

基調講演

放牧活用型畜産の未来予想図

鹿児島大学 学術研究院 農水産獣医学域農学系

(兼任、九州大学客員教授)

後藤 貴文

1. はじめに

日本は未来に向けて、どのように IoT 農業、特に ICT 技術や AI を農業に活かしていくのか？ 現在、国も、多くの ICT 企業も、既存の農業への参入を目指し、種々活動が行われている。しかしながら、経営管理やデータ管理は、IT 技術によりある程度可能となってきている。しかし、本格的な成功例は少ないように思う。多くの農業は、ICT 導入以前に、一度、現状の生産のしくみを見直す時期に来ているように思われる。食のグローバルイゼーション、アメリカの政権交代でとん挫した TPP 等、国内への食料輸入と一方で日本農産物の輸出への取り組み、日本の農業は未来に向けて、これからどのような哲学を持ち、どの方向へ進むのか、まず凜とした考えた方や政策が必要だろう。

海外では、いち早く戦略的に農業政策を転換し、工業的で大規模な農業を、また一方では、オーガニック農業に向けた様々な事業を展開している。海外と同じステージで、コストパフォーマンスと環境への配慮等をこれまで以上に考慮する必要がある。農業活性化のためには、新たな生物生産科学における概念の取り込みとマーケットの中に農家に利益のでるしくみがあってこそ、農産業は大きなビジネスチャンスを生む。また、これからの農産業は、単なる食料生産ではなく、食のおいしさ・安全性はもとより、生産における周囲の環境との共生、環境負荷の低減、食のグローバル化による世界的な物質循環のバランス調整、フードマイレージ等低炭素社会の実現といった、多くの公益的な意味が考慮されるべき時代となった（図 1）。一方、このような状況の中、農業研究者は、農業そのものだけでなく、ICT 研究分野や AI 研究分野へ深く入り込み、新しい形の農業システムを創造しなければならない。そうしなければしくみの変革はむずかしく、同様に ICT 研究者や AI 研究者も深く農業分野に入り込まなければ、真の農業 ICT、IoT および AI イノベーションと、新しい哲学に基づく、真の農産業のイノベーションは構築できないだろう。さらに GAP や HACCP は当然のしくみとして含んでいかなければ、世界には通用しない。

牛肉生産はものづくり??

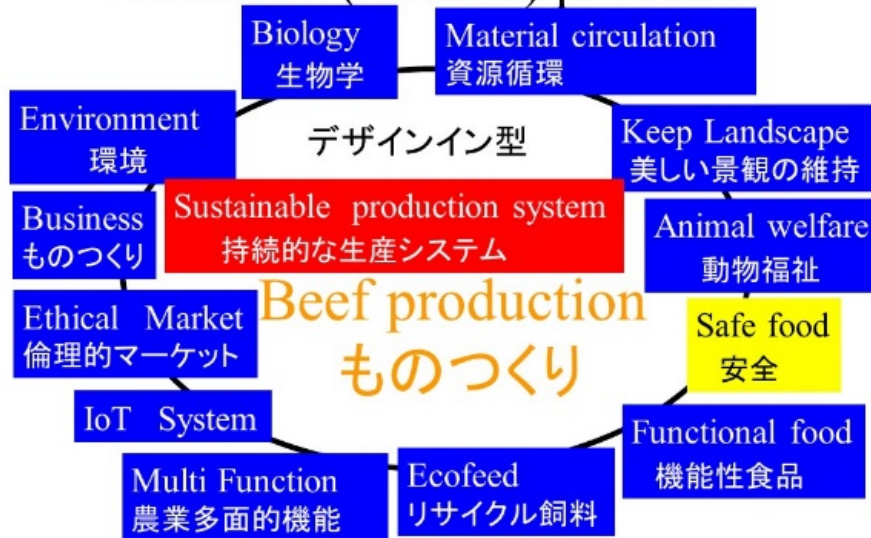
例えば、現在の車産業は、環境保全型自動車の開発にしのぎを削っている。

日本の牛肉生産はこれでよいのか???



