

天北地方鈹質土草地の有機物並びに窒素動態とそれに基づく窒素施肥管理

三木直倫

Effective Application Methods of Nitrogen Fertilizer to Cutting Sward Based on Evaluation of Soil Nitrogen Release in Heavy Clayey Soil in Tenpoku District

Naomichi MIKI

昭和50年代の天北地方の草地面積は外延的規模拡大で増大してきたが、その生産性は生草収量で2.8~3.3t/10aと停滞したままであった。この停滞の理由は造成または更新草地の年次経過に伴う牧草収量の低下が大きく関与しており、単位草地当たりの収量低下と草地面積の拡大は農作業機の利用効率の低下と生産コストの増大をもたらしていた。この問題を解決するためには、造成または更新草地の牧草生産力を高めるとともに、造成後の年次経過に伴う生産力の低下をいかに回避し、かつ草地の利用年限を延長することが不可欠であった。そこで、草地の経年化過程での有機物並びに土壌窒素供給の変化と牧草収量の関係を気象変動などの要因と関連づけて検討し、土壌から放出される窒素評価に基づく効率的な窒素施肥管理法を提案した。本試験は天北農試土壌肥料科で1977~'92年の長きにわたって実施したものであり、この間多くの方々のご指導、ご助言、ご協力を頂きました。皆様に心より感謝いたします。また、本研究会賞受賞の推薦、決定を頂きました諸先輩、草地研究会員の皆様に厚くお礼申し上げます。

1. 採草地牧草収量の経年変化と土壌の窒素収支

草地の年間合計収量は更新造成2年目が必ず高いものの、植生及び土壌の理化学性が良好に維持された条件下で窒素施肥量が施肥標準量 (N180kg/ha⁻¹条件) では3年目以降草地の収量はほぼ一定であった。しかし、窒素施肥量が少ない条件 (N120kg/ha⁻¹施用条件) では、造成3年目草地に比し造成6、7年目以降の草地で1番草収量が、また年間合計収量でも造成10年目程度から低下する (図1)。造成6、7年目以降草地の年間合計収量の低下は施肥窒素利用率の低下に起因し、土壌からの窒素吸収量は必ずしも減少しなかった (表1)。しかし、1

番草時では施肥窒素利用率と土壌からの窒素吸収量が劣るため低収となり、2、3番草時では施肥窒素利用率が劣るものの、土壌からの窒素吸収量が多いため収量は必ずしも低くはない¹⁾。施肥窒素利用率が経過年数の多い草地で低い理由は、蓄積有機物による施肥窒素の有機化量が多いことと、低温時ではその再無機化が遅れるためであった。さらに、土壌からの窒素吸収量は毎年草地表面に還元される牧草遺体とその蓄積有機物の分解が温度に律速され、地温の高い2、3番草時に旺盛になるためであった²⁾。

一方、0~15cm土層の全窒素量 (表中F) は造成後一端減少するものの、表層に蓄積する粗大有機物が保有する全窒素量が増加するため造成後7、8年目 (180kgN

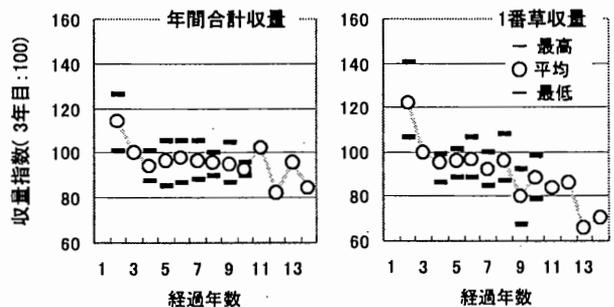


図1. 草地の経年化に伴う収量変化 (肥料窒素120kgNha⁻¹・年)

表1. 年間合計の収量と窒素吸収構成 (肥料120kgNha⁻¹・年条件)

