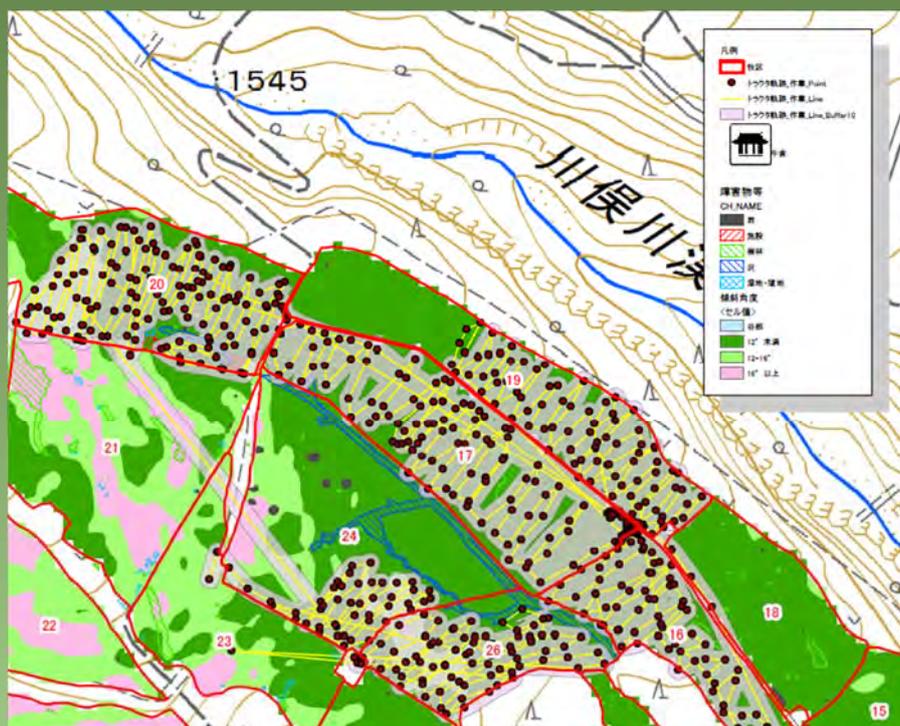


牧場管理効率化マニュアル



草地内におけるトラクタの走行軌跡

GPS情報 (GPXファイル) の取込例

繁殖管理の
省力化

草地管理の
効率化

疾病予防の
高度化

2016年3月

本マニュアルで解説する技術は、農林水産省予算により農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの 農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」を通じて、開発・実証されたものです。

はじめに

戦後の混乱期から高度成長期を経て、ここ数十年の間にわが国の畜産物の消費は急激に高まってきた。昭和 40 年代頃から畜産農家(とくに酪農家)を支援するために、育成牛を預かる公共牧場が全国に設置され、最大時の昭和 50 年代後半には牧場数 1,179 まで達したが、平成以降は徐々に下降し、平成 26 年には 736 まで低下してきており利用率も低迷している。しかしながら、公共牧場の合計草地面積は 85,757ha で、国内牧草地面積の約 14%を、とくに都府県では約 4 割を占めており、引き続き重要な飼料基盤といえる。

公共牧場の役割は、その豊かな草地を使って周辺地域の畜産農家から家畜を預かり、主に乳用牛の育成および肉用繁殖牛の飼養・種付けの場としての、畜産農家の外部支援機能を担うことである。農家の外部支援との位置づけゆえに、その運営母体は、県や市町村等の自治体、組合等の共同運営によるものが多く、運営経費の不足も運営母体から支援されている牧場がほとんどである。しかしながら、近年では運営母体自体の財政も厳しい状況におかれ、指定管理者制度導入による委託業務とされる牧場も多く、財政的な支援も限られてきている。牧場運営費の減少により、預託牛の繁殖管理や草地管理が行き届かなくなり、農家預託牛の育成や繁殖成績の低下に反映され、預託頭数の低迷から利用率が低下し預託料の収入が低下することにより、さらに運営が厳しくなる悪循環に陥っている事例も多くみられる。

このような低迷する公共牧場を活性化させるべく、平成 25 年度補正予算「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業」(うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)のなかで、網羅型研究「効率的な家畜管理・草地管理法導入による公共牧場および繁殖農家の生産性向上技術の実証」(平成 26-27 年度)に取り組んできた。本研究で開発された技術のなかで、省力繁殖プログラムの導入により繁殖コストを大幅に削減することが可能となる。また新型アブトラップや放牧衛生検査で利用できる迅速・簡便な血液成分測定装置は家畜疾病発症リスクを低減化させる。さらに製品化されたクラウド型「草地管理支援システム」は、ICTを高度に活用した次世代型草地畜産の基盤になる画期的なものであり、今後の発展が大いに期待される技術である。これらの技術は、経験や勘に頼ることの多い牧場管理を視覚化・一般化し、誰でも扱える技術に形式化したもので、牧場運営の効率化に資するだけでなく、今後の人材育成にも大きく貢献するものである。本研究で開発された技術を導入することで、外部支援機能が強化され、飼料自給率の向上と畜産物の安定供給に大きく貢献することが期待される。本マニュアルは、これらの技術の普及に向けて、実際に取り組んで頂くために内容をわかりやすく詳細に記載したものである。

取り組んだ革新的技術緊急展開事業は現場実証を通じて収益向上を示すことが求められ、本研究でも山梨県立八ヶ岳牧場、栃木県那須町共同利用模範牧場の2ヶ所で現地実証試験を行った。実証試験にあたり、八ヶ岳牧場の渡邊専務理事、志村技術指導幹、那須町共同利用模範牧場の白田場長および金子前場長をはじめ牧場関係者の方々には実証試験趣旨のご理解とともに多大なご協力を賜った。また普及・実用化支援組織として、山梨県畜産技術普及センター、栃木県那須農業振興事務所および芳賀農業振興事務所にもご協力頂いた。研究代表者として、ここに記して深く感謝する。本マニュアルが、効率的な牧場管理による利用率向上につながり、今後の公共牧場活性化の一助になれば幸いである。

研究代表 山本嘉人
(国立研究開発法人 農研機構 畜産草地研究所)

目次

1. 草地管理

1-1 放牧地における家畜の行動と草地管理支援システムの開発

1-1-1 はじめに

1-1-2 傾斜草地における攪乱圧の偏在

- (1) 牛道の発生と裸地の偏在
- (2) 排糞の偏在とその影響
- (3) 牧草生産量の偏在とその要因

1-1-3 ゾーニングによる草地管理

- (1) 「土地の傾斜－攪乱圧－植生」の関係に基づく傾斜区分
- (2) 傾斜区分に応じたゾーニングと草地管理

1-1-4 草地管理支援システム

- (1) 草地管理支援システム概念
- (2) システムの導入（利用）
- (3) システムの設計
- (4) システム導入による効果

1-1-5 文献

1-2 草地管理支援システムの利用による管理作業の合理化

1-2-1 施肥管理

- (1) なぜ、ゾーニングするのか
- (2) ゾーニングに基づく施肥エリアの決定
 - 1) 施肥エリアの選定
 - 2) 放牧牛に装着した GPS ログの利用
- (3) 肥料の種類と施肥量の決定
 - 1) 土壌採取のポイント
 - 2) 土壌診断結果の利用
 - 3) 肥料の種類
 - 4) 施肥量
 - 5) 年間の施肥を1回にする方法（窒素肥料の選定法）
- (4) 散布軌跡の記録と利用
 - 1) 植生管理への利用
 - 2) 作業の引継ぎへの利用

1-2-2 植生（雑草）管理

(1) 植生管理簿

- 1) 植生管理簿の作成方法
- 2) 植生調査方法
- 3) 草地管理支援システムの植生管理簿

(2) ゾーニングに基づく雑草管理

- 1) 雑草の侵入・繁茂と傾斜区分
- 2) 放牧草地における雑草防除の考え方
- 3) 主な草地雑草と防除法

1-2-3 草地更新

(1) 更新の判断基準

- 1) 草地更新判断の基本

(2) 草地更新の方法

- 1) 完全更新
- 2) 簡易更新

(3) 更新による植生改善の実施例

(山梨県立八ヶ岳牧場におけるシードマチックを利用した簡易更新)

- 1) 更新牧区の決定
- 2) 草地更新法の決定
- 3) 草地更新の実施
- 4) 効果

1-2-4 獣害対策

(1) 野生動物による飼料作物被害の実態と牧場における被害例

- 1) 野生動物による全国の飼料作物被害実態
- 2) 牧場における野生動物被害

(2) ニホンジカの増加によるリスク

- 1) シカの分布域・個体数の増加
- 2) シカによる牧草やロールベールの食害リスク
- 3) シカ由来の伝染病発生リスク

(3) 牧草被害率の推定と被害対策

- 1) 被害率の推定
- 2) 電気柵導入決定支援シート利用した防除方針の決定
- 3) 防護柵の設置例

1-2-5 文献

1-3 傾斜地無線トラクタの活用

1-3-1 はじめに

1-3-2 機能

- (1) 施肥作業
- (2) 刈り払い作業
- (3) 耕うん作業
- (4) 鎮圧作業

1-3-3 急傾斜地の完全更新（除草剤散布、耕うん、播種、鎮圧）

1-3-4 傾斜地無線トラクタと圃場作業用 GPS ガイダンスとの併用

1-3-5 文献

2. 繁殖管理

2-1 発情発見作業を省力化する繁殖プログラムの利用

2-1-1 はじめに

2-1-2 繁殖プログラム

- (1) 排卵同期化のプログラム
 - 1) 繁殖プログラムに適用できる牛
 - 2) 通常精液を用いた繁殖プログラム
 - 3) 性選別精液を用いた繁殖プログラム
 - 4) 受精卵移植への応用
- (2) 超音波画像診断装置を用いた妊娠診断
 - 1) TAI の 26 日後の妊娠鑑定
 - 2) TAI の 32 日後の妊娠鑑定
 - 3) TAI の 60 日後の妊娠診断

2-1-3 繁殖プログラムの導入と省力化の効果

2-1-4 文献

2-2 経膣生体卵子吸引-体外胚生産技術（OPU-IVP）および胚の客観的選別指標を用いた高受胎胚の効率的な生産

2-2-1 はじめに

2-2-2 経膣生体卵子吸引技術

- (1) 器具機材
 - 1) 試薬
 - 2) 動物薬、医薬
 - 3) 器具

- 4) 医療器具
- (2) OPU の手順
- (3) 採取液のろ過と卵子の検索
- (4) 体外受精
- 2-2-3 高受胎胚の選別方法
- 2-2-4 繁殖プログラムと OPU-IVP 胚
- 2-2-5 文献

3. 衛生管理

3-1 迅速・簡便な血液成分測定装置を用いた省力衛生管理

- 3-1-1 はじめに
- 3-1-2 ピロプラズマ病
- 3-1-3 迅速・簡便な血液成分測定装置
 - (1) 仕様
 - (2) 測定
 - 1) 使用上の注意
 - 2) 操作手順
 - 3) 精度
- 3-1-4 検査の省力化・効率化
- 3-1-5 文献

3-2 アブトラップの利用

- 3-2-1 はじめに
- 3-2-2 アブの生態
- 3-2-3 アブトラップの基本的仕組みと有効性
 - (1) トラップの仕組み
 - (2) トラップによる捕殺の有効性
 - (3) トラップの囿効果
 - (4) トラップによる防除成功例
- 3-2-4 トラップ各種の特性と使用トラップの選択
 - (1) ボックストラップ
 - (2) 折りたたみ式トラップ
 - (3) NZI トラップ
 - (4) トラップの選択

3-2-5 トラップの設置場所の選定と設置上の留意点

- (1) 設置場所の基本的条件
- (2) 設置個数
- (3) トラップの保護と下草対策
- (4) 放牧地内の灌木対策
- (5) トラップ設置後の点検

3-2-6 トラップによるアブ防除を行ううえでの留意点

- (1) 近隣牧野の有無
- (2) 捕獲されたアブのチェック
- (3) 継続的なトラップの設置

1. 草地管理

1-1 放牧地における家畜の行動と草地管理支援システムの開発

1-1-1 はじめに

1950年に制定された新牧野法を端緒とする放牧草地の造成は、1960年代になると全国各地で急速に進められるようになりました。開発の対象は主として耕種的な利用が困難な山間傾斜地に向けられ、多くの場合は山林、原野がその用地に充てられました。こうした場所に造成された草地は、生産および環境保全機能を維持しつつ、永続的に利用されることが望まれます。しかし、傾斜草地が内在する複雑な要因は、その管理技術を不確かなものにし、植生を悪化させる悪循環への引き金となることが多いようです。

そもそも、放牧草地の植生は、草の生産とそれを消費する家畜が相互に影響し合い、維持されるという特徴を持ちます。その過程では、家畜のもたらす攪乱圧、すなわち「踏みつけ、採食、排糞尿」が重要な役割を果たすと考えられています

(図 1-1-1)。そして、多くの放牧草地が立地する山間傾斜地では、家畜の行動が傾斜の影響を強く受け、上述した関係はより複雑になります。そのため、「土地の傾斜－攪乱圧－植生」の関係を理解することは、適正かつ効率的な草地管理を行う上で極めて重要な要素となります。

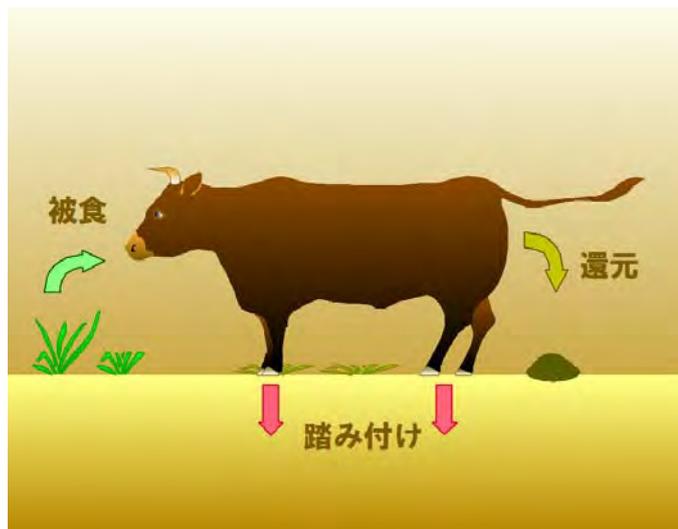


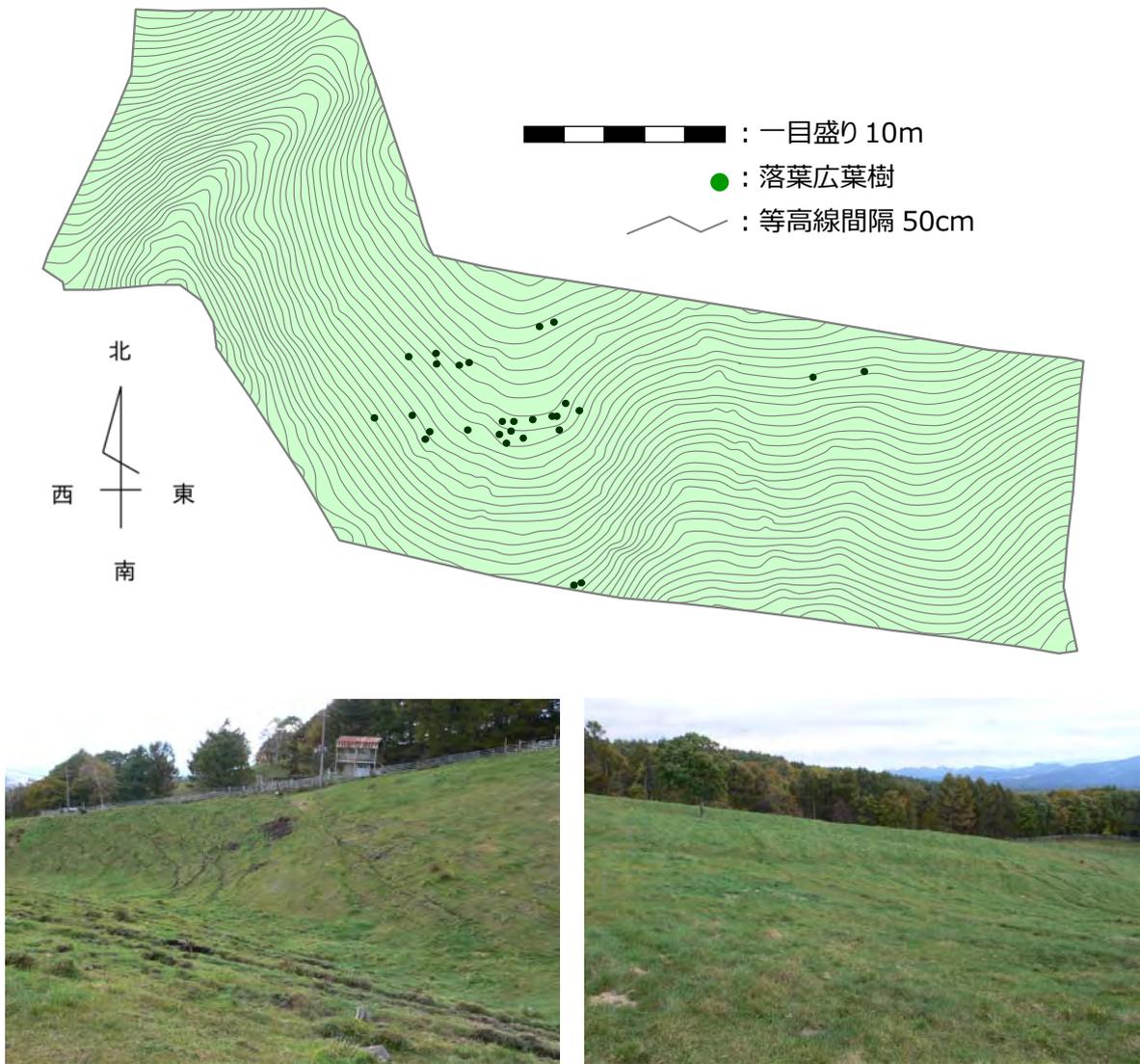
図 1-1-1 家畜が草地にもたらす攪乱圧。

1-1-2 傾斜草地における攪乱圧の偏在

本項では、「土地の傾斜－攪乱圧－植生」の関係について、長野県の浅間山南麓斜面に位置する放牧草地（以下、本項では事例草地とします）を題材に解説します。

この草地は、東西方向に長い変形した長方形をしており、中央部には落葉広葉樹の疎林があります。そこから東側半部は緩やかな斜面から構成され、西側半部は南北方向の谷を持つ比較的急な斜面から構成されています（図 1-1-2）。面積は 2.16ha で、1969年に不耕起造成されました。放牧期間は4月中旬～11月上旬で、期間中は子付きの黒毛和種繁殖牛 12-13頭が隣接する牧区（面積約 2.62ha）との間で1週

間ごとに交互放牧されています。年間の放牧強度は、体重 500kg に換算して 500 頭・日/ha 前後となります。



牧区の西側半部

牧区の東側半部

図 1-1-2 事例草地の概況.

(1) 牛道の発生と裸地の偏在

放牧牛は、傾斜地を水平方向に歩くことで、歩行時のエネルギー消費量を少なくしようとします。そのため、土地の傾斜度が一定以上になると牛群の歩行経路は等高線方向へと収れんし、その軌跡が繰り返し踏まれることで「牛道（うしみち）」と呼ばれる帯状の裸地が発生します（図 1-1-3）。事例草地では、草地の西側半部のような急傾斜地に



図 1-1-3 発生した牛道.

において、牛道の著しい発達が認められました（図 1-1-4）。その結果、牛道と密接な関係にある草地の裸地率は、牛道の発生が明瞭になる斜面傾斜角 12 度付近より急増し、16 度以上の斜面では 20-25%に達しました（図 1-1-5）。このような裸地の偏在は、植物の生産性に影響を及ぼすばかりでなく、埋土種子などによる他植物の侵入を促すことで、草地植生の局所的な変化を引き起こす大きな要因となります。

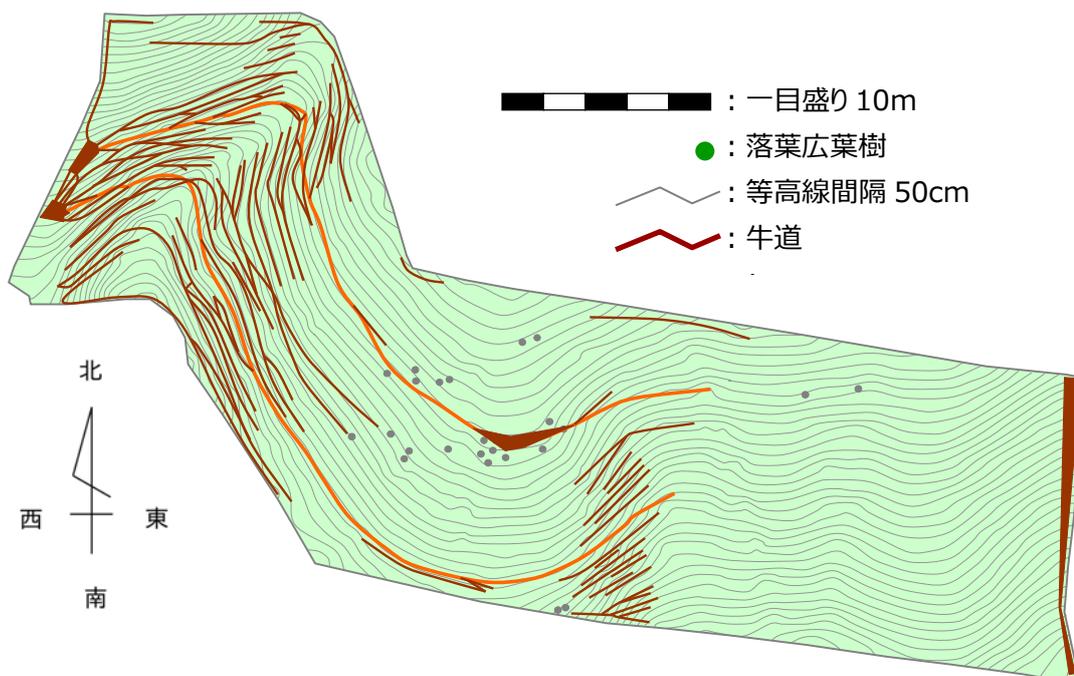


図 1-1-4 事例草地に発生した牛道の分布。

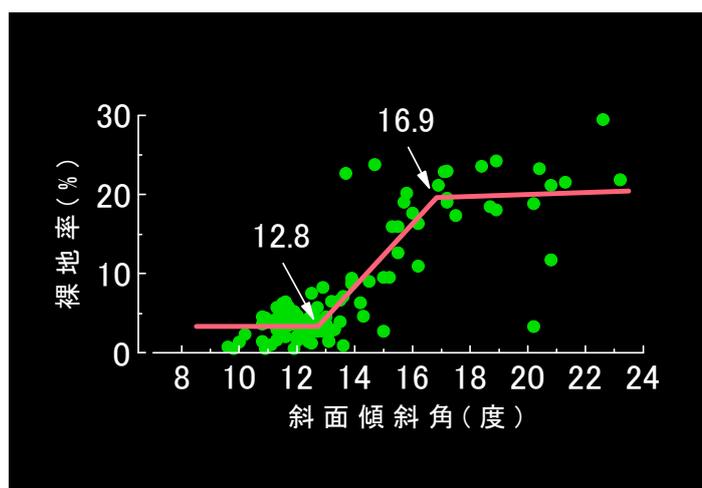


図 1-1-5 斜面傾斜角と裸地の発生状況。

(2) 排糞の偏在とその影響

傾斜草地に放牧された牛群は、草地内の緩傾斜地や平坦地を休息場所として利用し、そうした場所に多くの糞を排泄します。事例草地でも、牛群が休息場として利用する草地の中央部や東側半部のような緩傾斜地において多くの糞がみられました。その結果、糞の落下面積（新鮮糞の占有面積）は斜面傾斜角の増加に伴って急激に低下し、15度以上の斜面では小さな値となりました（図 1-1-6）。また、このような糞の分布様式は年次的に大きく変わることはなくほぼ一定でした。

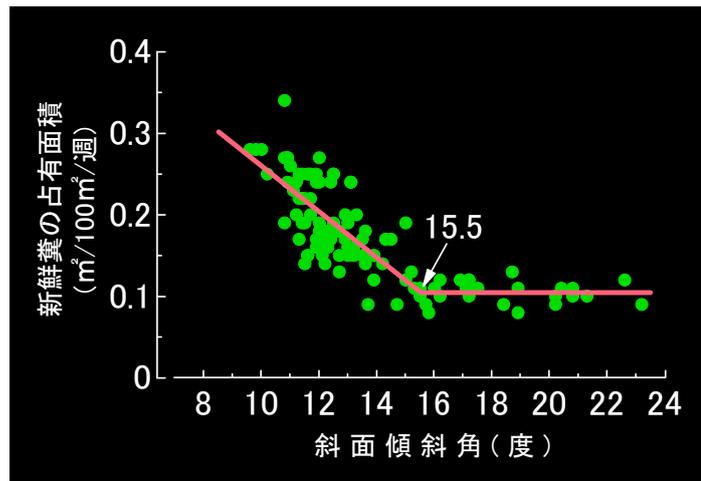


図 1-1-6 斜面傾斜角と新鮮糞の落下面積。

ところで、草地に排泄された糞は、土壌への集中的な養分還元を引き起こすことが知られています。その結果、牧草の養分吸収量および生産量は局所的に高まるものの、糞の臭気は牧草の被食率を低下させるため、草地内における不食パッチ（不食過繁地）の形成を助長すると考えられています。事例草地でも、土壌中の交換性カリウム含有量は糞の落下量が多い緩傾斜地において高い値を示し（図 1-1-7 左）、新鮮糞の占有面積との間に高い正の相関関係が認められました。一方、イネ科牧草の被食率は糞の落下量が少ない急傾斜地において高まる傾向を示し（図 1-1-7 右）、糞の強い影響が

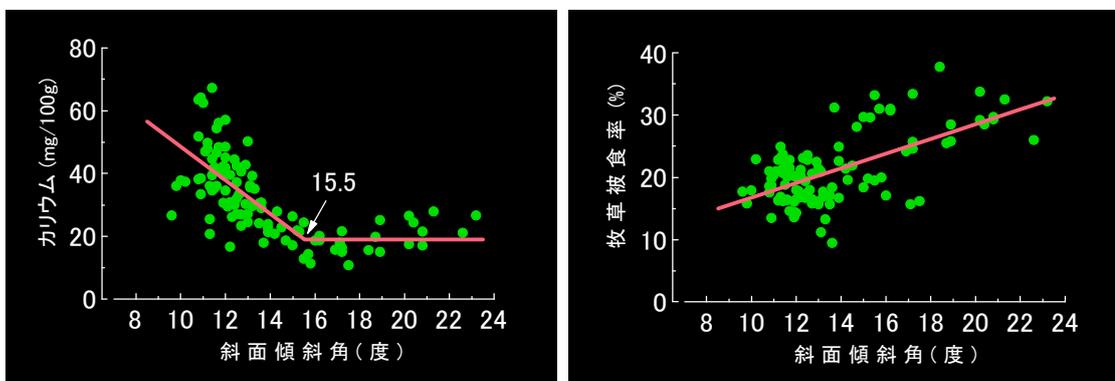


図 2-1-7 斜面傾斜角と土壌カリウム濃度（左）および牧草被食率（右）。

示唆されました。これらのことから、糞の偏在は土壌養分や牧草被食率を局所的に変化させることで、草地植生の不均一性を発現させる大きな要因になっていることが分かります。

(3) 牧草生産量の偏在とその要因

事例草地では平均被度で 85%を越えるケンタッキーブルーグラスが最も優占しています。そのケンタッキーブルーグラスを主体とするイネ科牧草の生産量をみると、生産量は斜面傾斜角の増加に伴って急激に減少する傾向を示しました（図 1-1-8）。この関係に折れ線モデル（図中の赤い線）を当てはめてみると、斜面傾斜角 15.5 度に折れ曲がり点が得られました。新鮮糞の占有面積（図 1-1-6）にも同様な傾斜角に折れ曲がり点が認められることから、傾斜に伴う排糞分布の偏在と、それに起因する土壌養分や被食率の偏りが、牧草生産量の不均一性（図 1-1-9）を生み出す主要因であることが推察されます。

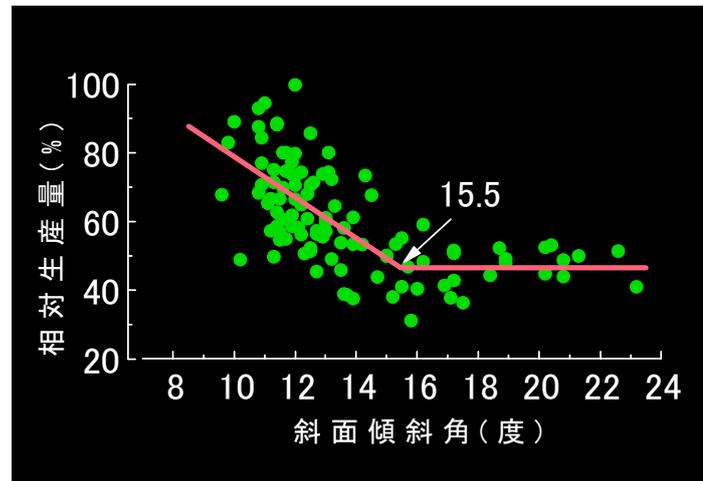


図 1-1-8 斜面傾斜角とイネ科牧草の生産量.



図 1-1-9 緩斜面の植生（左）と急斜面の植生（右）.

1-1-3 ゾーニングによる草地管理

(1) 「土地の傾斜－攪乱圧－植生」の関係に基づく傾斜区分

以上に述べた「土地の傾斜－攪乱圧－植生」の関係は、図 1-1-10 のように模式化されます。これらの関係を具体的に理解するため、図 1-1-10 に示した主な要因に折れ線モデルをあてはめてみました。

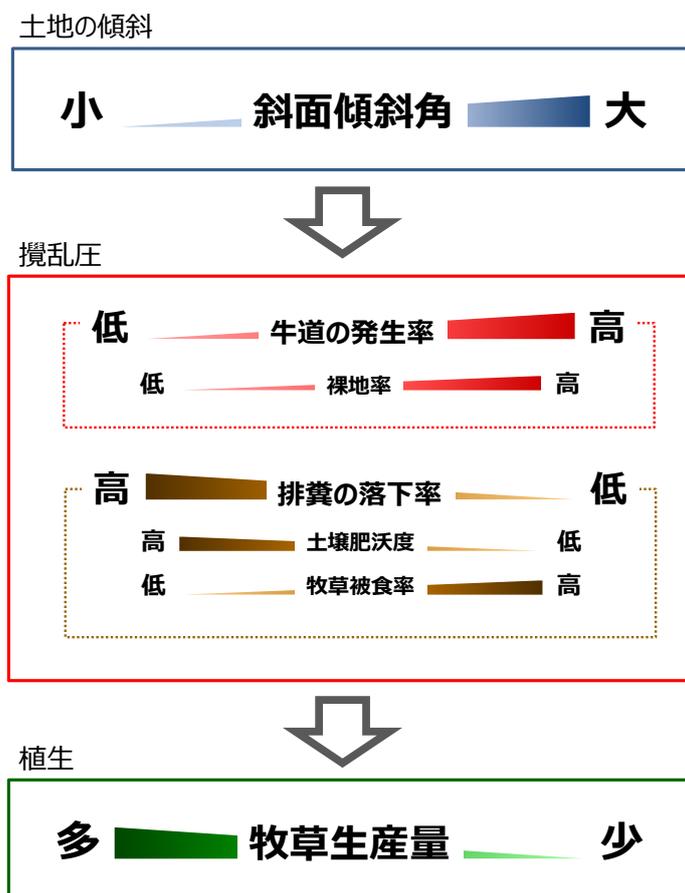


図 1-1-10 「土地の傾斜－攪乱圧－植生」の関係。

その結果、牛道の発生と密接な関係にある裸地率の分布（図 1-1-5）には斜面傾斜角 12.8 度と 16.9 度に、また、土壌養分や牧草被食率に影響を及ぼす新鮮糞の分布（図 1-1-6）には 15.5 度にそれぞれ折れ曲がり点が認められました。牧草生産量の分布（図 1-1-8）にも 15.5 度付近に折れ曲がり点が認められました。これらの結果を総合すると、傾斜草地を構成する斜面はその角度に応じて以下のように 3 区分されます。

区分 1：斜面傾斜角 0-12 度） 放牧牛は、斜面傾斜角 0-6 度の範囲であれば傾斜の影響をあまり受けずに行動でき、12 度以下の範囲であれば牛道に依存することなく行動できる。そのため、牛道はほとんど発生しない。休息場として利用されることが多く、

糞の落下量は多い。土壌肥沃度は高く、牧草生産量は多いが、被食率は低い。

区分2：斜面傾斜角 12-16 度） 傾斜による影響で放牧牛の行動が規制され、牛道が発生する。放牧牛は傾斜の増加に応じて牛道への依存度を高める。糞の落下量、土壌肥沃度、牧草生産量、および被食率は相対的に中位である。

区分3：斜面傾斜角 16 度-) 放牧牛は傾斜の影響を非常に強く受け、その歩行経路はほぼ牛道に限定される。糞の大半は牛道に落下するが、その量は少ない。土壌肥沃度は低く、牧草生産量は少ないものの、被食率は高い。

(2) 傾斜区分に応じたゾーニングと草地管理

上述した傾斜区分に基づく草地のゾーニングは、地理情報システム（GIS : Geographic Information Systems）を用いることで、容易に行うことができます。図 1-1-11 はその適用例であり、事例草地を含む他の牧区にも上述の傾斜区分を適用したものです。図中の色分けは、攪乱圧の空間的な分布を示すが、同時に牧場を構成する草地の個性をそれぞれ示していると言えます。そこで、各傾斜区分に対応した草地の管理法を勘案すると、「区分1」に該当する場所では、糞尿還元による正負の影響を考慮し、生産的側面を意識した管理が、「区分2」に該当する場所では、牛道の発生状況を見極め、生産と保全のバランスを意識した管理が、さらに「区分3」に該当する場所では、牛道に起因する裸地の拡大に注意し、保全的側面を意識した管理がそれぞれ必要になるものと考えられます。

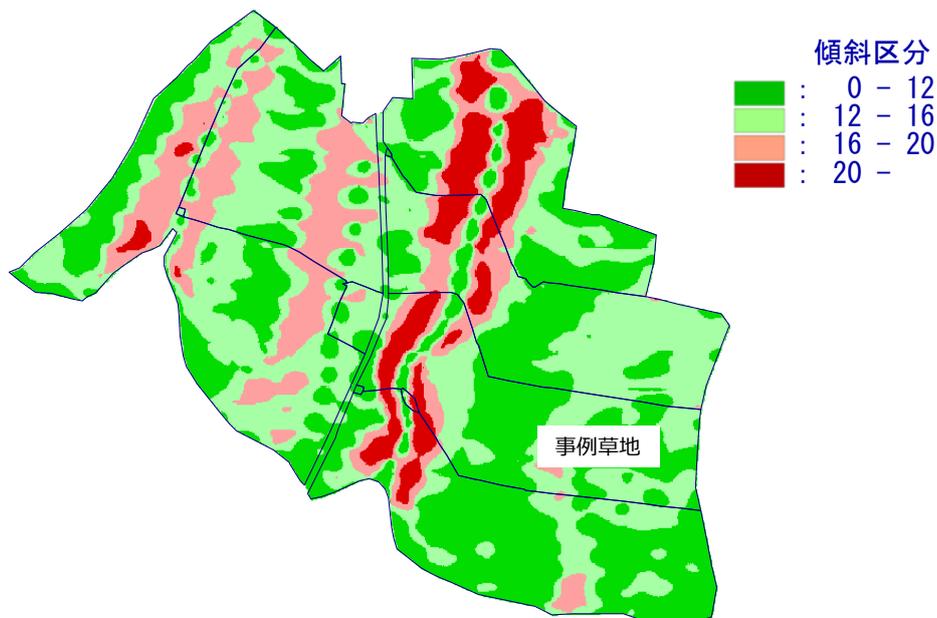


図 1-1-11 傾斜区分に応じたゾーニング。

1-1-4 草地管理支援システム

(1) 草地管理支援システムの概念

公共牧場における草地管理は、牧区単位で行われています。しかし、前項まで述べたように、牧区内における家畜の行動は均一ではないため、単純な管理を続けることは地力の偏在や植生の悪化を助長する可能性があります。とくに、公共牧場の草地は面積が広大なため、牧区の状況に応じた効率的かつ省資源的な管理が必要不可欠です。

そこで、草地管理に必要な情報の「見える化」、「共有化」、「データベース化」

(図 1-1-12)を進めるためのシステムを開発し、具体的な数値に基づいた管理計画の策定を可能にしようと考えました。本項では、草地管理支援システムの概要を説明しますが、システムの操作方法については「操作マニュアル」を参照してください。



図 1-1-12 草地管理支援システムの概念。

1) 草地管理支援システムの概要

草地管理支援システムでは、効率的な草地管理の実現に向けて、第一段階として牧区を含む電子地図を作成し、第二段階として、その地図に基づいた草地管理の計画策定に利用します。

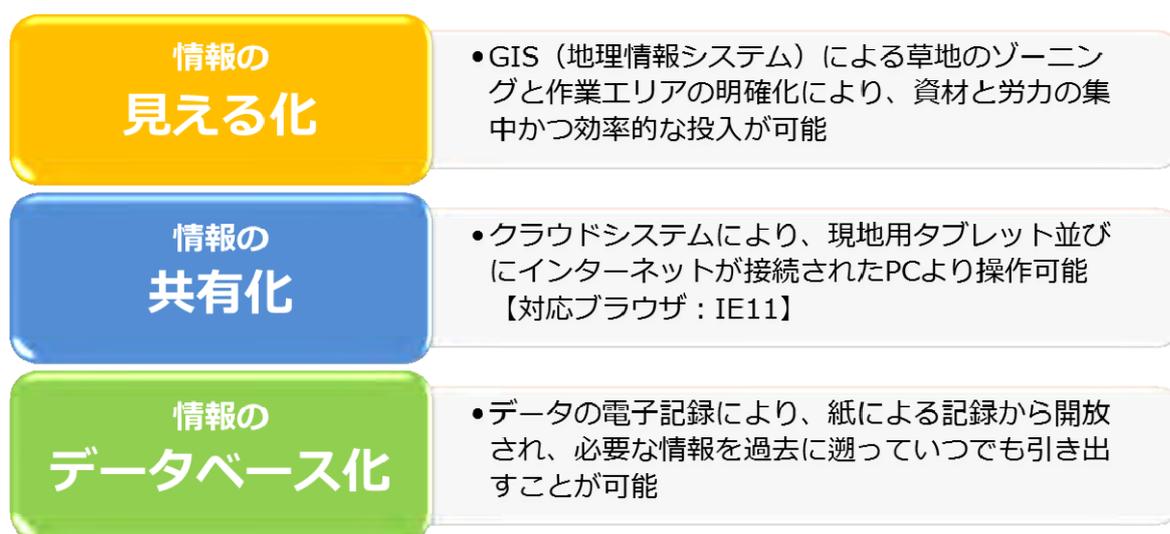


図 1-1-13 草地管理支援システムの概要。

2) システムの機器構成とその特徴

a) 機器構成等

本システムは、クラウド環境によりタブレット PC や事務所のデスクトップ PC で利用することができます。公共牧場等で入力した現地の情報（牧区内の情報や現地写真等）は、管理事務所等で情報を共有・解析をすることが可能となり、畜産草地研究所では、牧草の生育状況を確認しアドバイス等をすることが可能です（図 1-1-14）。

<草地管理支援システムの情報の流れ>

- ・データは、データセンタ内のサーバで一元管理されます。



図 1-1-14 情報の流れ.

b) 構成機器の仕様

- ・構成機器の仕様は、下図のとおりです。サーバは、以下のソフトウェア(図 1-1-15)を利用し、インターネットにより配信することにより情報を共有します。したがって、Web 環境があれば、いつでもどこでもシステムを利用することができます。

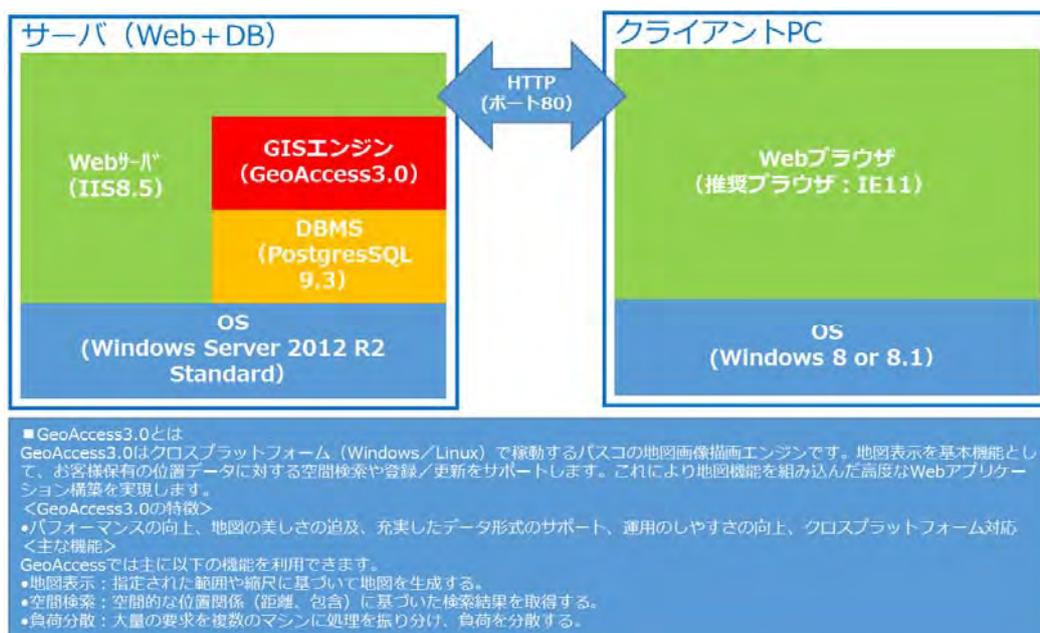


図 1-1-15 構成機器の仕様.

