

評価結果及び指摘に対する回答

3人の評価者による評価結果および指摘事項等に対する回答を以下に示します。

1) テーマ全体について

本研究プログラム「日本の畜産における飼料自給率向上に向けた技術開発研究」は「国産飼料資源の開発」、「日本型放牧技術の開発」及び「環境に配慮した家畜の精密栄養管理及び排せつ物管理技術の開発」の3部から構成されており、多くの優秀な研究者が最新技術を用いて熱心に研究に取り組んでいることがよく分かった。

遺伝学の発展により植物と動物の両方で常に生産性の高い品種が育成されており、家畜生産効率の向上割合は年1%と推定されている。飼料作物育種の課題では、良い研究成果が得られており、プログラム全体の目標達成に向けて重要な貢献をしているが、a)目標達成のためには、この分野の研究者を増やす必要があるだろう。また、地域特性に合わせた放牧及びサイレージ、飼料作物の組合せに関する研究は重要であり、管理技術の継続的な改善につながる。

微生物叢の研究では、家畜の健康や生産を支えるメカニズムの理解が進んでおり、重要な要因として特定される、あるいは排除されるところまで来ている。これらの研究成果は、農業や畜産を営む上で必須である廃棄物、排せつ物の管理技術にも応用できるであろう。現在では、実験中にどのような微生物が存在するかどうかだけでなく、それらがどのようなことを行っているかつ機能を明らかにすることができる。いくつかの研究課題ではこのような種類の分析法を取り入れることによりさらに前進が見込めるだろう。

b)全般的に見て、牧草の新品種やサイレージの調製技術、排せつ物管理法や、センサーあるいはITを用いた解析法といった技術や方法は海外でも使うことができ、より国際的な影響を持てるであろう。また、本プログラムは良く統一されており、課題間で重複が予想される場合は、共同で研究を進めている。

本プログラムでは多数の成果が公表されており、今後も堅実に続けられるだろう。これは称賛すべきことであり、影響力を持つことにつながる。c)いくつかの技術や方法は特許性があり（もし未だ取得していなければ）、これらが公表されればより多くの出版物がそれに続くであろう。

新しい技術を普及させるために、それぞれの研究課題の成果を公表し、影響力を最大限に発揮すべきである（例 アウトリーチ活動）。多くの研究課題でこのような活動が活発に行われている。しかしながら、d)技術の普及活動では、経済的な分析結果を一緒に提示できればより良くなるだろう。また、会議中も指摘したが、マニュアルは技術や方法の最終的な試験者である生産者の革新性を奪ってはならない。さらに、新しい技術や方法を使っている生産者から意見を聞くことも重要である。この観点から、科学コミュニケーションの効果を評価し、最大化するため、また研究者に生産者や消費者の意見を届けるため、農研機構の研究管理者は社会科学系研究者を参画させることを考慮すべきであろう。

総合的にみて、研究課題全体の方向性はプログラムの全体的な目標と合致しており、生産現場での問題解決につながっている。多くの面で、現在の最良の方法を超えて、最先端の技術が研究されており、良い成果が得られている。

しかしながら、e)プログラムの方向性に関しては、効率性の観点から見直しが必要である。古い水田のような狭い圃場の利用は、小さな調製施設の開発を必要とし、効率的な食料生産は難しい。このような圃場を利用すれば、雇用機会は生まれるかもしれないが、効率的な肉牛あるいは牛乳生産の将来的な保証にはなりえない。

最近、ニュージーランドの新聞に「若者は手作業を嫌い IT を使った労働を好む」との調査記事が掲載された。もし日本の若者も同じなら、f)生産システムの規模を拡大し、大型機械の利用により労働者数を減らすような研究も視野に入れるべきである。革新的な研究を行おうとするならば、伝統的な和牛生産で用いられる母子生産の体系から脱却する必要があるかもしれない。日本の乳製品の生産コストは世界で2番目に高い（おそらく牛肉生産においてもそうであろう）。旧来と違うことを行おうとするなら、根本的な変革が求められる。

(回答) 注：アルファベットはコメントの下線部との対応を示す。

- a) 日本の牧草には、気候変動、水田での栽培、多様な病害虫等に対応した新しい品種の育成が求められている。そのため育種分野の人員確保に限らず民間との連携、育種技術の高度化、新たな人材育成などにより牧草育種研究の充実を図る。
- b) 日本の気候風土に適した品種育成、収穫技術、廃棄物管理等の技術は、気象条件の似たアジア諸国に貢献できると考えている。また、日本の得意分野である ICT・センシング技術についても、高機能化、低コスト化を目指すことで、世界的に貢献できると考えている。
- c) 今後も特許取得、論文発表等の迅速化に努め、より多くの成果を公表していく予定である。
- d) 現在実施中の現地実証試験では、①社会科学系の研究者も参画して経済性の分析を行い、②農家の意見をフィードバックして技術の改良に繋げている。このような運営方式の研究を継続発展させていきたい。
- e) 農家の規模や経営理念に対応して効率化に役立つ技術の開発を目指す。
- f) 日本の農業では担い手の確保が重要な課題であり、若者の志向に合わせた技術開発が必要と考えている。一方で、伝統的な生産システムの良い面（品質など）を残しつつ新しく効率的な生産システムの開発に努める。

2) 課題別

第1部 国産飼料資源の開発

課題 1-1 高糖分・高消化性稲発酵粗飼料の高品質調製

全般的に見て、この研究課題では主要な目標（1.改良型長稈稲品種の育成、2.イネ新品種の調製の効率化、3.イネ新品種の発酵粗飼料（WCS）調製）の達成に向けて順調に進展している。WCS 生産用の圃場面積は 2000 年以降、著しく増加している。

“タチスズカ”と”ツキスズカ”という 2 つの新品種は非常に改良が進んでおり、研究は成功している。両品種とも糖含有量が高く、“タチスズカ”は従来の品種に比べて消化性が上がっている。混合飼料（TMR）をベースにした家畜生産においては、この消化性の高い”タチスズカ”を使うことにより濃厚飼料費が削減される。これは家畜を使った試験で実証されており、良い成果といえる。成果の公表を望む。