	草地の経過年数				
	2	3	4	5	9年目
収量 (t/ha)	8.22 ^a	6.62 ^b	6.08 ^c	6.99 ^b	5.75 ^c
N吸収量 (kg/ha)	147	123	122	141	118
肥料N* (kg/ha)	59 ^a	54 ^b	50 ^c	49 ^c	44 ^d
土壌N (kg/ha)	88	69	72	92	74
肥料N利用率 (%)	49.2	45.0	41.7	40.8	37.0
土壌N/N吸収量 (%)	59.9	56.1	59.0	65.2	62.7

*硫酸アンモニウム由来。a, b, c, d: 異文字間に5%水準で有意差あり。

ha⁻¹施用条件)ないし10年目程度(120kgNha⁻¹施用条件)で造成時の水準に回復した。また、表層に蓄積した粗大有機物(2mm以上画分)と0~15cm土層の全窒素量の差(表中G)及び牧草による土壌からの窒素持ち出し量(表中D)から概算した行方不明量は20~40kgNha⁻¹、窒素施肥量の3~13%、平均6%程度であり(表2)、草地での牧草-土壌全体の窒素収支はほぼバランスしていた(表2)。

一方、0~5cm土層の易分解性土壌窒素量は造成後の経過年次の増加に伴い増加し、5~15cm土層のそれは造成後漸減するが、0~15cm土層全体のそれは造成1、2年目が高いものの、3年目以降はほぼ一定であった(図2)。この土壌窒素供給の主要土層が表層に偏ることが草地の生産性を規制する要因として大きく関与する。

表2. 経年草地の肥料・土壌窒素収支(kgNha⁻¹)

	草地の経過年数					12年目
	2	4	6	8	10	
A. 肥料N施肥総量	120	360	600	840	1,080	1,320
B. 牧草N吸収総量	135	369	600	821	1,043	1,259
株・根N保持量*	6	12	16	19	21	23
合計(C)	141	381	616	840	1,064	1,282
B/A×100**	113	103	100	98	97	95
D. 土壌N持出し量(C/A)	21	21	16	0	-16	-38
E. 粗大有機物N*	29	48	60	68	75	80
F. 0~15cm土壌N増減量*	-66	-57	-115	-103	-44	-83
G. 土壌N増減量(E+F)	-37	-9	-55	-35	31	-3
行方不明(G-D)	-16	12	-39	-35	15	-41

*造成当年との差から算出した。*見かけ上の肥料窒素利用率(%)

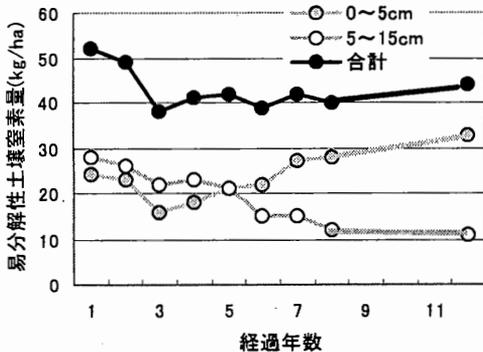


図2. 草地の経年化に伴う易分解性土壌窒素量の土層間変化(コアサンプルの生土培養による)

2. 草地の収量規制要因とその改善

草地表層の酸性化は施肥窒素利用率の低下と土壌からの窒素吸収量の減少によって牧草収量の低下を引き起こす。草地表層の土壌窒素放出能を規制しない土壌pH(水)は5.5付近以上であり、草地の有機物循環を適正に維持し、収量低下を避けるためには表層土壌のpH環境を5.5以上に維持する必要があると結論づけた(図3)。表層土壌のpHが5.5以下に低下した草地には炭カルの秋施用を実施することが肝要である。

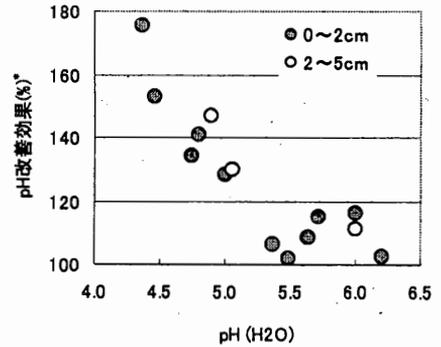


図3. 表層土壌の窒素無機化能に及ぼすpH改善効果(*飽和Ca(OH)₂法/0.01M CaCl₂法×100)