(2) システムの導入（利用）

1) システムの利用方法

a) 利用するための事前準備（データ整備）

草地管理支援システムの利用にあたり、地図データ等の初期整備が必要となります。公共牧場内の傾斜角度等の地形データ、現地調査による牧区界や施設等のデータ、GPS 等により取得した牛の行動データをデータベースに登録し、草地管理支援システムを利用します。初期整備したデータより、参照・解析データとして『ゾーニング』から『任意』の各レイヤ等を作成します。



図 1-1-16 草地管理システムで取扱うデータ等。

※ **赤字**は手動更新、**青字**はシステムで更新するデータです。

b) 管理する各種データ

管理する各種データについては、内容の特性や時間精度の観点から、以下の階層で管理します。

表 1-1-1 各データの区分.

区分	概念	更新時期	時点
■システム管理者が、システム運用のために整備する初期データ			
①現地	各種背景データをベースに作成、または、現地調査により取得したデータ	更新権限を有するユーザーが随時更新（初期設定） ※Web版で閲覧するには、定期的な処理により反映	随時 （初期）
■登録後のデータを、レイヤによっては、ユーザーが現地等で更新可能			
②確定（公開）	管理者によって確定されたデータ	管理者が登録処理、更新権限者が更新可能	定期
■ゾーニングについては、履歴データの管理が可能			
③解析 （ユーザデータ）	②のデータよりゾーニングしたデータ	一般利用者	随時

c) 現地データの整備手法

① 現地調査で利用した機材

ハンドヘルドGPS

現地で牧区界の座標計測を実施するにあたり、ハンドヘルドGPSを利用します。利用した「GPSMAP64SJ」は、日本が整備を開始した独自の測位システムみちびきと、ロシア版の全地球測位システムGLONASSにも対応しています。



【製品名】GPSMAP64SJ

ガーミンサイトより引用

(<http://www.garmin.co.jp/products/onthetrail/gpsmap64sj/#featureTab>)

② 現地調査

現地調査では、牧柵等の座標取得において、右の写真(図 1-1-17)のとおり、牧柵の上部をハンドヘルド GPS で計測します。



図 1-1-17 現地データの取得.

データ整備のモデル地域として、下記の地図(図 1-1-18)の範囲である山梨県立八ヶ岳牧場での例を、次ページ以降に記載します。

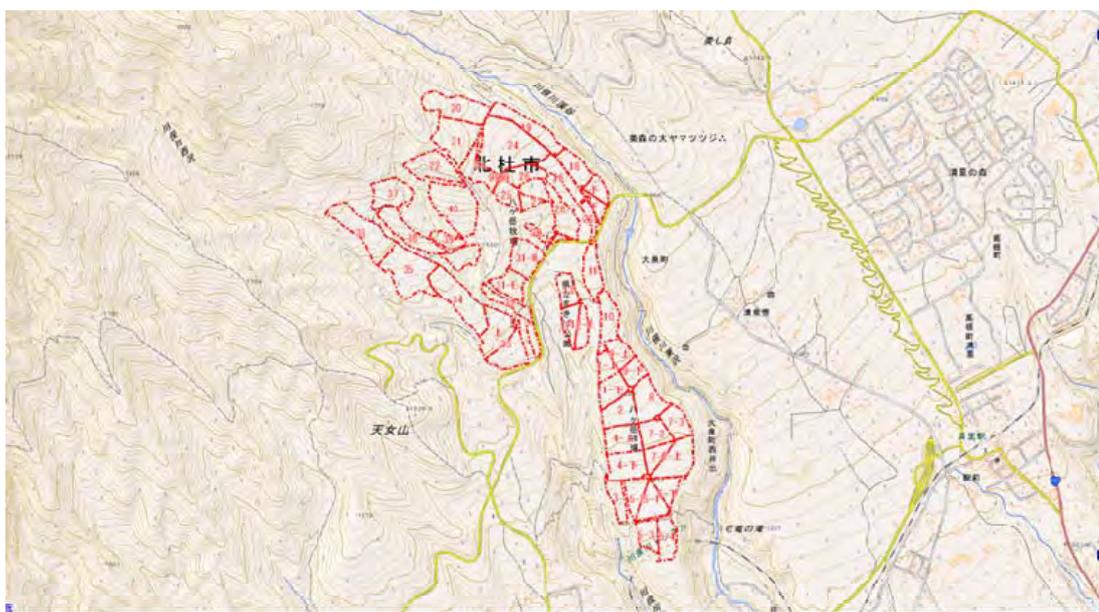


図 1-1-18 八ヶ岳牧場周辺の地図.

2) 整備済みデータの例

a) 牧区と現地調査で取得したデータ

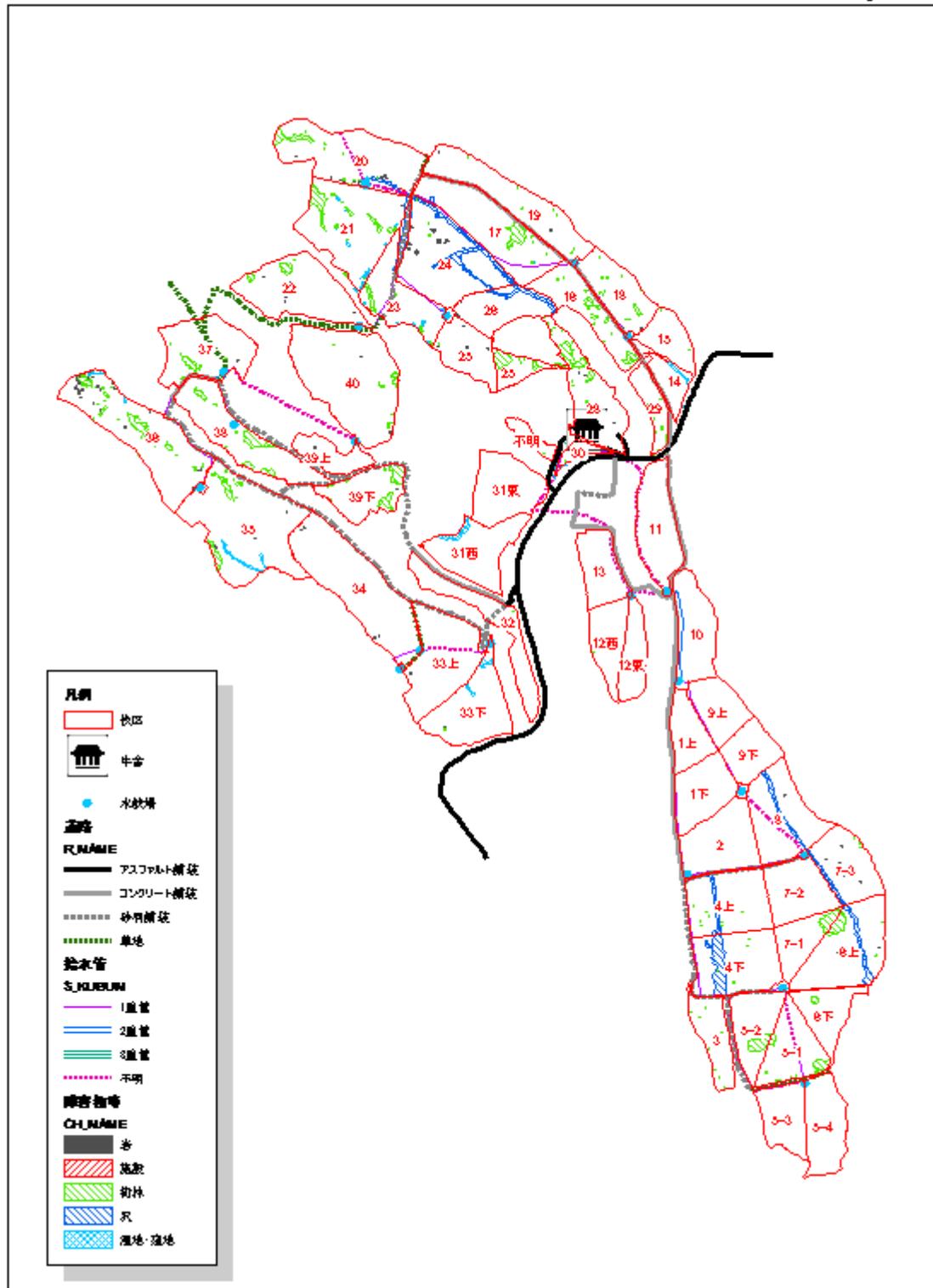


図 1-1-19 牧区境界と現地取得の地物等.

b) 牧区と土地利用

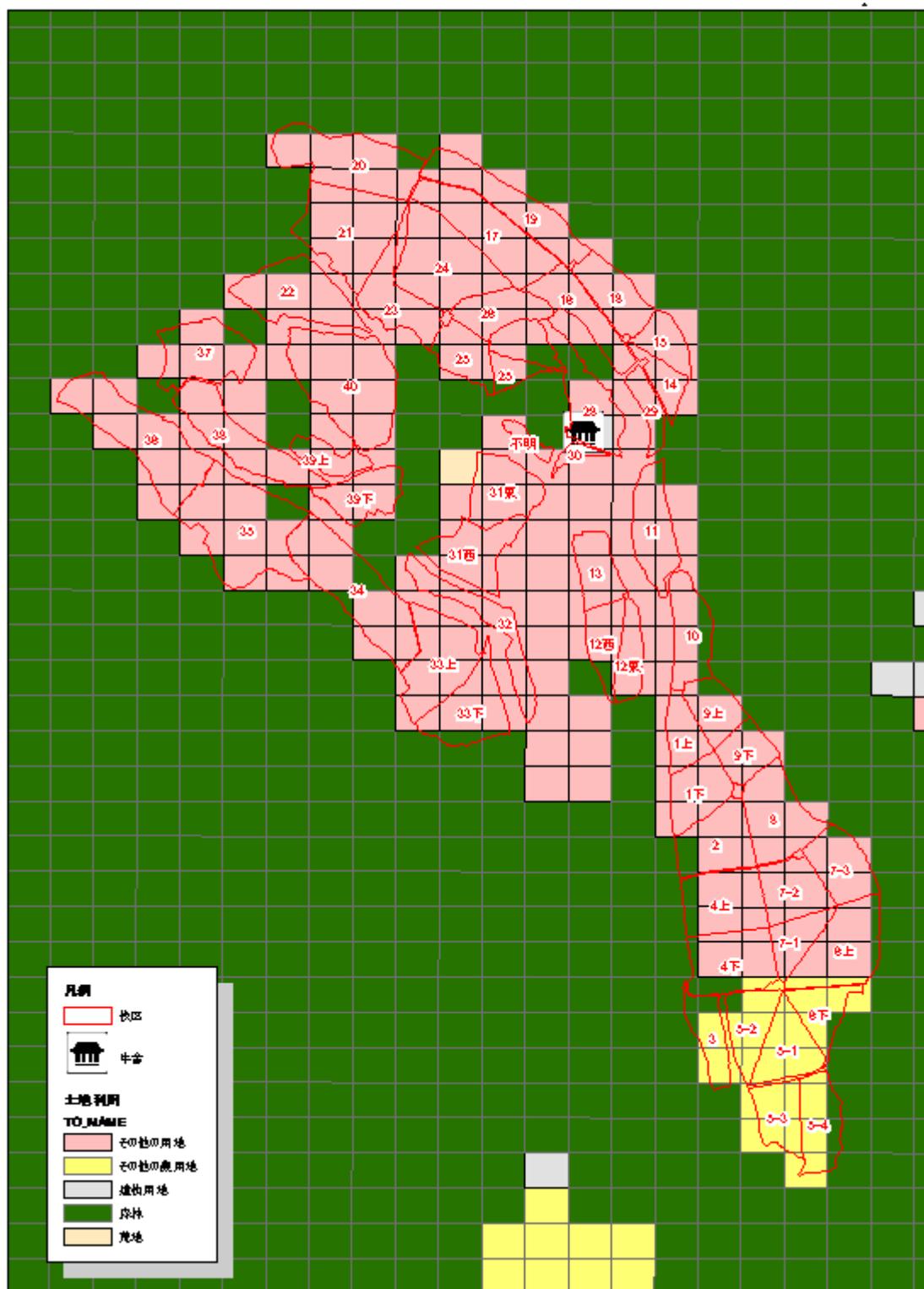


図 1-1-20 牧区境界と土地利用データ（国土数値情報
土地利用細分メッシュデータ 100m メッシュ）。

c) 牧区と傾斜区分図

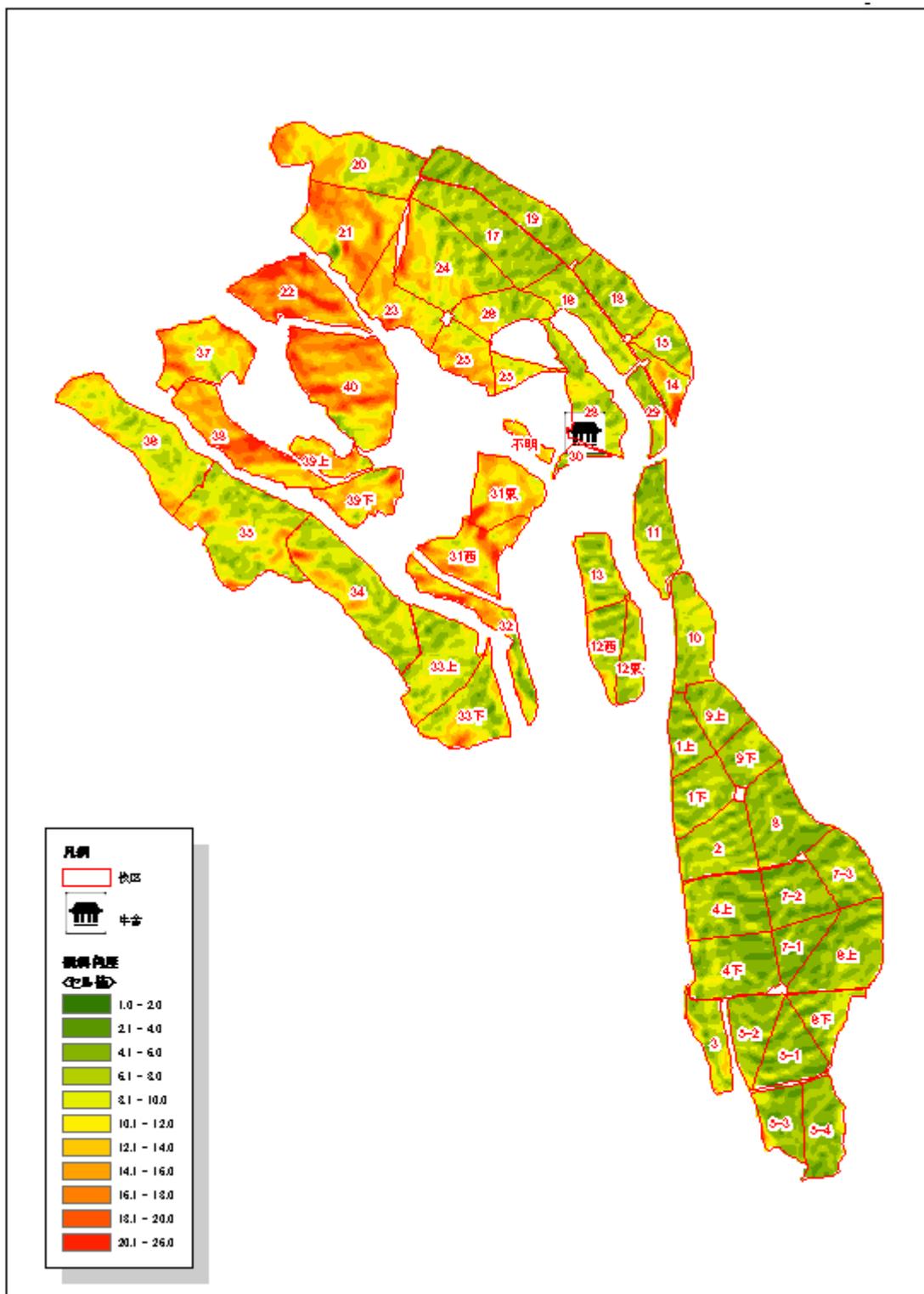


図 1-1-21 傾斜分布図 (10m メッシュ標高) .

d) 牧区と傾斜区分図（ゾーニング用）

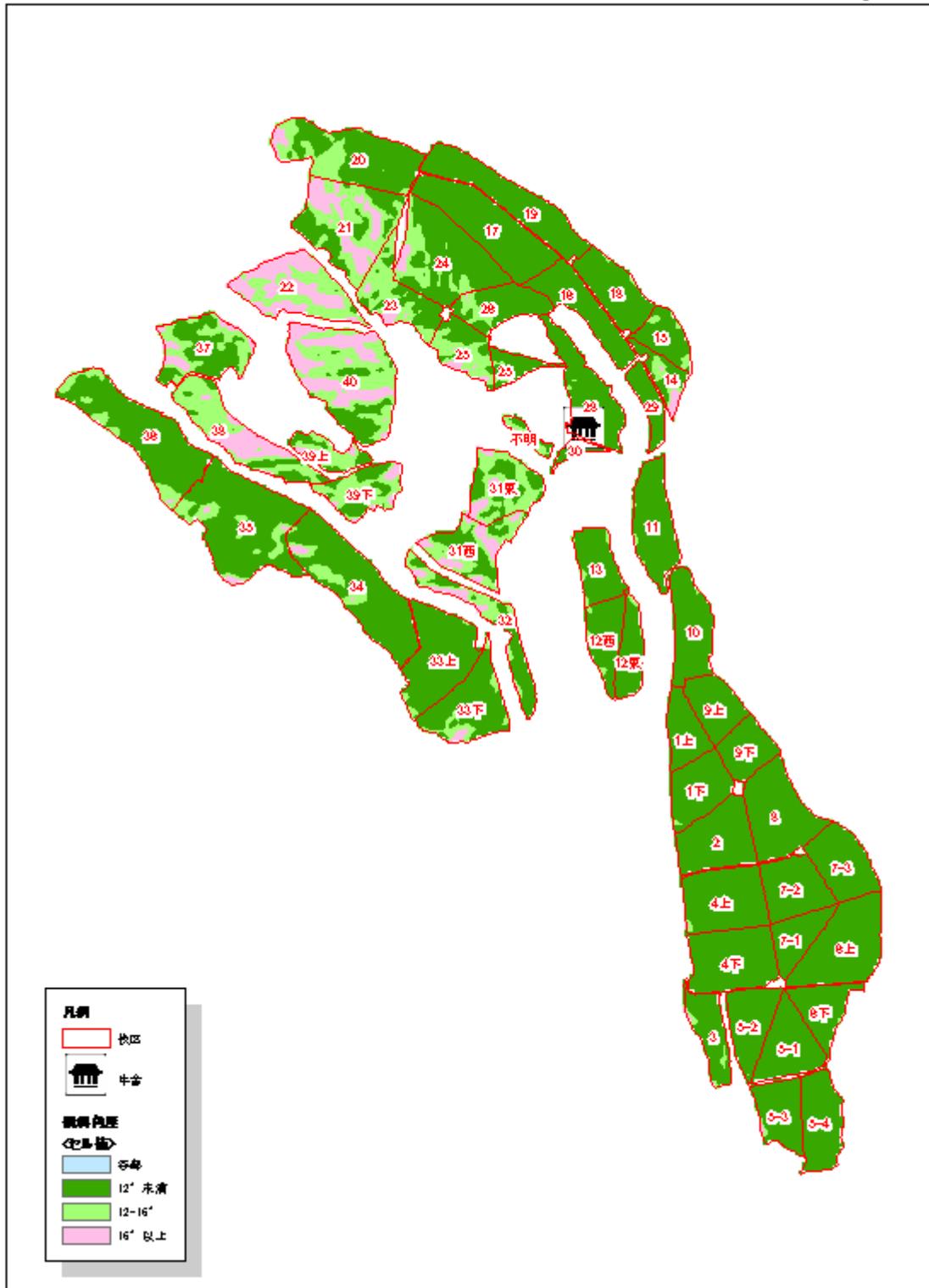


図 1-1-22 傾斜区分図（10m メッシュ標高）。

e) 牧区と傾斜方位図

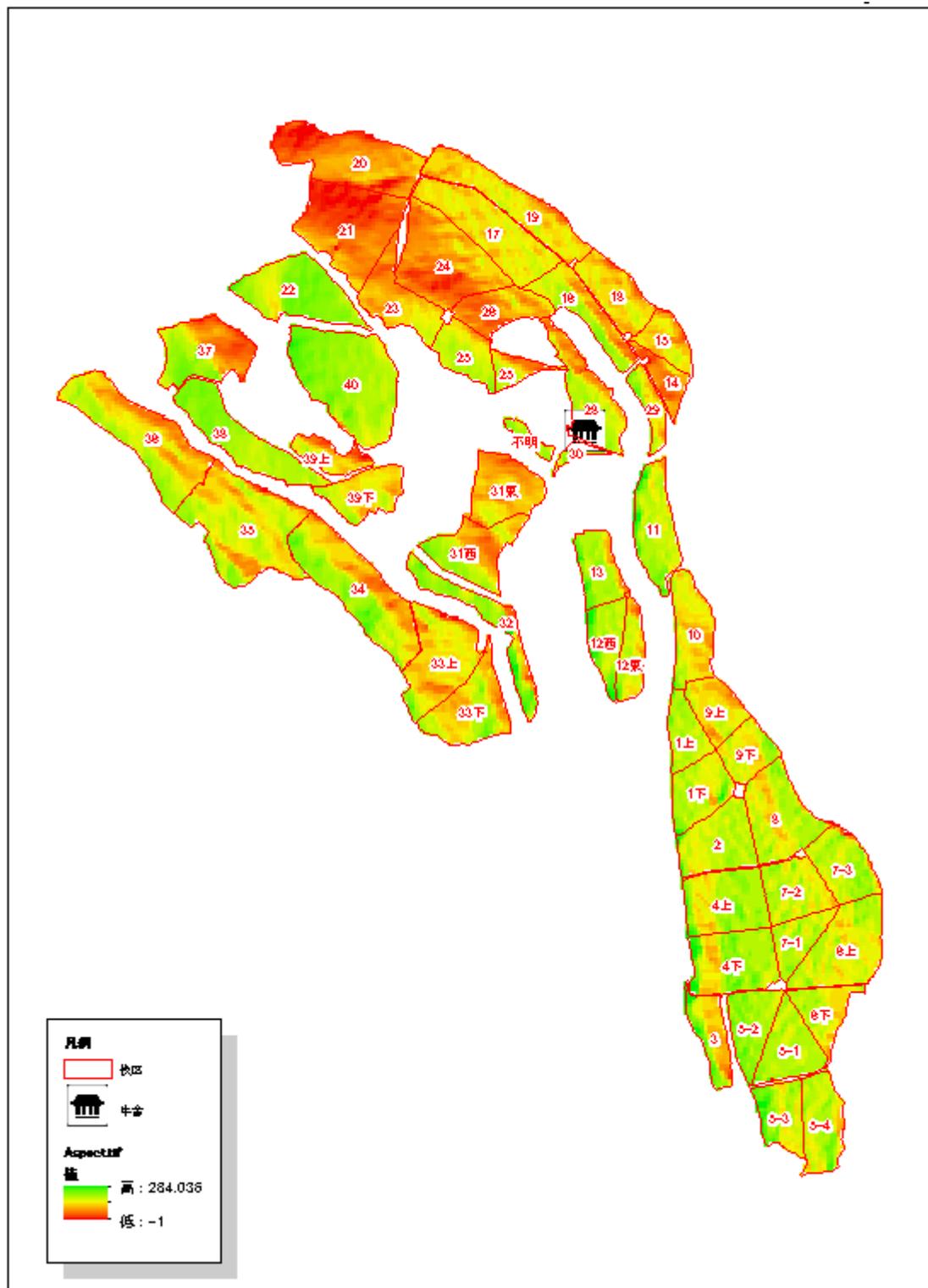


図 1-1-23 傾斜方向図 (10m メッシュ標高) .

f) 牧区とDEMと等高線

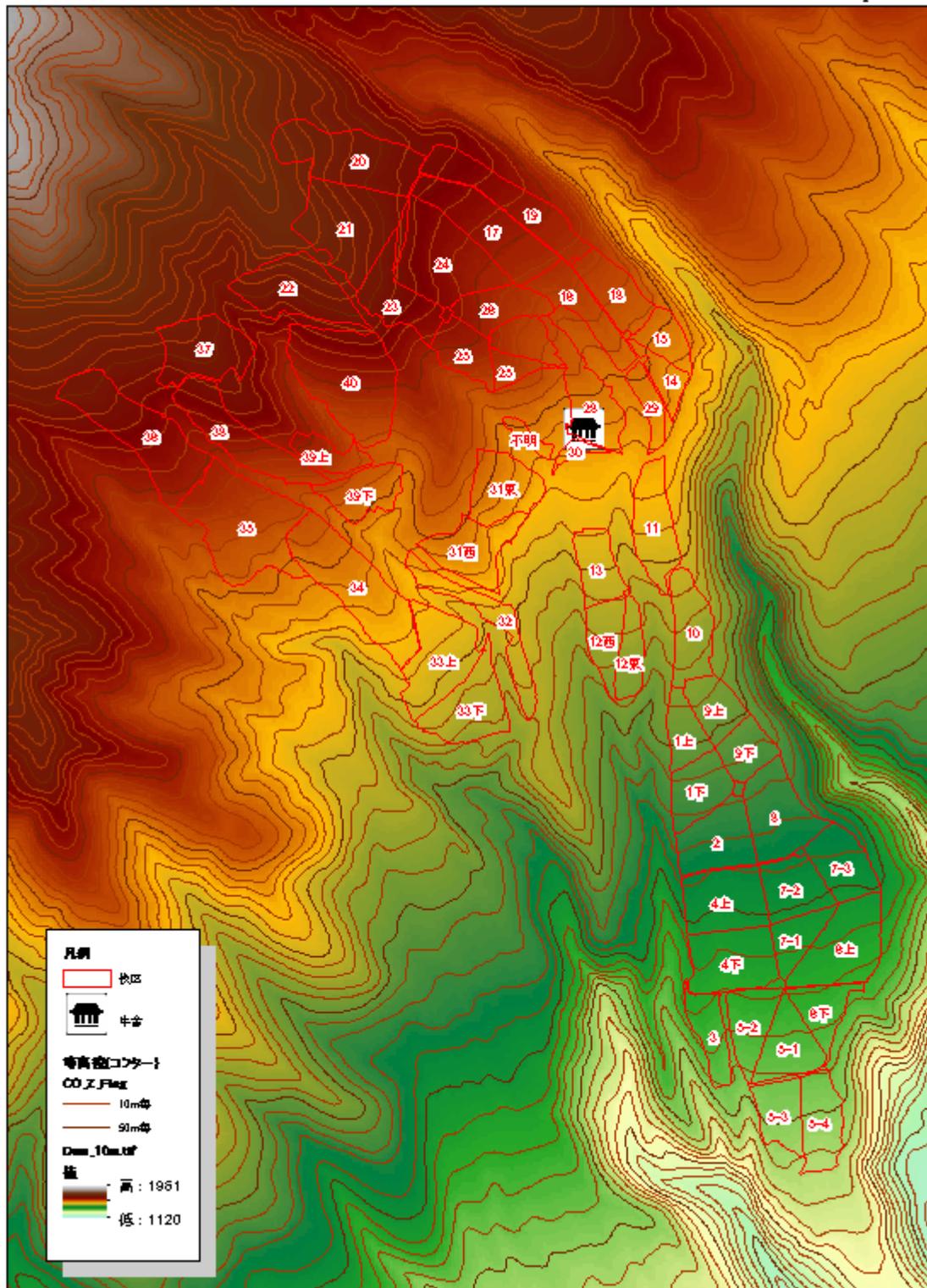


図 1- 1 -24 標高図 (10m メッシュ標高) .

g) 牧区と衛星画像



図 1-1-25 SPOT 画像 (1.5m カラー (パンシャープン)) .

※SPOT 6 & 7 (スポット 6 & 7) は、フランス Airbus Defence & Space 社により開発・製造、運用されている 1.5m 分解能を有する商用光学衛星です。撮影幅 60km と比較的広範囲を撮影できるのが特徴です。1986 年の SPOT-1 衛星の打ち上げ以来、現在運用中の SPOT 6 & 7 衛星シリーズまで、継続的にデータを取得しています。

(3) システムの設計

1) システムの概要

a) 草地管理支援システムのベースとなる技術

草地管理支援システムは、地理情報システム（以下、「GIS」という。）をベースに、公共牧場の地形・背景、現地調査等の地図情報とそれに付属する属性情報を一元的に管理しています。併せて、人工衛星等から取得する GPS 情報を取込み管理します。以下に、GIS と GPS の概要を説明します。

<GIS とは？>

「Geographic Information System（地理情報システム）」を略して「GIS」といいます。この「地理情報システム」とは「デジタル地図の画面上に様々な情報を重ねて、それらの情報を用いて様々な分析（空間解析）を行うシステム」です。

GIS では、現実世界の情報を、点（ポイント）、線（ライン）、面（ポリゴン）の3種類の図形で表現します。これら3種類の点、線、面それぞれで表現される各主題図を「レイヤ」と呼びます。レイヤを重ねて見ることで、GIS は現実世界の情報を表現します。

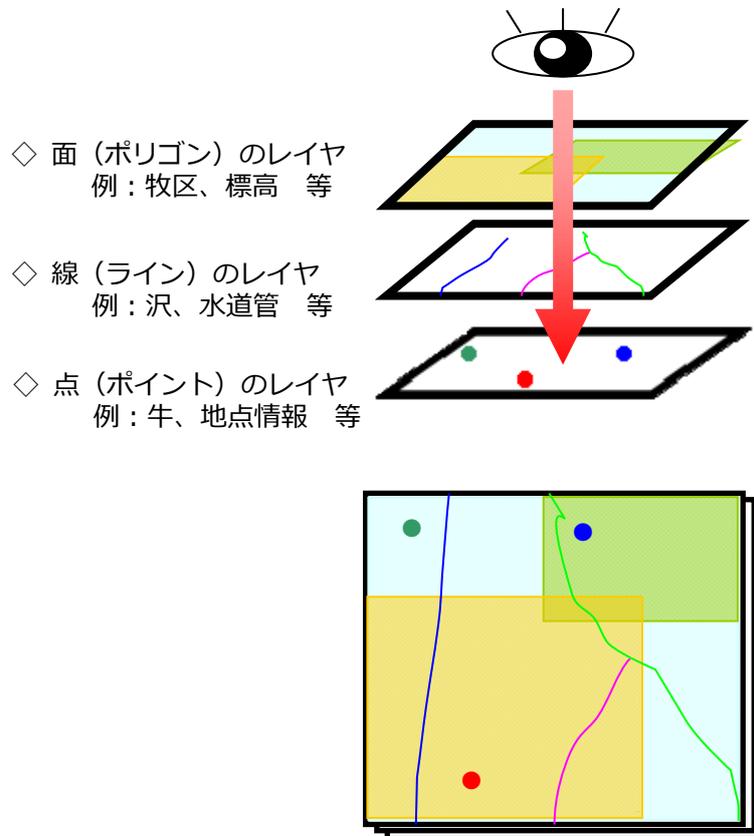


図 1-1-26 GIS の概念図.