開発された収穫機は、WCS 調製の効率を高め、他の作物にも使用できそうであるが（汎用性が確保されているが）、a)残念ながら微細断の工程はわかれており、生産コストの上昇につながっている。サイレージ調製には短く（6mm）切断する必要があるようなので、今後生産者の意見を聞くことが重要だろう。b)また、「1日の内、いつ刈るか」も重要である。可溶性糖含量は、午後遅くに最も高くなる。しかしながら、サイレージ調製のコントラクターは自分の都合に合わせて採草するだろうし、小型の収穫機しか持っていない生産者も糖含量の日変化まで気にすることはないだろう。そのため糖含量が最も高い時間に合わせて採草することは難しい。こうした状況ではあるが、開発されたイネ品種の糖含量の日変化を調べて欲しい。

畜草 2 号は、WCS 調製のためのいくつか重要な性質を備えており、経済性も高い。増殖可能な温度幅が広いことと、WCS 調製の効率性が高いこと（調製中の酪酸や酢酸の生産速度が速い）は特筆すべきである。（最終的には）日本国内に広く普及すると考えられ、非常に素晴らしい研究成果である。

このように、本課題は当初の目標に向かって着実に前進している。ここで開発された技術を使って生産者が何ができるか、また何を期待できるかについてまとめたパンフレットを紙あるいは電子媒体で作成することを勧める。また、「課題 1-3 日本の気候に適した飼料作物の育種」の 2 番目の研究テーマに取り組んでいる研究グループと結果を共有し、直接連携することも必要である。

a) さらに研究を進展させるためには、稲作の後に冬季作物を栽培することも考慮すべきであろう。加えて、他の牧草や飼料作物は単位面積当たりの可消化養分総量（TDN）で評価されることに注意を向けて欲しい。単位面積当たりの TDN は収穫量よりも重要である。このことは、自給飼料生産が向上し、輸入濃厚飼料が減った場合にはより重要になる。高刈りは、質（量ではなく）を高めるために有効である。また、政府の補助金がなくなった場合でも WCS の生産が続けられるよう、WCS の生産性を高める、あるいは社会的価値を向上させるなどの取組も必要である。 評定：S

(回答)

- a) 新たに開発した収穫機は、収穫と微細断（fine chopping）を一連の作業で行うことができる。微細断処理であっても、家畜への負の影響がないことが確認されており、普及現場からのポジティブな意見が今後得られると期待している。
- b) 収穫時間のタイミングによって、“タチスズカ”や“ツキスズカ”の糖含量が劇的に変化する結果は得られていない。従って、現状では収穫時間によって高糖分の特長が認められなくなることはないと考えているが、今後、より理想的な糖含量となる収穫タイミングについて検討を重ねたい。また、「肥培管理条件」や「出穂からの経過日数」が、糖含量に影響を及ぼすことから、高糖分となる条件を農家に適切に周知したい。
- c) 本技術に関わる 1)品種、2)収穫機、3)乳酸菌について記載した農家向けのパンフレットを HP 上で公表している
(<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/files/2016juuten02leaflet.pdf>)。また、飼料作物育種等の研究者との連携を深めることで、より良い技術普及になるよう努める。
- d) 今後は、イネ WCS 調製後の冬作物栽培について、現状で普及している麦の他に飼料作物等の有効活用にも取り組み、体系的な技術として提供する。その際には、TDN/ha を最大化できるような栽培体系や新たな品種の利用にも取り組みたい。

課題 1-2 飼料用米、子実用トウモロコシ、飼料用大豆の国内生産による輸入穀物給与量の削減

この課題では、飼料の国内生産に関する 3 つの戦略がまとめられており、輸入飼料への依存度を大幅に下げることが目的としている。飼料用米に関する技術は十分に確立されているが（飛躍的に普及が進んでおり成功していると考えられる）、トウモロコシについては研究の初期段階であり、大豆は研究が始まったばかりである。トウモロコシや大豆に早期に着目し、研究を開始したことは良い判断である。

しかしながら、本研究の経済的実行性を考慮する際に、飼料用米の生産に多大な労力を要することは、要因とされているだろうか。a) 今や、生産コストを下げるための研究に取り組むべきである。

輸入穀物の代替手法（飼料用米等）の研究は成果が得られており、もし、生産費が今以上にかかれば自給率は改善されるであろう。^{b)} イアコーンサイレージやトウモロコシ子実主体サイレージについては、供給割合をもっと高めた試験をやってみる価値があるだろう。国内各地域の気象や環境条件にあったトウモロコシ品種を選定することも有益であろう。このような試験が可能ならば、試験研究の結果と各地域の実際の条件で生産している生産者の両方からのフィードバックを得る必要がある。また、トウモロコシ主体のサイレージ及びそれらを給与された牛の乳中ラクトンについて調べるのも良いだろう。これらの成果の公表を是非考えて欲しい。さらには、飼料用米及びトウモロコシ主体サイレージの改善を進めるために、他のサイレージ用添加微生物（他の研究課題で産出されたものも含め）も試してみるべきであろう。

^{c)} 大豆については、生産性の高い品種の育成が必要である。世界的に見ると大豆収量は年当たり 1.3%の増加と推定される（Ray et al. 2013）。本課題や生産現場で求められる収量が得られる品種が育成されることを願う。イタリアンライグラスの後に大豆を栽培する 2 毛作体系は堅実なアイデアであり、生産性向上のためのあらゆる手段を講じなければならない。ただし、放牧管理及びサイレージ調製技術が向上すれば（牧草が成熟しすぎる前の放牧あるいは採草が必要）大豆のような作物を生産する必要性は低下するだろう（必要性が無くなることはない）。研究のさらなる発展のためには、^{d)} この戦略を日本各地で実証することが必要であろう（その場合には、イタリアンライグラスと大豆の品種は違ってくるだろう）。

このグループは技術マニュアルを数冊作成している。これは研究成果の影響を最終的な使用者である生産者に最大限に広げるものであり、非常に良い取組である。しかし、^{e)} これらの生産体系で栽培が失敗するリスクについてもマニュアルの中で言及すべきである。評定：A

(回答)

- a) 飼料用米の研究に関しては、引き続き生産コストの低下を最も重要な課題として取り組んでいく。
- b) 新たに始まった子実用トウモロコシの研究に関しては、子実収穫に適した品種育成・栽培法の開発、サイレージ用乳酸菌製剤の開発、および生産された畜産物の特徴を明らかにする研究に取り組んでいく。その際、論文公表はもちろんのこと、農家と連携した実証研究を活用して、農家からのフィードバックを常に得ながら進めていく。
- c,d) 今後の課題である飼料用大豆の研究に関しては、収量増加を目指してあらゆる方面からアプローチしていく。特に飼料用大豆に求められる無農薬栽培法について、適用できる地域の拡大に向けた改良に取り組んでいく。
- e) 我々の開発技術の広報を担う技術マニュアルの作成に関しては、今後のバージョンアップ版において、導入する技術のリスクについても記載するように努める。