一方、蓄積有機物の分解は7~8月の積算降水量の多少に強く依存し、牧草生育期間の降水量が少ない年次では、前年の窒素蓄積量より増加し、逆に降水量が多い条件では前年の蓄積量より明らかに減少する。この傾向は造成後の経過年数の多い草地で顕著であった(図4)。一方、2、3番草の収量は、降水量の年次変動による蓄積窒素量の増減に良く反応していた。すなわち、7~8月の降水量が150mm程度(2.5mm/日程度)では造成後の経過年数が7、8年目以上の草地が3、4年目草地の90~95%とやや劣るものの、250mm程度(4mm/日前後)では蓄積した有機物の分解が促進されるため、7、8年目以上の草地が3、4年目草地に対し110~120%の収量指数を示す。さらに秋期に放出された土壌窒素が「秋施肥」的效果を発揮し、翌1番草収量にまでも影響する(図5)。これらの結果から、造成後の経過年数の多い草地に対する具体的な施肥対応を以下に示した。

- ①造成後の経過年数の多い草地は1番草収量が低下するので、早春窒素施肥量の増肥(20kgNha⁻¹)または秋施肥等の管理が重要である。また、堆肥の表面施用も有効である。
- ②牧草生育期間の降水量が不足した翌年の1番草収量は低収となるので、秋施肥の実施または早春窒素施肥量の増肥(20~40kgNha⁻¹)が必要である。

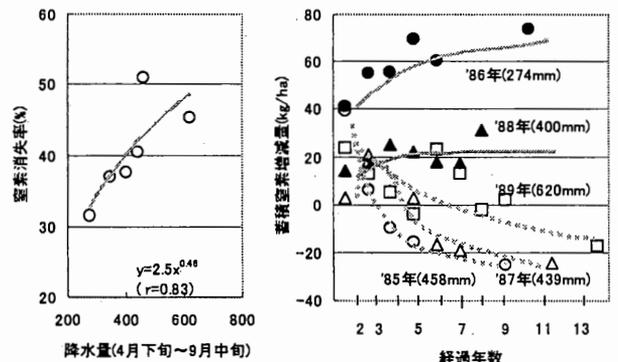


図4. 降水量の年次変動に伴う蓄積有機物含有窒素の消失率、窒素蓄積量*の変化(*同一草地における前年蓄積量との差)

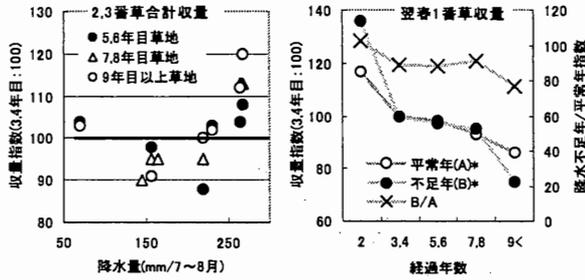


図5. 夏期降水量の変動に伴う経年草地の収量反応
 (* 牧草生育期間の降水量～便宜的に平常年：400mm以上、不足年：400mm以下に区分)

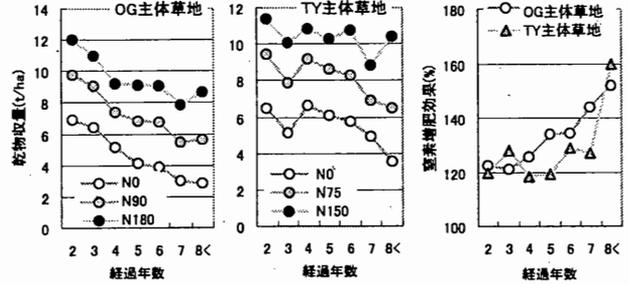


図6. 一般農家草地の造成後の経過年数と収量の関係 (1987～'89年)

