分が多量に含まれているためである。食品中の脂肪酸組成は栄養学的にバランスが重要で食事におけるω6/ω3比率を5以下にすることが推奨されているが、牧草にはω3系不飽和脂肪酸であるαリノレン酸が穀物と比較して多く含まれるため、表5に示すように放牧仕上げ牛の体組織のω6/ω3比率は3.3と低く食品栄養学的に好ましい脂肪酸組成となっている。また、ユビキノンはエネルギー産生を担う補酵素でサプリメントとして注目を集めているCoQ10（コエンザイムキューテン）のことであるが、放牧牛は慣行牛と比較して高い含有量を示す（表6）。同様に脂肪酸の体内燃焼に不可欠な物質で体脂肪の燃焼やスタミナ源としての効果が期待されるカルニチン、ヒトの運動機能向上に効果をもつ他に肉料理の「コク」にかかわる成分であるクレアチン、運動時の筋肉疲労を軽減する効果や抗酸化性があるカルノシンについても放牧牛での含有量が高く、これらの成分の増加は放牧における牛の運動に伴う活発なエネルギー代謝に関連するものと考えられている。

表4. 放牧による半棘筋中の遊離アミノ酸含量の変化(mg/100g)

	放牧牛	慣行牛
アスパラギン酸 (Asp)	0.6 ^b	0.2 ^a
スレオニン (Thr)	3.3	3.4
セリン (Ser)	6.8 ^B	3.5 ^A
アスパラギン (Asn)	3.8	4.7
グルタミン酸 (Glu)	6.0 ^A	9.5 ^B
グルタミン (Gln)	125.4 ^b	92.3 ^a
グリシン (Gly)	6.9	6.0
アラニン (Ala)	54.3 ^B	33.8 ^A
バリン (Val)	3.1	3.6
メチオニン (Met)	0.9 ^b	0.6 ^a
イソロイシン (Ile)	2.4	2.6
ロイシン (Leu)	3.8	4.3
チロシン (Tyr)	2.2	2.1
フェニルアラニン (Phe)	2.2	2.2
βアラニン (β-Ala)	1.3 ^B	1.0 ^A
リジン (Lys)	4.9 ^a	7.1 ^b
ヒスチジン (His)	2.8	2.8
アルギニン (Arg)	6.8	6.7

A,B:P<0.01, ab:P<0.05

(常石ら, 2006)

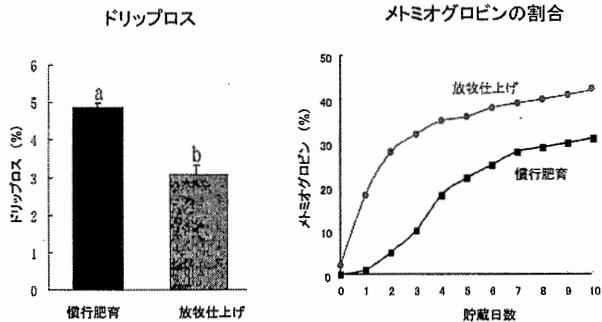


図5.放牧仕上げにおける保水性と肉色の変化(Muramoto et al. 2005)

表5. 放牧による抗酸化ビタミンと脂肪酸組成の変化

	放牧仕上げ	慣行肥育
抗酸化ビタミン		
ビタミンE (μg/g)	7.0 ^b	2.5 ^a
β-カロテン(μg/g)	0.24 ^b	0.07 ^a
脂肪酸組成		
飽和脂肪酸 (%)	42.2	43.9
一価不飽和脂肪酸 (%)	38.9 ^a	45.7 ^b
多価不飽和脂肪酸 (%)	15.2 ^b	5.7 ^a
ω6/ω3比	3.3 ^a	6.6 ^b

ω6: リノール酸+エイコサジエン酸+エイコサトレン酸+アラキドン酸+アドレン酸
 ω3: αリルン酸+エイコサペンタエン酸+ドコサヘンタエン酸+ドコサヘキサエン酸
 a,b: P<0.05 (Muramoto et al., 2005)

表6. 放牧による半棘筋中の各種機能性成分含量の変化(mg/100g)