A. 工業界のデザインイン型ものづくり

Future strategy for Livestock (Animal) products



B. 未来の牛肉生産をデザインイン型で考慮した場合のアイテム

図 1. 世界に通じる未来の農業におけるデザインイン型のしくみづくり

日本は主に工業製品を海外に輸出し、外貨を得て、日本を豊かにしてきた。一方で、食料輸入を規制し、自国の農産物を保護するとともに、国内に足りない食料品を海外より購入してきた。しかしながら、1991年のウルグアイラウンドの締結により、それまで輸入制限により守ってきた国内の基幹農業生産物コメ、牛肉およびオレンジ等を諸外国より輸入自由化するように迫られた。安価な食料の輸入により、日本農業は痛手を負うこととなった。多くの農家が経営困難となり、高齢化にも拍車がかかり、多くの耕作放棄地が認められるようになった。

日本の国土の73%は山であり、平野部は主食のコメ生産が主要である。輸入穀物飼料に依存した集約的な畜産を選んだ日本では、畜産も比較的平野部で営まれた。輸入穀物を多給して生産する和牛肉は、筋肉脂肪が多い特徴的な霜降り牛肉となった。和牛は、そのユニークな肉質から（海外に持ち出された和牛や和牛精液をもとに）アメリカ、カナダ、オーストラリア、メキシコ、中国、タイ、およびドイツ等ヨーロッパ各地等、現在では世界中で飼養されはじめている（外国の品種と交雑したもののWAGYUとして販売されている）。しかも、心苦しいのは、ヨーロッパ等では、WAGYUのオリジナルを日本の牛と認識している消費者が少ないことだ。アンガスのオリジナルは、スコットランドと多くの消費者は知っている。和牛の精子や受精卵の世界戦略を考える時期に来ているかもしれない。

現状、日本では、草食動物であるこの和牛に輸入したトウモロコシを中心とした穀物飼料を1頭当たり4トンから5トン与えなければならない。さらに、輸入穀物価格の高騰や生産システムの特異性により、現在、1頭の売値に対してコスト率は90%以上であり、ビジネスとしては非常に厳しい状況である。平成26年度の農林水産省によると全国平均として、和牛1頭の生産費は約101万円（子牛を購入して20カ月間の肥育の場合）であり、農家所得は1頭あたり約4.5万円となっている。これは現在のように、まだ子牛価格が高騰していない状況であり、現在の子牛1頭の価格が80万円以上の状況では、利益をあげるのは、かなり厳しくなるだろう。このように経営が厳しい状況に、単純に高コストのICT機器を導入することは現実的ではない。牛肉生産は、激しい価格競争の中、牛舎内で、大量の輸入穀物飼料を給与している状況である。また、過度な輸入飼料への依存は、輸入飼料にBSEやFMD（口蹄疫）等に係るタンパク質やウイルス等が混入するリスクも高まる。ウシは従来、地域の植物を食し、糞尿はその地域の植物を繁茂させるための堆肥となり、植物—ウシ—糞尿—堆肥—植物という循環が成立していた。しかし現実には、海外で生産された穀物を日本で与えているために、その糞尿は堆肥化しても、うまく処理する方法がない。統計では、年間約8000万トンの糞尿が日本国土に蓄積されている。この過剰な堆肥は、現実的に日本で使用できる量をはるかに超えている（机上の計算では使用できるというシミュレーションもあるが）。糞尿から生産された堆肥を飼料生産する畑に戻すことを、循環というならば、過度に輸入飼料に依存している状況では、日本では循環できないということになる。これらの大量の堆肥の処理をどのようにするのか、早急に対応する必要があるだろう。しかしながら、行政機関としては、このシステムを基盤に営む現在の農家を守らなければならない現実がある。さらにそれに関わる生産のしくみを維持しなければ、流通業界がダメージを伴ってしまう。このように牛肉生産のしくみは、変革することが難しい大きな歯車の中にある。