課題 1-3 日本の気候に適した飼料作物の育種

日本における牧草や飼料作物の導入や利用状況の歴史及び気象条件の違いに基づく問題について良くまとまった説明を受けた。本課題は、育種目的や方法によって、耐病性の向上、化学成分の改善、遺伝子導入、暖地型牧草及びセンチュウ抑制という 5 つに分類されており、いずれのテーマでも優れた品種を作出している（“なつひむか”、“那交 907 号”（以上、トウモロコシ）、“Kyushu1”、“農 3 号”（以上、イタリアンライグラス）、“那系 1 号”、“北海 1 号”（以上、フェストロリウム）、“イサン”（ブラキアリア）、“スナイパー”（エンバク））。^{a)} 例えば「2025 年までに舎飼いと放牧で飼料自給率をそれぞれ 70 及び 90%まで上げるような牧草及び飼料作物を育種する」といったような、“使命記述書”があると良いかもしれない。こ

れにより、研究課題の重要性が決まり、問題の全体像を考えるようになるだろう。日本では、非常に優れた放牧地管理を実践している生産者もおられるが、多くは放牧地の管理が上手くできていない。b)このような状況で、育種はどのような目標を設定するのか。一般的な生産者を対象とするのか、あるいは、既存の品種を最大限活用し、もっと良い品種を欲しているトップの生産者を対象とするのか。日本の多くの生産者は放牧地で化学肥料をほとんど使わず、生育時期の終わりにスラリーを散布している。また、適期を過ぎた後、放牧や採草を行っている。c)生産者がこれらの管理方法を変えない状態では、育種研究も同様に管理の良くない状態で行われるべきだろうか？

育種目標については、a)気候変動へのさらなる適応や生産性が高く安定した品種が求められるだろう。水田での飼料作物生産が増えるなら、耐湿性に優れた品種の開発も必要だろう。

ライグラスの育種に力を入れていることは家畜のために牧草地の質を向上させる正しい選択である。研究の成功は、地域の気候への適合性が良い品種が得られるかどうかにかかっているが、適合性自体も進化する。“Kysuyu 1”は成功事例である。大豆との2毛作栽培は有益であろう。また、ライグラスのような高品質の牧草は是非とも必要なので、道東地域に適應するライグラスの育成を諦めないで欲しい。なお、放牧用にはチモシーよりもメドウフェスクの方が優れている。

e)硝酸態窒素濃度が低い“農3号”は、国内のもっと広汎な地域で利用されるであろうし、硝酸態窒素の過剰流出や亜酸化窒素の過剰放出といった問題を抱えている他の西洋諸国でも利用されるであろう。これらの特性を他の系統に組み入れることは有益であろう。

日本の北部地域での栽培を対象としたオーチャードグラス新品種“エサジマン”では、水溶性炭水化物が増加することは特筆に値する。放牧地ではあまりメリットがないと思われるが、もし、“エサジマン”の嗜好性が高く出穂が少ないようであれば有用である。f)サビ病抵抗性の付与と葉に対する茎の割合の改善が必要かもしれない。

北海道では、g)高品質で高収量の牧草が求められるので、“北海1号”がそれに沿ったものであると良い。この品種は非常に有望である。

h)“那系1号”を比較的温暖な北海道南部で栽培するために種子生産量を上げること考えて欲しい。

トウモロコシ新品種の“那110号”は湛水耐性があり、水田での栽培に非常に有利である。i)戻し交配による不良性質を取り除くための研究が必要であろうが、これには時間がかかりそうである。

j)“スナイパー”は海外でも有用性が高いと思われる。

また、ペレニアルライグラス系統‘東北7PR’は、再生に優れ生産量も高いと思われる。

全体的に見て、本課題は顕著に進展しており、この分野の研究を続けるべきである。k)この情報をまとめ、新品種の入手可能性と利点及び研究の方向性の概要がわかる資料を農研機構のウェブサイトに掲載すべきであろう。評定：A

(回答)

- a) 近年の気候変動と栽培利用技術の発展への対応のために、継続的な品種改良が重要である。新たな作付体系や機械化に対応する牧草・飼料作物品種が育成され、栽培されることによって安定生産ができ、飼料自給率が向上する。
- b, c) 飼料作物は家畜生産のための材料として栽培されるため、全ての畜産農家が飼料作物栽培に高い技術と認識を持っているわけでない。しかし、コントラクターや TMR センターの増加にみられるように、今後は農業が個人農家から組織化される方向に進み、

農業主体の中で機能分担による高度な飼料生産が行われることが期待される。そこでは、品種の能力を反映した栽培・利用がなされる。

- d) 気候変動は新たな栽培体系を実現するとともに、経験したことのない病虫害や風水害等に遭う機会になる。そのためには継続的な育種が必要である。水田栽培に適する飼料作物育種には社会的要請が大きい。
- e) 牧草の生産力と永続性を高めるために十分な施肥を行うことは重要であるが、過剰な窒素施肥により牧草の硝酸態窒素濃度が家畜に有害な水準に達することがある。これを育種的に回避した例がイタリアンライグラス”農3号”である。同様の問題があるスーダングラスについても低硝酸に関する育種を開始している。これらによって育成された低硝酸品種が民間種苗会社を通じて海外にも販売される可能性はある。
- f) 北海道で「さび病」に関する選抜は十分でなかったため、病害が出やすい東北農研で選抜を開始している。葉茎割合は採種性に関連するので、この視点でも改良に取り組んでいく。
- g) 北海1号は高品質多収であるが、道東地域での耐寒性が不足しており、その改良が課題である。
- h) 那系1号の採種性向上については、ライグラス育種の中で取り組んでいく。
- i) 那110についてはさらなる戻し交雑が必要であるが、現在はより効果的な関連形質の導入を優先して耐湿性育種を行っている。
- j) 線虫研究分野でも興味深い課題となっており、線虫抑制作用機作の解明が進んだところで、海外での需要を見極めたい。
- k) 情報発信については、海外へも含め、積極的に行っていききたい。