3. 土壌からの窒素吸収量を評価した窒素施肥管理

一般農家草地の牧草収量は造成後の経過年数の増大とともに低下するが、この傾向は窒素施肥量の少ない条件でより顕著であり、窒素施肥量が施肥標準量条件では、オーチャードグラス主体草地で造成4年目以降の、また、チモシー草地で造成3年目以降草地の収量低下が明らかに小さかった。このため、窒素施肥量の増肥効果(OG主体草地でN180/N90またはTY主体草地でN150/N75)は造成後の経過年数の増加に伴って顕著に高まった(図6)。これら一般農家草地の造成後の経過年数と収量傾向の関係は、土壌からの窒素吸収量が造成4、5年目まで急速に減少することを物語っており、土壌からの窒素供給量を適正に評価することの重要性が認識される。

した有機物の急速な分解による窒素放出、②基肥または維持管理段階の表面に施用された堆きゅう肥からの窒素放出、③混播マメ科牧草からの移譲窒素、④草地表面に蓄積する有機物の分解に由来する窒素放出、に大別される。これら供給源別に供給量を規制する要因、変化様式、類型区分とそれぞれのパラメータを求めた(表3)。すなわち、①および②からの窒素放出は更新または施用後の年次経過に伴って急速に減少し、また、①は更新対象草地の利用形態と利用年数に、②は土壌によって、③はマメ科牧草混生率によって、それぞれ供給される窒素量が異なる。

表3で示した窒素供給源別のパラメータを当てはめた予測値と堆肥施用草地の窒素吸収量を比較し、モデルの検証を行った。その結果、窒素吸収量の経年的な変化と予測値のそれとの関係はほぼ一致していた。しかし、降

土壌から供給される窒素は、①更新草地の表層に蓄積

表3. 供給源別の土壌からの窒素供給量の規制要因とその年次変化に関するパラメータ

供給源区分	規制要因	変化様式	類型区分	パラメータ
1. 草地更新時 土壌窒素由来 (kg/ha)	利用形態> 前植生> 立地土壌	経年変化	①放牧地-地下茎型草種優占 -褐色森林土型	1年目 Ns=70 2年目 90~ 3年目 70~ ~100kg 110kg 90kg
			②放牧地-地下茎型草種優占 -疑似グライ土、低地土型	Ns=60 90~ 70~ ~70kg 160kg 140kg
			③採草地-叢生型草種優占-褐色 森林土、疑似グライ土、低地土型	Ns=30 40~ 30~ ~50kg 70kg 70kg
2. 施用堆肥由来 (kg/現物t)	施用法式> 立地土壌、 地域	経年変化	1. 施用法式 ①基肥施用 ②表面連年施用 ③表面単年施用	褐色森林土 ①Ns=8(1-0.99e ^{-0.06t}) ②Ns=8(1-0.88e ^{-0.05t}) ③Ns=8(1-0.91e ^{-0.05t})
			2. 立地土壌(有効水分容量別) ①大: Y=0.82e ^{-0.42t} ②中: Y=0.89e ^{-0.34t} t:時間(年) ③小: Y=0.91e ^{-0.18t} 埋設試験条件	疑似グライ土 ①Ns=8(1-0.97e ^{-0.03t}) ②Ns=8(1-0.91e ^{-0.03t}) ③Ns=8(1-0.93e ^{-0.03t})
3. 混播マメ科草 移譲窒素 (kg/ha)	混播マメ科 草種>マメ 科草混生率	年次変化	ラジノクロバ混播条件	造成2年目: Ns=1.3lnX-3.0 造成3年目: Ns=2.1lnX-3.5 X=前年マメ科草混生率(%)
4. 草地系内 有機物由来 (kg/ha)	土壌pH≥ 降水量 (前年・当年) ≥収量	経年変化 年次変化	窒素残存率: Y=0.86e ^{-0.07t} ...① t:経過年数-1, t≥2	降水量平常年(500mm以上) Ns=A(1-0.86e ^{-0.07t})
			窒素消失率律速因子: F(Nd)=2.5Pre ^{0.46} ...② Pr:降水量(mm/4・下~9・中)	降水量不足年(400mm以下) Ns=0.8A(1-0.86e ^{-0.07t}) 但し、0.8は②式より算出、 A:還元有機物由来窒素(kgNha ⁻¹)