九州大学 高原農業実験実習場の戦略

Feeding Management:
Domestic Plant Resource

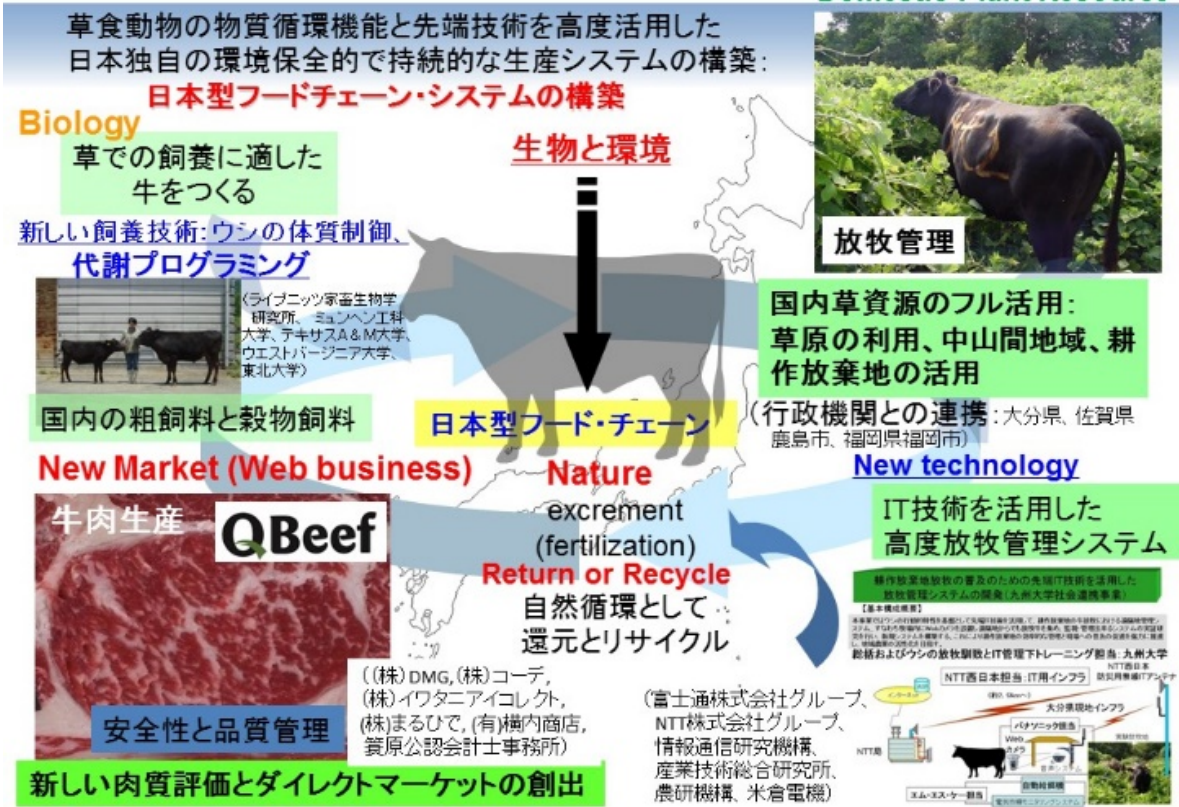


図2. 筆者が考える牛肉生産パッケージコンセプトの概略の例

しかしながら、この生産システムは、未来に向けて深刻な多くの問題を包含しており、TPP 等国際的な食料貿易関係の導入も見据えて、将来に向け、日本の牛肉生産は、どのような生産のしくみにシフトすべきか真剣に考慮する時期に来ている。昨今、少しずつ消費者や飲食業界、あるいは予防医学を探究する医師たちが、放牧による自然な形の肥育による、いわゆる牧草牛に興味を持ち始め、赤身肉の嗜好も高まり始めている。放牧肥育は、ウシにも飼養するヒトにも優しい農業であるが、産業とするには、さらなる効率化、省力化が必要である。著者は、九州大学の遠隔地施設、農学部附属農場高原農業実験実習場にて、多くの民間企業と連携しながら、約100頭のウシと約80ヘクタールの土地を使って研究を進めてきた。本稿では民間企業と共同研究で行った新しい牛肉生産システムにおけるIoT農業の取り組みをご紹介します。未来の放牧活用型畜産におけるIoTを議論したい(図2)。