第2部 日本型放牧技術の開発

課題2-1 肉牛の耕作放棄地放牧技術

この課題では、耕作放棄地の有効利用のため放牧技術を開発している。研究課題は、「分散農地での小規模輪換放牧」、「高品質な牧草地の造成と利用」、「牧養力推定のためのソフトウェア開発」及び「通年飼料供給技術の開発」である。全般的に見て家畜生産のための効率的な土地利用を担う確かな技術が開発されている。今のところこれらの技術は夏期の使用に限定されているが、一年を通して使えるよう研究が進められている。

良く計画された非常に興味深い研究課題であり、また、政府の方針に沿ったものである。しかし、a)耕作放棄地の活用のためには有効であろうが、日本の家畜生産の効率化にはあまり結びつかない。また、日本人の牛肉の好みを考えると、嗜好性を変えるための食味試験の活用や教育が重要であり、この研究期間中にそのような体勢を整える必要がある。また、家畜栄養学者との共同研究も重要である。

小規模輪換放牧システム（牧柵、太陽光発電、移動給餌機による給餌法等）は耕作放棄地の利用を促進する上で理にかなったものであるが、b)太陽光電気牧柵は既に商品化されているのに開発する必要があったのだろうか。ただし、水分を十分に供給することは必要不可欠であるから、吸水ポンプをこの電牧システムに連結させたことは良いアイデアである。

水分が多く水はけの悪い水田土壌で放牧に耐える牧草種が必要なことは明らかである。このような牧草種の選定のための研究は進んでいる。しかしながら、肉用牛には高品質の飼料は必要ないとの前提に立っている。そうかもしれないが、高品質のエサを与えられた牛は、肉牛であれ乳牛であれ、良い成績を上げる。また、栄養価の高い牧草種が良く管理された場合には、輸入濃厚飼料と同じような品質を持つことも述べておきたい。c)土壌条件と排水を改

善すれば、これらの牧草種の生育は良くなり利用率も上がる。このことは新しい方向性として考慮すべきである。土壌条件やミミズの導入について考えたことはあるだろうか。

小規模な放牧地の牧養力推定技術により、利益は向上するだろう。生産者が使うようになれば、影響力も増す。計算シートは農場で牧養力を推定するのに非常に役立つだろう。ただし、多くの牧草種の成長率を搭載した良いデータベースが必要となる。しかしながら、多くの生産者の放牧地管理を改善することが先である。

マニュアルの配布は開発された技術を使う生産者の利益を最大にし、新たに技術を導入する生産者の手助けにもなるだろう。また、近い将来、牧養力は近赤外やマルチスペクトルを用いて UAV により迅速に測定できるようになる。UAV は日本と同じように山がちなニュージーランドにおいても、農場の状態を調べるために徐々に使われ始めている。

リグニン除去した木質飼料は非常に興味深い研究である。研究が進展し、放牧できないような急峻な森から安価な家畜飼料を供給するための世界的な技術になれば良いと思う。この課題については、農研機構の家畜栄養学の研究者との連携が必要である。また、微生物叢や微生物叢が家畜生産に与える影響を調べてみるのもおもしろいと思う。加えて、この飼料と同時に給与するエサについても研究をすすめ、さらに有効に使えるようにしてほしい。様々な樹種（ラジアータ松やユーカリ？）や消化性の劣る飼料について、リグニン除去技術を試してみるのもおもしろいかもしれない。

若い生産者は AI や ICT を使った技術を取り入れる傾向があるので、このような技術の研究を進めることは、非常に良いことである。しかしながら、どのような技術であれ、より品質が高く、放牧やサイレージに向く飼料を生産し利用することに貢献しなければならない。ごく近い将来、より収益性が高く持続的な放牧体系が必要となる。評定：A

(回答)

- a) 近年のヘルシー志向から赤身肉の需要が高まっていることは事実であり、和牛生産に関してはどのような肉質を目指すべきかが議論され始めている。今後はこうした議論をより活発化させ、消費者の嗜好に合致した生産体制を整える必要がある。指摘の「食味パネル」については、「牛乳」で実施された例があるが、生産過程に放牧を取り入れた製品に対する消費者の評価は高かったとされている。この生産過程を含めた「食」に対する教育は重要であり、日本では「食育」として実践されているが、牛肉の生産については放牧と関連付けた教育をより強化する必要がある。そのためには、指摘の通り、社会科学のグループや動物栄養の研究者と今以上に連携を強める必要があると考えている。
- b) ソーラーパネルや電気牧柵などの個々の素材については世界中で入手可能であり、それらをあえて開発する必要はないが、国情（日本の場合は耕作放棄地放牧）に合わせた利用技術の開発や改良は必要である。今回のレビューで示した太陽光発電フェンスシステムに給水装置を接続する方法は、放牧地が分散する耕作放棄地放牧において、家畜飲水の省力かつ安定的な確保に不可欠な技術であり、素材を組み合わせた技術開発の好例だといえる。
- c) 今回のレビューで示した耕作放棄地放牧は、水田の場合でも乾田化対策の履行を基本としている。そのための排水技術については、明渠の設置法などをマニュアルで示しており、草種選定についても乾田であることを前提に進めている。ただし、大がかりな排水対策が必要な排水困難地での放牧については、コストの問題や、泥濘化により家畜の損耗リスクもあるため、基本的には奨励しない。土壌改良は、耕作放棄地が元来農地であり、肥沃であることが多いため、土壌肥料的改良は必要性が乏しいと考える。

ただし、放牧の経年化に伴い、家畜の踏みつけによる土壌物理性の悪化が進行する可能性があり、それに対するエアレーション対策が今後必要になるのではないかと考えている。一方、ミミズについては、基本的にどこの土壌中にも多く生息しているため、新たな導入は考えていない。