<GPSとは?>

Global Positioning System (全地球的測位システム) と呼ばれる、「位置を知るための仕組み」です。

GPSは、地球を回る24個の衛星(図1-1-27)から発信される電波を利用して位置(緯度, 経度, 標高)を計算します。衛星の正確な位置はわかっているため、4つの衛星からの電波を受信することができますれば正確な位置を知ることができます(図1-1-28)。

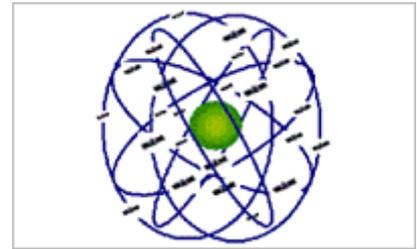
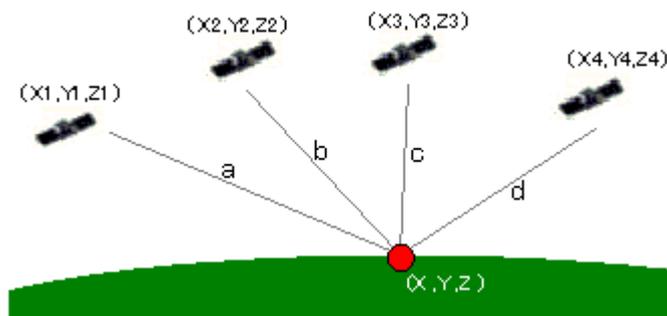


図1-1-27 衛星軌道。
・6つの周回軌道にそれぞれ4機のGPS衛星があります。

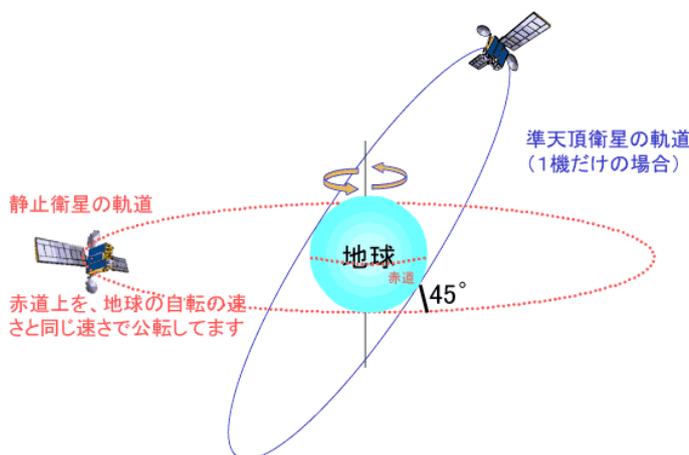
GPSは、米国国防総省が1970年代から軍事目的で開発・整備を進めてきたものです。当初は、軍事的理由によって意図的に精度を落としたデータが提供されていましたが、2000年5月に解除され現在では安価なGPSでも一般的に利用する分には十分な精度で位置を測定できるようになりました。

一般的に「天頂」とは日本の真上のことを指しますが、ここでは仰角が70°以上を指します。「準」がつくのは、常に1機が真上にいるというわけではなく、3機の衛星が8時間交代で日本上空(天頂付近)を滞留するようにするためです。3機の衛星は赤道上で120°ずつ離れた軌道を周ることで、24時間天頂に衛星が存在するようになります。(図1-1-29)



・GPSの時計は正確ではないため変数は緯度, 経度, 標高, 時間の4変数となり、衛星も4つ必要となります。

図1-1-28 GPSの仕組み。



・準天頂衛星とは「常に日本の真上に近い位置に配置され、より正確な位置情報にまつ電波を発信することができる衛星」です。

図1-1-29 準天頂衛星の概念。

2) 草地管理支援システムの機能概要

『草地管理支援システム』は、a) GIS 機能、b) 台帳機能、c) ゾーニング等の解析機能の大きく3つの機能より構成されています。(図 1-1-30)

- a) GIS 機能：牧区内の地形図や牧区界、施設情報等の地図データを管理します。必要に応じて、地図データの更新を行います。
- b) 台帳機能：牧区番号や牧草種、雑草割合等を植生ノートで管理し、併せて現地写真等を登録することができます。
- c) ゾーニング等の解析機能：上記、a) と b) で管理されたデータをもとに、家畜滞在エリア、施肥エリア等を解析することにより抽出します。

<草地管理支援システムの機能構成>

GIS 画面



図 1-1-30 草地管理支援システムの主な機能.

システム利用者により情報閲覧・更新などのアクセス権限が異なり、各ユーザーの所属、そのときの利用目的によって、システムへの機能要求も異なるため『草地管理支援システム』は、汎用的利用及び管理を主目的とした管理機能と、業務目的に特化した支援システム群に分類し、ユーザビリティを確保し開発しました。

表 1-1-2 草地管理支援システムの主な機能概要.

区分		機能概要
管理機能		システム管理者が、データ登録、ユーザー管理、バックアップ管理、アクセス管理等システムの運用管理を行うことを目的とします。
支援システム	c) ゾーニング等の解析機能	様々なレイヤを参照し、トラクタ侵入エリアの編集、ゾーニング・家畜滞在・施肥エリアの解析を行います。
	b) 台帳機能	各台帳の新規作成、更新、履歴の管理を行います。現地での閲覧にも対応します。
	a) GIS 機能	地図操作、検索、現地確認を行います。GPS を利用し、現在地への移動も行います。

a) GIS 機能

① 地図画面

地図画面は、拡大・縮小・移動等の地図操作を行うツールバー、データの更新・各種解析等を行うメニューにより構成されています。(図 1-1-31) 条件検索の画面メニュー等について、利用時に地図画面上に表示します。

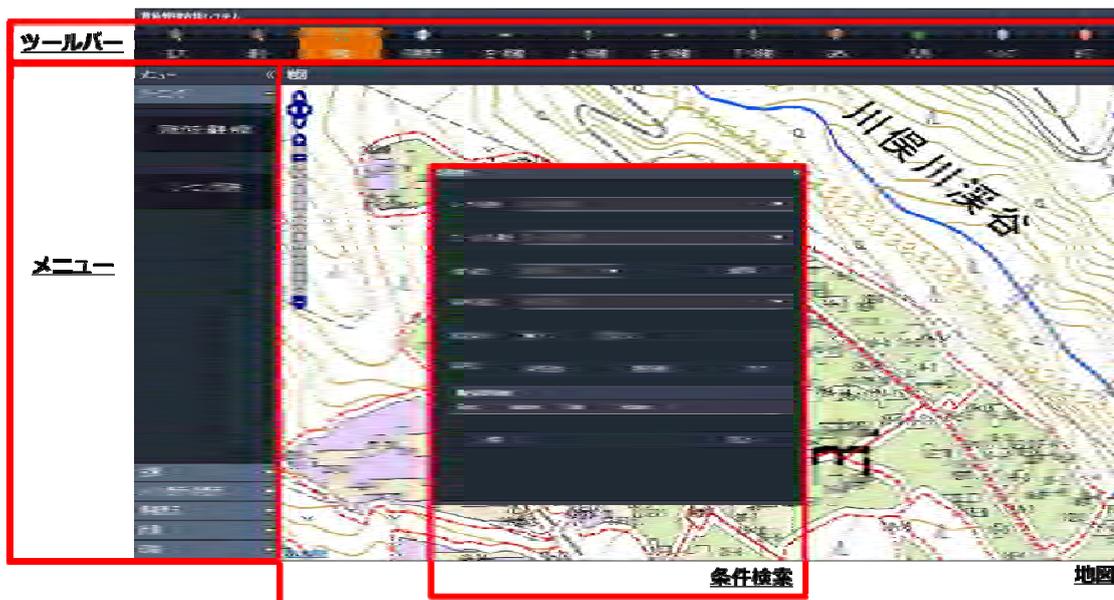


図 1-1-31 GIS (地図画面) の構成.

②GIS 機能と台帳管理機能の連携

GIS 機能（地図画面）と台帳機能（台帳画面）は、データが一元的に管理されているため、当該地図位置から対象となる台帳、当該台帳から対象となる地図位置へ移動することが可能です。（図 1-1-32）

The screenshot shows a web browser window displaying a GIS application. The top part is a map interface with various navigation tools and a menu. The map shows a field with red outlines. Below the map, there are two blue arrows: one pointing up labeled '地図へ' (to map) and one pointing down labeled '台帳へ' (to ledger). Below the arrows is a screenshot of the ledger interface, which includes a table of field data and a detailed view of a specific field.

牧区	エリア	雑生状態	土壌状態	裸地割合	牧草割合	傾斜区分	備考
20	20-7	高	湿潤	20-40	0.00	1	
20	20-8	高	湿潤	20-40	0.00	2	
20	20-9				0.00	2	
20	20-2				0.00	1	
20	20-3				0.00	1	
20	20-4	高	湿潤	20-40	0.00	1	
20	20-5				0.00	1	
20	20-6				0.00	1	

牧草種	雑草割合	写真
メッシュID	雑草種	割合
134049	オノノギシギシ	20.00
		割合
		割合
		割合
		備考

図 1-1-32 地図と台帳の一元管理による連携。

③レイヤの表示・非表示

レイヤ左横のチェックボックスにより、レイヤの表示・非表示を切り替え必要な地図のみを表示します。図 1-1-33 では、「ゾーニングエリア」のレイヤ非表示より、表示をしています。



図 1-1-33 レイヤの表示・非表示。

④条件検索

地図画面で確認することができる地図については、管理されている属性項目により、条件検索を行い、検索結果の当該地物に移動（表示）することができます。



図 1-1-34 条件検索。

⑤計測機能

地図画面上での面積と距離の計測は、斜面積と斜距離で求めることができます。画面上で、始点→途中点（複数）→終点の順で取得します。



図 1-1-35 距離計測 .

公共牧場における牧柵の延長を、平面図上での計測よりも、現実世界に計測を行うことができます。斜面積と斜距離の計測方法の考え方は、次のとおりです。

<斜面積の考え方>

草地管理支援システムでは、10m メッシュのグリッドデータを、ポリゴン化しその1地物単位に、傾斜角度を持たせております。また、このレイヤとは別に、標高、傾斜方向のメッシュデータもあります。

上記レイヤの傾斜角度の面積を利用し、標高値を持たせたメッシュ（ポリゴン）データに、傾斜角度より計算した面積を保持し、対象牧区を選択後、その牧区と重なるメッシュを抽出し、面積を集計します。なお、牧区とメッシュが重なり合う場所については、面積按分します。

ある場所の例)

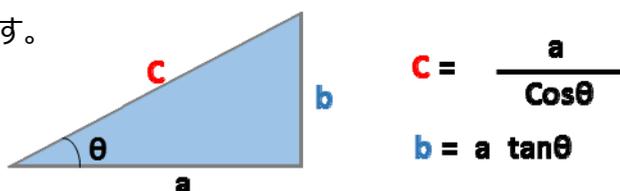
- ・傾斜を考慮しない場合は、

$$3,000 \text{ m}^2 = 10\text{m} \times 10\text{m} \times 30 \text{ (セル)}$$

- ・傾斜を考慮した場合)

$$3068.20 \text{ m}^2$$

※牧区の境界が、メッシュと合致しない部分については、面積按分により面積を再計算します。



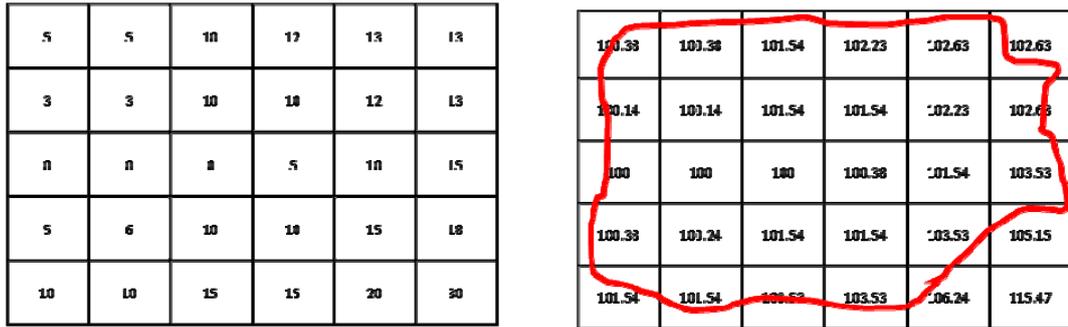


図 1-1-36 面積按分の考え方.

<斜距離の考え方>

標高データより作成した等高線をもとに、その等高線と重なり合う箇所の Z 値（高さ）を取得し斜距離を計算し集計します。

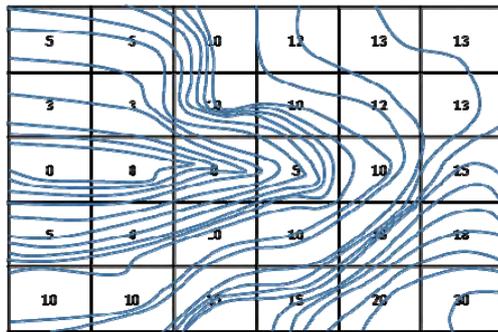


図 1-1-37 等高線とメッシュ.

- ・平面の距離（a）と等高線の高さ差分（b）を取得後、斜距離（C）を求めます。
- ・計算後のすべての距離を集計します。

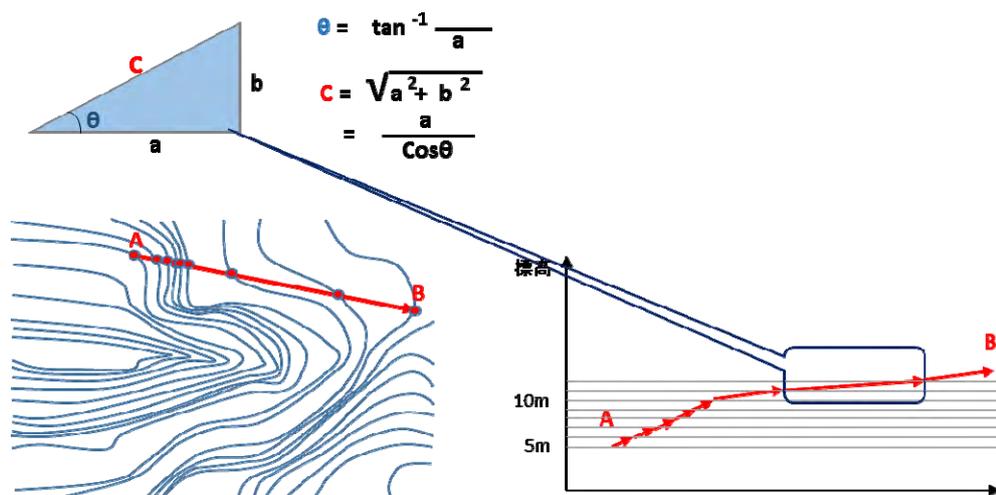


図 1-1-38 等高線との交点のイメージ.

※断面 A から B を地図上で計測した場合の等高線との交点のイメージは、上図のとおりです。

b) 台帳機能

① 台帳画面

台帳画面では、台帳基本情報・牧草種・雑草割合をデータとして入力することにより、指導内容を確認することができます。また、現地の写真を登録することが可能です。



図 1-1-39 台帳画面（植生ノート）の構成。

② 植生ノートの入出力

植生ノートの情報入力は、現地で入力することもできますが、出力した CSV ファイルをもとに、情報を更新し取り込むことにより、一括で更新することもできます。また、現地で撮影した写真については、位置情報（ジオタグ）が付いている写真を一括で対応するメッシュに取り込むことができます。



図 1-1-40 植生ノートの入出力。

c) 解析機能

①空間解析 (ゾーニング等の解析機能)

位置座標と結びつけることのできるデータを「空間データ」と呼び、この空間データを分析することを「空間解析」といいます。草地管理支援システムでは、公共牧場の様々な情報 (レイヤ) を空間解析 (ユニオン・空間結合等) し、「情報の見える化」を実現します。

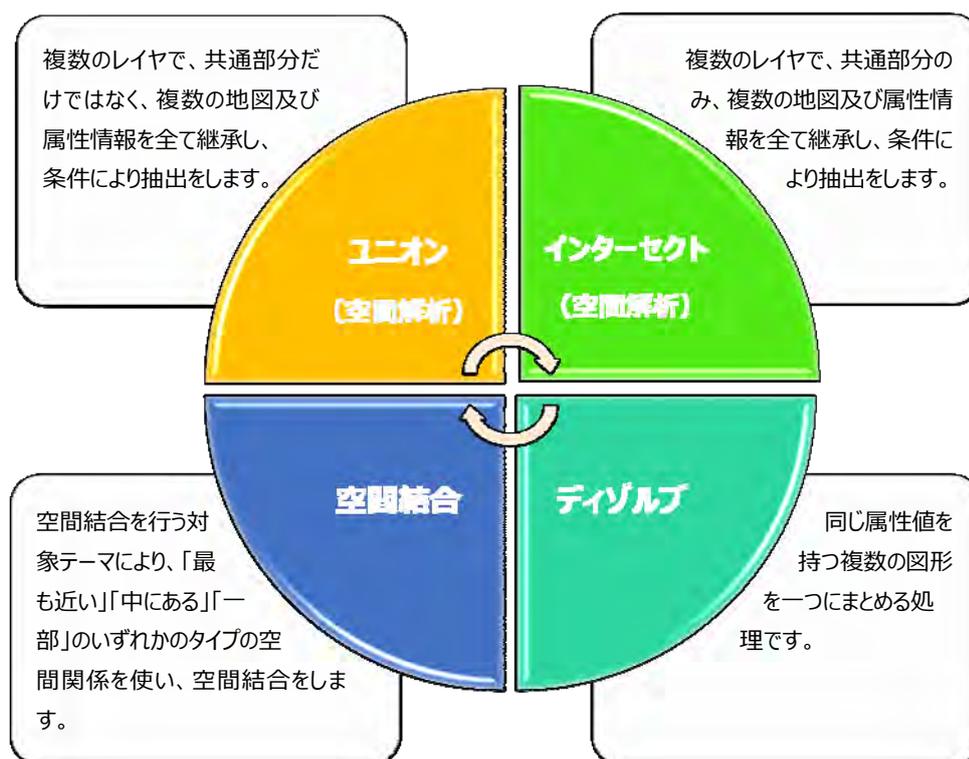


図 1-1-41 解析に利用する空間解析。

ゾーニング等の解析機能については、右メニューのとおり、上から「ゾーニングエリアの抽出」「家畜滞在エリアの抽出」「施肥エリアの抽出」ボタンが用紙されており、システムが自動計算し、それぞれの参考レイヤと確定レイヤを作成します。

必要に応じて、「確定エリア」は、編集機能を利用し編集を行い、次の操作に移ります。なお、施肥エリアについては、最終結果として出力されるため、参考レイヤと確定レイヤは存在しません。「集計結果」については、表 1-1-3 の項目を牧区単位で一覧表として確認することができます。

なお、一覧表で表示している結果については、CSV ファイルへの出力が可能であるため、Excel 等の表計算ソフトウェアを利用し、集計結果のグラフ等の資料を作成することができます。



表 1-1-3 集計結果一覧の項目。

番号	集計するタイミング	集計項目（牧区番号単位）
1	ゾーニングエリア（の作成時）	牧区（面積） トラクタ侵入エリア（面積・比率） 管理・生産・保全・谷（面積・比率）
2	家畜滞在エリア（の作成時）	家畜1・家畜2・家畜3（面積）
3	施肥エリア（の作成時）	施肥エリア（面積・比率）

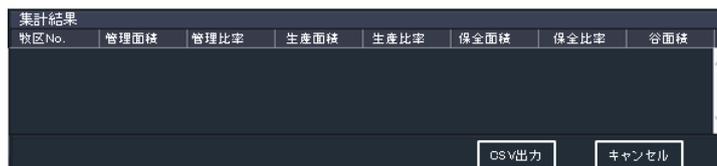


図 1-1-42 集計結果一覧の表示。

具体的な空間解析処理方法については、以下に述べます。

■ ゾーニングエリアの抽出方法

公共牧場における草地管理は、一般的に牧区単位で行われています。一方、植生の状態は、牧区内で不均一であることが知られています。例えば、放牧牛の休息が多い場所では、排泄物が多いため、不食過繁地やエゾノギシギシのような富栄養状態を好む雑草が繁茂し、また谷部にはスゲのような湿地を好む雑草が繁茂する傾向があります。このように不均一な草地を牧区ごとに管理することは、不要な場所への施肥や、牧草の衰退や雑草の繁茂を促進する可能性があり、効率ではありません。効率的な管理のためには、牧区にこだわらず、各場所の植生状態に適した管理をする必要があります。そこで適した管理を行いやすくするために、牧区内において状態の似たエリアをまとめることがゾーニングです。

<ゾーニングの指標>

牛道の形成と裸地率の分布、さらに斜面傾斜角と裸地率、新鮮糞の占有面積、牧草の生産量、それぞれとの関係から、傾斜角度によって、草地は特徴づけられます。（右表参照）。

加えて、近年では地理情報システムの進歩により、比較的

表 1-1-4 ゾーニングの区分。

区分	特徴
12°未満	牛道はほとんど発生しない。休息場として利用されることが多く、糞の落下量が多い。土壌肥沃度は高く、牧草生産量が多いが、利用率は低い。 糞尿還元による正負の影響を考慮し、生産面を意識する。
12-16°	傾斜の影響で牛道が発生する。放牧牛は傾斜の増加に応じて牛道への依存度を高める。糞の落下量、土壌肥沃度、牧草生産量、および利用率は相対的に中位である。 牛道の発生状況を見極め、生産面と保全面のバランスを意識する。
16°以上	傾斜の影響を非常に強く受け、放牧牛の歩行経路はほぼ牛道に限定される。糞の大半は牛道に落下するが、その量は少ない。土壌肥沃度は低く、牧草生産量は少ないが、利用率は高い。 牛道に起因する裸地の拡大に注意し、保全面を意識する。
谷部	谷地形。土壌肥沃度は高く、牧草生産量が多い。集水地形のため、土壌浸食が発生する可能性が高い。 土壌浸食の危険性を勘案し、利用(もしくは保全)計画を立案する。

簡単に地理情報が取得できることから、本機能では傾斜角度をゾーニングの第一指標とし、この他、」施設や被陰林、GPS による家畜の歩行軌跡を利用してゾーニングを行うこととしています。

＜処理フロー＞

具体的には、牧区界より10m内側で作成された「トラクタ侵入可能エリア」と「傾斜区分」を空間解析処理し、トラクタ侵入可能エリア内を、傾斜角度毎に「管理」「生産」「保全」「谷」の4種類に分類します。

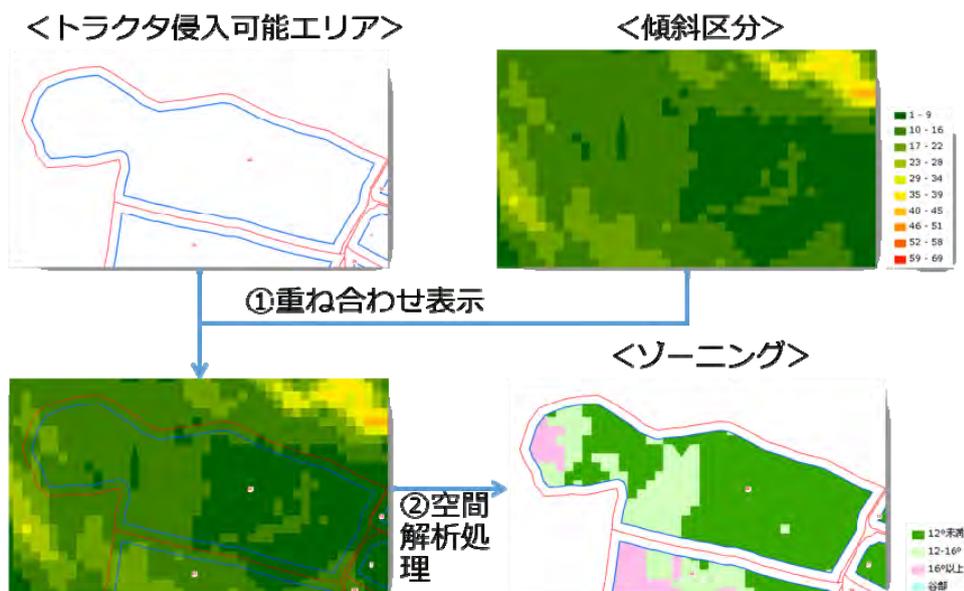


図 1-1-43 ゾーニングエリアの抽出。

前ページの処理により分類された面積及び牧区内での面積比率を確認することができます。

表 1-1-5 抽出結果。

区分	範囲	面積 (m ²)	比率 (%)
管理	12°未満	26,806	71.5
生産	12-16°	9,180	24.5
保全	16°以上	1,518	4.0
谷	谷部	0	0

■ 家畜滞在エリアの抽出方法

牧区界より10m内側で作成された「トラクタ侵入可能エリア」と「牛の位置情報 (GPS)」を空間解析処理し、トラクタ侵入可能エリア内の10mメッシュ単位毎の牛のポイントデータを集計し「0頭以上から10頭未満」「10頭以上20頭未満」「21頭以上」の3種類に分類します。

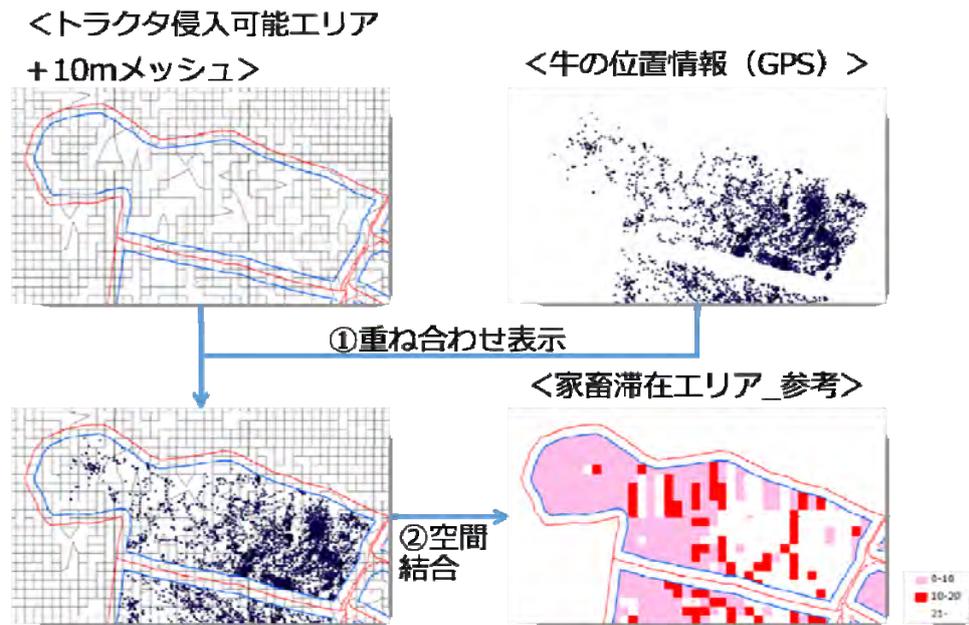


図 1-1-44 家畜滞在エリアの抽出.

■ 施肥エリアの抽出方法

抽出した「ゾーニング」「家畜滞在エリア_参考」より、以下の条件により抽出エリアを、「施肥エリア」として空間解析処理により分類します。分類された面積及び牧区内での面積比率を確認することができます。

<処理（抽出）条件>

- ・「ゾーニング」エリアで傾斜角度が 16 度未満
- ・「家畜滞在エリア_参考」の 10m メッシュ内の牛が 20 ポイント未満

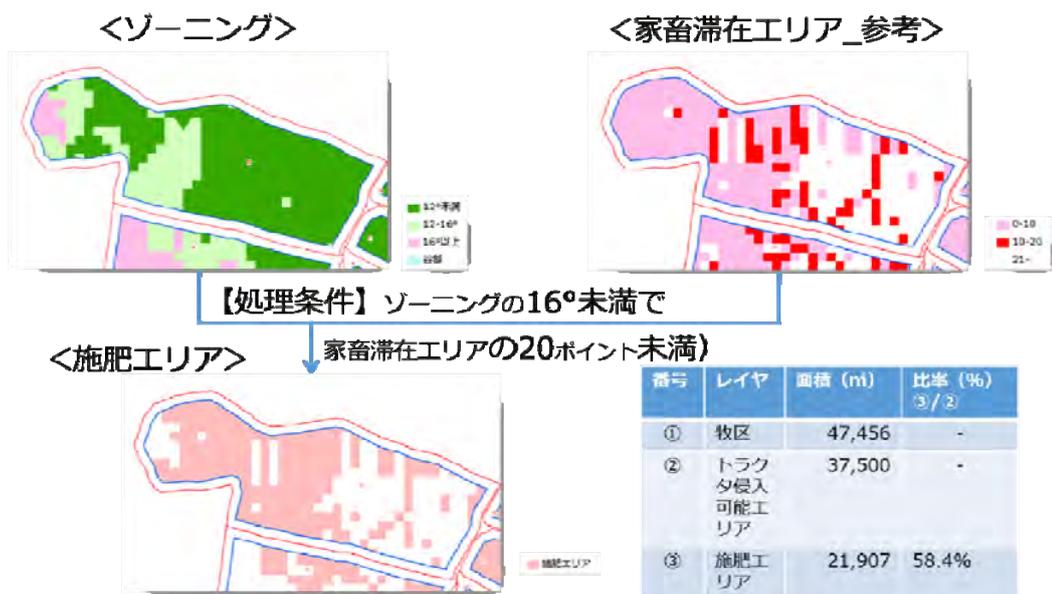


図 1-1-45 施肥エリアの抽出.

(4) システム導入による効果

1) 省力・省資源化効果（試算例）

草地管理支援システムの導入効果を実証試験地（252ha）で試算すると、後述する本システムの導入を前提とした施肥管理の合理化（1-2-1）および獣害回避柵の設置（1-2-4）により、肥料費の20%、施肥労働費の55%、獣害被害額の73%がそれぞれ削減され、システムの利用料と獣害回避柵の設置費用を差し引いても十分な差益が生じるものと試算されました（表 1-1-6）。

表 1-1-6 公共牧場における草地管理支援システム導入の経済性試算。

	現行負担等	改善後	削減率	技術内容と試算の前提
化成肥料費合計	546 万円	437 万円	-20%	施肥量20%削減（牧区内の撒き分けと緩効性肥料等による肥効性改善）
施肥労働費等合計	58	26	-55%	施肥回数の削減（現行1.9回→1.0回） 施肥量削減分で15%減
獣害被害額	721	187	-74%	シカ柵により被害率11.9→3.1%
獣害回避柵（シカ柵）設置		340		高張力線使用、耐用12年を仮定 設置費用含む
草地管理システム負担		41		標準タイプ、初期負担170万円 年額24万円、10年利用を前提
費用等合計	1,325	1,031	-22%	差額 294 万円

注：実証試験地の放牧草地 252haで計算。化成肥料は2013・2014年実績を平均して算出。労働費等は燃料費も含めて@2,000円、1日8時間3人作業で日数と面積から試算。獣害回避柵は他の牧場の資材費積算7.3千円/haと設置費実績5.6千円/haにより計算。

2) その他の効果

GIS 機能と台帳機能を利用して、給水管の埋設位置や水飲み場等の放牧施設をシステムに登録することで、その後のメンテナンスに役立ちます。施設の記録は、写真（図 1-1-46）のように PC 端末を野外に持ち出し、GPS による位置確認を行いながら直接入力することもできます。



図 1-1-46 現地調査。

また、草地管理支援システムへ GPS 記録装置を介してトラクタの作業軌跡を取り込むことにより、作業精度の検証や過去の作業状況の確認が可能になります（図 1-1-47）。さらに作業軌跡の記録は、正確な業務の引継ぎにも活用できます。このようなデータリンクと蓄積により、ICT を活用した次世代型草地畜産の基盤が構築されます。

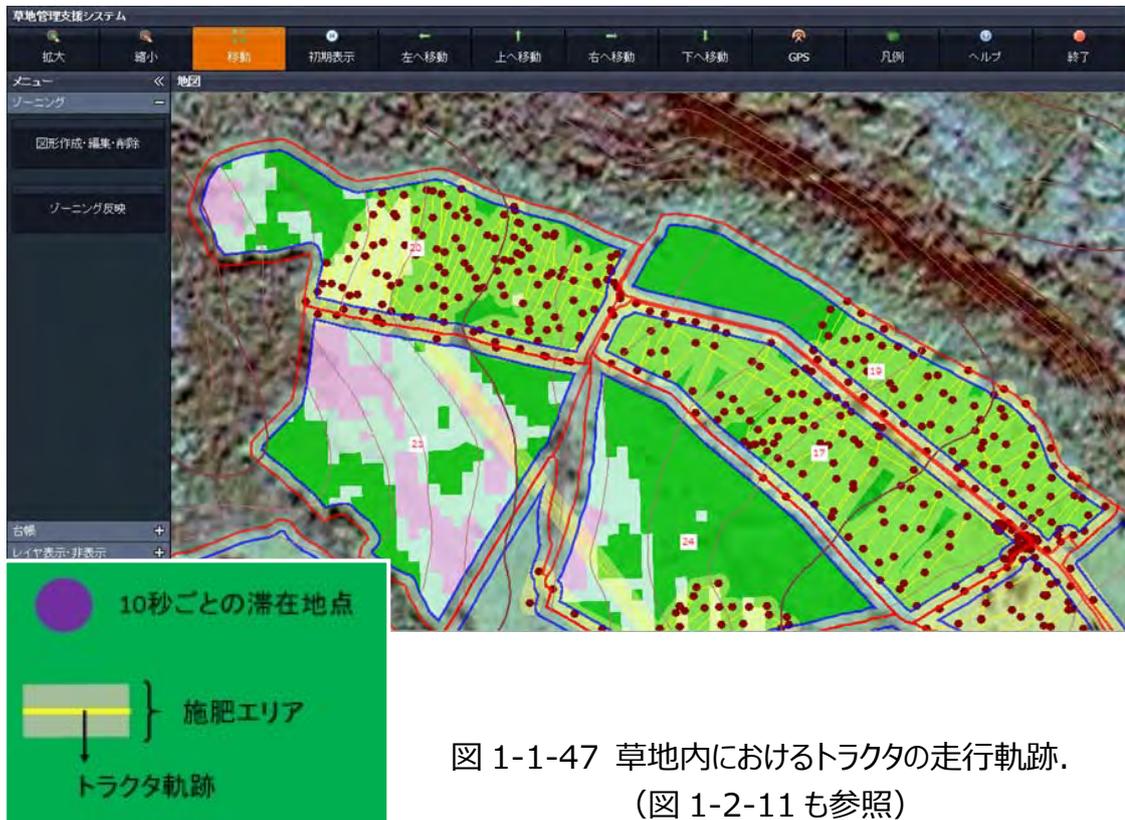


図 1-1-47 草地内におけるトラクタの走行軌跡.
(図 1-2-11 も参照)

1-1-5 文献

- ・井出保行・小島誠・林治雄（1998）傾斜放牧草地の地形と草地管理． 1.裸地と排糞の分布． 日草誌 44、208-214
- ・井出保行・小島誠・林治雄（1998）傾斜放牧草地の地形と草地管理． 2.排糞分布の偏りが土壌養分や牧草の生産量およびその利用率に及ぼす影響． 日草誌 44、215-222
- ・井出保行・林治雄・須藤賢司・嶋村匡俊（2000）傾斜放牧草地の地形と草地管理． 3.植生の時間的・空間的变化と地形． 日草誌 46、45-51

1-2 草地管理支援システムの利用による管理作業の合理化

1-2-1 施肥管理

肥料の高騰や省力化の面から、肥料の効率的な利用が求められています。肥料を効率的に利用するためには、“必要な成分を必要な場所に”施用することが重要です。ここでは、傾斜草地における放牧圧の偏在から生じる、傾斜区分ごとの土壌養分の違いを利用した“必要な場所に”施肥することによる、効率的施肥について説明します。

(1) なぜ、ゾーニングするのか

「1-1-2 傾斜草地における放牧圧の偏在」で紹介したように、放牧地内に排泄される糞尿の量は均一ではありません。図 1-2-1 に放牧地の傾斜度と土壌中のカリウム濃度の分布を示しました。傾斜が緩く糞尿が多量に還元されている場所ではカリウム濃度は高く、傾斜がきつくほとんど還元されていない場所では低くなる傾向が認められます。このように土壌養分が異なっている場所に同じ肥料を施用すると、牧草の生産量はどのようになるのでしょうか？

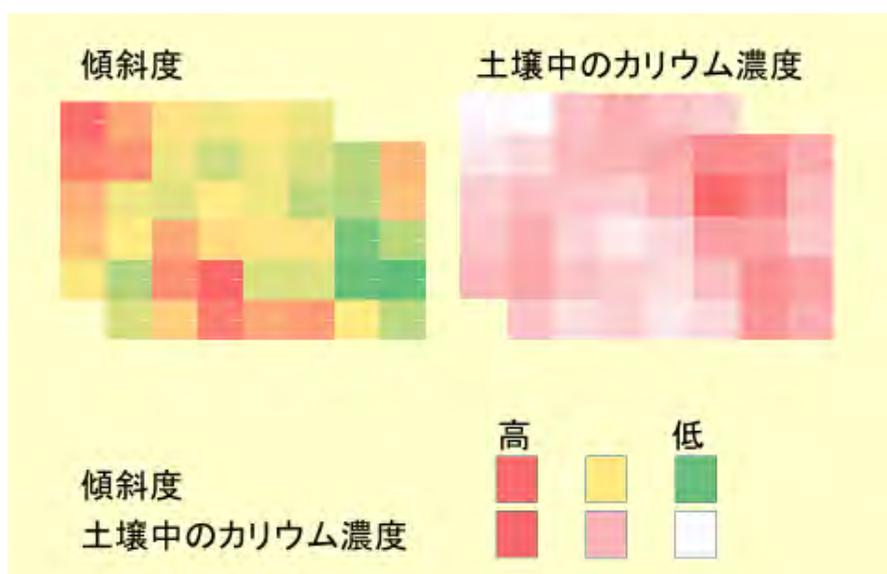


図 1-2-1 傾斜度と土壌中カリウム濃度の分布.