2. 地球の物質循環における牛肉生産の意味と放牧活用型畜産

ウシは本来、穀物ではなく植物、特に草資源を飼料とし、本来植物繊維を微生物の力を借りて、肉やミルクと言ったタンパク質に変換してくれる経済動物である。消費者は概して、ウシは草原でのんびり生産されていると思われている。実際は、先に述べたように牛舎の中で、輸入穀物飼料を中心に、集約的に飼養されている。

本来、植物資源は日本に豊富にある。この豊富な日本の植物資源を活用して、ウシは牛肉やミルクといったタンパク質を日本人に供給してほしい。先に述べた土地利用の少ない集約的な霜降り牛肉生産の一方で、日本は国土の14%ほどの土地に約50%の人口が密集している。すなわち国土の80%以上をうまく活用できていない。日本の人口分布は、東京を始めたとした都市部に集中し、山間部や中山間地域は、過疎化、限界集落化が増加して荒廃している。山地や中山間地域の環境をまもることは、希少植物、動物と環境の保全、概して日本国土の保全において重要である。鳥獣害について防御柵をつくっても根本的な問題解決にはならない。山は放置して木があればよいというものではない。山を管理し、定期的な間伐を行い、しっかりと山中の森を守ることで、木は実をつけ、また下草が生える。そのような環境をつくってやれば、シカやイノシシは、里に降りて農作物に被害をもたらさずに山に住むことができる。これからの社会が目指す自然共生、資源循環、食料自給率の維持において、山地の活用やその植物資源をどのように活用していくかは重要な問題である。農業と国土保全の面から地域創生の鍵となる。近年、日本でも行政機関が、耕作放棄地等の未利用地のウシによる放牧活用を推奨しているところである。筆者らは、生物科学的な研究、すなわちエピジェネティクスを用いた代謝プログラミング機構を用いて、子牛の時期に、粗飼料でも太りやすい体質の制御に関する研究を行っているが、本稿では詳細な内容は割愛する。この代謝プログラミングのシステムにより、国内の粗飼料（草資源）でも肥育できる体質を制御して、その後はICT技術を活用した放牧による肥育技術を模索している（図2、3）。