	放牧牛	慣行牛
ユビキノン	3.0 ^b	2.5 ^a
カルニチン	164.7 ^b	131.1 ^a
クレアチン	376.9 ^b	313.7 ^a
カルノシン	301.2 ^B	203.2 ^A
アンセリン	6.8	6.7
タウリン	12.9 ^a	35.6 ^b

A,B:P<0.01, ab:P<0.05 (常石ら, 2006)

一方、輸入飼料に依存しない自給飼料主体の土地利用型牛肉生産は環境への負荷が少ない持続的生産方式とみなすことができるが、そのような生産方式においても特有の環境負荷があることが物質循環を検討した研究^{14,15)}で指摘されている。土地利用型牛肉生産では系外から飼料として持ち込まれる窒素は少ない反面、牧草や飼料作物を生産するために化学肥料・糞尿として投入される窒素が多くなる特徴がある。土地利用形態別の窒素収支を比較すると、放牧草地は採草地やコーン畑に比べ化学肥料や堆肥として投入される窒素は少ないものの、牛が食草として摂取した窒素の大部分がそのまま排泄物窒素として土地に還元されるため、余剰窒素はむしろ採草地やとうもろこし畑よりも多くなる傾向がある(図6)。放牧草地での土壌養分の過剰蓄積を回避するため、2010年の北海道施肥ガイド¹⁶⁾の改訂では放牧草地に

おける施肥標準量の見直しが図られ、Nは6~15kg/10aから2~6kg/10aへ、P2O5は8kg/10aから3~5kg/10aへ、K2Oは8~12kg/10aから4~6kg/10aへと大幅な低減がなされている(図7)。

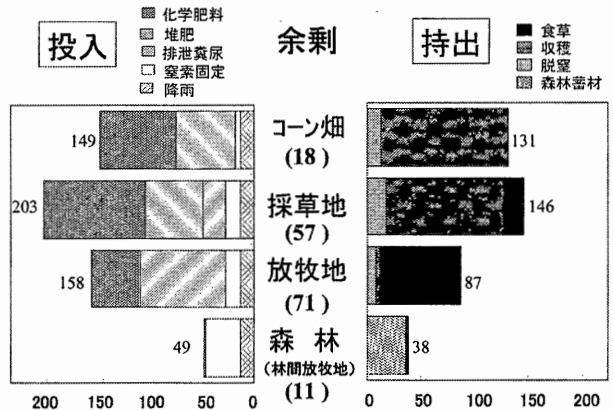


図6. 土地利用形態別の窒素収支 (kg N/ha) (秦ら, 2001)

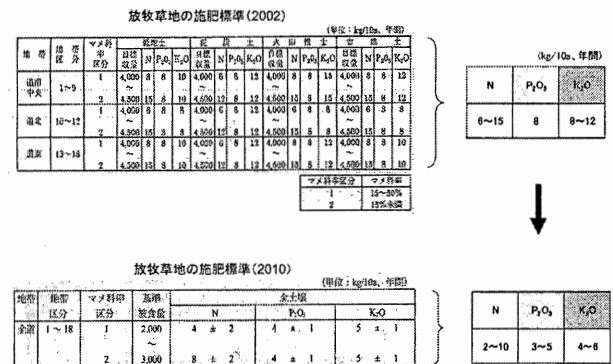


図7. 放牧草地における施肥標準の見直し (北海道施肥ガイド, 2010)

土地利用型生産では、放牧地に排泄される糞尿や飼料生産に用いられる化学肥料に由来する窒素成分が河川へ流出する危険性を孕んでいる。肉牛150頭・馬100頭を約150haの敷地で土地利用型の生産方式で飼育している北大農場での調査例¹⁵⁾をみると、牧場内を流れる河川の年間平均全窒素濃度は牧場の入り口で0.45mg/l、出口で1.60mg/lと牧場内を通過する間に明らかに濃度が上昇しており、牧場内から年間18.4 tの窒素が河川を通じて流出している。河川からの窒素流出は通常平水時にはごく僅かで、大部分は融雪期と年数回の大雨水時に引き起こされている(図8)。河川から流出した窒素を成分別にみると有機態窒素が73%と最も多く、硝酸態窒素が24%、アンモニア態窒素が3%であり、降雨時に河川へ流出した窒素成分の発生源を調べると有機態窒素の一部とアンモニア態窒素の大部分は放牧草地の表面