- d) 東西に長い日本では気候条件が多様であるため、各地の農家が気候に応じた農地の潜在能力を把握することは難しい。そのため、生産水準の比較が困難であり、現状を黙認せざるを得なかった。今回のレビューで示した「牧養力予測シート」などの計算シートは、各地の気候に応じた牧草の生産量を具体的に提示するため、農地の持つ潜在能力を理解する手助けとなる。農家は算出された生産量を指標に自らの生産水準を検証することで、改善を行うことが可能になる。その際には、これまで作成してきたマニュアルが活用できるが、より適切な栽培管理ができるような「栽培支援プログラム」も開発中である。
- e) 指摘の通り、牧草栽培管理を含めた放牧管理への UAV の利用は、生産の効率化に多大な恩恵を与える。そのための AI を用いた画像処理技術や ICT による情報統合技術などを開発しているところである。ただし、これら技術の導入に際してはコストとの兼ね合いを考慮すべきであり、その点にも注意を払って開発を進めている。
- f) リグニンフリーの飼料については、我々も今後の展開に期待している。家畜生理栄養分野の研究者と連携しながらルーメン内微生物叢への影響を明らかにし、リグニンフリー飼料の有効性を確認すると共に、適切な給与割合を検討している。また、他の未利用樹種等への利用拡大研究は、民間との共同研究を活用しながら推進していく予定である。
- g) 我々の目的は「良質な牛肉を高いコストパフォーマンスで生産する」ことであり、その手段として「放牧」を選択している。そこでは「最良の飼料」を「最適なタイミングで給与」することが課題となるが、広大な農地（放牧地）でそれを実現することは極めて難しい。AI や ICT はそれら課題を解決する補完技術になるものと期待している。また、AI や ICT の利用による技術の「形式知化」は、放牧につきものであった「経験」や「感」による管理作業を具体化するので、新規ユーザーの技術習得にも有効である。今後も「目的」と「手段」の位置づけを明確化しながら研究開発を進める予定である。

課題 2-2 日本の風土に根ざした乳牛放牧技術の開発

この課題では、日本の環境及び気象条件により柔軟に対応するため、乳牛放牧技術の開発や改善を目的とし、「寒地中規模酪農における集約放牧技術」、「公共牧場の生産性向上技術」、「放牧用草種の特性解明」、「放牧管理技術の開発」、「管理法改善のための乳中の指標物質の探索」及び「マニュアルの作成及び配布」といったいくつかの戦略から構成されている。

収益性や自給飼料率を向上させ、社会的に有益な結果を得るには、まず、a) もっと多くの生産者に放牧システムを取り入れてもらうことである。発表でも述べられていたが、搾乳場所の近くに十分な放牧地が確保できないという制約があることは事実であろう。しかし、b) 年に 200 人の生産者が酪農業から撤退しているのだから、これまでとは違った土地所有のあり方を模索すべきであろう。ニュージーランドでは、共同搾乳、共同土地所有、共同出資、土地集積によりこの制約を乗り越えることが一般的である。c) 社会学者、指導的立場にある酪農家、行政官にこのような状況を知ってもらうべきである。公共牧場の所有者と共同研究を始めることも一つの打開策であろう。効率的に黒毛和種や、より一般的には肥育牛を育成するために、そのような機会を模索して欲しい。また、北海道の非常に効率的な放牧農家は平均より

もずっと効率的に牛乳を生産できると主張している。この研究グループは、より多くの生産者に放牧する機会を与え、それらの生産者や酪農業全体を変えるべき立場にある。マニュアルには、「サイレージ用の採草は年2回に限られます。」といった記載がなされる。年2回刈りのサイレージの品質は劣るが、年3、場合によっては4回採草する生産者のサイレージは非常に高品質である。さらに言えば、サイレージと放牧を組み合わせた農場管理は非常に理にかなっている。a)チモシーはこのような管理に不向きだろうから、より適した草種が必要だろう。「マニュアル」では最良のアドバイスが掲載されているのだろうか。

メドウフェスクの新品種は春の始めからすぐに安定的な生育を見せ、素晴らしい突破口といえる。また、寒地の集約放牧にとって良い結果(年間 TDN 生産量の改善)が得られている。b)チモシーやオーチャードグラスに替わって、あるいは少なくともそれらを補完する形で高収量で高品質な牧草が見られるようになると良いと思う。フェストロリウム、メドウフェスク及び道東地域のライグラスはこの点について有望である。

飼料用ビートやアブラナ科飼料作物の利用により放牧期間の延長が可能になるかもしれない。これらの飼料は、(北海道では)夏期に生育し、放牧地の草の成長がとまる11月、12月のエサとなる。なお、c)実際に試験されている方法でも、このような提案でも、飼料自給率向上には品質と収量を上げることが必要である。よく頑張って研究していると思う。

多くの場合傾斜地である公共牧場において生産性を上げるための技術開発については、使い易くできており、堅実に進展している。d)普及活動のために「マニュアル」を作成するのも良いだろう。傾斜地で放牧を行っている他の国々(イギリス、ニュージーランド、中央ヨーロッパ等)でも同様のシステム(特有の条件や動物等に適応させたもの)は有用であろう。

農場の生産効率を上げるために GIS や ICT に着目したことは非常に良い。特に大規模な公共牧場の土地利用の改善につながるだろう。しかしながら、「農場の管理技術の改善」のためにコンピュータ技術を利用することを忘れないで欲しい。

パドックの粗タンパク(CP)分布図は興味深いものであるが、e)どのような肥料をどのような割合で使えば CP 含量が変わるかについても考慮されているだろうか。おそらく分布図はマメ科の分布と関係があると思われる。このような場合、CP が低い場所ではリンや石灰の施用で改善が見込めるかもしれない。ただ単に窒素肥料を施用するだけでは草量は増えるかもしれないが CP は変化しないだろう。研究は生産者の要求の先を見越して行われるべきではあるが、生産者に使ってもらえる技術を開発すべきである。

精密肥料散布により労働時間の短縮が図れるというのは事実だろうが、一年を通しての労働コストを考えるとこの短縮は重要なものとは思えない。このような地図の作成にかかる時間のほうが施肥に要する時間よりも長いのではないか。また、f)なぜコントラクターに施肥を依頼する際、GPS 利用の可変作業機を使ってもらわないのか。ニュージーランドでは一般的に行われている。

牛乳中の phyt-1-ene (生草由来のジテルペノイド類) やシアル酸は牛乳の販売戦略への利用が考えられる。しかしながら、全ての北海道の牛乳が放牧地を利用して生産されているわけではないので、g)これらの特性により北海道の放牧牛乳を定義することに強い反対意見が提示されるのではないか。

混合飼料(TMR)センターの利用は一般的になってきているが、生産コストの削減には貢献していないし、また、TMR 所属者全体で共同利用されるので、高品質のサイレージを作る生産者が報われるような仕組みとはなっていない。また、TMR センターに所属する生産者は、夏の間は放牧する方が安上がりであるにも拘わらず、TMR センターの飼料を使わなければならない。これについては、問題解決に向けて取り組んでいる地域があるとのことである。