図3. 耕作放棄地放牧の放牧直後（A）と放牧3ヵ月後の状況

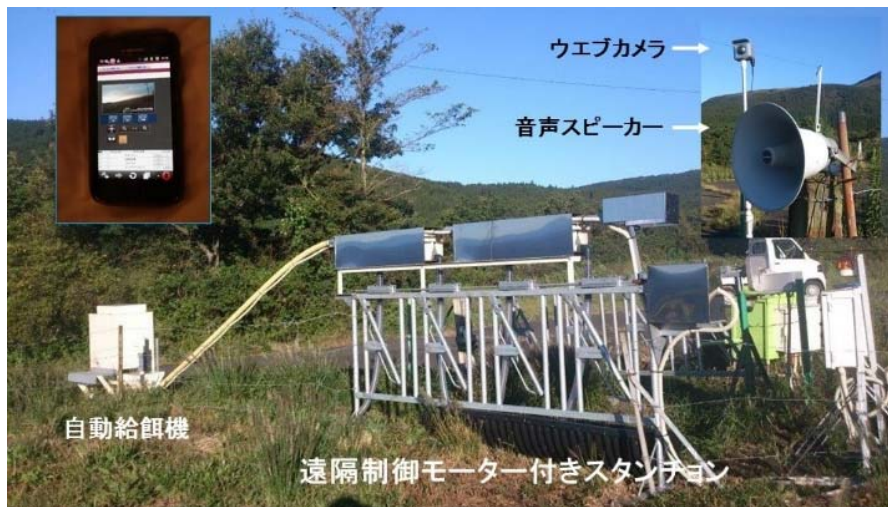
3. ICT というツールをどのように放牧型畜産に活用するのか

山や広大な中山間地域を用いて、ウシを放牧するとなるとそれなりの管理が必要となる。しかし、それは、飼養というより、個体の行動管理や位置モニター等、ICT 技術でカバーできる技術である。そこで我々は、未来に向けて、現在の牛肉生産システムとは異なる、山地、中山間地域を活用した新しい環境保全型の生産システムの仕組みを、ICT 技術を導入して確立したいと挑戦している。これは単なる農産物の生産ではなく、倫理的（エシカルな）な意味も含めた未来に向けた新しい産業の創出である。日本国土の 66%は森林であるが、林産業の経営状態も海外からの安い木材の輸入や後継者不足で悪化している。ウシは、植物資源を効率的にタンパク質にコンバートしてくれる比較的大型で、自立して移動できるプラントともいえる。ICT 技術とともにウシの放牧を基盤とした日本オリジナルな放牧型、あるいは山地元入れた Silvopasture（林畜複合経営）牛肉生産システムの構築を目指したい。限界集落の未利用地、森林や中山間地域の耕作放棄地の草資源シーズを活用して構築したい。しかしながら、現在のウシの放牧管理は、依然、旧型でアナログ的なものである。我々は、このウシの放牧管理を中心に、どのように ICT 技術で管理するかについて、特に放牧時における遠隔地からの位置・生体情報を収集し、家畜管理へ利活用可能な無線生体管理システムの研究開発に挑戦している 1、2。

4. ウシの行動特性を活用した遠隔給餌システム

畜産業の現場では、いわゆる“餌付け”というシステムをよく使用する。それは放牧している牛群管理に非常に有効である。ウシは群で動く。ウシの群れをコントロールするためには、ウシの行動特性を基盤とした餌付けシステムは、極めて有効である。また、スタンションという個体の首をロックし確保して、均等に餌を与える機器もある。実際には、現地にヒトがおり、そこでウシを呼び、また餌を少し与えることで、ウシが集まり、スタンションで確保できる。筆者らはそれを、ICT により遠隔から給餌するシステムを構築した。ウシの行動特性を用いて、ウェブカメラ、サウンドシステム、自動給餌機、ロック機構付スタンションを用いて、リモートによる遠隔でのウシ呼び寄せ実験を行い、餌付けシステムを構築した（図 4）。放牧実験エリアに機器制御用の無線ノード、制御盤を設置し、関連機器と接続した。スマートフォン／タブレットから操作可能な GUI を準備し、遠隔地からのモニター・機器操作を行った。放牧牛の管理では、通常、条件反射あるいは条件づけを活用して、種々の音により、牛群を集め、給餌を行う。条件反射は、いわゆるパブロフの犬の実験に代表されるように、餌を与えるという無条件刺激と、そのときに与える音が条件刺激としてウシの中で条件づけされ、牛群に対して音をならすことで、広大な放牧地でも音を鳴らす場所に集めることができる。本研究では、スマートフォンを用いて遠隔でウシの呼び寄せる、いわゆる遠隔餌付けシステムを実証した。スマートフォンのアプリケーションを作成し操作画面を構築した。まず画像の目視により、放牧地の状況を観察できる。その後、スピーカーのボタンにタッチすることで、放牧地現地のスピーカーより録音された、ウシを呼び集める声を放牧地に響かせることができる。ウシは放牧地よりゆっくりとウェブカメラの前に集まってくる。さらに自動給餌機のボタンに触れると、ウシはその音を聞いて、ゆっくりとスタンション（首をロックして、強い個体も弱い個体も平等に給餌できる設備）に首を入れる。その後、スタンションのロック用のボタンを押すと、ウシの首がロックされ捕獲することができる（図 4）。このようにして遠隔から

スマートフォンにて、放牧しているウシに補助給餌および捕獲が可能な装置を構築した。放牧牛は放置しておけばよいというわけではない。繁殖牛であれば、健康管理や生理の把握、人工授精により、妊娠させて子牛を生産しなければならない。また、日本では夏場は、ダニを予防するための薬剤も定期的にウシに散布する必要もある。また、産業としての補助飼料給与も必要である。このような手間を現地に行けない時、スマートフォンでできるのであれば、非常に効率的に管理ができることになる。現在の農林水産省の先導プロジェクトにおいて、親子周年放牧における、各個体の体格や月齢に合わせた遠隔給餌システムを開発中である。