水量の年次変動に伴う実測値と予測値にはかなり大きな違いが認められた。そこで、草地系内で循環する有機物窒素の消失率と降水量の関係式から律速係数を用いて予測値の補正值を求め、窒素吸収量の実測値と比較した(図7)。降水量の多寡による有機物分解律速係数を用いた補正值と実測値は堆肥基肥及び表面分施肥条件で得られた窒素吸収量の実測値の年次変動を良く表現していた。

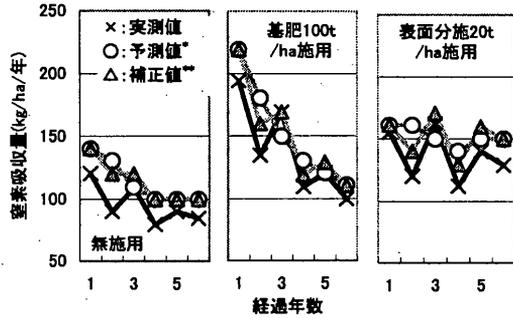


図7. 堆肥施用草地における給源別窒素の積算値(予測値)と吸収量(実測値)の関係(褐色森林土)
 * 予測値:「更新時の土壌+堆肥+肥料(100kgN/ha/年)合計値」
 ** 補正值:「更新時の土壌×0.8+堆肥+肥料(100kg/ha/年)合計値。但し0.8は降水不足年の有機物窒素消失抑制係数」

次に、一般農家草地で得られた窒素吸収量と供給源別窒素供給量の積算値(予測値)の関係を検討した。イネ科主体草地の窒素供給源は草地更新時の土壌由来、基肥として施用された堆肥及び肥料で、草地の管理来歴は農家の聴き取り情報を基にした。なお、造成4年目における更新時の土壌からの供給量は表3の類型区分③のパラメータの経年変化から推定して、一律20kgNha⁻¹を加算した。その結果、オーチャードグラスの窒素吸収量(実測値)は予測値とほぼ1:1の関係を示し(図8)、予測方法がほぼ妥当であることを示した。

同様に、イネ・マメ混播草地におけるイネ科牧草の窒素吸収量及びマメ科牧草の混生率(実測値)と供給源別窒素の積算値(予測値:「更新時土壌+堆肥+肥料+マ

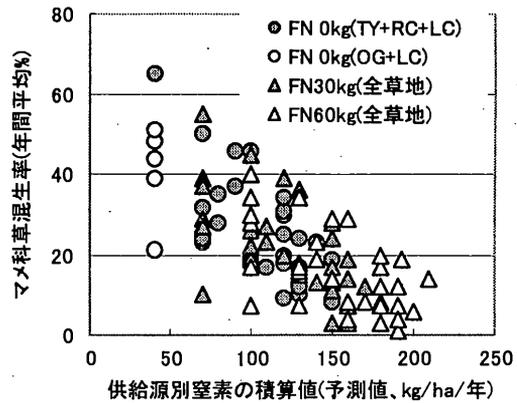
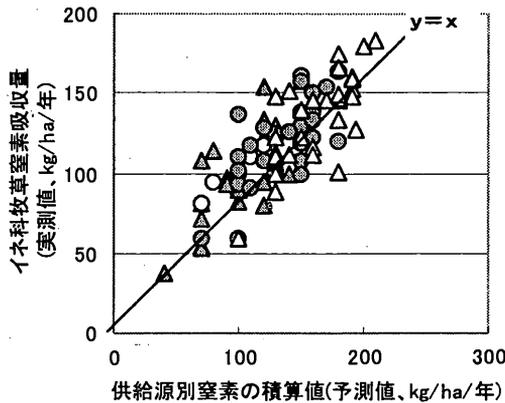