図 1-2-2 は、異なる傾斜エリアで肥料によってどれくらい牧草の生産量が増加したかを示しています。図に示されているように 12°以下の傾斜の緩い場所では、肥料を施用しても生産量は 10%ほどしか増加しませんでした。一方、16°以上の傾斜のきつい場所では、50%も増加しています。つまり、傾斜度が 12°以下（糞尿がたまっている場所）では、せっかく肥料をまいても、ほとんど牧草の生産量増加に役立っていないことがわかります。さらに牛は糞の臭いを嫌い、糞の周辺にある草を食べないため、不食過繁地が生じます。そのた

め糞尿が多い場所では、牧草があっても牛の口に入る量、つまり利用率が低下します。

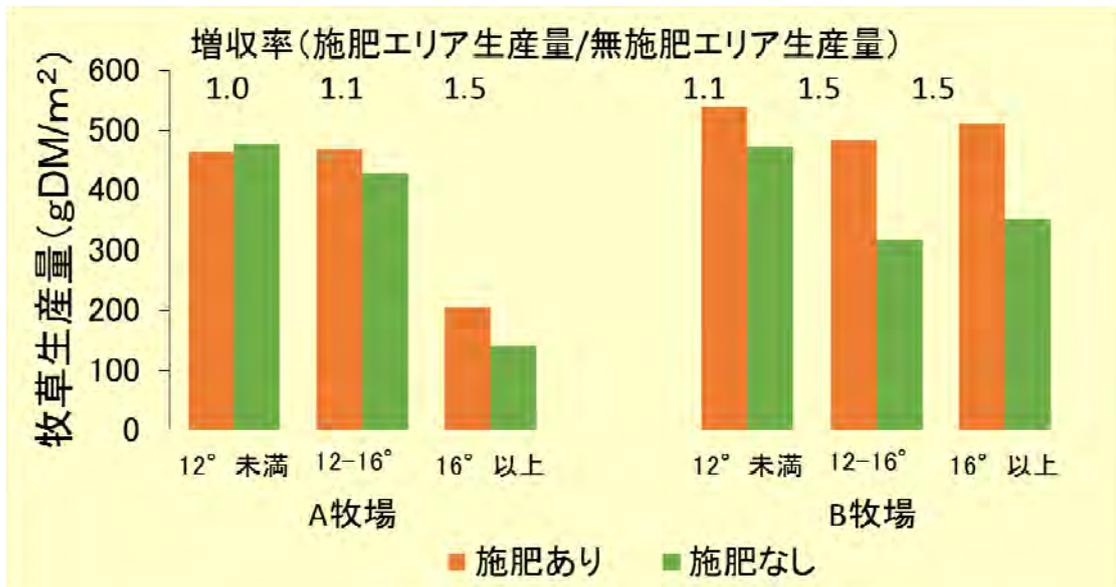


図 1-2-2 傾斜度の異なるエリアにおける施肥の有無と牧草生産量の違い。

これらのことから、家畜の糞尿が多いために肥料による牧草生産量の増加効果が低く、かつ放牧牛による牧草利用率が低い場所への施肥を中止することは、効率的な施肥に繋がります。

(2) ゾーニングに基づく施肥エリアの決定

1) 施肥エリアの選定

施肥エリアの決定では、施肥を行う場所を選ぶのではなく、施肥をしなくてもいい場所（施肥除外エリア）と、出来ない場所（施肥困難エリア）を選ぶことから始めます（図 1-2-3 参照）。

ここで、前者の施肥除外エリアに該当する場所とは主に、

- ・ 糞が集積しているところ。
- ・ 被陰林の下や牧柵沿いなど、牛道や踏み付けによって牧草が生えないところ。
- ・ 湿地。

になります。また、施肥困難エリアに該当する場所とは、

- ・ 通常のトラクタならば傾斜度 15°以上の急傾斜地、
- ・ 後述する傾斜地無線トラクタならば傾斜度 40°以上の急傾斜地、

になります。

草地管理支援システムでは、傾斜区分が一目でわかることから、施肥が出来ない急傾

斜地に加え、糞が集積しやすい傾斜の緩い場所を地図上で選ぶことができます。また目視で糞が集積した場所を確認し、その場所を施肥除外糞の集積エリアとして登録することもできます。さらにより高度な方法として、次項で紹介する、放牧牛に取り付けた GPS のログを利用することにより、自動的に施肥エリアの抽出を行うこともできます（次項参照）。

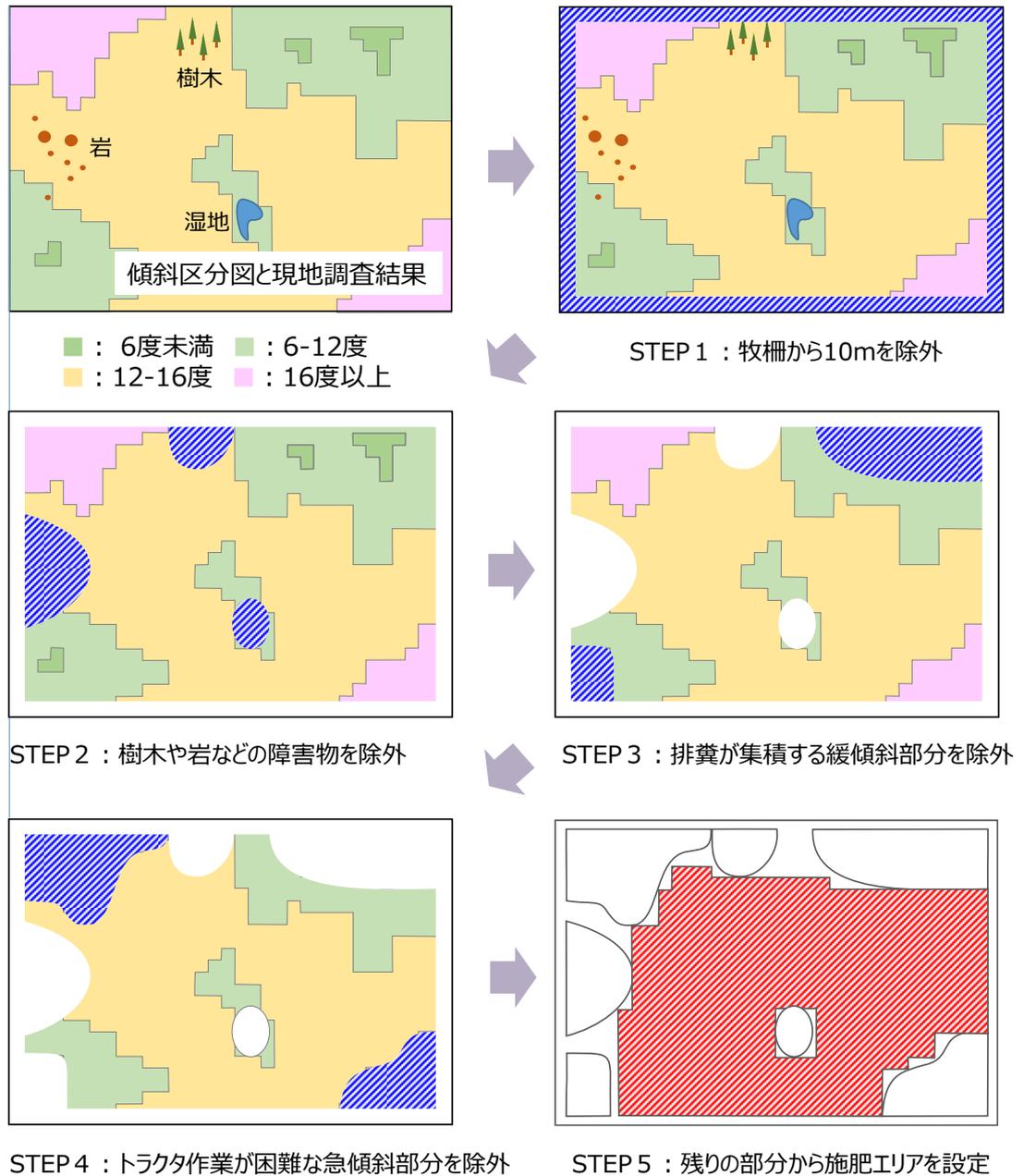


図 1-2-3 施肥エリア決定までの流れ（概念図）。

さらに施肥エリアを絞りたい場合には、雑草が密生している場所や裸地の多い場所を、施肥除外エリアに含みます。

なお、施肥をしないエリアでも、牧草は生育するため、土壌養分は吸収されています。極端な土壌養分の不足や偏り等は、牧草衰退、雑草繁茂に繋がる可能性がありますので、施肥エリア決定後も 2-3 年毎に施肥エリア、施肥をしないエリアいずれも土壌調査を行い、不足している養分はないかチェックを行います。

2) 放牧牛に装着した GPS ログの利用

牛の糞尿は放牧地における植物の養分の主要な供給源です。糞はリン酸を多く含み、尿はカリウムを多く含みます。また糞・尿ともに窒素の供給源となります。尿は速効性があり、排出された場所はすぐに牛に利用されます。一方、糞の場合は排出後 1-3 ヶ月間程度は牛の採食が忌避されますが、糞塊の消失後は忌避され繁茂していた場所は採食され、その場所の草生産量も糞の肥料成分により高くなります。糞と尿のいずれにせよ、その排出された場所は肥料成分に富むといえ、特に多くの糞尿が排出された場所では人工肥料の散布は効果が低く、施肥の省略が可能となります。

放牧地における牛の糞尿の排出場所は不均一に散らばりますが、その糞尿の散らばりや偏りは牛のその場所の滞在時間と高い相関を持つことが報告されています。つまり放牧地で休息や採食のため頻繁に訪れる場所では糞尿の排出が多く、逆に訪問頻度の低い場所では糞尿の排出が少なくなります。本節ではこの糞尿の排出場所と滞在時間との関係を利用して、牛の滞在時間から、糞尿の排出が多い場所を決定する方法を紹介します。

a) GPS 首輪の準備

放牧地における牛の滞在場所とその滞在時間を知るために牛に GPS (Global Positioning System、全地球測位システム) を装着する方法があります。GPS とは船舶や航空機などがその運行中に自分自身が今どこにいるのかを知るための衛星航法システムとして 1970 年代から開発され、市民の誰でもが直接、しかも無料で利用できるシステムです (土屋・辻 2008)。GPS を家畜に利用する際は通常、GPS 受信機、自動記録装置 (ロガー) および電源 (バッテリー) 等が組み込まれた GPS 首輪 (GPS カラー) を使用します。ただし、市販の GPS 首輪は特殊用途のため 1 台 20-40 万円と高価であることから、手軽に利用したい場合は以下の方法を用います。

携帯型のロガー付き GPS 受信機 (GPS ロガー) は旅行や登山など移動軌跡の記録や道案内 (ナビゲーション) を望む人向けに需要が増し、国内外の多くのメーカーで製造され、現在数千円から 1 万円台で購入が可能です。この携帯型 GPS ロガーを防水袋に入れた後、牛首輪に固定します。その首輪の GPS ロガー部分が首上部にくるように牛に装着します (瀬尾・渡辺 2016)。ただし、これらの携帯型 GPS ロガーは軽量化のためバッテリー部が小さく (バッテリー容量が少なく)、GPS 測定時間は 12-24 時間前後と短いのが特徴です。それゆえ、長期に亘る行動記録を省力的に得たいときには、これらの携帯

型 GPS ロガーに外部バッテリーを接続して利用します。ユニバーサルシリアルバス（USB）からの給電が可能な GPS ロガーと USB 出力機能付きバッテリーを利用した例では約 5 万円の材料費（3 万円のバッテリー代と GPS ロガーを含むその他部品費 2 万円）で 10 日間の連続した GPS 測定が可能でした（図 1-2-4,5）。この GPS 首輪の制作法については以下の論文に詳しく示してあります（渡辺・須藤 投稿中）。

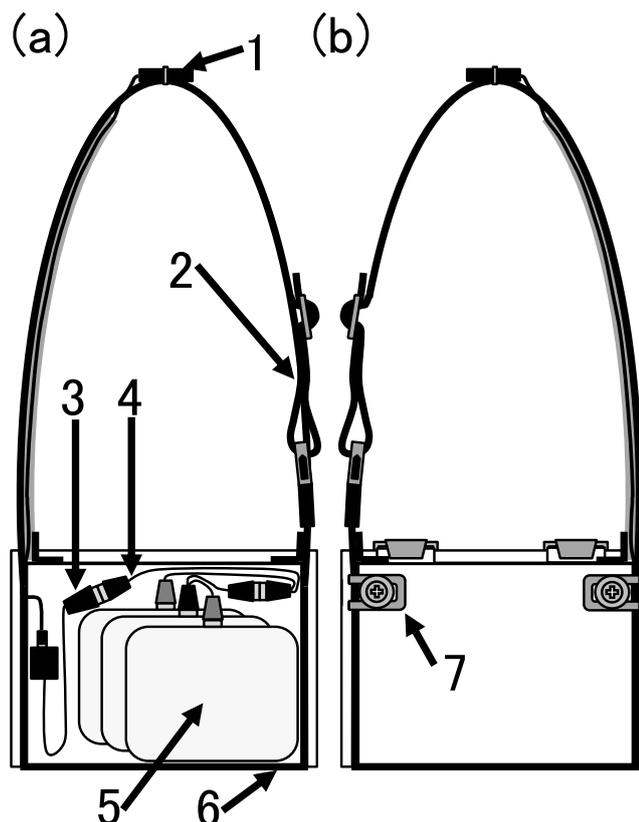


図 1-2-4 市販品を組み合わせて制作した GPS 首輪の概要図.

(a) 正面, (b) 背面

1. ロガー付き GPS 受信機, 2. ワンタッチバックル作業ベルト, 3. USB 電源・データアダプタ付きケーブル, 4. 電源補助用 Y 字型 USB ケーブル, 5. USB 出力機能付きバッテリー, 6. 防水ボックス, 7. L 字型補助金具。(a) は防水ボックスのふたを開けた状態の図。



図 1-2-5 GPS 首輪を装着した放牧牛.

b) GPS の測定

放牧地における牛の行動は日によって、季節によって異なります。特に採食を行う場所は季節による変化が大きいことから、各季節で GPS データを取ることが望ましいです。実際に GPS 首輪を装着する牛の頭数ですが、理想は多数頭ですが GPS 首輪の用意と労力を考慮してその頭数を決定します。GPS 首輪を装着する牛は、放牧牛群の中から以下のことを考慮して選択します：1. 首輪が負担とならない大きさ（サイズ）を持つ、2. 群れの中心として活動しそうな個体、3. その牛群に季節を通して長く滞在する予定の個体（個体による行動差の影響を少なくするため、季節を通してなるべく同じ個体に GPS 首輪を装着することが望まれます）。GPS の測定は 1 分から 10 分間隔で行うことが標準的です。

c) GPS データの解析

得られた GPS データを草地管理支援システムの地図上に取り込み、表示します（図 1-1-44 参照）。地図上に表示される点が GPS 測定時の牛の滞在位置を表しています。この点の集中するエリアが牛が長く滞在していた場所なので、その集中するエリアを施肥不要エリアとします。

(3) 肥料の種類と施肥量の決定

前項では、“必要な場所に施肥する”ことを説明いたしました。本項では、“必要な成分”について説明します。

草地土壌が牧草を生産する上で必要としている成分を知るためには、現在の土壌の状態を把握することは欠かせません。近年、環境負荷等への関心の高まりもあり、多くの牧場で土壌分析に取り組んでおられます。そこで今回は、より適切な施肥をするために必要な、土壌採取方法のポイントや結果の利用法、肥料の種類による効果の違い等、を紹介します。

1) 土壌採取のポイント

a) 深く掘り過ぎない： 牧草の根はあまり土中深くまで伸びません。経年草地では、ほとんどの根が地表から概ね 5 cm 以内にあり、この部分の土に含まれる栄養分を吸収します。ですので、これ以上深い部分の土壌分析を行っても、牧草の生育に必要な値を得ることは出来ません。スコップで掘ると深く掘りがちですので、意識して地表面近くの土壌だけを採取するようにしましょう。ただし、全面耕起による草地更新を行う場合は、耕起する深さまでサンプリングを行います。

b) 実際に肥料を播く場所から、複数個所をサンプリングする： これまでも述べてきたように、複雑な地形を持つ草地では、場所によって土壌養分におおきなバラつきが生じています。土壌調査で知りたいことは、肥料が必要な場所の土壌状態ですので、施肥が必要である（施肥をする）場所から複数個所のサンプリングを行います。

2) 土壌診断結果の利用

土壌診断基準値は、土壌の種類によって異なります。基本的には分析を依頼した、県の試験場などが示した土壌診断基準を利用します。なお、各都道府県における（全都道府県ではない）土壌診断基準等が農林水産省の HP や草地管理指標に紹介されていますので、必要に応じて参考にしてください（表 1-2-1）。

表 1-2-1 混播牧草地の土壌診断基準値の一例（栃木県）。

pH (H ₂ O)	塩基飽和度 %	石灰飽和度 %	苦土飽和度 %	カリ飽和度 %	可給態リン酸 mg/100g
6.0-6.5	60-75	45-60	11-14	3-4	10-30

栃木県農作物施肥基準(2002)より

リンやカリウム、マグネシウムなどの土壌養分は、基準値以下であれば、施肥量や施肥配分などを勘案して調整を行います。一方、基準値以上の場合は、利用される分を考慮しつつ、該当する成分を控えた施肥を行うことができます（表 1-2-2）。これも土

壤によって減らせる割合等が違いますので、関係機関にお問い合わせいただくか、草地管理指標（2007年版）に詳しく載っていますので、参考にします。

また土壌 pH の矯正には石灰資材の施用が有用です。しかし、表面散布は、表層土の改善には効果がありますが、その下の層にはほとんど効果が生じません。そのため、草地更新時に出来るだけ適正な pH に矯正できるように石灰資材を投入します。

表 1-2-2 りん酸の土壌診断に基づく施肥対応（北海道）。

有効態リン酸含量 (ブレイNo.2法, mg P ₂ O ₅ /100g)	土壌区分		基準値未満	基準値	基準値以上	
	火山性土	未熟		～30	30～60	60～
黒色			～20	20～50	50～	
厚層			～10	10～30	30～	
	低地土・台地土		～20	20～50	50～70	70～
施肥標準量に対する 施肥率(%)	火山性土		150	100	50	
	低地土・台地土		150	100	50	0

注 減肥の可能年限はほぼ3年である。

3) 肥料の種類

一般的に、複数の成分が含まれた複合肥料は、1種類の成分しか含まない単肥に比べて高い傾向があります。複合肥料に希望する成分割合が無い場合や、価格が見合わない場合には、単肥の利用も検討します。しかし、単肥を利用する場合は作業回数が増加します。単肥を混合した BB（バルクブレンディング）肥料というものもありますが、多量の注文でないと割高になることもあります。

また、石灰を施用する場合にもマグネシウムが不足している場合は苦土石灰を、充足している場合は炭酸石灰を利用するなど、必要な成分を効率よく施用するようにします。

なお、肥料には化学的反応と生理的反応というものがあります。科学的反応とは肥料の混合においてガスの発生や成分の損失を引き起こすために注意する性質です。一方、生理的反応とは牧草が肥料成分を吸収したあとに示される反応で、草地の施肥管理上、重要な反応です。日本のような多雨条件で生理的アルカリ性以外の肥料を施用すると、土壌の酸性化が進みます。酸性化度合いは肥料によって異なります。そのため、利用する肥料に応じて、カルシウムやマグネシウムを施用することが必要となりますので、肥料の選定に当たっては、これらも考慮します。

近年、持続的な肥料効果のある、緩効性型被覆尿素がさまざまな作物で利用されています。放牧地においても、被覆尿素の利用により、窒素施用量が減少できることが明らかになりました。事項において詳細に紹介しています。

4) 施肥量

年間の標準施肥量は、目標収量によって提示されています（表 1-2-3）。各地域における標準施肥量については、草地管理指標に示されていますので、こちらを参考にしてください。なお、標準施肥量を施用しているのに、明らかに収量が低い場合などは、土壌の化学性のみならず、物理性や植生に問題がある可能性もありますので関係機関に問い合わせてください。

表 1-2-3 採草地の年間標準施肥量（群馬県）。

土壌	目標生草収量 (t/10a)	施肥量(kg/10a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
混播草地	黒ボク土	6	12	12	12	20	8
	褐色森林土	6	12	12	10	20	8
イネ科優占草地	黒ボク土	6	20	12	15	25	15
	褐色森林土	6	15	12	12	25	10

混生率 イネ科:7 マメ科:3

飼料作物生産利用技術指針(群馬県 1988)より

5) 年間の施肥を1回にする方法（1回の施肥で放牧期間の牧草生産を安定化するための窒素肥料の選定）

a) 窒素の重要性： 牧草の生育には窒素、リン酸、カリが特に必要です。特に窒素は牧草の収量や寒地型のイネ科牧草の永続性を大きく左右する肥料成分です。従来、窒素肥料の多くは水に溶けやすく、流失しやすい、または土壌中での濃度が高まりやすいなどの特徴があります。そのため、放牧期間中に数回に分けて施肥することが推奨されてきました。しかし、放牧期間内は牛管理で忙しいなどの理由で、複数回の施肥が難しい状況も見受けられます。そのような場合、1回の施肥でも、複数回の施肥と同等の牧草生産を得るために、被覆尿素の利用が有効です。

b) 被覆尿素の特長： 草地では窒素肥料として速効性の尿素が広く利用されています。被覆尿素はその速効性の尿素を樹脂等で被覆したものです。次の特長があり、施肥の回数や量を低減するために水田や畑地では広く用いられています。

- ・特長 1. 被膜を通して水分を吸収して、気温上昇（積算温度の増加）に伴って水に溶けた窒素成分が溶出します（図 1-2-6）。
- ・特長 2. 気温が上昇すると作物の養水分吸収も活発になるため、同肥料から溶出した窒素成分は作物によって効率よく吸収され、減肥が可能となります。
- ・特長 3. 窒素成分が徐々に溶出するタイプ（放物線、リニア型溶出タイプ）、一定期間溶出が行われずその後多くの溶出が行われるタイプ（シグモイド型溶出タイプ）などがあり（図 1-2-7）、窒素成分の溶出期間も数十日から百数十日までと、様々なタイプがあります。

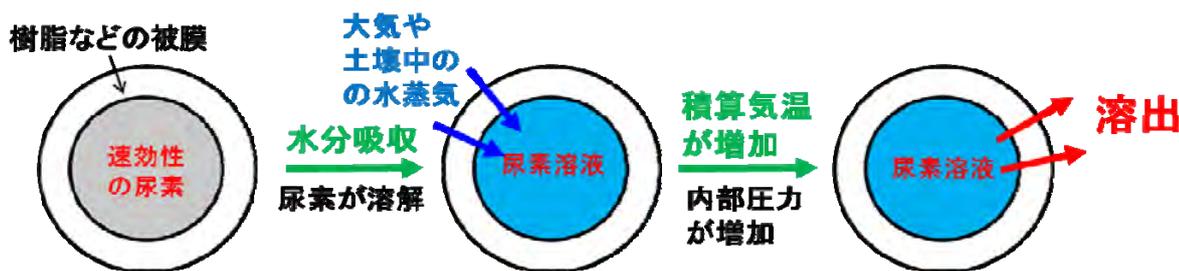


図 1-2-6 被覆尿素の構造と溶出の仕組み。

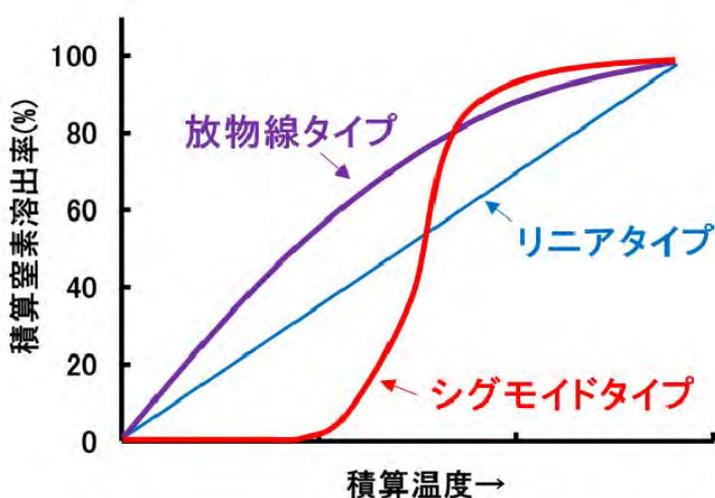


図 1-2-7 被覆尿素からの異なる窒素溶出パターン。

被覆窒素肥料は速効性の窒素肥料と比較して高価となります。従来の速効性の窒素肥料と併用し、減肥して用いることが一般的です。また、放牧草地では、前出の肥料の播き分けによる施肥面積の限定を組み合わせることによって、肥料費や施肥に伴う労働費と燃料代を大きく低減できる場合があります。

c) 使用する被覆尿素の選定： 被覆窒素肥料の使用に当たっては、まず以下の項目を決定した後、各地域の肥料販売元へ相談し、肥料メーカーなどが提供する窒素溶出予測プログラムなどを利用して選定することが重要です。

選定のポイント

ポイント 1) 施肥時期と窒素を効かせたい時期から窒素溶出期間を決定します。

選定例：速効性の窒素肥料と併用する場合は、慣行施肥が年 2 回であれば、その 1 回目を施肥時期とし、2 回目の施肥時期にかけて窒素を効かせるようにします。その際、速効性の窒素肥料と被覆窒素肥料の割合は窒素成分で 1:1 と

なるようにします。

ポイント 2) 窒素の溶出タイプを決定します。

- ・ある期間中に窒素を持続的に効かせたい場合は放物線あるいはリニア型溶出タイプを選定
- ・特定の時期に効かせたい場合（従来の追肥のイメージ）はシグモイド型溶出タイプを選定

d) 被覆尿素の選定と導入例： 農研機構 畜産草地研究所の御代田研究拠点の放牧草地では、当該地域の推奨施肥法に準じて、5～11月の放牧期間中に年2回、6月上旬と8月上旬に同量の施肥（1回当たり、窒素、リン酸、カリで6、4.5、1.5kg/ha）を行っていました（図1-2-8上）。この年2回の慣行施肥を年1回に減らす目的で、次のように被覆尿素の選定を行いました。図1-2-8下に、年1回施肥のイメージを示しました。

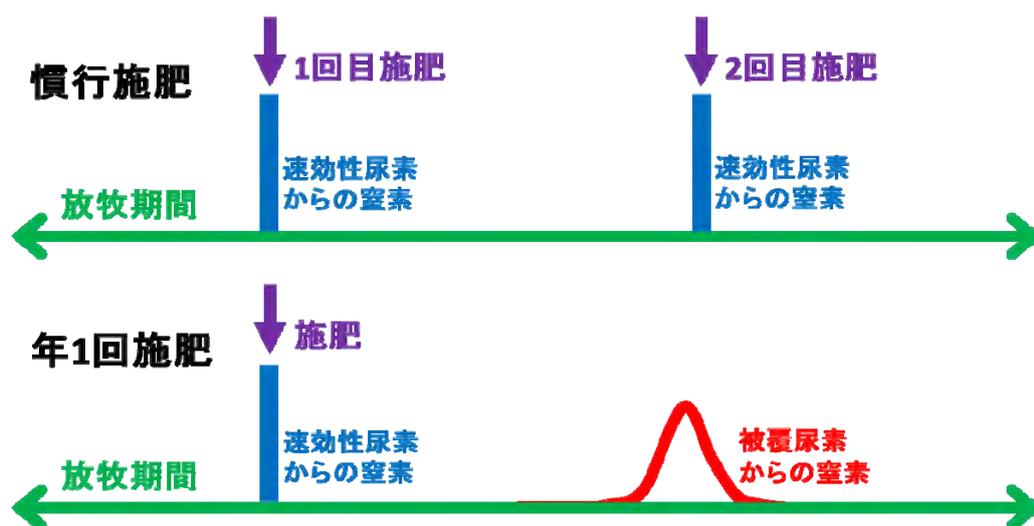


図1-2-8 年2回の慣行施肥（上）と被覆尿素を用いた年1回施肥（下）での窒素供給。

手順 1： 施肥時期は慣行施肥の1回目となる6月上旬。

手順 2： 被覆尿素は慣行施肥の2回目となる8月上旬にかけて窒素を溶出するタイプとする。

手順 3： 被覆尿素と速効性尿素は窒素成分で1:1となるように併用。

手順 4： 溶出日数の異なる複数の被覆尿素を候補として、過去の気温データ（旬別気温の平年値）と上記条件を基に、肥料メーカーに依頼して窒素溶出を予測。

手順 5 : 予測された窒素溶出時期を参考に、シグモイド型 40 日溶出タイプ（この表示日数は 25℃の水中で 20 日間の溶出遅延を経た後、含有する 80%の窒素成分が 20 日で溶出することを示します）を選定。

実際に行った年 1 回施肥では、窒素は上記のように速効性と被覆尿素を併用して、年間の窒素施肥量を慣行の 2 割減肥し（速効性と被覆尿素のそれぞれを 2 割減肥）、また、リン酸とカリは慣行施肥と同じ速効性肥料および施肥量とし、年間施肥の全量を 6 月上旬に 1 回施用しました。この年 1 回施肥で得られる牧草の年間収量は、慣行施肥と同等であることを確認しています。

(4) 散布軌跡の記録と利用

草地、特に放牧地は、均一で平坦な一般の畑と異なり、岩などの障害物や圃場内の谷や丘といった地形により、見通しの悪いところが多くあります。そのため、障害物の回避や、目標物を定めても見えなくなってしまうことなどから、精密な作業が困難です。特に、作業前後がわかりにくい施肥作業では、重複や未作業地が生じやすくなります。このような問題に対応するため、現在、さまざまなメーカーから圃場作業用 GPS ガイダンスが発売されています。作業幅を設定することにより、画面上にすでに作業された場所が色塗りで示され重複作業を避けることが出来ます。さらに重複作業を避けるためのルートを指示する機種もあります（図 1-2-9）。圃場や作業データを PC で管理できる機種もあり、このような機種を利用すれば、施肥エリアを視覚的に捕らえながら作業することが可能となりますが、価格はやや高めです。



図 1-2-9 異なる 2 社のトラクタガイダンスシステムの表示画面。

左：黄色部分が作業した場所を示し、赤い線が重複を避けるための作業ラインを示す。
右：青が作業した部分、ピンク部が重複した作業部分。

1) 植生管理への利用

草地管理支援システムでは、GPS ガイダンスのように精密な作業状況を把握することは出来ません。しかし、草地管理支援システムを搭載したパソコンに外付け GPS 受信機を取り付けることにより（図 1-2-10 右）、インターネット環境が整備されている地域であれば、作業位置を確認することが出来ます。さらに携帯型 GPS（図 1-2-10 左）等により記録されたルート（GPX ファイル）を元に、おおまかな作業範囲を確認することが出来ます（図 1-2-11）。これらのファイルは施肥作業ごとに記録しておくことが出来ますので、数年間、施肥がされていない場所や、重複により肥料が多めに播かれている場所などを確認することができます。例えば、ある場所だけ牧草の伸びが悪い、養分の多い土壌を好む雑草（ギシギシ等）が繁茂しているような場合に、施肥ルートに問題が無いかチェックすることもできます。



図 1-2-10 携帯型 GPS（右）と外付け GPS 受信機を取り付けたポータブル PC.

2) 作業の引継ぎへの利用

複雑な地形をもつ牧区では、障害物の回避や傾斜地の移動などにおいて、勘に頼って作業している部分が多くあるかと思えます。このような情報は、口頭で伝達することが難しいため、作業の引継ぎを困難にします。このような場合においても、草地管理支援システムの画像上に走行ルートを記録しておくことにより、よけなくてはならない岩や谷の場所、走行しないほうが良い場所の確認、またどのような方法で迂回すればいいかなどを、画面上でチェックしながら伝えることが可能になります（図 1-2-11）。

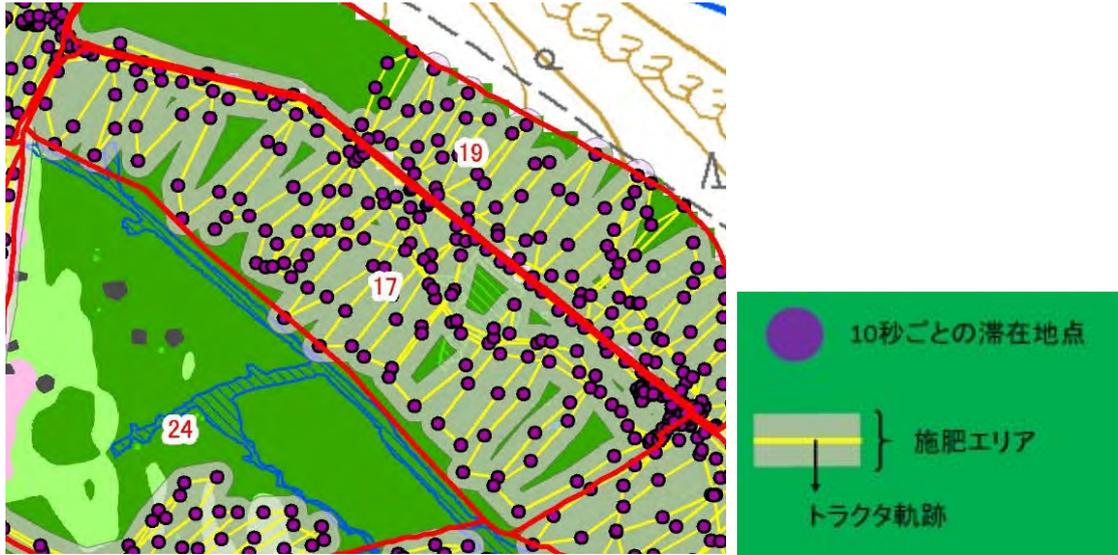


図 1-2-11 草地管理支援システムで表示された施肥作業の記録.
 (施肥エリアは重複していても同じ色で示されている)

1-2-2 植生（雑草）管理

“植生管理”と書くと難しく感じられるかと思いますが、つまりは草地管理のことです。その中でも特に牧草や雑草といった植物を相手にした管理を指します。

本項では、植生を管理するうえで、はじめの一步となる植生管理簿の必要性とその作成・記入方法について、さらに草地、特に放牧地において問題となる雑草について個別に対策法をまとめました。

(1) 植生管理簿

「放牧地の牧草の状態は、今どんなですか？」と聞かれた時、すぐに答えることが出来ますか？またよく、「雑草の〇〇が増えて困っているので、対処方法を教えてください」といった、ご質問を受けますが、雑草の防除にあたっては、雑草のみならず牧草の状態を把握することも非常に重要です。防除したい雑草は全面に侵入しているのか、一部だけなのか、牧草は残っているのか、それとも他の雑草も多いのか・・・、等々。その状態により、部分的に防除を施すのか、全面的な草地更新が必要なのか、を判断します。そのためにも、草地の植生管理簿が役立ちます。また、雑草防除だけでなく、「最近、牧草の量が減ってきた気がする。」といった場合にも、牧草の密度が減少しているのか、それとも優占する牧草の種類が変わってきているのか、といった情報から、肥料で改善できるのか、更新が必要なのか、といったことを明らかにすることが出来ます。

1) 植生管理簿の作成方法

植生管理簿（図 1-2-12）とは、草地の植生調査（どんな草がどれくらい生えているか）を記録するものです。主に、草がどれだけ生えているか（裸地はどれくらい生じているか）、どんな牧草、雑草がどれくらい生えているのか、について記録します。

植生調査は、植生調査法（草地診断の手引き 1996）にのっとり調査することが推奨されています。しかし草地の荒廃状態は、牧草密度と雑草の発生の2つから概ね把握できることから、地域ごとに作成されている草種構成による草地診断基準（表 1-2-4）においても、主に牧草被度（イネ科牧草、マメ科牧草）、

植生管理簿					
牧区名:	調査者:				
調査日:	月	日			
調査No.	1	2	3	4	5
植被率(%)					
裸地率(%)					
イネ科牧草率(%)					
オーチャードグラス					
ペレニアルライグラス					
...					
...					
マメ科牧草率(%)					
シロクローバ					
雑草率(%)					
エゾノシキシ					
チカラシバ					
...					
...					