A. 自動スタンションシステム



B. 放牧牛の自動給餌の様子

図4. スマートフォンによる遠隔からの捕獲と給餌システム

5. 放牧牛の位置情報を把握するための技術：放牧地におけるネットワーク構築

次に、ウシの放牧地のネットワークを構築することを考えた。放牧活用型畜産には広大な土地が必要となるが、一方で牛群の動きを見極めるのが難しくなる。中山間地域で山間部も活用した放牧となると、あるいは離島における地ぼうの複雑な土地での放牧となれば、牛群の把握や、帰ってこない個体がある場合の対処が難しくなる。また、1頭の繁殖牛（母牛）を、放牧地における種々の事故等で死なせることがあれば、約480万円（現状で、年間に80万円以上の価値の子牛を6年間生産する場合）以上の価値を農家は失うことになる。また、ウシの放牧軌跡を見ることで、健康状態やエネルギー消費量の推定や、放牧地の草地管理にもその情報は活用することができる。このように放牧地でのウシの測位は重要な情報となる。

通常、測位と言えば、GPSを思いつけるが、GPSを放牧牛の測位情報収集に使用するには、コストの問題とバッテリーの耐久性の問題がある。GPSを使用した場合、ウシを頻りに捕まえてバッテリー交換をしなくてはならない。現場で想定した場合、この労力を、労力的に現実的ではない。数年単位でウシに装着できるデバイスが必要である。そこで、伝搬環境を測定した後に、放牧地に測位アンカー局を設置し、放牧地をカバーする無線ネットワークを構築した。その後、測位システムを放牧地で稼働させ、放牧経営で求められる測位の精度をあきらめず、実際の現場における実現化、普及にむけた問題点をも明らかにした。GPSを用いない、電界強度3辺測位法による測位によってアンカー局設置密度0.6 ha/1台において、測位誤差を約30mまで縮めることが出来た。また必要な測位精度を、アンカー局設置数を増減させることでフレキシブルに対応できることが想定された。これにより、放牧地の牛の測位について、受信電波強度を用いた電界強度3辺測量方式による測位が適用可能であると示唆された。更にGPSを用いた測位に対して、約60%以上の省電力化の効果を見込めることが判明した。これらの検討から、バッテリーの寿命を長くするためにはスリープ制御が効果的であることが明らかとなった。省電力化の効果は実際の放牧地の運用方法に大きく依存することが考えられるため、今後普及に向けてさらなるシステムの最適化を、実証を通じて実施する必要がある。

実験を進めているうちに、放牧地のネットワーク構築を考慮する上で、放牧地の植生や地形の影響を考慮することが、良好な無線伝播環境や電界強度3辺測位法による測位の精度向上に重要であることが明らかとなった。放牧地の植生についてはITU-Rで規定されている森伝播モデルの適用が有効であることが判った。また地形の影響については、電波のフレネルゾーンに及ぼす影響や地形の凹凸の回折時の損失モデルを考慮することが有効であることが明らかとなった。また、放牧時の多数のウシのセンシング情報を効果的に収集する上で、時分割多重によるスケジューリング方法が有効であることが示唆された。牛に取り付ける端末のモビリティ機能を実現する上で、マルチホッピング機能が効果的であることも示唆された。これらの機能を実現する上で、端末の消費電力と、限られた周波数リソースの有効活用が重要であることが示唆されている。現在、我々の考えた測位システムとGPSを併用して測位誤差を比較しながら、試作アプリケーションソフトを開発し、タブレットにウシの測位情報や放牧軌跡をとらえることに成功している（図5）。

6. ウシ個体のバイタルセンシング

インプラントセンサシステムの構築に挑戦している。放牧牛の管理上、重要なことは、測位の他にウシ個体のバイタル情報の把握である。ウシの飼養において農家が最も重要な情報と考えるのは、健康のためのバイタルデータ（体温等）、繁殖牛（母牛）の発情（排卵）や分娩探知のためのバイタルデータである。当初、MEMS センサなどを体表面に張り付けて、センシングする方法を模索したが、ウシには体表面に被毛があり、長期にセンサを取り付けることが困難であった。また、被毛の少ない陰部等も検討したが、センサを張り付ける方法が困難であった。