図9. 混播草地における供給源別窒素の積算値*(予測値)とイネ科草の窒素吸収量、マメ科草の混生率の関係(*「更新時の土壌+堆肥+肥料+マメ科草の移譲量」合計値、ただし、マメ科草の移譲量は造成2年目:20kgNha⁻¹・年、3年目以降:40kgNha⁻¹・年の固定値を用いた)

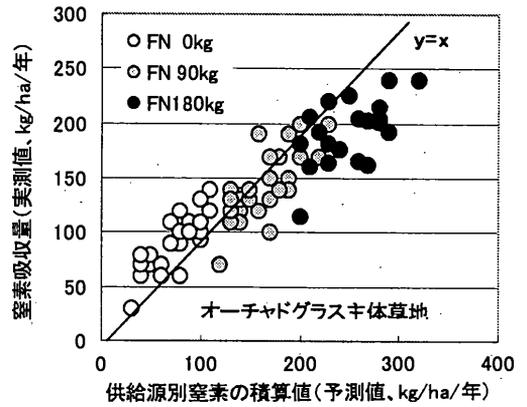


図8. イネ科主体草地における供給源別窒素の積算値*(予測値)と窒素吸収量(実測値)の関係(*「更新時の土壌+堆肥+肥料」合計値)

メ科草の移譲窒素」合計値)の関係を図9に示した。イネ科牧草の窒素吸収量は予測値とほぼ1:1の関係にあったが、イネ科牧草主体草地での事例(図8)よりはバラツキが大きかった。これは、マメ科牧草の窒素移譲量の規制要因がマメ科草混生率であることを無視し、造成2年目で20kgNha⁻¹・年、3年目以降で40kgNha⁻¹・年の固定値を用いたためであろう。それよりも重要なことは、予測値が増大するほど実測されたマメ科草の混生率が低下し、天北地方鈹質土草地における混播マメ科草(ここでは主にラジノクローバを対象とした)の混生率を適正(概ね20%)に維持するためには混播相手であるイネ科牧草の生育量を制限する必要がある、そのためのイネ科牧草の窒素吸収量を100~120kgNha⁻¹程度とすることが重要であった。

4. まとめ

以上の一連の試験から、造成2~5年目のイネ科牧草主体草地およびイネ科・マメ科牧草混播草地に対する効果的窒素施肥管理を以下のように提案した(表4)。

なお、6, 7年目以降のイネ科牧草主体草地に対する

表 4. 草地の供給源別窒素吸収量¹⁾の積算による肥料窒素必要量の算出 (造成 2 ~ 5 年目草地)

草地の種類	目標収量 (DM $\text{tha}^{-1}\cdot\text{年}$)	吸収窒素量 ²⁾ ($\text{kgNha}^{-1}\cdot\text{年}$)	肥料窒素必要量 ³⁾ ($\text{kgNha}^{-1}\cdot\text{年}$)
イネ科牧草 主体草地	7 9	120 (100) 180 (150)	$\text{FN} = 120(100) - (\text{NS}_1 + \text{NS}_2 + (\text{NS}_3))$ $\text{FN} = 200(170) - (\text{NS}_1 + \text{NS}_2 + (\text{NS}_3))$
イネ科・マメ科 牧草混播草地	6 ~8	100 ~200	$\text{FN}_1 = 100 - ((\text{NS}_1 + \text{NS}_2 + (\text{NS}_3) + \text{NS}_4)$ $\text{FN}_2 = 100 - ((\text{NS}_1 + \text{NS}_2 + (\text{NS}_3) + \text{NS}_4)$