TMR は確かに良い概念ではあるが、必ずしも収益性の向上にはつながらない。特に夏の間は、k)これに取り組む研究は行われているか。

酪農が再び盛んになるためには、収入が良く持続的で、魅力的なライフスタイルを提示できなければならない。放牧はある程度この条件を満たしている。季節生産の場合は、もっと良いだろう。1) 季節放牧で1日1回搾乳(OAD)が実現できれば究極の選択となるだろう。 OAD ではウシ1頭当たりの産乳量は減るが、投入コストは低く、家畜の健康が保たれるので、収益性は最も高い。ニュージーランド型のウシの方がアメリカ型より放牧に適しているという研究結果がある。一方、舎飼いにはアメリカ型のウシの方が良い。m) 放牧をもっと活用するには、家畜育種も変える必要がある。 北海道で最も収益を上げている生産者には、一年中牛を外で飼っている生産者もいる。もしこれが一般的になれば、収益性とライフスタイル向上の面で得るものは非常に大きい。この研究グループはもっと多くの生産者に放牧を広める役割を担っている。

このような機会は、研究者自身のアイデアと連動して酪農家と酪農業を変える新しい研究材料となるだろう。しかし、n)生産者と会って、研究者のアイデアをどう思うか、また本当は何を研究して欲しいと思っているのかを聞くことを忘れないで欲しい。このような意見交換は非常に貴重である。(既に行っていることとは思うが。) 評定：A

(回答)

- a-c) 放牧飼養が収益性や飼料自給率の向上に果たす役割は大きく、引き続き、技術開発と普及を図っていく。今後は、日本国内において放牧飼養を普遍化するための取り組みが重要と考えており、酪農経営の土地条件や乳牛の発育・泌乳ステージに応じられるよう、時間制限放牧など放牧草への依存度を多様化した技術体系の構築に取り組みたい。その際は離農が進行している現状を踏まえ、牛舎周辺への圃場集積を進めるべく、公共牧場の活用も含めた社会経済的な研究にも取り組む必要があるものと認識している。
- d) サイレージの高品質化は喫緊の課題であり、オーチャードグラスやペレニアルライグラスの多回利用などを視野に入れた技術を開発し、マニュアル化することを予定している。
- e) 高収量で高品質な放牧草の導入に関しては、例示された新草種・品種の利用について、それらが市販化される時期を睨みつつ利用技術を開発していく。放牧専用地での利用が適切と考えており、チモシーやオーチャードグラスの採草放牧兼用地と組み合わせた草地利用体系を構築していきたい。
- f) 放牧飼養において、放牧期間の延長技術開発は重要な事項と認識しており、酪農家の要望も切実である。ご助言いただいた牧草以外の作物の利用も含め、今後とも研究開発と技術の普及を進めていきたい。
- g) 草地管理支援システム (grassland management-assisting system) については、応募牧場の中から2牧場を選定の上、2年間無料で試用して頂き、実務者の視点からシステムの改良を進める予定である。なお、これらのGISやICT技術の開発に当たっては、農家や牧場管理者にこれらを必要とする背景があることが前提であるが、スマホやタブレットなど、農家や牧場管理者の誰でも使用可能なツールによって普及できると考えている。
- h) 発表でご紹介したが、植生が悪化し嗜好性が低下した牧区に窒素・リン酸・カリ・マグネシウムを年当たりそれぞれ3.0、9.0、3.6及び0.6kg/10a、2年間にわたり施用

した結果、ご指摘のようにシロクローバが増加して採食性が改善された例がある。一方、CP マップで示した圃場はペレニアルライグラスを追播後、7年間にわたり無施肥で維持された草地である。調査時にはシロクローバのパッチは目立たず、シロクローバの影響による CP の変動は小さかったと思われる。CP が低い部分は、土壌中のリン酸とカリウムが低い傾向にあった。

- i) プレゼンテーションにおいてマップ作成や放牧地での精密施肥に関する説明が不足していた。これらの取組は労働コストの削減だけではなく、放牧地内で採食されない部分を抽出し、その原因解明と改善を行うための情報収集も狙いとしている。不食地への窒素施肥は牧草や雑草の過繁茂を助長し、採食性のさらなる低下を招くため、面積に限られる日本の放牧地では特に避けねばならない事項である。日本でもトラクタへの自動操舵システムや可変施肥機の搭載は、コントラクター等の飼料作請負組織の所有機などを中心に今後進むものと思われる。一方、現状でニュージーランドと比べて規模が小さく狭小な牧区が多い日本の放牧酪農経営では、費用対効果の観点から導入が進んでいないものと考えられる。トラックによる施肥について、運搬以外の圃場内農作業に大型トラックを使用すること自体が日本では認知されていない現状にある。このため、傾斜地での安全性や作業性、トラック本体の汎用性や導入コストなど、その利用上の得失や基本性能から検討する必要がある。
- j) 放牧牛乳を特徴付ける成分の研究は、現状北海道でも舎飼飼養が主体であることを鑑み、放牧産品を判別または差別化する目的で実施している。一般的に、放牧飼養経営の乳量水準は舎飼飼養経営よりも低い傾向にあるため、乳量減少による収益の低下を製品の高付加価値化で補うことを目指し、一連の研究を進めているところである。実用化に際しては何らかの反対に遭遇する可能性も否定できないが、各地域の加工・サービス産業と連携した地域社会の生き残り・活性化施策に貢献可能な技術に発展させることを意図しており、理解は得られるものと考えている。
- k) TMR センターは加盟農家全体での飼料品質の向上と労働時間の削減等を企図して設立されている。しかし、ご指摘のように、既に高品質飼料の調製を実現している農家にとっては、飼料品質面でのメリットは相対的に小さくなることは事実である。今後、加盟農家各戸と TMR の販売先がメリットを享受可能な TMR センターの運営や放牧飼養農家との共存について、地域社会の維持発展までを視野に入れた社会科学的な研究と飼料調製・飼養技術研究を連携させて問題解決に当たる必要があるものと理解している。
- l) 1 日 1 回搾乳について、放牧酪農家の中に強い興味を示す方がいらっしゃることは承知しており、将来的に季節繁殖が放牧飼養の研究課題として取り組まれた際には検討事項としたい。
- m) 放牧に適した乳牛の作出・導入や飼養施設の簡易化・簡素化についても、季節繁殖が放牧飼養の研究課題として取り組まれた際には検討事項としたい。
- n) 技術開発の方向性や開発予定技術の選定に当たっては、これまで以上に、酪農家の真の要望・意見を踏まえた上で対応して参りたい。