そこで、数年前より思い切ってインプラント方式に挑戦している。これはまさに未来の技術である。インプラントとは体内にセンサーデバイスを埋め込むことである。ここでは430MHz帯特定小電力方式の小型無線機を開発し、牛の最後肋骨後方に埋め込んで牛体表の無線伝播環境を測定した研究及びその後新しい温度センサシステムにより行った研究の結果を紹介したい。インプラントセンサから直接、インターネットのネットワークへ情報を送ることは難しいことが予想されたので、インプラントセンサから各部位への電波の伝搬経路を確認した。牛体内よりも体表が支配的と考えられ、皮下インプラントした無線器から体表面上の無線器との無線回線設計のためには、アンテナ埋め込みによって生じる挿入損失と、体表上の距離損及び回折損を考慮しなければならぬことが分かった。本研究による基礎データはBAN（Body Area Network）技術を用いたインプラントデータセンシングを実現しなければならないことを示してくれた。更に、一昼夜にわたって、埋め込んだインプラント無線機に搭載した温度センサのデータを、無線ネットワークを介して受信し、取得したデータの有効性が示された。しくみとしては、インプラントセンサの有効性が示された。今後、インプラントセンサによる各種兆候等のセンシングのしくみづくりの仕組みの構築が必要である。

これまで述べた測位や体温モニタリングシステムは、スマートフォンやタブレット等、端末における一つのアプリケーションで、容易に確認できるようなモックも作成した(図5)。未来に向けて、これらの技術をさらに眼鏡タイプなどのウェアラブルにして、農家がより機能的に、効率的に、および省力的に活用できるようにしたい。



図5. 放牧牛のモニタリングシステムのプロトタイプ

7. おわりに.

まず日本として、どのような多面的機能を持つ農業に対しての未来に向けての明確なビジョンを描く必要がある。スウェーデンの環境保護庁が発表した未来研究「2021年のスウェーデン」で、プロジェクトリーダーのアニタ・リンネルは、実現可能な未来のシナリオとして「持続可能な社会構築の戦略」を提言した³。食料を自給し、60万ヘクタールの農地を“エネルギー源として作物”のために確保することである。肥沃な土と牧草地を保全しながら、窒素やアンモニアの流出を減らし、リンは効率的に循環させる³。畜産について簡潔にまとめると、従来型の集約的な畜産を基盤としたタスクマインダーという概念、もうひとつは、草食動物や、国土特に森林等を活用したエコロジカルな畜産を基盤としたパスファインダーという概念である。パスファインダーでは、ウシやヒツジは草地で放牧され、景観と牧草地、生物多様性が維持される。現実に持続社会を形成するには白か黒かという政策ではなく、基盤的食料生産のための集約的な畜産と、多面的機能と国土保全を基盤とした循環型畜産の両方の政策が必要であるということである。スウェーデンにおいても、これらの政策を実施するために多くの課題にさらされているだろう。日本にも、このような政策により、多様な牛肉がいつでも食することができる社会、放牧を主体とした日本の植物資源から生産された良質タンパクとしての様々なタイプの牛肉がいつでも食せるような日が来ることを願う。

真の農産業は、特に畜産業は、自然と共生しながら、家畜が地球上で果たす役割を果たしながら、循環系や国土を守り、そして、国土に根差した安全な食料、特にタンパク質を供給し、しかもビジネスとして自立する必要がある。そのためには、消費者が、農産業の多面的機能の重要性を意識し、国民全体で支えていくことが必要となる。そのためには、そのような政策が必要である。食の不足がすべての紛争の起源である。しっかりと地に足をつけた農産業の構築は、日本の安定した繁栄の基盤となることは言うまでもない。牛肉生産システムを放牧基盤に変革し、IoT、特にICT技術を放牧牛管理に用いることができれば、ヒトもウシも極めて畜産業が楽しくなる（図6）。