- 1) NS_1 : 更新時土壌窒素、 NS_2 : 基肥施用由来窒素、 NS_3 : 維持管理段階での表面施用堆肥由来窒素、 NS_4 : 混播マメ科牧草 (ラジノクローバ) 移譲窒素
 2) イネ科牧草主体の吸収窒素量はオーチャードグラス主体を、また () はチモシー主体草地を示す。イネ科・マメ科牧草混播草地の窒素吸収量はマメ科牧草混生率30%前後を維持するためのイネ科牧草吸収窒素量を示す。
 3) イネ科牧草主体草地は2)に同じ。イネ科・マメ科牧草混播草地は FN_1 : 造成 2 年目、 FN_2 : 造成 3 年目を示す。

施肥対応は、牧草生育期間の降水量が不足した条件 (概ね400mm以下) で、秋施肥の実施または翌早春の窒素施肥量を20~40 kgNha^{-1} 程度増肥する。

参考文献

1) 三木直倫 (1993): 寒冷地における草地土壌の有機物

並びに窒素の経年的動態とそれに基づく窒素施肥管理法に関する研究. 北海道立農業試験場報告. 79, 1-98.

2) Naomichi MIKI (1996): Soil and Fertilizer Nitrogen Dynamics and Grass Yield Changes of meadows in Cool-Temperate Japan. JARQ. 29, 117-124.

北海道畜産学会・北海道草地研究会・北海道家畜管理研究会 共催
公開シンポジウム 「21世紀の北海道畜産・草地の展望」

日時：2001年9月3日(月) 13:00~17:30
場所：北海道大学学術交流会館 大講堂

共催シンポジウム実行委員長：大久保 正彦(北海道大学)

座長：左 久 (帯広畜産大学)
鮫島 邦彦 (酪農学園大学)

講演

1. はばたく北海道畜産、その現状と未来
北海道立畜産試験場 場長 田村 千秋
2. 畜産の先端技術がひらく新たな展望
北海道立畜産試験場 受精卵移植科長 南橋 昭
3. 北海道の草地の歴史と持続的発展へのシナリオ
酪農学園大学 酪農学部 教授 松中 照夫
4. これからの牛乳・乳製品と私達の健康
北海道大学大学院 農学研究科 教授 島崎 敬一

講演に対するコメント
総合討論

シンポジウム「21世紀の北海道畜産・草地の展望」にあたって

北海道は、この100年を通じてわが国有数の農業・畜産地帯へと発展し、新たな世紀においても、日本の食料生産基地としての役割を期待されている。広々とした草地、ゆったりと草をはむ牛、それは北海道をあらわす一つのイメージでもある。

こうした発展のかけには、多くの先人達の、まさに血のにじむような努力があったことを忘れてはならない。未開の大地を切り開き、厳しい寒さと闘い、豊かな耕地・草地をつくりあげ、それを基盤とした畜産の生産システム、加工流通システムを確立したのである。生産者、技術者、行政関係者、研究者などが力をあわせ、畜産王国北海道を実現させたのである。20世紀はそのような世紀であった。

しかし、21世紀をむかえた今、北海道の農業・畜産についても、手放しでは喜べない事態が生じている。食料自給率の低下、農家戸数の減少、環境問題の深刻化などが、北海道の農

業・畜産にも様々な影響を及ぼしてきている。

21世紀に北海道は本当に日本の食料基地たり得るのであろうか。生産者をはじめ、農業・畜産にたずさわる人々に輝かしい未来があるのだろうか。本シンポジウムは、新しい世紀のスタートにあたって、北海道の畜産・草地のたどってきた100年を振り返りつつ、新たな100年を展望しようと企画されたものである。北海道畜産学会、北海道草地研究会、北海道家畜管理研究会による初めての共催シンポジウムであり、幅広い各分野の専門家からの話題提供をもとに、生産者、消費者もふくめた実り多い論議が展開されることを期待している。

2001年9月
北海道畜産学会・北海道草地研究会・北海道家畜管理研究会共催シンポジウム 実行委員長
大久保 正彦