図 1-2-12 植生管理簿の例。

雑草被度、裸地率が利用されていますので、今回はこれらを把握するための方法を紹介します。

表 1-2-4 関東・中部地域の放牧地の植生診断基準
(日本草地協会：草地診断の手引き(1996)より引用)

		全牧草被度			
		80%以上		50-80%	50%未満
		マメ科牧草被度 40%以下	マメ科牧草被度 40%以上		
雑草被度	10%未満	更新不要 ^{a)}	要更新 ^{c)}	更新検討 ^{b)}	要更新
	10-30%未満	更新検討 ^{b)} (雑草防除)	要更新 ^{c)} (雑草防除)		
	30%以上			要更新 (雑草防除)	

a) 生産量が目標より少なかったり、牧草の栄養価が低く、施肥料を増加させても改善が望めない場合や、新しい草種を導入したい場合には更新する。マメ科の被度が少ない場合は簡易更新で導入する。

b) 施肥管理や利用法の改善で回復可能かどうかを判断し、回復不可能の場合は更新する。更新する場合は簡易更新でも可。

c) 簡易更新でも可。

2) 植生調査方法

a) 調査の時期： 春先、牧草の草高が約 20cm に伸びた時が適しているとされています。しかし、放牧地では草高が 20cm になる前に入牧になる場合も多いので、入牧前か、輪換放牧をしている場合は、次の入牧（春先 2 回目）の前に行くと良いでしょう。しかし、雑草の種類によっては春先の調査ではわかりにくいので、お盆を過ぎた頃にも調査をすると良いでしょう。

b) 調査場所： 調査の対象とする牧区を眺め、傾斜地であれば、等高線沿いに 2、3 段にわけて調査地点を配置し、平地の場合は対角線に配置すると良いでしょう。牧区の面積にもよりますが、1 牧区あたり最低 5-10 ヶ所は調査することが理想です。場所を決める際には恣意的な選択が生じないように、歩数や異なる地形の場所を選びます。草地管理支援システムを利用している場合は、各傾斜度の分布状況に応じて各傾斜区分の調査地点数を配分すると良いでしょう。

c) 測定： 1 m × 1 m の枠をおき、その中の何%を植物が覆っているか（植被率）を観測します。なお、100%から植被率を引いたものが裸地率になります。さらに、覆っている植物のうち、イネ科牧草が占めている割合、マメ科牧草が占めている割合、雑草

が占めている割合を調査します（図 1-2-13）。

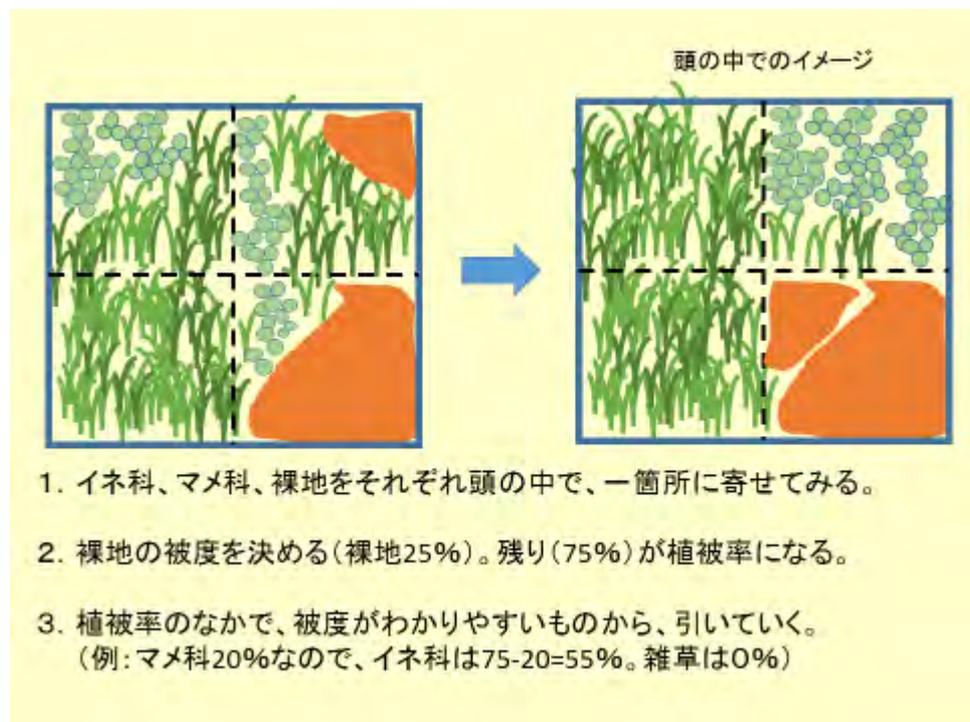


図 1-2-13 被度の決め方のイメージ。

イネ科牧草や雑草については、さらに細かく草種ごとに分けて調査することで、より詳細な変化を明らかにすることができます。特に雑草については草地において問題となる、エゾノギシギシ、チカラシバ、ワルナスビ、アザミ類などを別に記録しておく、その増加傾向などが把握できるため、対策を立てる上で役立ちます。なお、イネ科の牧草と雑草は見分けが難しいですので、本章の最後に参考資料として、イネ科牧草と主要な雑草の見分け方を示しましたので参考にしてください。

植生調査は草地管理をする上で重要なことですが、慣れないうちは時間がかかります。全ての牧区が困難であれば、調査対象を使いやすい牧区や気になる牧区などに絞る、1年おきに半分の牧区を調査する、など負担のない範囲で調査することをお勧めします。なお、当年の調査結果から草地の状態を把握することはできますが、継続して調査することにより、放牧方法と草種構成の変化との関係などが明らかになりますので、年間作業として組み込むことが理想です。

3) 草地管理支援システムの植生管理簿

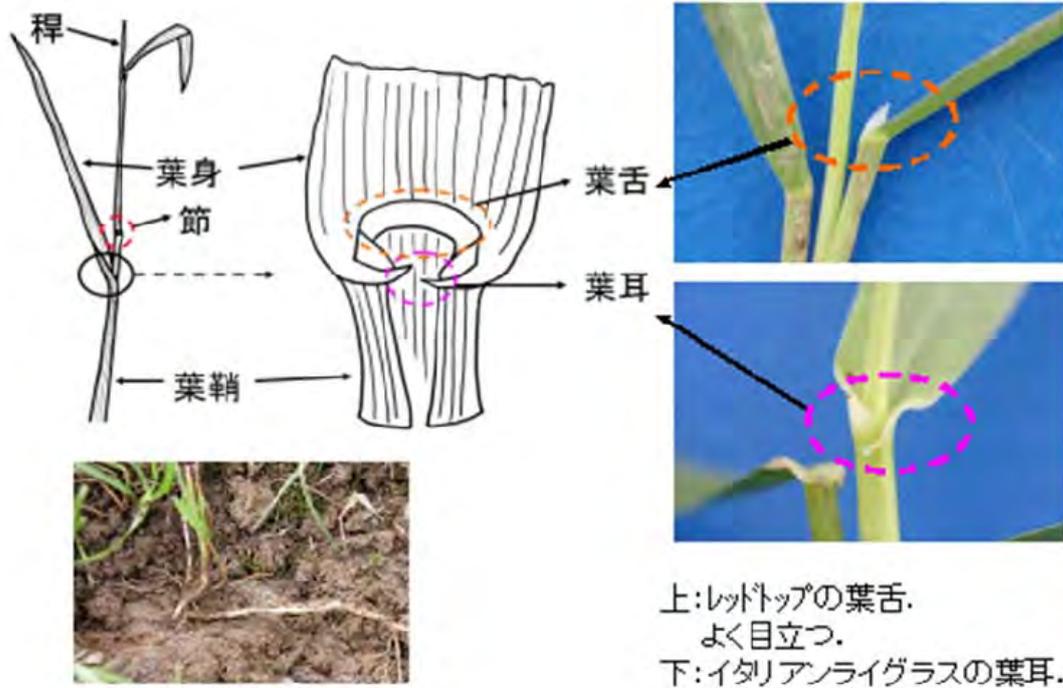
草地管理支援システムでは、現地で簡単に植生管理簿を作成し、記入することが出来ます（図 1-2-14）。さらに、現場の写真や位置もシステム上に保存することが出

来ます。写真記録は、雑草の種類がわからない場合など、専門家等に質問する場合に役立てられます。また、位置情報記録することで、次回以降も同じ場所を調査することが可能となり、草地の変化をより把握しやすくなります。草地管理支援システムでは植生管理簿を、CSV ファイルとしてアップロード、ダウンロードできますので、用紙に記入したデータをエクセル等、表計算ソフトへ入力したデータもシステム上で一元的に管理することが出来ます。

植生ノート		基本情報							
牧区	エリア	植生状態	土壌状態	裸地割合	牧草割合	傾斜区分	備考		
20	20-7				0.00	1			
20	20-8	高	湿潤	20-40	0.00	2			
20	20-9				0.00	2			
20	20-2				0.00	1			
20	20-3				0.00	1			
20	20-4	高	湿潤	20-40	60.00	1			
		牧草種	雑草割合	写真					
メッシュID	雑草種	割合	雑草種	割合	雑草種	割合	備考		
132487	エゾノギシギシ	40.00		0.00		0.00			
指導内容									
糞がたまっている場合はこのエリアへの施肥を止めましょう									

図 1-2-14 草地管理支援システムの草地管理簿イメージ画像。
(画面左下に表示されているのが雑草防除コメント)。

参考資料：イネ科牧草と主要雑草の見分け方.

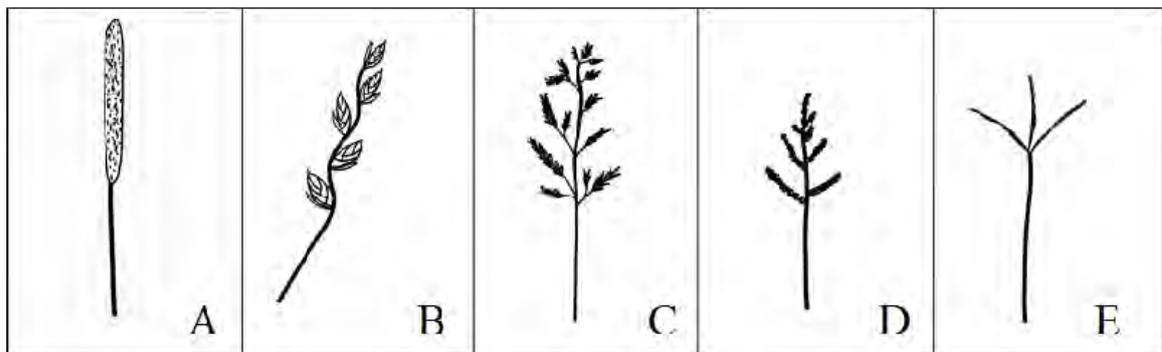


レトトップの地下茎.
根より明らかに太い茎が水平に伸びている

上:レトトップの葉舌.
よく目立つ.
下:イタリアンライグラスの葉耳.
稈に巻き付いている.

茎葉各部の名称と地下茎の様子

主要な牧草と草地イネ科雑草の特徴



草種	穂	花期	葉耳	葉舌	地下茎	間違えやすい牧草
チモシー	A	6-8月	無	1-5mm白い膜状	無	
メドウフォックステール	A	-月	無	1-2.5mm	有り	チモシー
スズメノテッポウ	A	4-5月	無	2-5mm目立つ	無	チモシー
チカラシバ	A'	8-10月	無	短毛の列	無	
エノコグサ	A'	7-10月	無	1条の毛の列	無	
イタリアンライグラス	B	5-7月	有	無	無	
ペレニアルライグラス	B	5-7月	有	無	無	
シバムギ	B	7-8月	有	ほぼ無し	有り	チモシー
オーチャードグラス	C	7-8月	無	5-10mmよく目立つ	無	
トールフェスク	C	6-8月	有	小さい	無	
メドウフェスク	C	6-8月	有	小さい	無	
ケンタッキーブルーグラス	C	5-7月	無	0.5-1.2mm	有り	
リートカナリーグラス	C	5-6月	無	2-3mm	有り	
ベルベットグラス	C	6-8月	無	3-5mm	無	
レッドトップ	C	5-6月	無	3-5mmの山形	有り・太い	
イヌムギ	C	5-8月	無	3-5mm	無	
カセクサ	C	8-10月	無	毛が生える	無	
スズメノカサハラ	C	2-11月	無	2-5mm:白色で目立つ	無	ケンタッキーブルーグラス
メシバ	E	7-11月	無	1-3mm	無	
オシバ	E	8-10月	無	1mm以上	無	
イヌビエ	D	8-10月	無	無	無	

A'の穂は、穂の周りに目立った毛がある

草種	毛の有無	その他
チモシー	無	毛はないが葉がざらつく
メドウフォックステール	無	下方の葉鞘はしばしば暗紫褐色
スズメノテッポウ	無	
チカラシバ	葉の付け根にある	
エノコグサ	葉鞘のへりに有り	葉鞘が基部まで割ける
イタリアンライグラス	無	
ペレニアルライグラス	無	
シバムギ	上面に微毛がある場合も	
オーチャードグラス	無	葉身は中央脈に沿って2つ折れ
トールフェスク	葉耳のへりに短毛	葉鞘が基部まで割ける
メドウフェスク	無	葉鞘が基部まで割ける
ケンタッキーブルーグラス	無	葉先はポート型
リートカナリーグラス	無	ざらつく
ベルベットグラス	全体に白色の短毛を密生	ピロードのような手触り
レッドトップ	無	毛はないが葉の両面共にざらつく
イヌムギ	葉鞘下方は白毛に覆われる	
カセクサ	葉身基部に長い毛が生える	
スズメノカサハラ	無	葉身が短い
メシバ	葉鞘にまばらな毛	倒伏し節より発根
オシバ	付け根にまばらな長毛	葉身は中央脈に沿って2つ折れ
イヌビエ	たまに葉鞘に毛を持つ	

(2) ゾーニングに基づく雑草管理

1) 雑草の侵入・繁茂と傾斜区分

広い放牧草地において、牧草が均一に生育しないのと同様に、雑草も草地内に均一に侵入・定着するわけではありません。雑草もその草種によって、生育に適した環境があります。例えば、「1-2-1 施肥管理」で説明したように、傾斜地等を含む草地では、同じ牧区内であっても場所によって土壌養分状態が異なります。草地雑草の代表格である、エゾノギシギシは土壌の肥沃なところを好むため、排泄糞の集中しやすい傾斜の緩い場所で多くみられます。一方、傾斜度の厳しい場所では認められても数は少なく、また大きな株になることも稀です。

この他、傾斜の厳しい場所では土壌が乾燥しやすいため、乾燥に強いヒメスイバやメヒシバといった雑草が、一方、谷部では湿気を好むイヌビエなどの雑草が繁茂しやすい傾向が認められます。

このように、傾斜区分ごとに定着・繁茂しやすい雑草を整理することにより、定着・繁茂しやすい場所に侵入した雑草を集中的に防除することが可能となり、効率的な管理ができます。

草地管理支援システムでは、植生管理簿に主要な雑草情報が入力されると、調査地点の傾斜区分や土壌状態などから、管理に必要なコメントが自動的に表示されます。

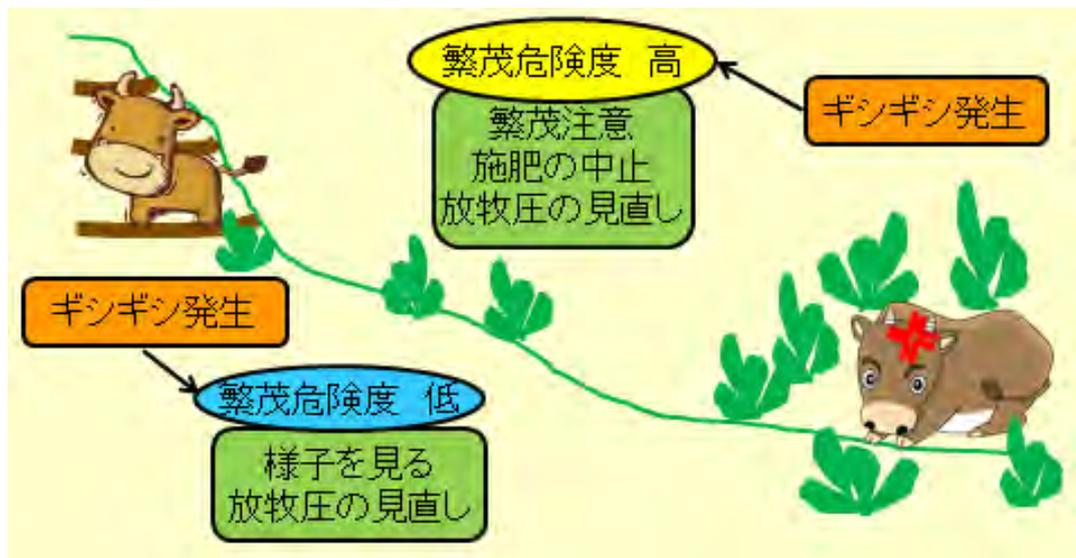


図 1-2-15 ゾーニングによる雑草管理のイメージ。

2) 放牧草地における雑草防除の考え方

草地、特に放牧草地は更新間隔が非常に長いため、全面的に雑草を防除する機会が少ないです。そのため、防除が困難な雑草ほど、見つけたらすぐに除去することが必要です。

牛によってまったく採食されず、かつ繁殖力が強い、ワルナスビのような雑草種は、見つけ次第、対応する必要があります。一方、イヌビエのように比較的、放牧牛によって採食されるものの、繁茂すると草地の質を低下させるような雑草種については、現状を確認してから対処方法を考えることもできます。

草地雑草の1番手としてあげられるエゾノギシギシは、これまでの多くの研究の成果もあり、施肥管理や薬剤による処理によって更新を伴わずとも対応が可能です。一方、ワルナスビやチカラシバといった草種は、蔓延してしまった場合、完全更新やその後の管理などが防除に必要となるため、いったん広がってしまうと対応に苦慮することとなります。このようなことを防ぐためにも草地の見回りが必要です。次に早急な防除が必要と考えられる雑草をいくつか紹介しますので、しっかりと覚えてください。

3) 主な草地雑草と防除法

a ワルナスビ：

名前の通り、ナスに似た葉を持ちます。茎には鋭い刺が有り、節ごとに「く」の字に曲がりながら枝分かれます。葉は互生し、葉身の長さは6～12cm、縁は大きく切れ込み、葉脈と葉柄にも刺があります。生育すると高さ80～100cmに達し



ワルナスビ

ますが、放牧地では30cm程度の個体もよく見られます。6～9月にジャガイモに似た花を数個～10個程房状につけ、花色は白～紫です。直径1～2cmのプチトマトのような実をつけ、熟すと黄色になります。また、棘を持つことと、アルカロイドを含むため、牛は採食しません。

種子と根で繁殖します。特にいったん侵入した場所では主に根で繁殖します。根は非常に良く伸びるため、ある個体から数メートル離れた場所に別個体が出現することもあるので、ワルナスビの発生を確認したときは、あたりを広い範囲にわたりよく確認しましょう。

ワルナスビは初期生育が遅いものの、一旦蔓延してしまうと有効な防除法がないため、草地で見かけたら、すぐに地下部をできるだけ深く掘り採って焼却するか、深く埋設します。根片は1cm程度でも再生し、10cm程度であれば50cmの深さからでも萌芽するので、耕耘などを行う場合には、機械で分断・拡散したり、機械に切片をつけたまま他の圃場に入ったりして広げないように注意します。他の草種との競合には比較的弱いので、牧草密度を高く保つことは有効な管理方法です。長大型飼料作の作付けが可能であれば、遮光による生育抑制効果が期待できます。

草地で登録のある除草剤のうち、グリホサート、MDBAはワルナスビに効果があります。使用適期はワルナスビの根の貯蔵養分が最小となる開花初期ですが、草地更新時に使用する場合は、散布した薬剤が根に浸透する時間と牧草の定着密度を確保するため、播種適期の2週間程前に処理します。また、除草剤散布前に刈払いなどで地上部を損傷すると、薬剤の根への浸透が悪くなる恐れがあるので注意しましょう。なお、蔓延した草地では、1回の薬剤処理で根絶するのは困難です。

とにかくワルナスビを見かけたら、個体の大小に係わらず地上部と地下部を出来る限り除去しましょう。初期防除が非常に重要な草種です！

b アザミ類：

アザミ類は鋭い棘をもち牛に採食されません。多くの種子をつけ、種子は綿毛により遠方まで運ばれる（ヒレアザミを除く）ため、裸地や牧草密度が低下した日当たりのいい場所に定着し、繁茂します。ここでは主に改良草地で問題視される、アメリカオニアザミとヒレアザミ、セイヨウトゲアザミについてとりあげます。

主要アザミ類の繁殖方法と特徴.

		特徴
種子のみで繁殖	アメリカオニアザミ	根生葉は羽上に深裂して大きなロゼットを作る。茎は高さ50-150cm。全長にわたり著しいひれ(翼)があり、ひれは鋭い棘を持つ。茎上の葉も羽状に深裂して裂片の先や縁に鋭い棘がある。葉の上面は緑色、硬い短毛があり、裏面は綿毛が多く白色。
	ヒレアザミ	茎は直立し、分岐があり高さ70-100cm、縦に2条の著しいひれ(翼)があり、ひれには鋸歯があつて先は鋭い棘となる。葉は不規則に羽状に裂け、縁に多くの棘がある。下面は白色の絡み合った毛に被われるが、後に毛はまばらになる。
種子と栄養茎で繁殖	セイヨウトゲアザミ	茎は高さ30-150cm。葉は鋭い棘を持つが、アメリカオニアザミほど深裂せず、明るい緑色で、毛がないため光沢がある。

アメリカオニアザミとヒレアザミは種子で繁殖し、一方、セイヨウトゲアザミは種子と地下茎で繁殖するため、防除方法が異なりますので分けて説明します。

・アメリカオニアザミとヒレアザミ

種をつける前に出来る限り地際で刈取り、残った根部も傷をつけます。刈取り位置が高く、節数が3以上残っていると再生します。除草剤を使用する場合は、結実前にグリホサート系の除草剤によりスポット処理します。草地更新時は全面処理を行います。種子の寿命はそれほど長くないので、刈取り、除草剤処理をいずれも2-3年間継続することにより、ほぼ根絶できます。



ヒレアザミの株

・セイヨウトゲアザミ

種子と地下茎で繁殖する、雌雄異株です。地下茎の伸長は経年化が進むほど旺盛になります。種をつける前の刈り払いは、種子繁殖を防除する上で有効ですが、年に2-3回行う必要があります。なお、地下茎によっても繁殖するため、薬剤による防除が必要です。結実前にグリホサート系の薬剤を年に2-3回スポット散布します。根絶には、これを数年間継続する必要があります。特に完全更新を行う際には栄養茎を攪拌して拡散させる危険があるので、注意が必要です。

セイヨウトゲアザミはアザミ類の中でも対応が異なりますので、アザミ類を対処するときには必ず、セイヨウトゲアザミかそれ以外かをよく確認しましょう。

アザミ類は光を好むので裸地があると侵入しやすいです。適正な放牧圧で牧草密度を保ちましょう。

c ワラビ :

日当たりの良い草原、谷地、原野などで群生する、シダ植物です。酸性土壤に適応します。類似種との見分けは難しいですが、日当たりの良い草地に群生しているシダ植物はほとんどがワラビであると考えてよいでしょう。

主に地下茎により繁殖します。地上部は秋に枯れますが、地下茎は生存しており、翌春に萌芽します。ワラビには、有害物質が含まれており、家畜が短期間に大量摂取すると急性中毒を起こし、死にいたる場合もあります。通常、放牧牛はワラビを採食しませ

んが、極端な草量不足状態では、採食し中毒を起こすことがあるので、ワラビが繁茂している草地への放牧に際しては注意が必要です。

年 3 回程度の強度の刈り払いによって防除が可能ですが、年 1 回の刈り払いではほとんど効果がありません。また、先にもあげたように、通常放牧牛はワラビを採食しないため、放牧による防除は期待できません。薬剤を使用する場合は、アシュラム剤の施用が有効で、特に展葉の最盛期である夏季の施用が効果的です。さらにグリホサート系の薬剤も有効です。



ワラビ

刈り払いと除草剤をうまく利用して、防除しましょう。

d チカラシバ：

ブラシ状の黒っぽい（まれに白いものもある）大きな穂が特徴的です。出穂までは特徴の無いイネ科草種のため、穂を見て侵入に気づくことが多いです。種子は長い芒を持ち、出穂期には放牧牛の目に刺さり結膜炎の原因となります。

刈り払いによって防除する場合は、回数よりも適した時期に刈り払いを行い、種子の結実を抑制することが重要です。出穂前に複数回の刈り払いを行っても、穂の数は変わらなかったとの報告もあり、何度も刈り払いを行うよりは出穂を確認してから結実するまでの約 2 週間間に刈り高 5cm で刈払うのが効果的です。また放牧による抑制方法では、1ha あたり 4 頭程度の繁殖牛を定置



チカラシバ

放牧することで、3～5 年でチカラシバを抑制できるとの報告がありますが、厳しい放牧条件であるうえ、公共牧場は 1 つの牧区が大きく、全面をきれいに食い込ませるのは難しいため、適した防除法であるとは言いがたいです。

除草剤を利用する場合はグリホサート系除草剤の利用が有効です。草地更新時に各除草剤の使用方法に準じて使用します。ただし、チカラシバの種子には除草剤は効果がありませんので、種子が結実、落下する前に散布します。

チカラシバの種子は、放牧牛や作業者に付着して拡散します。ですので、チカラシバのある草地と無い草地が混在している場合は、放牧牛の移牧ルートに注意し、チカラシバの種子を拡散しないように注意します。

e フキ：

湿気の多い場所や、強風にあおられにくい、沢沿いの斜面や林縁などに多く見られます。茎は地中で横に伸びる地下茎で、地上に見えているのは葉とそれを支える葉柄です。

主に地下茎が横に伸びることによって拡大します。草地更新時に表面がかく乱されると、分断された地下茎のみならず、切断された根も萌芽能力を持つため、急激に増加する危険があります。また、種子によっても増殖しますが、初期の個体は非常に小さいため、牧草の密度が十分であれば、拡大の危険は非常に小さいです。

放牧牛はその苦味のためにフキを採食することはほとんどありません。そのため、放牧のみで防除することは出来ません。しかし、頻繁な刈り払いに弱いとされており、年間4回以上の刈り取りにより、かなり衰退するといわれています。また、除草剤を利用する場合は、フキの密度が高いところに、グリホサート系除草剤を濃い目（50倍希釈以下）で数年間繰り返し散布することで地下茎が次第に衰退します。除草剤の散布次期は、葉から地下部への転流が盛んになり始める初夏以降が望ましく、フキノトウの時期に早めに散布してもほとんど効果は認められません。草地更新時には、更新前と更新後、生存した地下茎から萌芽した葉に除草剤処理を行うと効果的です。

f イタドリ：

日当たりの良い荒れ地や斜面に生育する多年生植物です。根茎が発達し、横に広がり各所に新しい芽を出します。放牧牛は採食しません。しかし、近縁種のオオイタドリは、放牧牛による蹄傷に弱いことが知られており、適正な放牧圧をかけることにより、ある程度は抑制できると考えられます。ただし、刈り払いのみでは防除することは困難で、根茎を掘り取る必要があります。侵入している個体数が少ない場合は、拡大する前に掘り取ることが有効です。

除草剤を利用する場合でも、通常の希釈倍率のアシラム剤（50-70倍）やグリホサート系除草剤（100-200倍）では、成長抑制にとどまり、枯殺にはいたりません。ただし、イタドリがスポット状に繁茂している草地であれば、春先に50-80倍希釈のグリホサート系除草剤をスポット散布することができれば高い抑制効果が得られます。一方、

全面に繁茂してしまっている草地では、全面更新が効果的ですが、更新前の除草剤をきっちりと効かせることが重要になります。

g エゾノギシギシ：

草地雑草として最も有名な草種です。種子繁殖と栄養繁殖の両方で繁殖します。さらに、1株に1万を越す種子をつけるとも言われており、種子による繁殖が旺盛なため、定着すると防除に時間がかかります。また、開花、結実も長期間にわたって行われます。しかし、種子の発芽には光が必要なため、牧草の密度を高く維持することで、発芽を抑制することができます。

刈り払いによる防除では、開花・結実が長期間にわたって行われること、残存した地下部からの再生があるため、日常作業として頻繁に行う必要があります。一方、人力による掘り取りは手間も時間もかかりますが、効果の高い防除法です。写真のような器具を利用すると、根が残らず、比較的簡単に掘り出す



エゾノギシギシ

ことができます。おおきな株の場合、引き抜いたあとに裸地が生じますので、牧草を追播すると良いでしょう。



ギシギシ抜き。

左の又われ部分で根をはさみ、テコの原理で掘り起こす。

除草剤では、アシュラム系やスルホニルウレア系を利用することにより、イネ科牧草を枯殺せずに、エゾノギシギシをからすことができます。ただし、マメ科牧草には影響がありますので使用に際しては注意が必要です。また、草地更新時やスポット散布を行う場合は、グリホサート系の除草剤も利用できます。更新時は、栄養茎やすでに結実している種子による増殖を抑えるために、除草剤散布、耕起後、しばらく放置して、再生した個体を再度、除草剤により枯殺します。

エゾノギシギシは、酸性土壌や土壌水分の高い場所で発芽・定着しやすく、さらに吸肥力が高いため、糞が集積したような肥沃な場所で旺盛に生育します。このことから、エゾノギシギシが繁茂している場所への施肥は控え、また、土壌 pH が低いところでは、石灰の施用などにより、土壌改良を行います。

1-2-3 草地更新

(1) 更新の判断基準

乳用種育成牛を放牧飼養する公共牧場では、預託牛が短草状態の高栄養牧草を十分に食べ、健康な状態で十分に増体する必要がある、それを実現可能にする草地となるように管理する必要があります。

施肥管理、植生（雑草）管理、獣害対策等を行っても生産性を向上できない草地植生の場合には、草地を更新する必要があります。

1) 草地更新判断の基本

放牧草地を更新する判断基準（植生診断基準）は図 1-2-16 の通りです。

項目		全牧草被度			
		80%以上		50～80%	50%未満
		マメ科 40%以下	マメ科 40%以上		
雑草被度	10%未満	良好	要更新	更新検討	
	10～30%	更新検討			
	30%以上				

図 1-2-16 放牧草地の植生診断基準。
(日本草地協会：草地診断の手引き(1996)より作成)

植生診断のポイントは大きく3つからなります：i) 全牧草被度の高さ、ii) 牧草に占めるマメ科被度の高さ、iii) 雑草被度の高さ。その理由を以下に述べます。

a) 全牧草被度の高さについて

生産性の高い草地は、裸地や雑草の被度が少なく、全牧草被度が高い必要があります。植生診断基準では、被度 80%以上（うちマメ科 40%以下）は「良好」、被度 50～80%は「更新検討」または「要更新」、被度 50%未満は「要更新」となります。

b) 牧草に占めるマメ科被度の多さについて

シロクローバなどマメ科牧草はタンパクやカルシウム含有量が他の牧草より高く、家畜の採食性も優れ、窒素固定することから窒素施肥量削減管理につながる優れた牧草

です。一方で、多く採食しすぎると、胃の中での急速な分解によりガスが発生し、鼓脹症の原因になる恐れがあります。このことから、牧草に占めるマメ科の被度は高すぎないことが肝要であり、植生診断基準では被度 40%以上は「要更新」となります。

c) 雑草被度の多さについて

雑草は優良な牧草を庇蔭する等により植生の悪化を招き、生産性の減少や栄養価の低下に繋がります。また、雑草の中にはワラビなど、家畜毒性を持つ植物もあります。また、放牧・採草兼用草地では、高水分含量であるエゾノギシギシ混入は採草時の品質を低下させます。草地に雑草は少ない方が良く、植生診断基準では被度 30%以上は「要更新」、被度 10%~30%は「更新検討」または「要更新」となります。

2) 植生診断基準以外に留意する点

植生診断基準以外に留意する点として、i) イネ科牧草栄養価の違い、ii) 利用する牛群の生育ステージの違い、iii) 獣害対策の有無、iv) 将来的な牧場利用計画があげられます。

a) イネ科牧草の栄養価の違い

牧草は種によって栄養価が大きく異なります（図 1-2-17）。

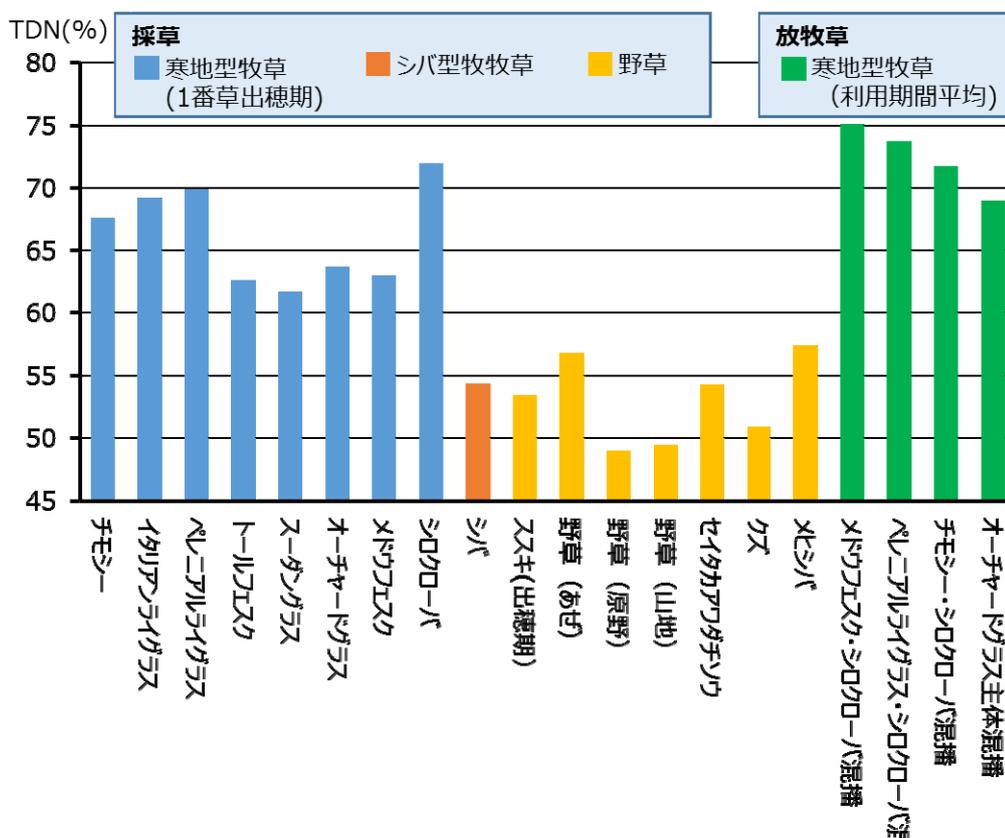


図 1-2-17 牧草の栄養価.