流去水に由来するものが多く、硝酸態窒素はコーン畑からの暗渠水に由来するものが最も多い傾向がみられる(図9)。

そのような河川への窒素流出を軽減する上で河畔林は有効な手段となる。河畔域は陸域と水域の移行帯で2つの境界面を持っており、農地との境界では農地から物質の流入があり、河川との境界では浅層地下水から河川水への流入が起こっているが、河畔林の存在は地下水中の硝酸態窒素を河畔植生による吸収や土壤微生物による脱窒によって除去する作用を促進する(図10)。土壤中の微生物による硝酸除去能は図11に示すように地下水面が高く湿潤で嫌気状態になり易い場所で高く、河畔林における窒素除機能には水の貯留を促す地形構造が落葉や下層植生のリター(枯死物)などの有機物を土壤に供給する植生の存在とともに大きく関与していると考えられている¹⁷⁾。

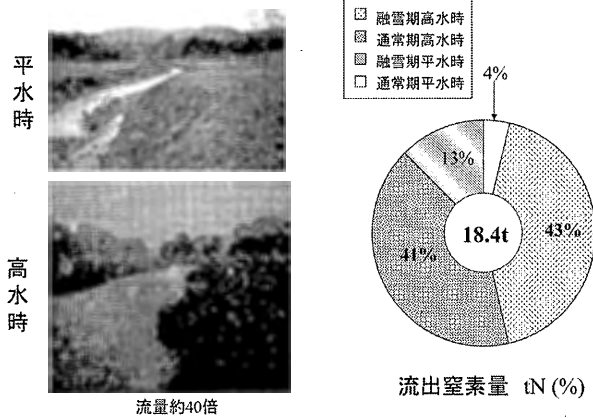


図8. 河川からの時期別の窒素流出特性 (秦ら, 2002)

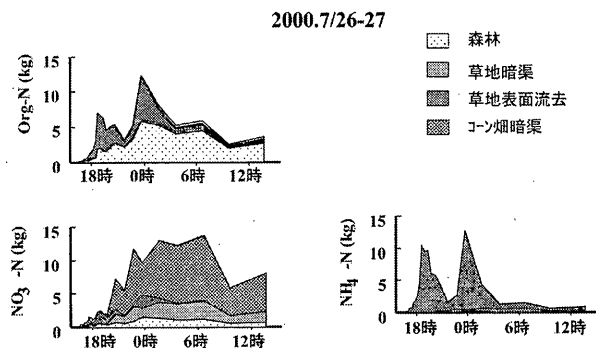


図9. 降雨時における河川流出窒素成分の由来 (秦ら, 2002)

図8河川からの窒素流出特性

図9河川へ流出した窒素成分の発生源

図10河畔域の構造と窒素循環

図11土壤微生物による窒素除去能

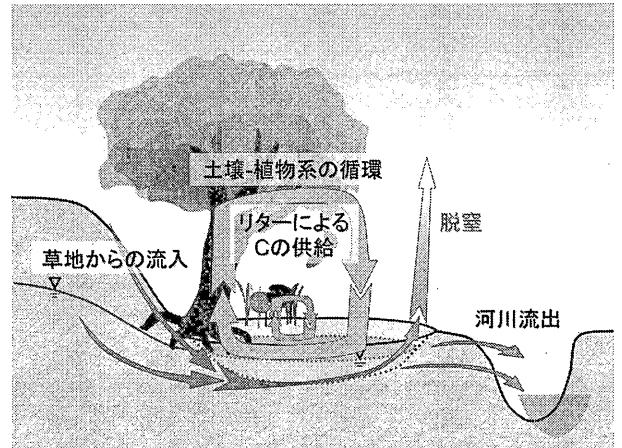


図10. 河畔域の構造と窒素動態 (竹本, 2005)

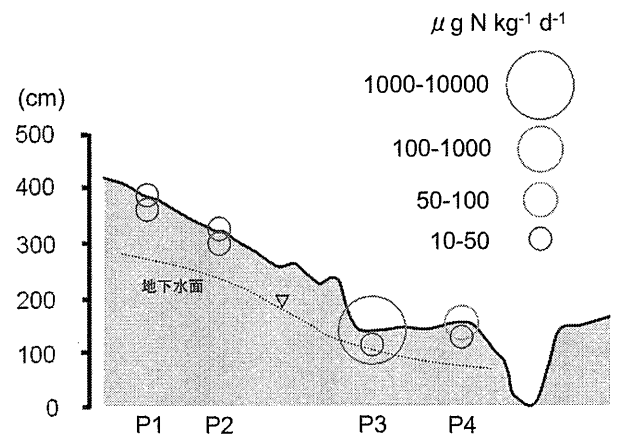


図11. 土壤中の微生物による硝酸除去能の地点変動 (竹本, 2005)