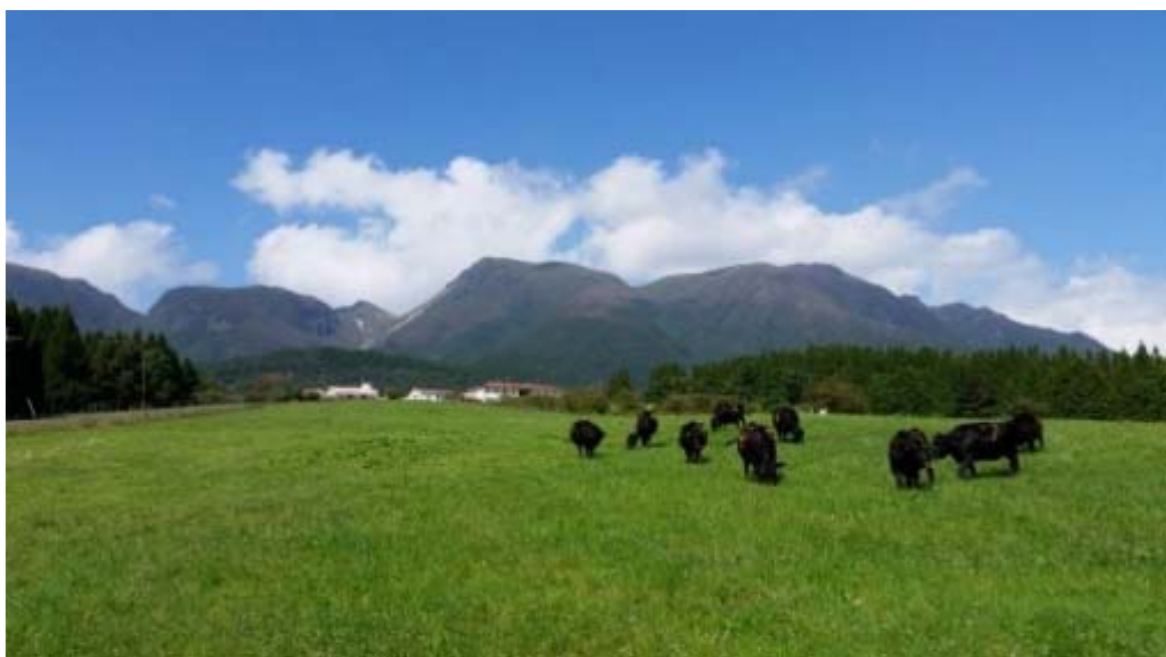


図 6. 九州大学農学部附属農場（高原農業実習場）の放牧牛

8. 謝 辞

本研究は、NTT 西日本株式会社、富士通株式会社との共同研究、ならびに総務省競争的資金 (Strategic information and communications R&D Promotion Program (SCOPE) of Ministry of internal affairs and Communications (112310005))、科学研究補助金 (挑戦的萌芽研究 / 25660219)、科学研究補助金 (基盤研究 B / 26310312)、およびキャノン財団助成 (R15-0089) 等にて実施されました。ここに深謝いたします。

文 献

1. 後藤貴文、(財)社会開発研究センター “図解 よくわかる農業技術イノベーションー農業はここまで工業化・IT化できるー” (日刊工業新聞社)、第V章、大転換する畜産技術：pp.120-135, 2011.
2. Gotoh, T. et al. Challenges of Application of ICT in Cattle Management: Remote Management System for Cattle Grazing in Mountainous Areas of Japan using a Smartphone, Smart Sensors and Systems. Innovations for Medical, Environmental, and IoT Application (Eds. C.-M. Kyung, H. Yasuura, Y. Liu, Y.-L. Lin), Springer, Springer International Publishing Switzerland, 467-484 (2016)
3. アニタ・リンネル、「環境教育の「場と物語」 スウェーデン2021年物語」、BIO-City (古田尚也構成・訳)、118、pp.2~19.

本誌より転載・複製する場合は農研機構畜産研究部門の許可を得てください。

畜産研究部門 平 29 - 4 資料

放牧活用型畜産に関する情報交換会 2017

編集・発行 農研機構（国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構）

畜産研究部門 草地利用研究領域 山本嘉人・井出保行・中尾誠司

電話：0287-36-0111(代) FAX：0287-36-6629

〒329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768

発行日 平成 29 年 11 月 6 日

印刷 近代工房

〒324-0036 栃木県大田原市下石上 1603