(中央畜産会：日本標準飼料成分表(2009年版)より作成)

一般に牛にとっての栄養価は、高栄養寒地型牧草で、野草や雑草より高くなります。また、寒地型牧草も採草利用より放牧利用で栄養価は高くなります。さらに寒地型牧草の中でも、草種によりTDNで10%程度の変動が認められます。特に、高栄養寒地型牧草は、草種選択と短草での放牧利用でTDN含量が70%を超え、濃厚飼料並の高い栄養価を示します。このことから高栄養の牧草種の被度が高いことが、増体が優れる乳用種育成牛の放牧管理を行う上で有効です。イネ科牧草でも、低栄養の牧草種が優占する草地では、より高栄養の草種の割合を増やす方向で追播などによる草地更新を行うことが望ましいと言えます。その際、近年育成された品種は、同じ草種でも生産性が高い、病害虫に強い、耐暑性を持つ等、過去の品種より優れることから、これを利用します。

b) 利用する牛群の生育ステージの違い

これまで主に乳用種育成牛の利用について記載しましたが、公共牧場の現地では、黒毛和種の繁殖牛を放牧飼養するケースも見られます。子牛で胃袋が大きくないのに年間約300kg近く増体する必要がある育成牛と、成牛で胃袋が大きいのに年に約子牛一頭分増体すれば良い繁殖牛では、必要となる飼料中の栄養価は大きく異なります。

乳用種育成牛と黒毛和種繁殖牛飼養に必要とする飼料中栄養価を、図1-2-18に示します。

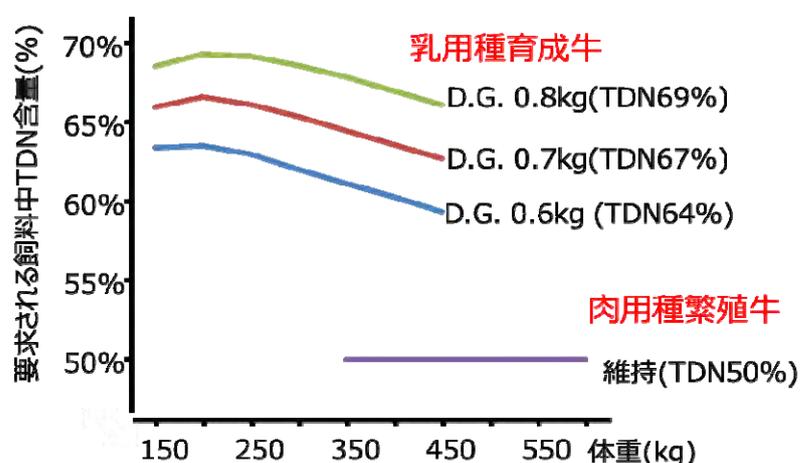


図1-2-18 家畜が要求する飼料中栄養価 (TDN 含量)。
(中央畜産会：日本飼養標準・乳牛(2006年版),肉用牛(2008年版)より作成)

乳用種育成牛が要求する飼料中TDN含量については、D.G.0.8kg程度必要であればTDN69%程度、D.G.0.7kgであればTDN67%程度、D.G.0.6kgでもTDN64%程度が必要です。一方、黒毛和種繁殖牛については、TDN50%程度で飼養できます。

このことから、家畜が要求する栄養価(図1-2-18)と、その草地植生の栄養価

(図 1-2-17) が一致する方向で、草地管理を行うことが必要となります。よって、乳用種育成牛が放牧飼養される牧区で、低栄養の牧草種が優占する場合には、前述したとおり高栄養牧草の導入による草地更新が望ましいと言えます。一方で黒毛和種繁殖牛では、高栄養の草地は必須で無く、過肥による繁殖障害を避けるため、逆にある程度低栄養の草地が適します。

c) 獣害対策の有無

近年獣害の被害が全国的に増えてきています。獣害が酷い牧場において、獣害対策をせずに草地更新しても、新播牧草が全て採食されて上手く定着しない事例が認められます。このことから、獣害が酷い牧場では、獣害対策が優先事項であり、草地更新は獣害対策（次項の（4）獣害対策を参照）を行った牧区で行うことが必要となります。

d) 将来的な利用計画

牧場における放牧地の草地面積に対し、家畜が十分集まらない場合、放牧による家畜菜食が十分でなく、草丈が高い状態で維持管理されるケースが見受けられます。この場合、高栄養の寒地型牧草でも栄養価が低くなる事があります（図 1-2-19）。

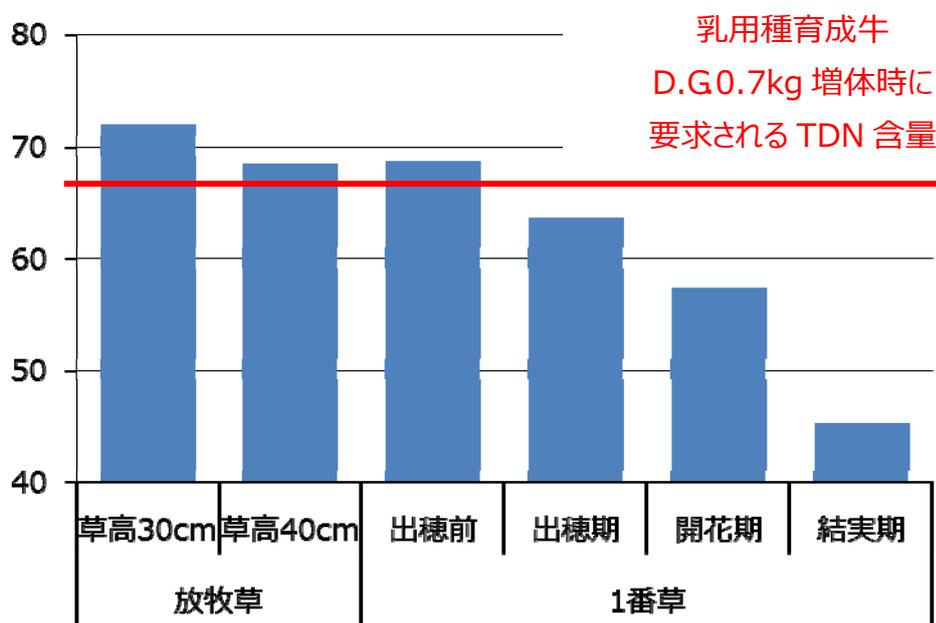


図 1-2-19 牧草の草丈・生育ステージと栄養価。

(中央畜産会：日本飼養標準・乳牛(2006年版),日本標準飼料成分表(2009年版)より作成)

高栄養イネ科牧草は短草で採食させることにより、高い栄養状態を維持することができ、ひいては放牧家畜の良好な増体につながります。よって、乳用種育成牛を中心に飼養する牧場で、預託頭数が十分に足らず、放牧圧をかけることができない（高栄養

の短草状態で維持管理出来ない) 場合には、利用牧区を限定し、短草利用出来る放牧圧をかけつつ施肥・雑草管理・草地更新を行うと良いでしょう。(それ以外の牧区は、栄養価の低い牧草での飼養管理に適する、黒毛和種繁殖牛の飼養に利用することが望まれます。)

植生が悪く牧場の全牧区を草地更新する必要があっても、資金不足で対応できない牧場も見られます。草地更新に使える資金が限られる場合には、将来的な利用計画と合わせ、必要な牧区を優先して草地更新することが望まれます。

(2) 草地更新の方法

草地更新には様々な方法がありますが、大きく「完全更新」と「簡易更新」二つの方法に分けられます。

1) 完全更新

完全更新は、畑で作物を育てるように、除草剤、土壌改良資材、肥料と各種農業機械を十分利用して牧草を育て、草地を更新する方法です。土壌中の埋土雑草種子が多い場合には、播種前の除草剤を2度処理し、雑草を十分と抑制して更新する方法もあります。いずれも後述する簡易更新より、均一な草地ができ、草地更新の確実性は高いと言えます。一方、コストは高く、播種後に牧草の苗立ちが完成するまで、放牧利用は避ける必要があります。

2) 簡易更新

簡易更新は、完全更新より農業機械の利用を減らす等により、低コストかつ簡易な方法で草地を更新する方法です。簡易更新は、さらに部分耕起型更新と不耕起更新の二つに分類されます。部分耕起型更新は主に専用播種機により帯状に追播し、不耕起型更新は機械を使わずに表面播種等により追播する方法です。部分耕起型更新は、農業機械が利用可能な土地で可能で、不耕起型更新は、農業機械の利用が難しい土地で実施出来ます。部分耕起型更新は、不耕起型更新と比較し、更新成功の確実性は高いと考えられます。なぜなら、草地更新の成功要因として、土と種子の密着や、土壌表面の水分含量、既存植生の状況などの影響を不耕起更新が受けやすいからです。

簡易更新の特徴は下記の通りです：既存牧草を活用しつつ新たな牧草の導入ができる、土壌保全的、少人数で取り組み可能、高い作業効率、放牧利用を中断せず実施可能、ただし更新機が高価。いずれも雑草が多いときには除草剤で予め対策する必要があります。

(3) 更新による植生改善の実施例

(山梨県立八ヶ岳牧場におけるシードマチックを利用した簡易更新)

1) 更新牧区の決定

a) 草地診断基準による更新牧区の決定

植生調査を行い、図 1-2-16 の判断基準に当てはめます（前項の（2）植生管理を参照）。

表 1-2-5 更新前の草地植生（2014/5/15）

種名	被度(%)	高さ(cm)
ケンタッキーブルーグラス	53	21
シロクローバ	19	13
トールフェスク	16	20
リードカナリーグラス	5	6
ヒメジソ	2	10
ハコベ	2	6
カモジクサ	2	10
タンポポ	1	7
シロイヌナズナ	1	7
エゾノギシギシ	0	2



図 1-2-20
更新前の草地の状態
(2014/5/15)

上記植生調査結果（表 1-2-5）から、全牧草被度（ケンタッキーブルーグラス、シロクローバ、トールフェスク、リードカナリーグラス）の被度は合計で 93%、マメ科牧草

被度は 19%であることから、草地診断基準からは「良好」と判断されました。一方、イネ科牧草の中で栄養価の低い牧草の、ケンタッキーブルーグラス(53%)やトールフェスク(16%)が多くの被度を占めていました。

b) 利用牛群・獣害対策の有無・将来的な利用計画に基づく更新牧区の決定

利用牛群は乳用種育成牛であり、高栄養の牧草が要求されます。

獣害対策については、多くの部分で実施済みでしたが、本牧場は観光牧場を兼ねるため道路沿いなど一部対策していなかったため、その部分に対応することにしました。

将来的な利用計画としては、本牧場は現状で預託を希望する農家が多すぎて一部預託を断らざるを得ない状況にあり、将来的にも乳用種育成牛での利用が継続されると考えられます。

これらをまとめると、①草地診断基準から草地を評価すると「良好」であるが、草種構成として栄養価が低い牧草種が占める割合が多く、②将来的にも高栄養を要求する乳用種育成牛の放牧飼養が継続されると考えられました。そこで、高栄養寒地型牧草の中でも栄養価が高い(図 1-2-17 参照)草種であるペレニアルライグラスによる植生改善が、乳用種育成牛の放牧飼養に適すると考えられました。また、将来的に利用継続が見込まれることから、対象牛群(C 群)の利用する牧区全て(5 牧区、合計約 11ha)を更新対象としました(図 1-2-21)。

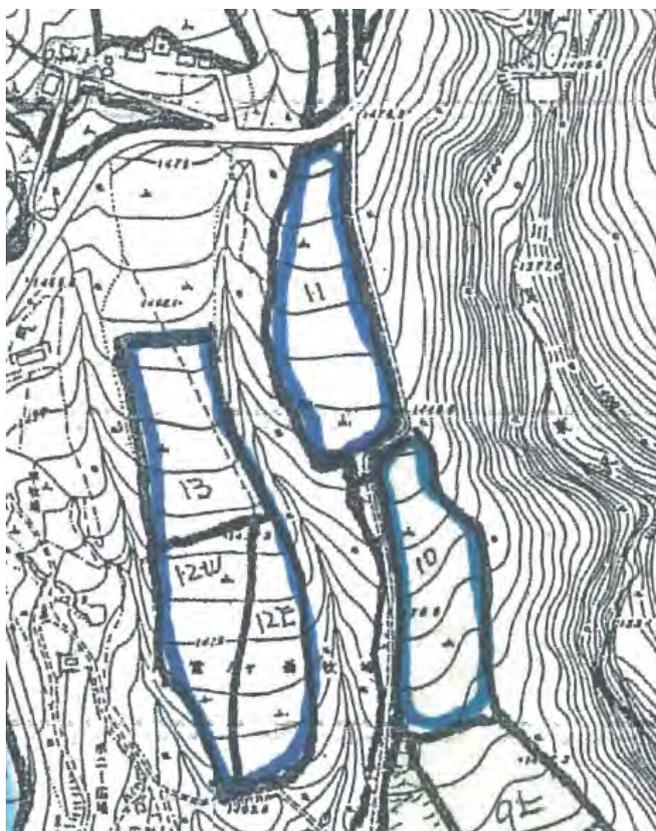


図 1-2-21
更新牧区(青色で囲まれた部分)

2) 草地更新法の決定

草地更新にあたり、預託牛の放牧を継続しつつ実施する必要があることから、草地更新法は完全更新では無く、簡易更新が適します。該当草地は、比較的緩やかな斜面でトラクタでの管理が可能であり、牧場を管理するオペレータのトラクタ操縦技術も高く、簡易草地更新機の利用が可能でした。このことから、実施可能な方法の中で、草地更新の確実性が高い簡易草地更新機を用いた草地更新を選択しました。

3) 草地更新の実施

播種時期は、現地の播種適期である8月下旬とし、2014/8/18-20に実施しました。用いたペレニアルライグラス品種はヤツユメ(3ha)、ヤツマサリ(1ha)、ヤツユタカ(7ha)としました。いずれの品種も、山梨県酪農試験場で育成された品種であり、山梨県八ヶ岳牧場の気象環境に最も適した品種と考えられました。

簡易型草地更新機は、エイチゾン社のシードマチック・グラスファーマー2014Cを用いました。本機は、ディスクで草地に溝を切りながら、牧草種子をその溝に落とす仕組みの追播機であり、作業幅2.1m、うね幅15cm×14条です。本機を用いた追播作業能率は1.0ha/時間でした。播種量は3.0kg/10aを目標に機械の設定を行いました。実際には2.7kg/10aでした(図1-2-22)。



更新に利用したシードマチック
草地に溝を切り、そこに種を落とす仕組み



作業の様子
能率：1.0ha/hrTDN(%)



溝に播種された種子



播種2か月後の様子

図1-2-22 追播機による草地更新作業の様子。

4) 効果

追播前の2014年と、追播後の2015年について、牧草の生産量増加と家畜増体の増加について評価を試みました。評価のため、草地の一部に無追播区を設け、それ以外の11haをシードマッチング区としました。なお、牧草生産量調査に用いた追播ペレニアルライグラス品種はヤツユメでした。

a) 2015年における、雑草（その他）を除いた全放牧期間の年間の牧草生産量は、シードマッチング区で1114.6kgDM/10aであり、無追播区の900.8kgDM/10aと比較し24%増加しました。一方、無追播区において2014年は2015年と比較し27%少なくなりました（図1-2-23）。

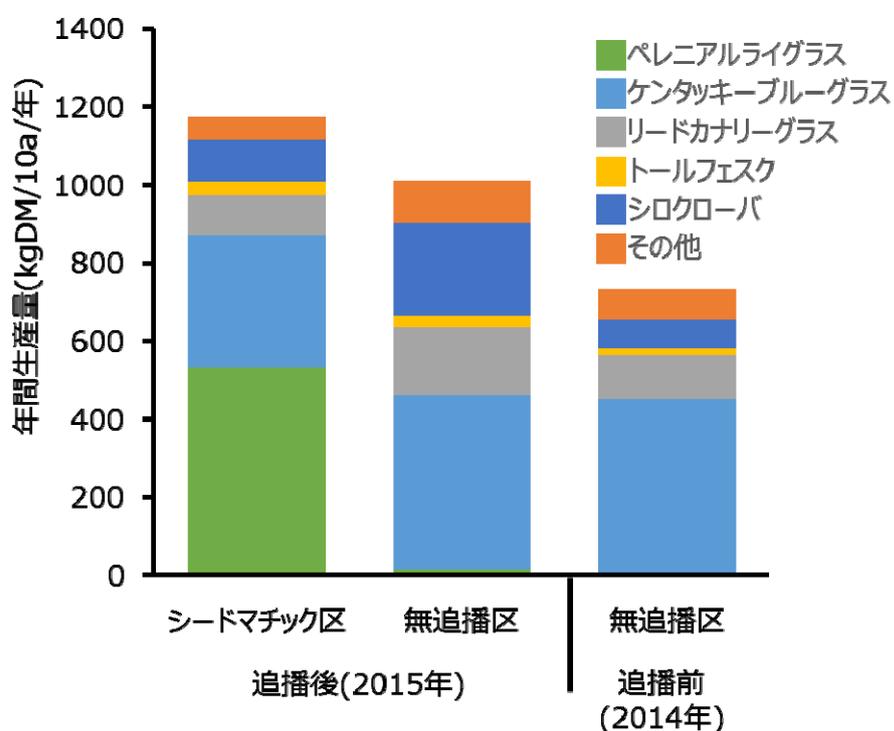


図 1-2-23 全放牧期間の年間乾物重.

b) 草量の季節推移は5月から6月、7月にかけて増加後、8月に少し減少し、その後9月に再度増加し、10月に減少する傾向を示しましたが、その程度は処理区等により異なりました。草量はシードマッチング区で無追播区より多く、特に9月は32%、10月は147%それぞれ増加しました。シードマッチング区で全草種中のペレニアルライグラスの割合は季節推移に従い増加し、特に9月、10月の草量増加にペレニアルライグラスは寄与していました。無追播区については、2014年は2015年と比較して8月以降は草量が少なくなりました（図1-2-24）。

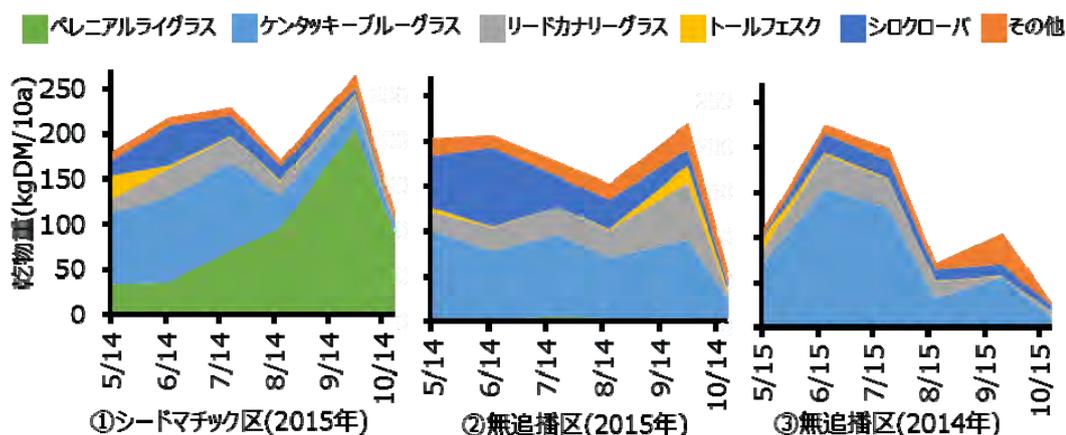


図 1-2-24 追播区（シードマッチング区）と無追播区における乾物重の推移.

c) 日増体量は、追播前（2014年）が 0.65kg/10a (n=26) 追播後（2015年）が 0.74kg/10a (n=32) となりました ($t=1.85$ 、 $d.f.=54$ 、 $p<0.05$)。追播前（2014年）は5月、6月の増体が高く、その後8月以降に増体が低くなる傾向にあり、2014年の無追播区の草量の季節推移と似た傾向を示しました。一方、追播後（2015年）の増体は特に9月、10月に高くなる傾向にあり、牛群利用のほとんどを占めるシードマッチング区の草量増加時期と似た傾向を示しました（図 1-2-25）。

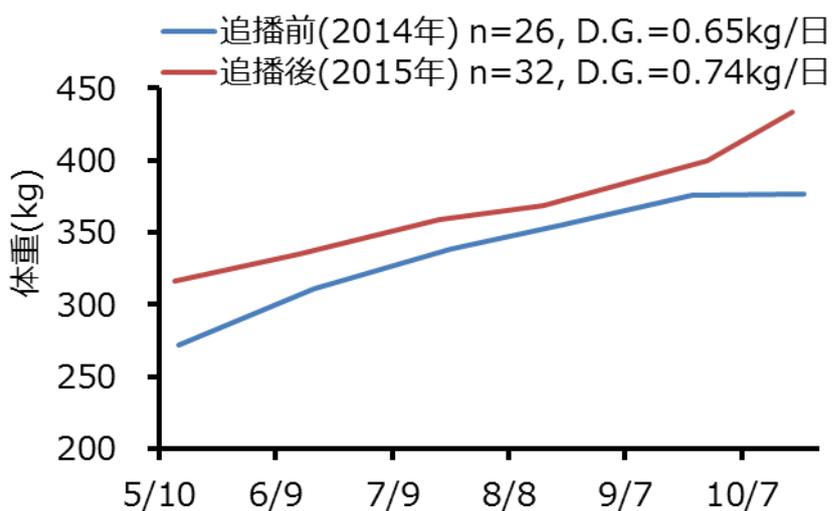
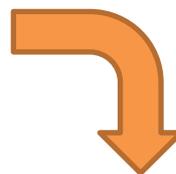


図 1-2-25 追播前(2014年)と追播後(2015年)の乳用種育成牛の体重推移.

追播前（2014 年）と追播後（2015 年）の日増体量の差の要因は、追播処理と年次間差双方の影響があり区別出来ませんが、各年の草量の多い時期に日増体量が高くなる傾向にあり、特に追播後（2015 年）の 9 月以降の日増体量増加には、追播ペレニアルライグラスの乾物量増加が影響していることが推察されました。これらのことから、ペレニアルライグラス播種による植生改善は、家畜増体にも良い影響を与える事が現地において確認されました（図 1-2-26）。



追播前(2014/8/20)



追播後(2015/9/29)

図 1-2-26 ハヶ岳牧場における放牧状況（追播したペレニアルライグラスを好んで採食していた）。

1-2-4 獣害対策

(1) 野生動物による飼料作物被害の実態と牧場における被害例

1) 野生動物による全国の飼料作物被害実態

牧草を含む飼料作物を加害する主要な鳥獣は 30 種程度であり、獣類ではニホンジカ、イノシシ、クマ類、ニホンザル、タヌキなどが、また、鳥類ではカラス類、ハト類、カモ類などが知られています（塚田 2014）。農林水産省のまとめた鳥獣による作物別の被害統計をもとに、飼料作物を抽出して平成 16～25 年度の過去十年のデータを平均し、被害面積の広い上位 5 種を取り出すと、ニホンジカによる被害が面積、被害量、被害金額ともに突出しており、被害面積では、イノシシ、カラス類、クマ類、カモ類がそれに続きます（表 1-2-6）。しかし、被害量や被害金額を単位面積当たりで比較すると、シカの被害は他の 4 種と比べて小さな値となり、クマ類の値が単位面積当たりの被害量、被害額ともに最大となりました。これは、シカによる飼料作物被害がもっぱら単価の安い牧草に集中していること、一方でクマ類の方は単価の高いトウモロコシを集中的に加害しているためと考えられます。

表 1-2-6 飼料作物を食害する主要な鳥獣の被害状況。

	シカ	イノシシ	クマ類	カラス類	カモ類
被害面積(ha)	35,660	624	423	469	21
被害量(t)	364,022	8,502	11,127	6,278	321
被害金額(万円)	260,186	11,284	11,249	6,302	457
単位面積当たりの被害量 (t/ha)	10	14	26	13	15
単位面積当たりの被害金額(万円/ha)	7	18	27	13	22

農林水産省の平成16年度から平成25年度までの10年間の平均値で示す

これら 5 種について、分布域と主な飼料作物被害、狩猟獣の区分をまとめると表 1-2-7 のようになります。いずれの種も、一部の地域を除き全国的に広く分布しています。これら 5 種はいずれも狩猟獣に指定されており、被害の多い地域では有害鳥獣駆除制度による駆除も実施されています。加害作物は動物種によって異なり、寒地型牧草の被害はニホンジカとイノシシに集中して認められます。

表 1-2-7 主な飼料作物の加害鳥獣とその分布域、加害作物、狩猟の有無.

加害種	分布域	飼料作物被害 ¹⁾					狩猟 ²⁾
		寒地型牧草	トウモロコシ	ソルガム類	イタリアンライグラス	麦類	
ニホンジカ	沖縄、東北の一部を除く全国	◎	○	△	◎		可
イノシシ	北海道及び東北、関東、北陸の一部を除く全国	○	◎	△	○		可
クマ類	ツキノワグマは本州及び四国の山間部、ヒグマは北海道	△	◎				可
カラス類	全国		◎	△		△	可
カモ類	全国					○	可

塚田(2014)を改変

1) ◎:被害が多い、○:被害がある、△:稀に被害・被害の可能性がある

2) 「鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律」で狩猟獣に指定されているものを可とした

2) 牧場における野生動物被害

公共牧場における鳥獣被害の実態については、参照可能な統計がないため、最新の状況の把握は困難ですが、2008年に動物衛生研究所が全国の牧場を対象に実施したアンケート調査（山根ら 2009）から、その実態の一端を垣間見ることができます。

このアンケート調査の結果、回答が得られた 341 件の牧場のうち、180 件でシカが確認されており、さらに 3～4 割でシカによる被害が確認されました。主な被害は牧草の盗食や牧柵の破壊であり、その他に牧草ロールのラップフィルムの食い破り、シカに驚いたウシが暴走するなどの影響、さらにはシカからウシへの病気の感染などが危惧されていました（図 1-2-27）。



シカによる牧草の食害



シカによる牧草ロールの食害

図 1-2-27 シカによる被害例.

シカ以外の動物による被害では、カラス類、イノシシ、タヌキ、クマ類、キツネ、カモシカ、ハト類、アナグマ、ネズミ類、ウサギ類などが加害種として報告されており、「牧草や飼料に対する被害」と「施設やその他の被害」とに大別されました。前者の被害はカラス、タヌキ、イノシシで多く、配合飼料がタヌキとカラスに盗食され、ラップサイレージがカラスに破られ、イノシシに牧草を掘り起こされ、カラスにより飼料が糞尿で汚染されていました(図1-2-28)。一方、後者の被害はタヌキ、クマ類、キツネ、カラスで多く、施設に侵入・施設の破壊がクマ類やタヌキで報告され、タヌキやキツネによる病気感染が危惧されており、牧柵がクマ類やカモシカにより破壊され、クマ類、キツネ、カラスにより子牛が殺されています。



イノシシによる牧草の掘り起こし被害



タヌキによる配合飼料の盗食



ツキノワグマによる飼料タンクの破壊



皮膚病が疑われるタヌキによる病気感染の危惧

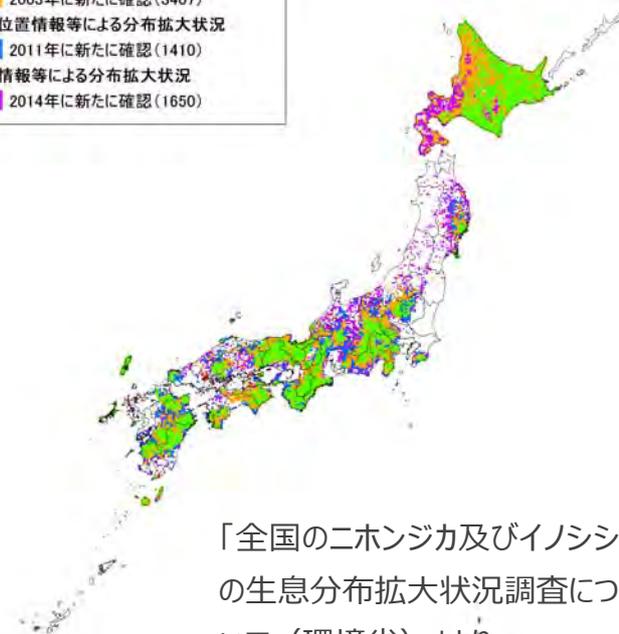
図 1-2-28 シカ以外の動物による被害例.

(2) ニホンジカの増加によるリスク

前項までで、飼料作物や牧場に対してシカによる被害が著しいことを見てきましたが、こうしたシカによる被害が顕在化してきた背景には、シカの分布域や個体数が拡大・増加傾向にあることが関連していると考えられます。

1) シカの分布域拡大・個体数の増加

環境省が定期的に実施してきた野生動物の分布調査によれば、最も古い1978年の調査と最新（平成26年度）の分布データを比較したところ、36年間でシカの分布域が2.5倍に拡大しています（環境省自然環境局2015）。特に北海道の道南地域、東北地方、北陸地方での分布拡大が著しい傾向にあります（図1-2-29）。さらに、階層ベイズモデルによる捕獲数などの既存データに基づく個体数推定では、2012年時点の中央値が北海



「全国のニホンジカ及びイノシシの生息分布拡大状況調査について（環境省）」より

図 1-2-29 ニホンジカの分布域.

道を除いて約249万頭（90%信用区間：約65-126万頭）であり、1989年から一貫して増加傾向にあることが示されています（環境省自然環境局）。現状の捕獲率を維持した場合でも、中央値で約402万頭、2012年の個体数の1.6倍に増加すると予測されています。すなわち、現状以上の強い捕獲圧をシカに加えないと、シカの個体数増加を抑制することが難しい現状が示されています。

2) シカによる牧草やロールベールの食害リスク

シカの分布域拡大・個体数増加が予測されている現状では、シカによる牧草被害のリスクも増大することが予想されます。群馬県の山間部に位置する神津牧場では、牧場全体の牧草生産の20~30%程度がシカに食害されており、その推定被害額は年間1千万円以上にのぼります（表1-2-8）。また、群馬県の赤城山に位置する白樺牧場でも2011年に48%、2012年に56%の牧草がシカによる食害を受けていました（群馬県2014）。牧草の生草だけでなく、備蓄飼料である牧草ロールベールもシカによる食害を受けます。被害は積雪のある冬期に集中し、食害の多い月には2割以上のロールベールがシカによる食害を受けます（塚田2014）。

表 1-2-8 群馬県神津牧場におけるシカによる牧草被害割合と被害額。

シカによる被害	2007	2008	2009	2010
牧草生産全体に占める食害割合(%)	21(±3)	21(±3)	28(±3)	24(±1)
シカの牧草被害額(万円)	1,331	1,146	1,676	1,759

塚田 (2014)

3) シカ由来の伝染病発生リスク

シカに起因する牧場への影響は、牧草食害などの経済的被害だけでなく、家畜疾病の発症や人獣共通感染症などの病気発生リスクを高めることにも及びます。放牧牛で発生する原虫病・ピロプラズマ病のベクターとしてフタトゲチマダニが知られていますが、この病気を媒介するステージ（幼ダニおよび若ダニ）のダニの発生密度がシカの生息密度が高い地域で高くなる傾向にあるため（Tsukada et al. 2014）、牧場へのシカ侵入が、放牧牛でのピロプラズマ病発症リスクを高める要因になりえます(図 1-2-30)。

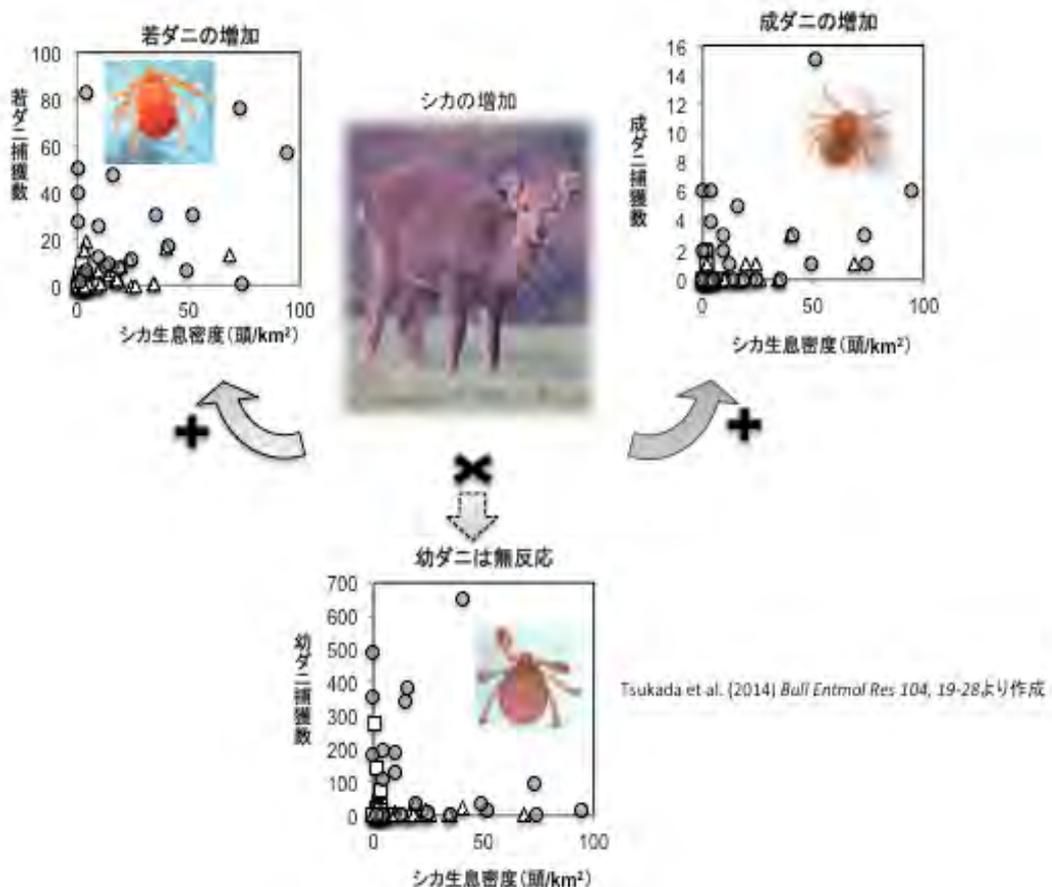


図 1-2-30 シカの増加によりピロプラズマ病媒介ダニも増加する。

(3) 牧草被害率の推定と被害対策

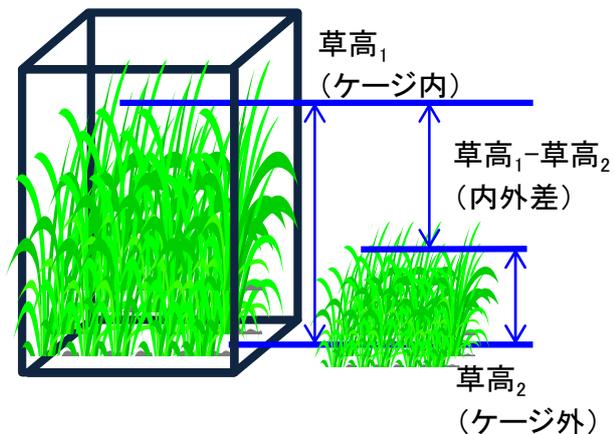
1) 被害率の推定

前項まででシカによる牧場への被害が深刻化している現状を紹介しました。しかし、こうした現状にもかかわらず、牧場におけるシカ対策はお世辞にも進んでいるようには見えません。この背景には、シカの出没が確認されても、実際にこれらのシカがどれくらい牧草を食べて被害を出しているのかが見えないため、事態の深刻さが十分に理解されていないことが影響していると想像されます。さらに、被害が確認できたとしても、比較的低コストで生産している牧草を守るため、換金性の高い農作物のように、被害防除にそれほど多くのコストをかけられないことも影響しているものと思われます。本マニュアルでは、こうした現状に対応するため、シカによる牧草被害を比較的簡便に定量的に評価し、シカの被害を可視化できる方法を紹介します。シカの被害割合が評価できれば、それをもとに被害額を推定し、対策にかけられる費用の見通しも立つものと思われます。その結果、被害に遭遇する牧場での対策の進展が期待できます。

a) シカによる牧草被害とは： まずはじめにシカによる牧草被害が何を指しているかを明らかにしておきます。ここでは、本来得られるであろう牧草の収穫量（もしくは面積や品質）などと比べ、実際の収穫量（もしくは面積や品質）がシカの影響により低下してしまい、その場合の両者の差をシカによる牧草被害と呼んでいます。すなわち、シカによる牧草被害を測定するには、基準値と実測値の2つの測定値が必要となります。

b) 被害率の推定： 実際の被害率は以下のようにして推定します（図 1-2-31）。まずはじめに、牧草収穫量の基準値を測定するため、プロテクトケージ（以下、ケージと表記）を草地に設置します。一定期間後、実測値としてケージの外側の草の高さ（草高₂）を測定し、さらに、基準値としてケージの内側の草の高さ（草高₁）も測定します。そして、両者の差（草高₁ - 草高₂）を被害量とみなし、基準値に対する被害量の割合から被害率を推定します。

草地に設置するケージは、目合い 10cm 程度で 1m×2m の大きさの金網をくの字状に直角に折り曲げ、この金網を2枚向かい合わせて四角く組み合わせたものです。金網の固定にはロックタイや針金などを利用します。このプロテクトケージを被害率を測定



$$\text{被害率} = (\text{草高}_1 - \text{草高}_2) / \text{草高}_1$$

図 1-2-31 牧草被害率の算出方法。

したい草地に 10 個程度設置します。ケージを固定するペグを含めた費用は 1 個 8 0 0 円程度です。牧草の生育期間やシカによる牧草への影響（食害）が十分に確保できるよう、ケージを設置してから 2 週間程度以上経って牧草被害率を測定します。

ケージ内外の草高は、それぞれ 5 点ほど測定した平均値を用います（図 1-2-32）。ケージの内側の場合、正方形を 4 分割した場合の中心付近の 4 点と正方形の中心付近の 1 点の草高を測定して平均値を計算します。ケージの外側では、ケージから 1 ～ 2 m の範囲で内側とよく似た植生の場所を 5 か所選び、それぞれで 1 点ずつ草高を測定して平均値を計算します。



図 1-2-32 牧草の測定場所。
ケージ内外の草高を各 5 点測定

2) 電気柵導入決定支援シート利用した防除方針の決定

a) 防護柵導入決定支援シートを用いた被害率の算出： 前項までで紹介した牧草被害率は、「防護柵導入決定支援シート」を使用すれば簡単に計算できます（図 1-2-33）。まず、「入力シート」を開いて、ネズミ色のセルにケージ内で測定した 5 点の草高を入力し、さらに白色のセルにケージ外で測定した 5 点の草高を入力します。この作業を、設置したケージの数（通常は 10）だけ繰り返すと、シートの下の部分に被害率が表示され、20%未滿だと“信頼性にかける”と表示されます。

ケージ1		ケージ2		ケージ3		ケージ4		ケージ5						
内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側					
1	23.2	7.5	1	11	8.9	1	10.4	13.8	1	24.6	7.7	1	17.6	10.9
2	12.2	8.6	2	8.1	7.2	2	19	5.6	2	24.5	11	2	15.5	12
3	15.4	5.5	3	10.2	5.5	3	21.1	10	3	12.6	9.6	3	16.6	7.8
4	21	7.3	4	12.6	4.6	4	17.5	11.6	4	19.1	9.2	4	19.2	6.9
5	17.4	9.6	5	10	7	5	19.2	11	5	18.2	11.2	5	11.5	8.5