放牧を取り入れた土地利用型の生産方式は赤肉生産に適し、わが国の自給率向上に貢献する環境負荷の少ない持続的な生産方式であるが、「霜降り」に基準を置いた現状の市場取引では生産された牛肉の評価が低いことが最大のネックになっている。こうした牛肉生産が広がるためには生産者・流通業者・消費者がその意義や価値を十分に認識するための取り組みと再生産可能な価格でそのような牛肉が流通するための仕組みづくりが不可欠の課題である。「草からの牛肉生産の研究」について、フードシステム全体を見渡した上で現状の取引基準にとらわれずに粗飼料主体での牛肉生産の意義や特性を積極的に生かして付加価値を高めていく方向性で幅広く考えていく必要があるだろう。

参考文献

- 1) 小竹森訓央, 牧草を主体とした乳用種去勢牛の育成・肥育に関する研究, 北大農学部附属牧場研究報告, 第8号, 1-83 (1977)
- 2) 小竹森訓央, 牧草多給方式による牛肉生産と課題,

- 北大農学部附属牧場研究報告、第17号、3-27. (2000)
- 3) 手島道明・榎山忠士・高橋俊、ホルスタイン種去勢牛の1シーズン及び2シーズン放牧を取り入れた肉牛生産方式、北農試研報、143号、157-188. (1985)
- 4) 蔦野 保、ホールクロップサイレージ利用による仕上げ肥育、乳用おす子牛による肉生産の手引き (北海道農業試験場編)、117-129. (1980)
- 5) 清水良彦、ローコスト牛肉生産を目指す地域的飼養技術体系の特徴と問題点、草地試験場昭和57年度問題別検討会資料、1-14. (1982)
- 6) 秦 寛、粗飼料主体牛肉生産の栄養生理的側面、北大農学部附属牧場研究報告、第17号、29-38. (2000)
- 7) 善林明治、ビーフプロダクション、P18-82. 養賢堂. 東京.1994.
- 8) ホクレン、北海道における乳用去勢肉牛の生産技術と経営、ホクレン.札幌. 1986.
- 9) 池田哲也、自由化に対応した土地利用型牛肉生産の技術展望～粗飼料主体による育成、肥育技術～、北草研報29: 23-27. (1995)
- 10) Hata,H., Tomioka,T., Tanaka,K., Matsunaga,N. and Hidari,H. Effects of grazing on deposition of chemical body components, energy retention, and plasma hormones in steers, *Animal Science Journal*, 76:225-236.(2005)
- 11) 木戸恭子、黒毛和種牛の骨格筋繊維動態に及ぼす放牧の影響、栄養生理研究会報、54巻、39-56. (2010)
- 12) 常石英作・中西雄二・平野清・小路敦・松崎正敏・神谷充・折戸秀樹、放牧牛の半棘筋における機能性成分と遊離アミノ酸の含有量、西日本畜産学会報、49、103-105. (2006)
- 13) Muramoto,T., Higashiyama,M. and T.Kondo, Effect of pasture finishing on beef quality of Japanese shorthorn steers, *Asian-Sust. J. Anim. Sci.*, 18:420-426.(2005)
- 14) 秦 寛・早川 敦・高橋米太・波多野隆介・倉持寛太、森林-草地-耕地生態系を利用した家畜生産における窒素循環、日本草地学会誌、47巻 (別)、16-17. (2001)
- 15) 秦 寛・埜友之・波多野隆介・早川 敦・片柳薫子・鈴木文彦・倉持寛太、土地利用型家畜生産における環境負荷の実態把握、日本家畜管理学会誌、38巻、80-81. (2002)
- 16) 北海道施肥ガイド(2010)
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/hokkaido01.html
- 17) 竹本麻里子、農地に隣接した河畔生態系における窒素動態、北大農学研究科修士論文 (2005)