第3部 環境に配慮した家畜の精密栄養管理及び排せつ物管理技術の開発

課題 3-1 飼料効率の改善を目指したルーメン発酵制御

この課題では微生物叢とトランスクリプトーム解析技術により繊維消化に関する主要なルーメン微生物が同定されている。既存の研究で多くの反芻動物に共通の微生物が明らかとなっており、この研究はこのタイプの研究を次のレベルまで押し進め、繊維消化に深く関わる微生物を同定するところまで来ている。加えて、炭水化物分解酵素が詳しく調べられており、それらをコントロールすることによって繊維の消化を改善できるようになった。なお、炭水化物分解酵素の研究は今後もっと進められるべき分野である。また、研究成果の公表状況は模範的である。加えて、カシューナッツオイル（と化学抑制剤のプロモクロロメタン）を使って抑制作用が生じている場合の微生物叢の変化が調べられている。これら 2 つの化合物の機作は異なるものと思われる（一方はメタン細菌に直接作用し、もう一方は間接的に作用する）。発表の最後に将来展望について概要が述べられた。

Fibrobacter succinogenes と共同体を形成する微生物については、数種が同定されており、このような研究では初めてとなる。効率的な繊維分解には微生物の共同体が必要なので、このような研究は重要である。*F. succinogenes* は明らかに主要な種である。これについては、米国エネルギー省の Joint Genome Institute のプロジェクトで研究が続けられ、より多くのデータが得られるだろう。このグループではトランスクリプトーム解析技術が用いられているが、この手法はヒトの微生物研究でも多くの成果を挙げつつあるので、正しいアプローチと言えるだろう。飼料の発酵に必要な微生物共同体の解明に期待する。

化学抑制剤（メタン細菌を対象としたハロゲン化合物）を例として用いて、水素の発生に大きな変化が見られることが明らかにされた（プロピオン酸の増加も期待できる）。また、同時に水素を消費する *Prevotella* sp. や *Selenomonas* sp. の増加も観察されている。興味深いことに、繊維消化の低下は見られず、*F. succinogenes* は有意差が得られない程度に若干増加している。なお、カシューナッツオイルを用いた実験（Kobayashi et al. 2016）を始め、他の研究では、減少することが報告されている。a)生産性を左右するパラメータに悪影響を及ぼすことなく、長期間安定したメタン排出抑制効果を得るために、もっと研究期間を長く取って抑制剤濃度を最適化することが重要であろう。

カシューナッツ殻液（CNSL）はアジア諸国（インド、ベトナム等）で副産物として得られる。従って CNSL は比較的安価な資源として入手でき、メタン排出に潜在的な影響力を持つ。このグループは、「CNSLはメタン排出を抑制する」という成果を公表しており、非常に良い成果である。少量の不純物を含んだ他の製品（加熱処理を含む）は、効果が劣る。b)ペレットの製造方法や形状を始め、どのような形態の CNSL が効果的かについては、もっと研究する必要がある。CNSLの個々の化合物の効果を調べることも考えに入れるべきであろう。また、他のフェノール酸も同様の効果を持つと考えられるので、主要なフェノール酸化合物の誘導体についても調べる必要があるかもしれない。

将来展望については、周産期から分娩後は酪農にとって非常に重要であるから実験期間として設定するのは良いであろう。微生物の消化パターンを理解することにより飼料効率の向上を目指すことは必然的である。しかしながら、乳量が増えると繁殖成績が低下することが予想される。c)飼料効率を上げることで栄養状態は良くなるかもしれないが、乳量が増えるだけでは価値があるとは言えない。家畜栄養学者と協力して全体像を考えて欲しい。

この研究グループのルーメン微生物叢の分子生物学的特性解析技術は非常に優れている。d)これらの分子生物学的手法が農研機構の研究課題で広く使われることを望む（亜急性ルーメンアシドーシス等）。 評定：S

(回答)

- a) 長期間のメタン低減効果については未知の部分が多く、最も重要な検討項目の一つである。今後も共同研究として参画機関が連携して研究を進めていく中で、本視点があることを認識しつつ、研究を発展させて参りたい。
- b) メタン抑制に効果のある物質について、構造類似体等の検討は、科学的に発展の可能性が非常に大きい分野である。本プロジェクトに限らず、メタン低減に関する研究プロジェクトを、安全性評価を含めた検証ができる規模にまで発展させて参りたい。
- c) ルーメンでの適切なメタン抑制が飼養効率の向上に貢献することは間違いなく、個体のエネルギー収支の改善においても有効と考えられる。さらに乳生産と連動していくためには、乳用牛の育種改良を含めたより広範な研究連携が必要と考えており、その研究連携を開始している。
- d) 研究を進めていく過程で、分子生物学的な技術を開発、発展させてきた。近年、様々な乳牛飼養管理のプロジェクトに参画し、開発した技術を飼養管理評価に活用し始めている。メタン抑制技術に限らず、今後とも酪農における飼養管理技術の向上に貢献していきたい。

課題 3-2 ルーメンにおける飼料タンパク質とエネルギー供給の同調化による窒素利用効率の改善

この課題では、窒素利用の観点から飼料のエネルギーとタンパク質の同調化が調べられている。2つの主要な実験から構成され、1つは、同調性が高い飼料に対して同調性の低い飼料を予測するもので、もう1つは粗タンパク量を変えた実験である（両方とも乳牛を供試している）。もう1つの目標は（研究課題全体の利益となるものであるが）自給飼料を推奨する方法を調べることである。

実験1ではエネルギーやタンパク質の効率を上げる（熟生産量を下げ、窒素排出量を下げ）結果が得られており、高価な大豆タンパクの使用量を減らすことにつながるだろう（これは地域内の飼料供給を促進すると考えられる）。しかしながら、同調性が高い飼料メニューでは、全体の消化率が下がっていることは気になる。

実験2では、低粗タンパク飼料（LCP）により、高粗タンパク飼料（HCP）と同程度の産乳量を確認しつつ尿へのタンパク排出量を減らすことに成功している。しかしながら、LCPでは消化率と産乳量の維持に重要な代謝エネルギー量が減少している。