ケージ6		ケージ7		ケージ8		ケージ9		ケージ10						
内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側					
1	20.1	12	1	19.5	9.4	1	19.3	11.6	1	29.5	13	1	16.9	11
2	21.8	11.8	2	21.1	10.9	2	12.5	11	2	21	10.5	2	19.5	10.5
3	26	16.9	3	13.9	10.3	3	16.6	10.5	3	22.5	15.1	3	21.2	10.4
4	26.3	12.2	4	21	12	4	21.9	13.2	4	27.4	11.5	4	25.3	11
5	23.9	12.3	5	19.6	11.9	5	18.4	14.9	5	28.7	14.5	5	29	14.9

被害率

45%

図 1-2-33 「防護柵導入決定支援シート」を用いた牧草被害率の算出。

b) 防護柵導入決定支援シートによる被害額の推定・防護柵導入判断の支援： 被害率が算出できたら、「支援シート」を開き、評価したい草地のデータを入力項目に入力していきます（図 1-2-34）。まずはじめに、「その他の情報（入力目安表示用）」の「地域」、「地帯」について、プルダウンメニューから該当する項目を右に表示される地図を参考に選び、使用したい「防護柵のタイプを同じくプルダウンメニューから選択します。すると、入力項目の値が不明の場合でも、“入力目安”の値が表示されるので、この値を参考にして「入力項目」へ入力することができます。すべての項目が入力されると、シート下部の「診断結果」の右側に、「推定被害額（円／年）」、「防護柵導入費（円）」、「初期費用回収可能年数」とともに「判定」結果が表示されます。この判定結果を元に、ユーザーがどの防護柵を導入するかどうかを判断することができます。

牧草被害率に基づく防護柵導入決定支援シート

入力項目	入力目安	その他の情報（入力目安表示用）	
① 草地面積 (ha)	5.6	地域	関東・中部
② 草地の総外周 (m)	1,978	地帯	高標高寒冷地帯
③ 牧草生産量 (t/ha/年)	6 ※乾物	防護柵タイプ	縦糸金網柵
④ 牧草被害率 (%)	45	地帯の選択には右の区分図をご確認ください	
⑤ 牧草購入単価 (円/kg)	40 ※乾物	地域	関東・中部_地域
⑥ 防護柵単価 (円/m)	600	表示を希望する地域を選んでください	
⑦ 防護柵耐用年	3		

空欄に数値を入力してください
②、③、④が不明の場合は「入力目安」の値を入力してください
⑤は最高を「計算シート」に入力して算出できます
電気柵以外の柵材を利用する場合は、当該柵材の単価と耐用年を⑥と⑦に入力すれば対応可能です

診断結果

推定被害額 (円/年)	604,800
電気柵導入費 (円)	1,186,800
初期経費回収可能年数	2.0 年
判定	導入すべき

B/C (推定被害額×電気柵耐用年) / 電気柵導入費

1.5

図 1-2-34 防護柵導入決定支援シートを用いた被害額の推定と導入判断。

3) 防護柵の設置例

a) 防護柵の種類： シカによる牧草地への侵入を防ぐ代表的な方法は防護柵の設置です。防護柵は、シカの侵入を物理的に阻止する物理柵と嫌悪刺激などを通じてシカの侵入意欲を減少させる心理柵とに大別されます。前者の代表的なものは金網柵であり、目合が 10~15cm 程度のシカがくぐり抜けられない金網が用いられる場合が多く、隙間なく設置されていれば、シカの侵入を完全に防ぐことが可能です。後者の代表的なものは電気柵であり、これは、電線に高圧の電流をパルス状に流し、電線に接触したシカに致死量に至らない電気を流すことで忌避刺激とし、シカが柵へ接近・接触する行動を抑制します。

b) 金網柵の設置例： 安価に設置可能な金網柵の設置例を紹介します（図 1-2-35）。既存の牧柵を利用して、そこに 5mm 径で目合い 150mm の 1m×2m の金網を縦置きし、1.2mm 厚で 22mm 径の直管（SW）パイプを 5.5m ずつ金網の横方向のガイドとして固定していく金網柵です。金網とパイプは、それぞれ 16 番（約 1.6mm）の針金と 10 番（約 3.2mm 径）の生し線で固定します。この金網柵の材料単価は 600 円/m 程度です。



図 1-2-35 金網柵の設置例。

c) 電気柵の設置例： 電気柵には幾つかのタイプがあります。比較的安価に設置できるポリワイヤ電線を使用した簡易電気柵と網状の電線やワイヤ電線を使用した恒久電気柵に大別できます。

簡易電気柵は、ポリワイヤ電線と木製のコーナーポスト、グラスファイバー製の中間支柱、および電圧器からなり、ポリワイヤ電線を 30cm 間隔程度で地面と平行に 5 段程度張り巡らせて設置します（図 1-2-36）。材料単価は 700 円/m 程度です。



図 1-2-36 5 段張りポリワイヤ簡易電気柵の設置例。

恒久電気柵の一つである網型電気柵は、ポリワイヤ電線を編み込んだ目合い 10～15cm のネットを樹脂で皮膜した単管パイプを支柱にして固定し、電圧器と接続したタイプのもので（図 1-2-37）。ネット状のため、シカがくぐりぬけられず、物理柵としての性質も兼ねるため、簡易電気柵と比べて防除効果は勝るものの材料単価は 3,300 円/m 程度と高めです。



図 1-2-37 網型電気柵の設置例。

別タイプの恒久柵にはフェンシングワイヤと呼ばれるワイヤ電線を太めの木製支柱で地面と平行に5～6段程度設置し、緊張具をもちいてワイヤ電線を弛みなく張り巡らせて電圧器に接続するタイプのももあります（図 1-2-38）。このタイプの恒久電気柵は、簡易電気柵と比べて防除効果は高く、耐久性は15年程度と、簡易電気柵の5年程度と比べて比較的長いものの、材料単価は2,200円/m程度と高めです。



図 1-2-38 6段張りフェンシングワイヤ電気柵。

草地に電気柵を設置する場合、伸長した牧草が電線に触れる漏電が大きな問題となるため、電線下部の除草が欠かせません。この労力を軽減するには、幅1m程度の防草シートを設置すると良いでしょう。安価なもので資材の単価は120円/m程度で、耐用年数は4年程度です（図 1-2-39）。



図 1-2-39 恒久電気柵の下部に防草シートを設置して除草作業の軽減化。

1-2-5 文献

■ 施肥管理

- ・北川美弥・井出保行（2015）傾斜放牧地のゾーニングによる合理的草地管理の可能性. 日草誌 60、250-253
- ・北川美弥・山田大吾・保倉勝己（2015）異なる傾斜区分にゾーニングされた放牧草地における牧草の施肥反応. 61（別）、44
- ・農林水産省生産局（2007）草地管理指標－草地の土壌管理及び施肥編一. 日本草地畜産種子協会. 1-187
- ・農林水産省（2010）都道府県施肥基準等.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/

■ 植生（雑草）管理・草地更新

- ・日本草地協会（1996）草地診断の手引き. p1-130.
- ・日本草地畜産種子協会（2011）公共牧場機能強化マニュアル. p157-163.
- ・日本草地学会（2004）草地科学実験・調査法. p188
- ・清水矩宏・森田弘彦・廣田伸七（2001）日本帰化植物写真図鑑. 全国農村教育協会 p333、338-339
- ・北川美弥（2014）草地雑草ファイル. File No.2 チカラシバ. デーリーマン 2 月号. p58.
- ・東山雅一（2014）草地雑草ファイル. File No.10 アザミ類. デーリーマン 6 月号. p66.
- ・福田栄紀（2014）草地雑草ファイル. File No.12 フキ. デーリーマン 7 月号. p68.
- ・堤道夫（2014）草地雑草ファイル. File No.16 ワラビ. デーリーマン 9 月号. p62.
- ・坂上清一（2014）草地雑草ファイル. File No.17 イタドリ. デーリーマン 10 月号. p60.
- ・池田堅太郎（2014）草地雑草ファイル. File No.19 エゾノギシギシ. デーリーマン 11 月号. p58.
- ・西田智子（2014）草地雑草ファイル. File No.21 ワルナスビ. デーリーマン 12 月号. p60.
- ・日本草地協会（1993）草地雑草防除の手引き. p1-56.
- ・日本草地協会（1996）草地診断の手引き.1-131.
- ・中央畜産会(2010)日本標準飼料成分表(2009年版).1-287.
- ・中央畜産会(2007)日本飼養標準・乳牛(2006年版).1-205.

- ・中央畜産会(2009)日本飼養標準・肉用牛(2008年版).1-234.
- ・平野清・塚田英晴・須山哲男・庄山由美・清水矩宏・進藤和政・井出保行(2015) シカによる牧草被害が多い牧場では草地更新時に獣害対策が必要.日本草地学会誌 61(別).43.
- ・日本草地畜産種子協会(2011)公共牧場機能強化マニュアル.1-202.
- ・長田武政 (1993) 増補 日本イネ科植物図譜 株式会社平凡社

■ 獣害対策

- ・群馬県自然保護課 (2014) 平成 24 年度地域生物多様性保全実証事業報告書
 - 群馬県ニホンジカ個体数調整 - (2015/8/25 参照) .
<http://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs6/docs6-5.pdf>
- ・環境省自然環境局 (2015) 全国のニホンジカ及びイノシシの生息分布拡大状況調査について.
<http://www.env.go.jp/press/100922-print.html> (2015/8/25 参照)
- ・塚田英晴 (2014) シカによる草地および牧草ロールベール食害の実態と電気柵を用いた対策. 畜産技術 707: 7-12
- ・Tsukada H, Nakamura Y, Kamio T, Inokuma H, Hanafusa Y, Matsuda N, Maruyama T, Ohba T and Nagata K (2014). Higher sika deer density is associated with higher local abundance of *Haemaphysalis longicornis* nymphs and adults but not larvae in central Japan . *Bulletin of Entomological Research*, 104: 19-28
- ・山根逸郎・中村義男・塚田英晴 (2009) 牛放牧場の全国実態調査 (2008 年) 報告書. 農研機構動物衛生研究所. 1-56

1-3 傾斜地無線トラクタの活用

1-3-1 はじめに

一般的なトラクタで安全に作業できるのは傾斜度 15 度程度までで、それ以上の急傾斜地では通常のトラクタでの作業は困難となります。しかし、15 度以上の傾斜地は、施肥効率が高く、牛の利用率も高いことから、こうした場所を適切に管理することは牧養力を効率的に高める上で有効な手段となります。本稿で紹介する傾斜地用無線トラクタは 15 度以上の急傾斜地でも安定的に動作し、無線で操縦するため安全に作業が行えます。本機は河川敷や堤防等の法面（のりめん）管理に活用されており、放牧地等への普及はこれからです。

1-3-2 機能

傾斜地用無線トラクタ（筑水キャニコム社 CG670、図 1-3-1、表 1-3-1）は、走行部がクローラ方式で、また非乗用型で車高 1.3m と重心が低いことから、急傾斜草地の走行および作業が可能です。傾斜地用無線トラクタと操縦者が 100m 程度離れていても無線操作でき、無線操縦の資格が必要なく、誰でも容易に操作ができます（図 1-3-2）。

傾斜地用無線トラクタの作業機の動力は、トラクタで一般的な機械駆動方式ではなく、油圧により供給する仕様となっています。そのため作業機として油圧駆動方式のフレールモータ、集草機、施肥機やロータリ（伊吹 2012）、鎮圧ローラが市販化され、刈り払い・肥料や土改剤の施肥・耕起・播種・鎮圧作業等の一連の草地管理作業を実施できます（図 1-3-3）。



図 1-3-1 傾斜地用無線トラクタ。

表 1-3-1 傾斜地用無線トラクタの諸元.

全長×全幅×全高 mm	4350×2060×1280
機体質量 kg	2400 (本体のみ)
最大安定傾斜度(左右)	40°
最低地上高 mm	200
走行速度 km/hr	0~6.5
作業機	フレルモア 集草機 施肥機 ロータリ 鎮圧ローラ 除草剤散布機(試作機)



図 1-3-2 インstrumentパネル(左) と 無線コントローラ(右).



図 1-3-3 油圧パイプ(左) と 作業機の装着例(フレルモア ; 右).

(1) 施肥作業

本機による施肥作業は専用の施肥機（図 1-3-4,5、表 1-3-2）を取り付けることで行います。傾斜度 20 度程度の草地でも、水平・上下方向にいずれも作業ができ、化成肥料や苦土石灰の補給時間も含む作業能率は、散布幅 10m で 1 時間当たり 4ha 程度です。



図 1-3-4
傾斜地用無線トラクタ+
専用施肥機.

表 1-3-2 専用施肥機の諸元.

タカキタ コンポキャスト 3530D	
質量	130kg
散布幅	粒状肥料 6~12m
ホッパ容量	350ℓ
定格回転数	540rpm*
販売元	筑水キャニコム

*：無線トラクタ油圧 低速回転モードPTO開度50%程度



図 1-3-5
施肥の様子.

(2) 刈り払い作業

本機による刈り払い作業は専用のフレールモア（図 2-3)-6,7、表 2-3)-3）を装着して行います。フレールモアは通常の掃除刈りに加え、直径 5cm 程度の灌木まで刈り払うことができるので、ノイバラ、シモツケ等の強害雑灌木の除去にも威力を発揮します。傾斜度 20 度程度の放牧草地で 1 時間当たり 0.3ha 程度を刈り払うことができます。



図 1-3-6
傾斜地用無線トラクタ+
専用刈り払い機。

表 1-3-3 専用刈り払い機の諸元。

筑水キャニコム フレールモア F10758A	
質量	440kg
作業幅	1,885mm,
フレール爪数	112本
爪回転数	2,600rpm*
販売元	筑水キャニコム

*：無線トラクタ油圧 高速回転モードPTO開度最大



図 1-3-7
灌木刈り払いの様子。

(3) 耕うん作業

本機による耕うん作業は専用のロータリ（図 1-3-8,9、表 1-3-4）を装着して行います。耕うん幅は160cmで、耕うん深は標準8cm、最大10cmまでです。作業速度は1～2km程度で、1回掛けでは1時間当たり13a程度を耕うんできます。



図 1-3-8
傾斜地用無線トラクタ+
専用ロータリ.

表 1-3-4 専用ロータリの諸元.

松山農機 ロータリ CGR1610M	
質量	430kg
作業幅	1,600mm
爪本数	42本
耕うん深さ	標準8cm、最大10cm
耕うん軸回転数	233rpm*
作業速度	1.5～2.0km/h
販売元	筑水キャニコム

*：無線トラクタ油圧 高速回転モードPTO開度最大



図 1-3-9
耕うん作業の様子.

(4) 鎮圧作業

本機による鎮圧作業は専用の鎮圧ローラ（図 1-3-10,11、表 1-3-5）を装着して行います。鎮圧幅は 113cm で、1 時間当たりの作業速度は 3～5km 程度です。



図 1-3-10
傾斜地用無線トラクタ+
専用鎮圧ローラ.

表 1-3-5 専用鎮圧ローラの諸元.

タカキタ チンアツローラ PR1125	
質量	430kg
作業幅	1,125mm
作業速度	3～5km/h
販売元	筑水キャニコム



図 1-3-11
鎮圧作業の様子.

1-3-3 急傾斜地の完全更新（除草剤散布、耕うん、播種、鎮圧）

本機を用いた急傾斜地の完全更新は、アタッチメントとして①施肥機を改造した除草剤スプレーヤ（伊吹 2015）、②専用フレールモア（図 1-3-6）、③専用施肥機（図 1-3-4）、④専用ロータリ（図 1-3-8）⑤鎮圧ローラ（図 1-3-10）を組み合わせで行います。



② スプレーヤによる除草剤散布



② フレールモアによる刈り払い



③ ブロードキャストによる化成肥料土改材の散布、播種



④ ロータリによる耕起



⑤ 鎮圧ローラによる鎮圧

図 1-3-12 傾斜地用無線トラクタと作業機による草地更新の手順.

傾斜度 20 度程度で石礫の少ない草地では、①除草剤散布は 1 時間あたり 20a 程度で、②1 ヶ月経過後に枯れた草地の刈り払い作業は 1 時間あたり 1ha 程度、④ロータリ耕うんは耕うん幅 1600mm・耕深 10～15cm 程度で 1 回掛けでは 1 時間あたり 13a 程度、⑤鎮圧作業は 1 時間あたり 30a 程度の能率で作業が可能です。

栃木県那須郡那須町の傾斜草地において、7 月 22 日に①除草剤散布を行い、8 月 19 日に②刈り払い、③施肥、④耕起、③播種、⑤鎮圧を行った例では、播種した牧草が 10 月 8 日の時点で被覆面積の 86%以上を占め、土壌浸食もなく、十分な更新効果が得られています（図 1-3-12,13）。その際の播種量（/ha）は、オーチャードグラス：15kg、ペレニアルライグラス：10kg、ケンタッキーブルーグラス：5kg、メドウフェスク：5kg、チモシー：5kg です。



草地更新後



写真の枠は 50cm×100cm

図 1-3-13 播種（8 月 19 日）から 50 日目の状況。
播種牧草が平均被覆面積で 86%以上を占める。

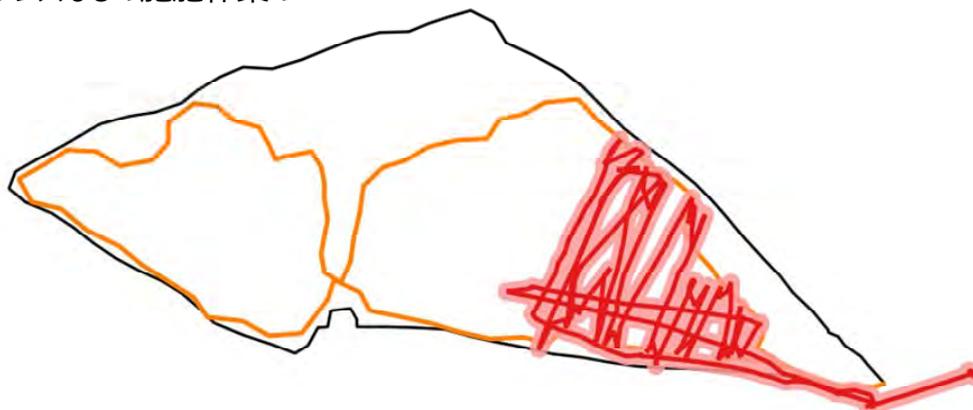
1-3-4 傾斜地無線トラクタと圃場作業用 GPS ガイダンスとの併用

放牧地は地形によった見通しの悪い場所があり、目視による作業では、例えば施肥の重複や未作業地が生じやすくなります。特に傾斜地無線トラクタは、作業機とオペレータが離れているためその傾向が強くなります。作業の精度を上げるためには圃場作業用 GPS ガイダンスとの併用が有効です（図 1-3-14）。現状では、無線トラクタに装着した GPS 情報を、オペレータの GPS ガイダンス表示部へ通信する装置(Bluetooth 通信)を別途無線トラクタに装着する必要がありますが、GPS ガイダンスを併用することで、無線トラクタの施肥作業時の施肥の重複や未作業地を低減させ、施肥精度が向上可能なことを実証中です。八ヶ岳牧場の急傾斜放牧草地において、GPS ガイダンスなしと利用した場合とのトラクタ作業軌跡（携帯型 GPS ロガーにより記録）を比較したところ、GPS ガイダンスにより施肥の重複と未作業地が低減されている傾向が確認できました（図 1-3-15）。



図 1-3-14 傾斜地無線トラクタと傾斜地無線トラクタと GPS ガイダンスの接続.

GPS ガイダンスなしの施肥作業の



GPS ガイダンスありの施肥作業の



図 1-3-15 GPS ガイダンスの有無による作業軌跡の比較.
携帯型 GPS にて記録。黒線は圃場外周、オレンジは施肥作業可能だったエリア.

1-3-5 文献

- ・伊吹俊彦（2012）農研機構成果情報：無線傾斜地用トラクタに装着する傾斜牧草地除染のためのロータリ
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/510b0_03_75.html
- ・伊吹俊彦（2015）傾斜地用スプレーヤーブロードキャストの改造利用－. 農業食料工学会誌、77(2)、92-94.

2. 繁殖管理

2-1 発情発見作業を省力化する繁殖プログラムの利用

2-1-1 はじめに

放牧を取り入れた育成牧場における繁殖管理は、基本的に発情観察、集畜作業および人工授精（受精卵移植）があります。特に目視による発情発見は、朝夕 2 回の発情観察、1 集団、1 観察当り最低 30 分を必要とし、たとえ 1 頭のみ発情であっても人工授精用の施設に集畜しなければならず（図 2-1-1）、自然発情の発見による人工授精は多大な労力を要します。省力化のために、育成牧場によっては肉用牛に対して自然交配用の種雄牛を混牧することにより達成しているところもあります。また、初産分娩の軽減と肉用交雑種生産による経営改善を目的に乳用牛に対しても肉用牛を自然交配している牧場も見受けられます。ただし、自然交配する種雄牛は、一般的に人工授精用の凍結精液を生産するような育種学に基づいて選抜された検定済種雄牛ではない場合が多く、その産子の遺伝的能力が未知で市場性は低いことがあります。

後継牛の安定的な生産や産子の市場性を積極的に高める方法として、乳用牛では雌雄産み分け技術が普及してきており、性選別された凍結精液や体内または体外受精卵の移植により特定品種でおおよそ希望した性の産子を得ることができます。また、近年では、複数のホルモン製剤を組み合わせることで牛の発情周期、排卵を制御して定時人工授精できる方法が考案され、これにより牛群の発情、排卵をコントロールして同時期に多数の牛の繁殖が出来るようになってきました。これらの技術を導入することにより、育成牧場の繁殖作業の省力化と市場価値の高い子牛の生産の両立が可能になっています。

本セクションでは、多大な時間と労力のかかる放牧牛の繁殖管理において、牛への排卵同期化処理と早期妊娠診断を組み合わせた繁殖を集中管理する方法（後藤ら 2013）を説明します。



図 2-1-1
集畜の様子（たとえ 1 頭
のみの発情であっても人工
授精用の施設まで集畜し
なければならない）

2-1-2 繁殖プログラム

(1) 排卵同期化のプロトコル

1) 繁殖プログラムに適用できる牛

本プログラムの対象となる乳用種育成牛および肉用種育成牛は、交配開始時において適正な体格(フレーム)に概ね達していることを目視もしくは体測により確認します。さらに、非妊娠牛(空胎牛)であること、もしくは妊娠している可能性が無い牛であること、子宮、卵巣に異常が無く、性成熟に達している牛であることも合わせて確認します(表 2-1-1)。

表 2-1-1 育成牛の交配を開始する発育の概ねの目安。

品種	育成期における交配開始時の目安	
	月齢	体高 (cm)
乳用牛 ホルスタイン種	12	125
肉用牛 黒毛和種	14	120

※交配する種雄牛によっては産子のサイズが大きくなるので育成牛の体格と交配精液の選定に注意する。

※特に黒毛和種は系統による体格(発育)のばらつきが大きい。

- ・非妊娠牛(空胎牛)であること、もしくは妊娠の可能性が無い牛であること。

本プログラム(図 2-1-2)を妊娠牛に適用するとホルモンの作用により、流産を起こす可能性が極めて高いので、候補牛の選出にあたり、必ず妊娠診断を行います。妊娠日齢 30 日未満の妊娠鑑定は高度の超音波(エコー)画像診断技術や熟達した直腸検査技術を必要とするため診断に注意を要します。

- ・子宮、卵巣に異常が無く、性成熟に達している牛であること。

本プログラムを適用する直前に、直腸検査や超音波画像診断を行なって当該牛が正常な繁殖機能を有していることを確認します。この時に、妊娠診断も必ず実施します。

2) 通常精液を用いた繁殖プログラム

本プログラムは集畜回数を最少にした繁殖管理作業の省力化と高受胎率の両方を得る方法であり、とくに受胎率に関しては性選別されていない凍結精液(以下、通常精液という)を使用することが前提になります(注:性選別精液使用の場合は、期待した受胎率が得られない可能性がある)。手順は以下の通りです。

手順 1 : 定時人工授精（以下、TAIという。）の 10 日前の処置

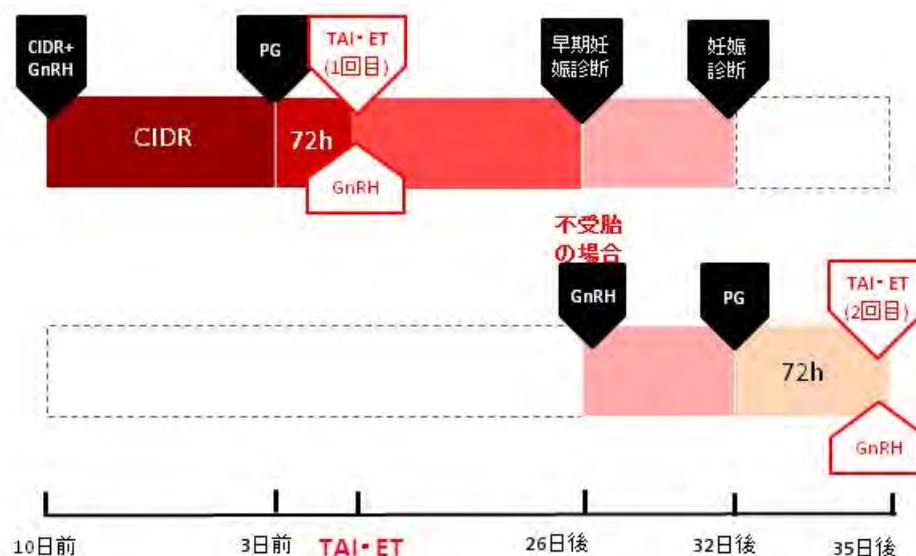
腔内留置型プロゲステロン（以下、CIDR という。）を腔内に挿入する。その際に性腺刺激ホルモン放出ホルモン（酢酸フェルベリン、以下、GnRH という）を薬品説明書の処方量に基づいて投与します。

手順 2 : CIDR の挿入日を 0 日として、数えて 7 日後（TAI の 3 日前）に CIDR を除去すると共にプロスタグランジン F_{2α}（加プロステノール、以下、PG という）を薬品説明書の処方量に基づいて投与します（TAI を午前中に行なう場合には、3 日前の午前中に作業をおこなう。）

手順 3 : TAI の 1 回目は PG 投与後の 72 時間に行ないます。精液の注入は子宮体部で良いです（発情卵胞が確認できる場合には、卵胞の存在する卵巣の左右の側と同側の子宮角に精液を注入しても良い）。

手順 4 : 1 回目の TAI を 0 日として 26 日後に超音波診断装置を用いて早期妊娠診断を行い、不受胎と診断した牛および判定保留とした牛に 2 回目の TAI の前処理として、その場で GnRH を規定量投与します。

手順 5 : 再妊娠診断を 1 回目の TAI の 32 日後に、1 回目の妊娠診断の結果に関わらず全頭で行います。本再診断において不受胎と判定した牛に PG を規定量投与して、その 72 時間後に 2 回目の TAI の実施と規定量の GnRH を投与します。



(CIDR:腔内留置型プロゲステロン、GnRH:性腺刺激ホルモン放出ホルモン、PG:プロスタグランジン F_{2α})

図 2-1-2 2 回の定時人工授精を行なう繁殖プログラム。

・繁殖プログラムの繰返しと妊娠診断：

※TAIの26日後に集畜して2回目のTAIに向けた処理を繰り返すことにより、45日間に2回のAIの機会を得ることにより、実受胎率100%を目指すことができます。

※1回目のTAIから61日後に妊娠の確定診断を行います。この妊娠時期になれば、胎子の頭仙長は6～8cm（マウス大）になり、胎盤の付着が認められ、妊娠は安定期に入ります。

3) 性選別精液を用いた繁殖プログラム

一般に性選別精液はストロー内の精子数が通常精液よりも少ないため、より精度の高い排卵同期化が求められます。この処理のため、前述の通常精液を用いたプログラムよりも1回多く集畜する必要があります。TAI時に投与するGnRHをPG投与後48時間後（またはTAI時より17時間～20時間前）に該当する時間帯に投与します。

4) 受精卵移植への応用

本繁殖プログラムは、受精卵移植を行う受卵牛の前準備としても応用できます。ただし、移植前に受卵牛の黄体検査を行い、移植の可否を判断する必要があります。受卵牛の移植日（発情または排卵予測日からの日数）および凍結胚の融解については受精卵の供給元が指示、推奨する方法に基づいて行います。

(2) 超音波画像診断装置を用いた妊娠診断

携帯型超音波画像診断装置（ポータブル型エコー診断機）の普及により、放牧地等の野外においても早期の妊娠診断が比較的容易に行えるようになりました（図2-1-3）。



図 2-1-3 超音波画像診断装置による妊娠鑑定を行う様子。

1) TAI の 26 日後の妊娠鑑定 (図 2-1-4,5)

妊娠している場合でも、この時期の小さな胎子 (5-6mm 程度) や胎膜等の胚由来の構築物の像をエコー診断機でとらえることは難しく、妊娠の可能性は胎水が充ちた妊娠腔をエコーフリー (黒く見える) の状態で観察し、推察することができます。併せて、黄体の存在も確認します。ただし、妊娠腔の存在が確認できない場合でも、プローブ操作の手技上もしくはエコー画像の見誤りなどの理由で実際には存在する妊娠腔を見落としている場合があるので、本プログラムにおいては 32 日目に 2 回目の妊娠診断を行いません。この日齢の胎子は 10mm 以上の大きさとなり、比較的容易に妊否の確認が行えます。TAI の 26 日目時点で妊娠腔および黄体が確認できなかった牛は同日の GnRH の投与により、この際に存在する卵胞を排卵させて黄体形成を図り、6 日後(TAI の 32 日後)の PG 投与により、2 回目の TAI(+GnRH 投与)を行うことが可能となります。

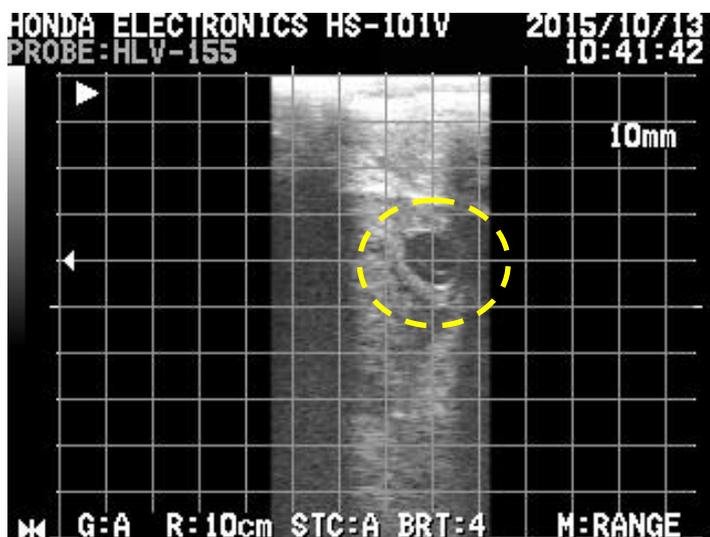


図 2-1-4
妊娠鑑定 TAI 後 26 日の妊娠腔 (点線で囲んだ部分が妊娠腔、内部に胎膜も確認できる) .

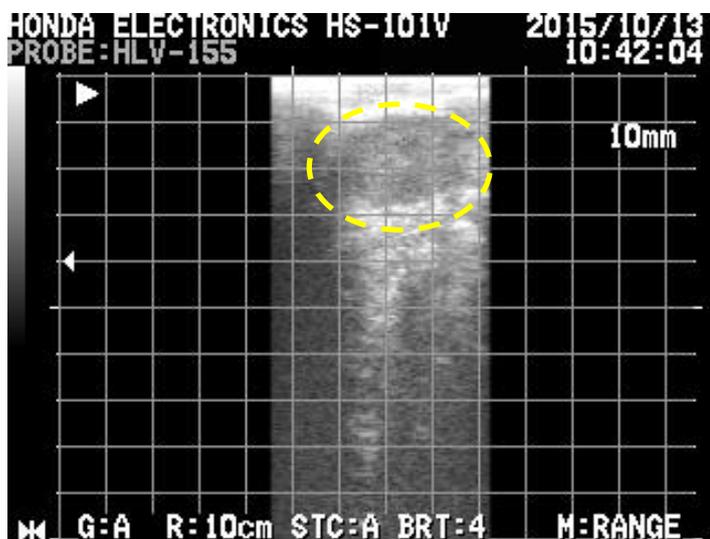


図 2-1-5
妊娠鑑定 TAI 後 26 日の黄体 (点線で囲んだ部分が黄体) .

2) TAI の 32 日後の妊娠鑑定 (図 2-1-6,7)

この時期においては、胎子は 1cm 以上のサイズで妊娠腔内に観察され、心臓の拍動も認められます。胎子が極端に小さい場合、あるいは心臓の拍動が遅い場合や胎水が濁っている場合は、胎子が死滅する過程の可能性がります。

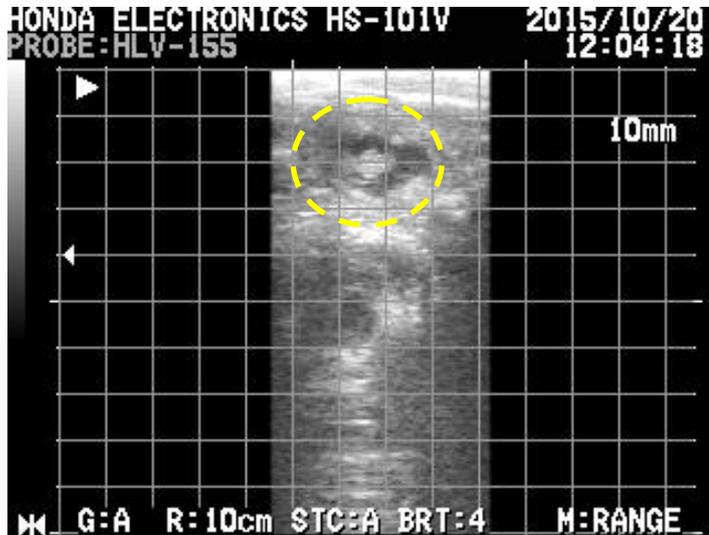


図 2-1-6
妊娠鑑定 TAI 後 32 日の
妊娠腔と胎子（点線で囲
んだ部分に妊娠腔、その中
に胎子が存在）。



図 2-1-7
妊娠鑑定 TAI 後 32 日の
黄体（点線で囲んだ部分
が黄体）。

3) TAI の 60 日後の妊娠診断 (図 2-1-8,9)

60 日以降の妊娠時期になれば、エコー画像上に妊娠腔の中にマウス大 (6~8cm) の胎子が観察されます。

また、胎盤の付着と充実した黄体 (妊娠黄体) も観察されます。妊娠の安定期に入るので確定診断とします。この時期以降も、疾病、事故による流産の可能性があるため、流産による空胎を早期に摘発するためには、月に 1 度の衛生検査や繁殖検診を実施することが望まれます。

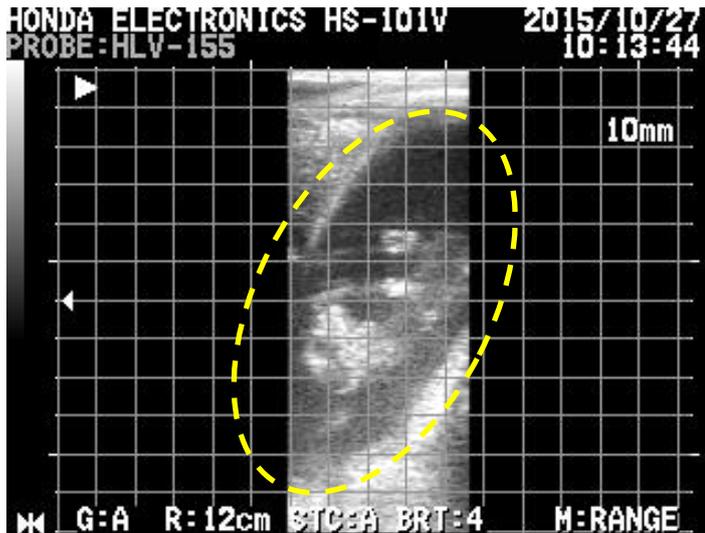


図 2-1-8
妊娠鑑定 TAI 後 60 日の
妊娠腔と胎子 (点線で囲
んだ部分に妊娠腔、その中
に頭部、体躯、前肢等が明
瞭な胎子が存在) .