従って、a)両方の実験で大筋においては良い結果が得られているが、より良い結果を得るためにさらなる実験が必要であろう。同調性を高める実験では飼料の消化性の改善のため、LCPでは代謝エネルギー摂取量への影響を低下させるため、もっと良い飼料の組合せを明らかにする追加実験が必要であろう。b)より良い統計解析を行うために家畜頭数を増やすことも考慮されるべきであろう（現在は両方の実験で4頭ずつ供試している）。c)また、今回の実験結果がすぐに公表されることを望む。

もし、これらの実験で用いられた手法がもっと広く使われるようになれば、温室効果ガス、（メタン（実験2）及び窒素関連（実験1及び2、特に2））の排出に重要な影響を持つことになるだろう。d)温室効果ガスへの影響という観点から、課題3-3のグループと特に低タンパク飼料の実験は有益な相互作用が見込める。

これらの実験と新たに提起された問題点（牛乳生産に関するエネルギー効率、乳腺でのアミノ酸代謝等）により日本飼養標準は改善されるのではないかと思う。

また、これらの実験、特に実験2では微生物の解析により研究の進展が見込めると思う。e)これから行う実験では、（たまたもし適切なサンプルが保存されていればこれまでに行われた実験でも）微生物群とその活動（トランスクリプトーム解析）を解析してはどうか。評定：

A

(回答)

- a) 消化率低下への対応として飼料原料の選定を続けており、今年度実施した試験では消化率ならびに代謝エネルギー摂取量の改善に成功している。
- b) 供試頭数の増加は望ましいが施設による制約がある。一方、施設を最大限活用して精度の高い実験を実施することにより、少ない頭数でも成果に結び付けている。
- c) 成果の論文化は喫緊の課題と考えている。
- d) 今回のレビューでの発表には含めなかったが、試験牛の排泄物からの温室効果ガス発生量については既に測定を行っており、家畜及び排泄物両面での評価を進めている。
- e) 微生物活動の評価は、飼料の消化や温室効果ガス発生量への影響が大きいいため、これらのデータを充実させていきたい。

課題 3-3 家畜排せつ物からの温室効果ガス排出抑制

この課題では、4つの戦略の要点が説明され、温室効果ガスの排出抑制に関してどれも素晴らしい結果が得られている。4つの戦略とは、「大規模チャンバーを用いた高精度亜酸化窒素測定システム」、「堆肥への新たな亜硝酸酸化細菌接種手法」、「炭素繊維担体を利用した汚水浄化処理技術」及び「温室効果ガス排出量抑制のための低タンパク飼料の利用」である。成果の公表状況も良い。全般的に見て、開発されたシステムや手法は日本の温室効果ガス削減目標達成に貢献するものであり、また、より正確なインベントリー評価を可能にするだろう。これらの技術の影響は、ライフサイクルアセスメントにより解析される予定である。

温室効果ガス測定システム（大規模動力チャンバー、Fukumoto et al. *Bioresource Technology* 2003）は排せつ物処理の実験や実際の生産現場からの温室効果ガス排出量の定量的評価を可能にする素晴らしい成果である。a)国内でもっと広く利用されデータが収集されればおもしろい結果が得られるだろうし、現在実行されている研究にとっても重要な測定方法であろう。産卵鶏糞の堆肥化システムや搾乳牛スラリーのタンク貯蔵についてのガス測定システムについても強調されていた。現実の温室効果ガス排出量のモニタリングは国レベルのインベントリー分析にとって重要であり、生産性を保ちながら排出量を削減するための技術の効果を評価するものである。

堆肥への亜硝酸酸化細菌の接種手法として、堆肥を使う簡単な方法は、有効な緩和作である（Fukumoto et al. *JARQ* 2015）。接種資材として使われる堆肥は、簡単なキット（亜硝酸塩と硝酸塩濃度の計測キット）等を使えば農場でも評価できるであろう。b)この技術が広く普及できる段階に達したらマニュアルあるいはガイドラインを作成すべきであろう。また、分子生物学的手法を使って微生物の反応を調べることも考えて欲しい。

好気条件で炭素繊維担体を利用する手法は、汚水処理施設からの温室効果ガスの排出を抑制する費用対効果が高く素晴らしい解決策である（Yamashita et al. 2016）。c)この過程をさらに深く理解するため、炭素繊維上で発達する微生物叢や重要な窒素代謝酵素を解析し、窒素中間体（アンモニア、硝酸、窒素）の濃度と比較することを考えて欲しい。

ブタを対象にした実験結果を見ると、温室効果ガス総排出量の抑制を目指した低タンパク飼料は有望である。同様の方法で他の家畜についても排出抑制が望めるだろう。もし、d)温室効果ガスの 40%抑制、あるいはそれと同程度の効果が養鶏や肉牛・酪農で得られるなら、素晴らしい。（もしまだやっていないようであれば、）この課題の研究者は農研機構全体の研究プログラムと連携しシナジー効果を得るべきである。前述の指摘と同様となるが、低タンパク飼料の実験では微生物群の分析は有益であろう。

新しい家畜飼養方法の総合的な影響を農場全体の規模で分析するために LCA 分析 (Ogino et al. 2013) は必須であり、試験区から農場へと規模が拡大する際には通常予想と結果が異なるので、この研究は称賛に値する。評定：S

(回答)

- a) 堆肥化処理は、日本の家畜ふん尿処理のもっともポピュラーなシステムである。気象条件や畜種によって対象の温室効果ガス発生も異なる。温室効果ガス削減には、各農家の排出状況を正確に把握して提示することが取組の始まりだと考えている。
- b) マニュアル作成に向けては実証試験等を通して技術の適応可能範囲と問題点の抽出を行う必要がある。また、分子生物学的手法を用いた微生物解析についても検討を行う。
- c) 炭素繊維リアクタに関しては、微生物活動への理解と N_2O 以外のガス発生への配慮が必用である。農家施設への導入方法を農家レベルで実証していく研究活動と共に検討する。
- d) アミノ酸バランス飼料給与等、栄養管理による GHG 削減については、豚に加え、鶏、酪農、肉牛生産でもすでに研究を開始している。それら研究においては、家畜排せつ物管理から直接排出される GHG に加え、LCA によりシステム全体の GHG 排出量の変化を評価する予定である。