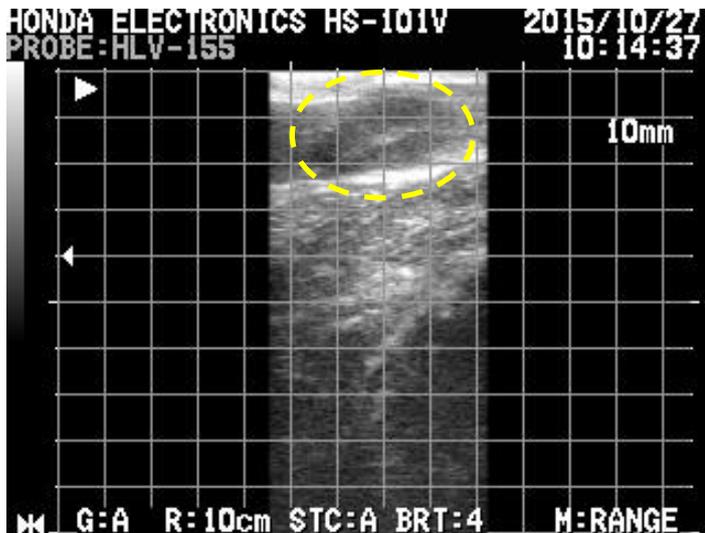


図 2-1-9
妊娠鑑定 TAI 後 60 日の
黄体 (点線で囲んだ部分
が黄体) .

2-1-3 繁殖プログラムの導入と省力化の効果

放牧下の乳用育成牛に対して導入した繁殖プログラム（図 2-1-2）の実受胎率は、通常精液による TAI で 86%、ET では 56%となり、良好な繁殖成績が得られています（表 2-1-2, 表 2-1-3）。また、性判別精液を用いた TAI でも、基本の繁殖プログラムにホルモン処理を 1 回増やす（これに伴い集畜回数も 1 回増やす）ことで受胎性は改善され、56%の実受胎率が得られています（表 2-1-2）。

表 2-1-2 放牧下の乳用育成牛に対する繁殖プログラムの TAI 受胎成績.

試験区	受胎頭数 (胚齢60日時点)		実受胎率 (胚齢60日時点)
	1回目 AI 実受胎率	2回目 AI 実受胎率	
通常精液TAI	43% (3/7)	75% (3/4)	86% (6/7)
性判別精液TAI (改良繁殖プログラム ^{*1})	56% (5/9)	0% (0/2) ^{*2}	56% (5/9)
参考：乳用牛AI全国平均 ^{*3} (AI1-3回までの受胎率)			45%

*1 基本プログラムのTAI18時間前にGnRHを投与（集畜回数が1回増加）； 3-1)-(2)-ア-e 参照.

*2 不受胎の2頭は60日令でマウス確認.

*3 (一社)家畜改良事業団 受胎調査成績(H24).

表 2-1-3 放牧下の乳用育成牛に対する繁殖プログラムの ET 受胎成績.

試験区	受胎頭数 (胚齢60日時点)		実受胎率 (胚齢60日時点)
	1回目 ET 実受胎率	2回目 ET 実受胎率	
体内凍結胚 ET	56% (5/9)	-	56% (5/9)
参考：全国平均 ^{*1}			46%

*1 農林水産省 畜産部HP 牛受精卵移植実施状況(平成25年度版).

本繁殖プログラムを用いた通常精液の TAI または ET における作業時間は、発情発見作業を伴う従来の方法に比べて、90%減となり、さらに性判別精液ではホルモン処理が1回増すものの同程度の作業時間の短縮効果が得られています（図 2-1-10）。その結果、繁殖管理にかかるコストは、通常精液及び性判別精液による TAI で 30%程度が削減され、ET では 13%程度が削減されました（表 2-1-4）。

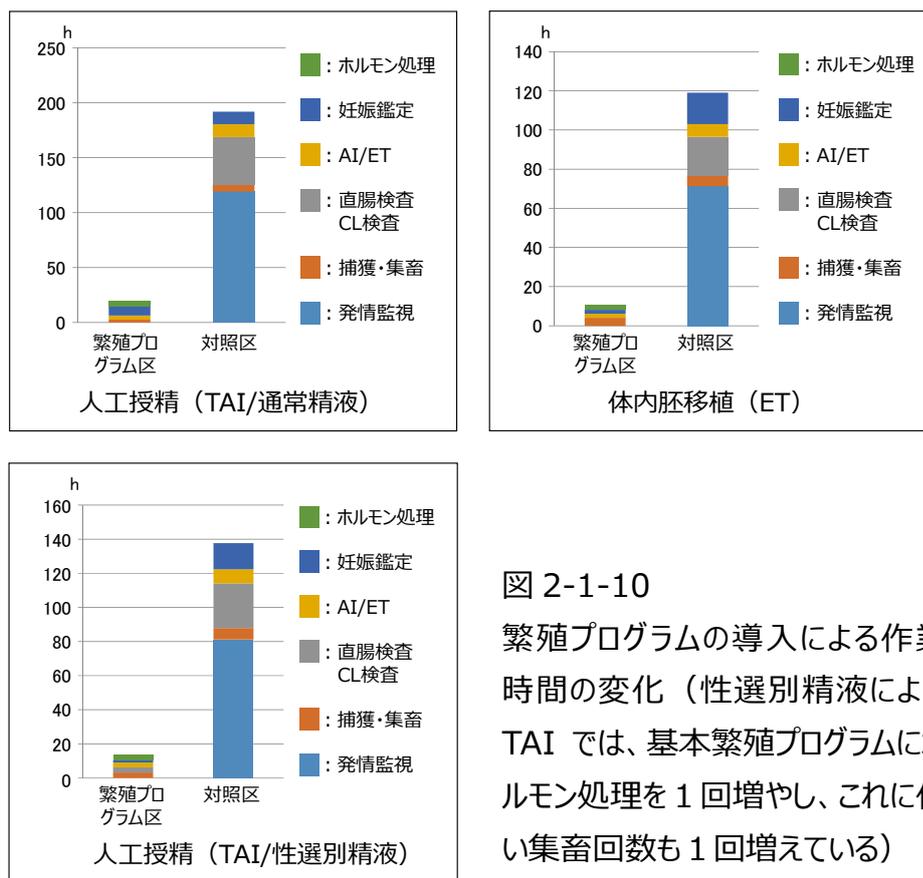


図 2-1-10
繁殖プログラムの導入による作業時間の変化（性選別精液による TAI では、基本繁殖プログラムにホルモン処理を1回増やし、これに伴い集畜回数も1回増えている）

このように、本繁殖プログラムを導入することで、繁殖に係る作業時間は大幅に削減され、合わせて低コストで良好な繁殖成績を得ることが可能になります。

表 2-1-4 繁殖管理方法別の 1 頭受胎あたりのコスト比較.

項 目	繁殖プログラム区			対照区(発情発見区)		
	人工受精 (通常精液)	人工授精 (性選別精液) 改良プログラム	体内胚移植	人工受精 (通常精液)	人工授精 (性選別精液)	体内胚移植
繁殖管理労働費(円) ^{※1}	9,156	6,530	6,743	13,174	8,658	6,570
技術料(円) ^{※2}	25,399	30,950	57,271	37,963	47,895	35,547
精液・胚費用(円) ^{※3}	5,500	15,400	58,333	6,993	19,943	100,000
計(円)	40,055	52,881	122,348	58,130	76,496	142,117
対照区に対する削減率(%)	31.1	30.9	13.9	—	—	—

※1 繁殖管理労働費：平成26年度農業経営統計資料より時給1,370円（労働費/労働時間）を適用した。

※2 技術料：直腸検査料1,860円、GnRH690円、PG972円は平成26年度家畜共済診療点数表から適用した。
：CIDRIは2,500円とした。

：妊娠診断料（超音波画像診断機使用）は2,000円、人工授精料は4,000円、移植料は10,000円を適用した。

※3 精液・胚費用：通常精液は3,000円、性選別精液は7,000円、IVF胚（子牛登記可能）は20,000円、体内胚は50,000円とした。

2-1-4 文献

・後藤祐司・手島茂樹・有川華子（2013）排卵同期化と早期妊娠診断を組み合わせた繁殖プログラムによる放牧牛の繁殖管理. 日草誌 59(1). 49-53

<参考> 国内外に様々な試薬・器具機材がありますが、例を下記に示します。

1. 動物薬

名 称	メーカー	カタログ番号	容 量
CIDR1900	ファイザー		10 個/袋
コンサルタン	あすか製薬		10mLx5 本
エストラメイト	シェリング・プラウアニマルヘルス		10mL

2. 医療器具

名 称	メーカー	カタログ番号	容 量
超音波画像診断装置	本多電子	HS-101V	
プローブ	本多電子	HLV-155 (5.0MHz リニア)	
シリンジ	5ml		
注射針	18G, SB		

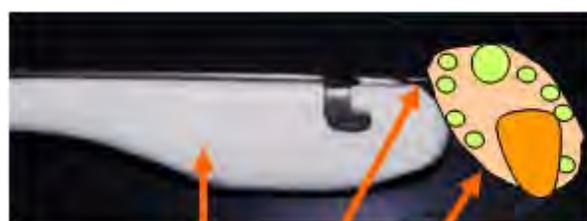
2-2 経膈生体卵子吸引-体外胚生産技術（OPU-IVP）および胚の客観的選別指標を用いた高受胎胚の効率的な生産

2-2-1 はじめに

近年の牛の育種改良では、遺伝的に優良形質を備えた体内胚を採取し、移植により、産子を生産する方法（Multiple Ovulation and Embryo Transfer（MOET））がとられています。しかし、多排卵処置と人工授精による胚生産は、ドナー牛の栄養状態、生殖器内の環境、卵巣に存在する卵胞数あるいはホルモンに対する反応性など、多くの影響を受けることが知られ、一部のドナー牛では移植可能胚が採取できないといった問題があります。特に卵胞波の影響により異なった発育段階や機能面で差異のある卵胞群に対する多排卵処置は、発情周期中の処置の時期により反応性が大きく異なるため、卵胞波の調節による改善が試みられているものの潜在的な卵巣中の卵胞数は個体差が大きく採卵成績に大きなバラツキが生じています。そこで、これら MOET の問題を解決し、効率的な胚生産を可能とするために生体内卵子吸引（Ovum Pick-up; OPU）と体外受精胚生産（In Vitro Embryo Production ; IVP）による胚生産（OPU-IVP）が考案されました。この OPU-IVP により、MOET では胚を作出できなかった供胚牛をはじめ、若齢牛や繁殖障害牛等からも胚を作出することが可能となりました。

2-2-2 経膈生体卵子吸引技術（OPU）

OPU は、超音波画像診断装置の経膈プローブに卵子吸引針を装着し、超音波画像を見ながら吸引針により膈壁を通して、卵巣から卵胞液ごと卵子を吸引採取するものです（図 2-2-1）。卵巣画像を映し出すための技術は、直腸検査と同様の手技で保定した卵巣を経膈プローブの超音波ビーム放射面に膈壁を介して密着できることが必須です。



プローブ、吸引針と卵巣の位置関係

プローブに卵巣を押しつけ卵胞を針で穿刺して卵子を採取

図 2-2-1 生体卵子吸引の様子(左)及びプローブと卵巣の位置関係(右)

(1) OPU の手順

手順 1 : 卵胞から卵子を的確に吸引するため、供卵牛の挙動が抑制できるようにしっかりと保定します。直腸内の糞を除去後、尾椎硬膜外麻酔を施し、尾部および外陰部を水洗した後、イソジン液、オスバン液、アルコール綿花の順で消毒します。暴れたり、落ち着きのない牛に対しては鎮静剤（セラクター等）を適宜、適量投与します。

手順 2 : 腔内に採卵針ガイドを装着したプローブを挿入し、子宮頸管外口部上方の腔壁に誘導します。

手順 3 : 手を直腸内に挿入し、直腸を介して卵巣をプローブの先端付近に誘導し、超音波診断装置の画面に卵巣を映し出します（図 2-2-1）。

手順 4 : 画像を見ながら、卵巣内に観察される直径 2mm 以上の卵胞数（推定卵胞数）を確認します。具体的には、画像上で卵巣の端（卵巣像が消えた状態）からもう一方の端まで卵巣をゆっくり移動させ、順次映し出される卵胞の数をカウントします（数え間違えないようにスロービデオのようにゆっくりと動かします）。

手順 5 : 採卵瓶に 5ml 程度の卵子吸引液を吸引します。その際、卵子の吸引に先立ち、吸引ポンプにより採卵針および接続チューブ内に卵子吸引液を通し、卵子回収用チューブ内に 5 ml 程度の同液を排出し、入れておきます。さらに採卵針およびチューブを満たした液が移動しないようにチューブを閉めて液を固定します。固定方法は、フットスイッチ、輸液チューブのストッパーの使用、接続チューブを折り曲げる等の方法があります。

手順 6 : 採卵針をニードルガイドに挿入したのち、針を押し進めて腔壁を穿刺・貫通させます。

手順 7 : 吸引器を作動します。採卵針の先が腔壁を通して腹腔内にあるときは、常に吸引器を作動させて採卵針、接続チューブおよび採卵瓶の中を陰圧に保ちますが、不意に卵巣や腹壁を刺さないように注意します。

手順 8 : 卵巣を動かして超音波画面上に設定した採卵針を誘導するためのガイドライン上に卵胞を移動させます。

手順 9 : 採卵針をスライドして卵胞膜を穿刺し、針先を卵胞内に置いて卵子を卵胞液とともに吸引採取します。

手順 10 : OPU 術者を補助する 助手は、常に超音波画像と接続チューブ内の吸引液の動きの双方に注意します。卵胞を穿刺しても卵胞が縮小しない場合や、接続チューブ内の吸引液が移動しないときは、組織あるいは血液の凝固等による採卵針やチューブ内での詰まりが考えられます。その際は、吸引圧をさらに上げて凝固物を吸引回収し

ます。それでも詰まりが解消出来ない場合は、注射筒に接続した 19G 注射針を採卵針の先口から挿入して卵子吸引液を強制的に針の中に流し込み、回収します（19G の針は 17G の採卵針の内径より細いためすっぽりとする）。

手順 11：OPU では、卵胞液のほかに卵巣内の血液も吸引されます。接続チューブ内に多量の血液がみられた場合は、詰まりを防止するために針をガイドから抜いて、針およびチューブ内に吸引した卵子吸引液でリンスします。また、10 個程度の卵子の吸引が終わったら、同様にガイドから採卵針を抜き取り、血液の凝固を防ぐために卵子吸引液で採卵針および接続チューブ内部を洗浄し、再び同様の手技で卵子の吸引採取を行います。助手は採卵瓶を軽く攪拌して血液と卵子吸引液を混和します。

手順 12：全ての卵胞（卵子）を吸引し終わったら、再度卵子吸引液で採卵針および接続チューブ内を洗浄し、卵子が残存しないようにします。



図 2-2-2 OPU 時の超音波画像
（円内の黒い部分が卵胞液。吸引針を出し入れできる点線のガイドライン上に卵胞を誘導して吸します）。

（2）採取液のろ過と卵子の検索

手順 1：採取後の液は血液が混入して赤く色づいているため、そのままの状態では顕微鏡下での卵子の検索が困難です。そのため、血液等の希釈を目的に、採取した液を一般に胚検索の前処理に用いるエムコンフィルターに移します。

手順 2：血液の色が無くなり、透明になるまで卵子検索液（卵子吸引液でも可）を入れて濾過を繰り返します。

手順 3：このときフィルター内に採卵針あるいは接続チューブ内で凝固したと思われる糸状の血餅があれば、駒込ピペットで血餅をほぐしながら攪拌し、濁った液を希釈して透明にします。

手順 4：血餅が大きい場合は、ほぐすためにピPETTINGを強く行ってしまい、その結果フィルター内に存在する卵子の卵丘細胞を剥離してしまうおそれがあります（卵丘細胞の

付着の有無は、その後の成熟培養の成績に影響を及ぼす)。そのような場合は、血餅を一旦ビーカーや遠心管等の別容器に移し、その中でピペティングします。

手順 5 : 手順 4 で別容器を用いてピペティングした液は、エムコンフィルターに戻します。一回の操作では液が透明にならない可能性があるため、数回繰り返します。透明になった後、血餅のみをピペットに吸引して、卵子検索性の 90mm シャーレに移します。

手順 6 : 液が透明になったら、「フィルター内の液を軽く攪拌 → 90mm シャーレに移す → 再度フィルター内に卵子検索性液を入れる」という操作を 2-3 回繰り返します。初めからピペティングによりフィルター表面に付着している卵子を回収しようとする、吸引により卵丘細胞が剥離するおそれがあるため、この操作を行います。

手順 7 : 駒込ピペットでピペティングして、フィルター表面に付着した粘液および細胞を剥がし、再びシャーレにフィルター内の液を移します。この操作をフィルター表面に何も残らなくなるまで繰り返します。

手順 8 : 採取卵子を一般的な胚の検察と同様の手技により実体顕微鏡下で検索します。

手順 9 : 採取卵子は、血餅中に紛れていることが多いため、検索時はガラス棒（またはパスツールピペットの先を熱して丸く加工した検索棒等）を用いて、血餅をほぐすように検索します。

手順 10 : 1 回、シャーレを検索し終わったら、検索棒で血餅をよくほぐし、かき混ぜて 2 回目の検索に移ります（卵子の取り残しを防ぐため）。

手順 11 : 血餅が複数ある場合や、シャーレ底面に広範囲にわたって存在する場合は、血餅のみを別のシャーレ（90mm or 60mm シャーレ）に移し、それぞれを検索します。

手順 12 : いずれの方法であっても、血餅を攪拌していると検索性液が再度赤くなり、また血餅が絡み過ぎてほぐれない場合があります。その様な時は、再度エムコンフィルターに血餅を移し、ピペティングを行い、検索性を繰り返します。検索性した卵子は、保存液（修正 TCM199 + 5%CS）の入った 35mm シャーレに移します。

手順 13 : 回収した卵子は、以下の形態学的品質分類に従い選別します。

A ランク : 卵丘細胞が 3 層以上または透明帯周囲全体に付着しているもの

B ランク : 卵丘細胞が 2 層以下または透明帯周囲に 1/3 以上付着しているもの

C ランク : 完全な裸化卵子または B より卵丘細胞の付着が少ないもの

D ランク : 卵丘細胞が膨化しているか蜘蛛の巣状に変性しているもの

手順 14 : 通常、培養試験に供する卵子は A および B ランクであるが、後継牛生産を目的とし、出来る限り多くの胚盤胞を得たい場合は、C および D ランクの不良卵子も培養

します。なお、Dランクでも細胞質が正常なものは、胚盤胞までの発生率はA、Bランクに劣らないことがあります。また、卵丘細胞がA、Bの形態であっても、細胞質が異常なもの（変性卵：色が薄い、細胞膜が不鮮明等）は胚盤胞まで発育しません。

手順 15：選別した卵子は、体外成熟培養します。成熟培養液である 5%CS（子牛血清）および 0.002AU/mL FSH 加 TCM-199 を卵子洗浄用シャーレからパスツールピペットに吸引します。

手順 16：集めた卵子に、手順 15) で空のパスツールピペットに吸引した成熟培養液を噴きかけます。

手順 17：成熟培養液を吹きかけた液と卵子を吸引します。この時はまだ卵子の周囲環境は完全に成熟培養液に置き換わっていません。

手順 18：洗浄の際、吸引する液量は少なく且つ多くの卵子を吸引します。これは、出来るだけ卵子のみを移し、前液を持ち込まないようにするためです。

手順 19：散らばった卵子を吸引してまとめ、シャーレ内の別の位置に移す。これを最低 3 回行い、最終的に清浄な状態にして成熟培地のシャーレ（ドロップ）へ移します。

手順 20：38.5℃、5%CO₂、95%空気、湿度飽和下で 20 時間培養します。

(3) 体外受精(In Vitro Fertilization ; IVF)

体外受精(IVF)には数種の方法がありますが、ここでは家畜改良センターの定法について技術マニュアル 19 に則り以下に示します。この精子処理は、凍結精液に含まれる凍結保護物質および精漿等の夾雑物を洗浄除去し、生存精子を選別するとともに精子の受精能獲得を促すものです。なお、種雄牛個体と体外受精方法の間に受精能獲得の適、不適があるため、実際の IVF の前に試行することを勧めます。

手順 1：準備

以下の溶液および培養液をIVFの前日に調製し、a - d) は卵子成熟培養と同じ気相、温度、加湿によりCO₂ インキュベーター内で前培養します。

- a) 90%パーコール液（3ml を遠心管に入れます）
- b) 精子洗浄液：10mMハイポタウリン、10u/ml ヘパリン添加BO液
・瓶等に入れ
- c) 精子希釈液：20mg/ml BSA 添加BO液
・遠心管等に入れ
- d) 卵子洗浄液：10mg/ml BSA 添加BO液
・卵子洗浄液で35mmシャーレ（NUNC 153066）に5µl のスポットを4つ作製

し、流動パラフィンでカバーして。

・残りの卵子洗浄液を35mm シャーレに2.5～3ml 分注し

e) 3%NaCl 水溶液 (990 μ l を試験管に入れて室温で保持)

手順 2：精液の融解と洗浄

全ての操作において、温度変化による精子活性の低下を避けるため、遠心管を常に保温して行います。

1. 凍結精液を37 $^{\circ}$ Cの温湯で融解し、遠心管中の90%パーコール液の表面にゆっくりと重層します。
2. 精液およびパーコール液が入った遠心管を740G (2100rpm) で10 分間の遠心分離を行います。
3. 上清をアスピレーターで吸引除去します。
4. 精子が入った遠心管に精子洗浄液6ml を加え、ピペティングでよく混和します。
5. 遠心管を540G (1800rpm) で5 分間の遠心分離を行います。
6. 上清をアスピレーターで吸引除去します。
7. マイクロピペットで500 μ l 前後の精子洗浄液を加え、ピペティングをして精子を再浮遊させます(精子浮遊液)。
8. 上記7.で使用したマイクロピペットで精子浮遊液を吸引し(500 μ l)、さらにマイクロピペットのダイヤルを回して残りの精子浮遊液を吸引し液量を求めます。

手順3：精子数のカウント

洗浄後の精子浮遊液内の精子数を計算するため、精子濃度を調製します(最終精子濃度300万精子/ml)。

1. 3%NaCl 溶液990 μ l に精子浮遊液10 μ l を加えて100 倍希釈します。
2. ボルテックスミキサーを用いて均等に混和します。精子数計算溶液中の精子濃度を求めるため、血球計算盤を用いて精子数をカウントします (計算室内の1 \times 1mm のエリア中にある精子をカウントする。同じ精子を2 回カウントしないように注意します。血球計算盤は2枚用意し、その平均の精子数を以下の計算に用います。) 。
3. 精子数計算溶液調製のために10 μ l 吸引した後の精子浮遊液の液量を「Sus」として以下の計算に用います。

<第一希釈> 精子浮遊液に加える精子洗浄液量(ml) =

$$(Ave/6) \times Sus - Sus$$

<第二希釈> 精子浮遊液に加える精子希釈液量(ml) =

$$(Ave/6) \times Sus$$

Ave = 精子数 (2 回カウントした平均値) Sus = 精子浮遊液量 (ml)

手順4：成熟卵子と精子の共培養

1. 予めCO₂ インキュベーター内で気相平衡しておいた媒精用シャーレ（卵子洗浄液で5 μ lのスポットを作ったもの）に第二希釈液（精子濃度300万精子/ml）95 μ lを1スポットのみに追加してドロップを作成し、そのなかの精子の活力を倒立顕微鏡で確認します。活力を確認した後、残りの全てのスポットに95 μ lずつ追加し、100 μ lの媒精用ドロップを作製します。
2. 成熟培養した卵子を卵子洗浄液で2回洗浄します。
3. 洗浄した卵子を媒精用ドロップに入れます（約20個/100 μ l/1ドロップ）。この時、媒精用ドロップに持ち込む卵子とともに卵子洗浄液によって精子濃度が低下するのを防ぐため、できるだけ少量の卵子洗浄液で卵子を移すようにします。
4. 38.5 $^{\circ}$ C、5%CO₂ in air、湿度飽和のCO₂ インキュベーター内で6時間、卵子と精子を共培養します。

手順5：体外発生培養

1. 発生培養液：CR1aa + 0.25 mg/mLリノール酸アルブミン（LAA） + 5%新生子牛血清（NCS）を準備します。
2. 発生培地中に卵子を移し、透明帯から卵丘細胞と精子をピペettingにより完全に剥離除去した後、卵子を最低でも3回洗浄します。
3. 洗浄後の卵子をオイルカバーした発生培地のドロップ（5 μ L /1 卵子；最低 20 μ L）に移し、38.5 $^{\circ}$ C、5%CO₂、5%O₂、90% N₂、湿度飽和下で媒精日を0日として、7-9日間培養します。
4. 媒精開始後48時間目に初期発生状況を確認するために卵割検査を実施します。
5. 発生した胚盤胞を形態学的品質評価等により分類し、移植または凍結保存に用います。

手順6：体外受精胚の凍結保存と融解

1) 凍結保存

1. ①平衡液：1.36M グリセリン(Gly) + 20 %NCS 添加修正 TCM199
②凍結媒液：1.36M グリセリン(Gly) + 0.25M シュクロース (Suc) + 20 %NCS 添加修正 TCM199
③希釈液：0.25M Suc + 20 %NCS 添加修正 TCM199
を準備する。

※ 各溶液の調整には NCS を添加せず濾過滅菌して各溶液（各 4 mL または 8 mL に分注する）を -30 $^{\circ}$ C 以下で凍結保存しておくことと便利である。使用時に融解し、濾過滅菌した血清を加えるだけで使用可。

2. 平衡液中に胚を 10 分間浸漬する（胞胚腔の再拡張の観察）。
 - ※ 拡張胚盤胞が胚盤胞に比べて凍結・融解後の生存率が高いため、拡張胚盤胞の時期に緩慢凍結することが実用的である。特に直径 180 μ m 以上に発育した胚盤胞は生存性が高い。
 - ※ 平衡液の中で胞胚腔が再拡張した胚盤胞の凍結融解後の生存性は高い。これは耐凍剤の細胞膜透過性を指標とした評価法である。
3. 胚を 1cm の長さの凍結媒液（約 30 μ L）と共に凍結媒液の入ったシャーレに移し、15 分以内（胚が沈んだらすぐにでも良いです）にストロー内へ装填する（図 2-2-3）。
- ※ 拡張胚盤胞を凍結媒液に入れてプログラムフリーザーにストローをセットするまでが 15 分間であり、それ以上長くする必要はない。
4. あらかじめ植氷温度（ -6.0°C ）にしたプログラムフリーザーにストローをセットする。
 - ※ あらかじめストローに綿栓側の前平衡液を吸引しておく、短時間でストローへの胚の充填が終了する。
5. アルコールバスにセットし、1 分経過後に植氷操作（胚層の上の希釈液層）を行う。
6. 植氷後の植氷温度保持時間は 9 分間とする。その後 $-0.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で -25°C まで冷却し、 -25°C で 5 分間保持後、液体窒素に投入する。

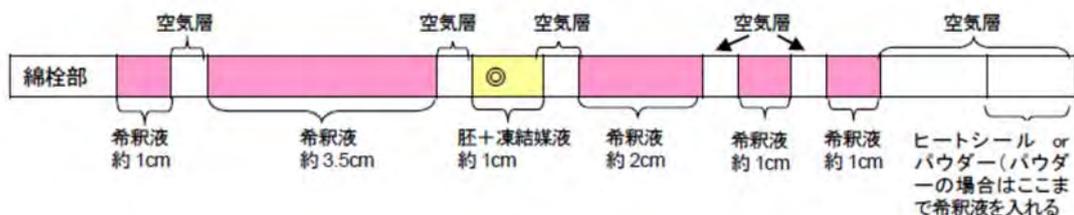


図 2-2-3 ストローへの胚の充填方法.

2) 融解および受精卵移植

1. ストローカッターをアルコール綿で消毒する。
2. 受精卵移植器やシース管など移植に必要な器具を順序よく並べて準備する。
3. ストローを液体窒素から取り出し、空気中で 10 秒間保持し、 30°C の温湯に移して融解する。
4. 氷晶が消えたら（20 秒間）ストローを取り出す。
5. 固く絞ったアルコール綿でストローを拭く。
6. シール部分をストローカッターでカットして受精卵移植器にセットする。
7. 受胚牛に移植する。

(解説)

- ① 受精胚は外気温、光によるダメージを受けるため注意する。
- ② 移植はなるべく短時間で終了させる。そのため、1人で移植をする場合、受胎牛の準備（除糞、外陰部の消毒、尾椎硬膜外麻酔など）は受精胚の融解前に終わらせておく。
- ③ また、2人で移植を行う場合、移植者が全ての準備を完了した後、補助者が受精胚を融解、移植器にセットして直ちに移植する。

手順7：各種溶液の調整

<OPU>

◎1%CS 加乳酸加リンゲル液（1L）：採取卵子検索・洗浄用

乳酸加リンゲル液	1,000 mL
CS	10 mL
抗生物質 PC-SM(後述 16 頁参照)	1,000 μ L

PC-SM：ペニシリン-ストレプトマイシン

- ① 市販の乳酸加リンゲル液 1,000mL に、CS を 10mL 入れ、抗生物質を 1,000 μ L(ペニシリン 100U/ml, ストレプトマイシン 100 μ g/ml)添加して転倒混和
- ② 保存する場合は、冷蔵保存（約 1 週間）

◎10U/mL ヘパリン加 1%CS-乳酸加リンゲル液：OPU 卵子吸引液

1%CS 加 乳酸加リンゲル液	100 mL
ノボヘパリン (1000 U/mL)	1 mL

・上記 1%CS 加 乳酸加リンゲル液にノボヘパリンを 1mL 加える。調製量は、施術頭数により変更

<卵子の検索・保存液>

◎9mM Hepes、11mM Na-Hepes 緩衝 TCM-199（1,000mL）：修正 TCM199（ストック液）

a) TCM-199 粉末 (1,000 mL 用)	1 袋	
b) 重炭酸ナトリウム	NaHCO ₃	0.42005 g
c) HEPES		2.62 g

d) HEPES sodium salt	2.35 g
e) 抗生物質 PC-SM	1,000 μ L

- ① a)を約 800mL の超純水 (SIGMA:Water for embryo transfer) に溶解
- ② b)の試薬を加え、よく攪拌 (最終的に 5mM とする)
- ③ 別の容器で、c)と d)を約 100mL の超純水に溶解し、混和したら②に添加 (最終的にそれぞれ 11mM、9mM とする)
- ④ e)を③に混和し、超純水で 1,000mL にメスアップししばらく攪拌
- ⑤ 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、滅菌済み小瓶または遠沈管 (95mL または 47.5mL) に分注し、冷蔵保存する (約 1 ヶ月間)

◎5%NCS 加 9mM HEPES、11mM Na-HEPES 緩衝 TCM-199 (100mL) :
 卵子の検索・保存液

修正 TCM199	95 mL
NCS	5 mL
抗生物質 PC-SM	100 μ L

- ① 分注した修正 TCM199 に NCS を 5%になるように添加して転倒混和
- ② 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存する (約 1 週間)。

<卵子の培養>

◎5%NCS 加 25mM HEPES 緩衝 TCM-199 (100mL) : 成熟卵子培養液

25mM HEPES 緩衝 TCM-199	95 mL
NCS	5 mL
抗生物質 PC-SM	100 μ L

- ① メスシリンダーに上記試薬を入れ、開口部をパラフィルムで被い転倒混和
- ② 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存

◎5%NCS および 0.002AU/mL FSH 加 25mM HEPES 緩衝 TCM-199
 (100mL) :

未成熟卵子培養液

25mM HEPES 緩衝 TCM-199	95 mL
NCS	5 mL
FSH (10AU を PBS 5mL に溶解)	100 μ L
抗生物質 PC-SM	100 μ L

- ① メスシリンダーに上記試薬を入れ、開口部をパラフィルムで被い転倒混和

- ② 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存

<精子処理>

1. パーコール液関連の調製

凍結融解後の生存精子を選別する際に 90%パーコール液を用いるが、パーコール液（100%濃度：Percoll）を希釈するために 10 倍濃度の sperm TL を調製

◎ 10 倍濃度 sperm TL（100mL）：Percoll 希釈液

塩化ナトリウム	NaCl	4.675 g
塩化カリウム	KCl	0.230 g
リン酸二水素ナトリウム（無水）	NaH ₂ PO ₄	0.035 g
Hepes		2.380 g

- ① ビーカーに 50mL 程度の超純水を入れ、上記薬品を溶解
 ② pH メーターを用いて pH = 7.3 に調製（NaOH を用いる）
 ＊この液は pH が極めて低いため、約半分の溶液量で調製し、NaOH を加えていくことで pH = 7.3 に調製
 ③ メスシリンダーに溶液を移し、100mL にメスアップ

◎ 90%パーコール液（50mL）：生存精子選別溶液

a) Percoll		45 mL
b) 10 倍 sperm TL		5 mL
c) 塩化カルシウム 1M 水溶液	CaCl ₂	98.5 μ L
d) 塩化マグネシウム（六水塩） 0.1M 水溶液	MgCl ₂ ·6H ₂ O	197 μ L
e) DL-Lactic acid (syrup)		184 μ L
f) 重炭酸ナトリウム	NaHCO ₃	0.1045 mg
g) 0.5% フェノールレッド		10 μ L
* c) 1M CaCl ₂ : 1.1098g / 10mL		
1M CaCl ₂ ·2H ₂ O : 1.4701g / 10mL		
d) 0.1M MgCl ₂ ·6H ₂ O : 0.2985g / 10mL		

- ① a)と b)を混和し、50mL に調製
 ② c)～g)の試薬を加え、転倒混和
 ③ 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存

<発生培養>

1. CR1aa の調製：発生培養の基礎培地（NCS および LAA を添加して使用）
予めストック液（CR1-A 液および CR1-B 液）を調製する

◎CR1-A 液（760mL）：CR1aa 調製用ストック液

塩化ナトリウム	NaCl	6.7031 g
塩化カリウム	KCl	0.2311 g
ピロリン酸ナトリウム		0.0440 g
重炭酸ナトリウム	NaHCO ₃	2.2011 g
0.5%フェノールレッド		2.0 mL

- ① 1 ℓ のメスシリンダーに上記試薬を超純水で順次溶解し、760mL までメスアップする。
- ② 0.22μm のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存する（約 1 ヶ月間）。

◎CR1-B 液（200mL）：CR1aa 調製用ストック液

L(+)-Lactic Acid Hemicalcium Salt	0.5996 g
-----------------------------------	----------

- ① 200mL のメスフラスコに上記試薬を超純水で溶解し、メスアップする。
- ② 0.22μm のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存する（約 1 ヶ月間）。

◎CR1aa（100mL）：発生培養の基礎培地（NCS および LAA を添加して使用）

a) CR1-A 液	76 mL
b) CR1-B 液	20 mL
c) BME Essential Amino Acids (×50)	2 mL
d) MEM Nonessential Amino Acids (×100)	1 mL
e) L-Glutamic acid (1 アンプル 20mg を超純水 10mL で溶解)	1 mL
f) BSA (Fatty Acid-free)	0.3 g
g) 抗生物質 PC-SM (29 頁参照)	100 μL

- ① ビーカー等に a)～e) をメスピペットで入れ混和する。
- ② BSA (Fatty Acid-free) を静置溶解する。
- ③ 抗生物質 PC-SM を入れ、混和する。
- ④ 血清を添加して使用する場合は、5%CS 加 CR1aa の調製に従う。

- ⑤ 血清を添加しない場合は、0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存する（約 1 週間）。

◎5%NCS 加 CR1aa (105.26mL) : 発生培養液

CR1aa	100 mL
NCS	5.26 mL

- ① 100mL の CR1aa に、NCS を 5.26mL 加え転倒混和する。
 ② 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存する（約 1 週間）。

リノール酸アルブミン (LAA) : 体外受精胚の耐凍性を向上

◎50mg/mL LAA ストック液 (10mL) : 5%NCS 加 CR1aa に添加するストック液
 LAA (500mg) の瓶に CR1-A 液を 10mL 加え、完全に溶解する（約 1 ヶ月間）。

◎0.25mg/mL LAA+5%NCS 加 CR1aa (10mL) : 耐凍性を向上させた発生培養液

- ① 5%NCS 加 CR1aa 10mL からマイクロピペットを用いて 50 μ L 取り除く。
 ② LAA ストック液を 50 μ L 加え、転倒混和する。
 ③ 0.22 μ m のフィルターを用いて濾過滅菌し、冷蔵保存する（約 1 週間）。

抗生物質：培養液、凍結媒液等に添加する。雑菌の増殖を防ぐ。

◎ペニシリン-ストレプトマイシン (PC-SM) 混合液

ペニシリン (PC)		
結晶ペニシリン G 加丸明治		10 万 単位
ストレプトマイシン (SM)		
硫酸ストレプトマイシン明治	1 g カ価入	0.1 g
m-PBS		1 ml

- ① SM 0.1g を秤量し、PC 10 万単位が入っている小瓶に入れる。
 ② 使用するまでパラフィルムで被い、冷蔵保存しておく。
 ③ 使用時に m-PBS 1ml で溶解し、よく混和する。

* 溶解してから 1 週間冷蔵保存可能

各種溶液への添加量は、PC-SM が 1000 倍希釈されるようにする

例 PC-SM 1 μ l / 溶液 1ml

PC および SM の最終濃度は、以下ようになる

PC : 100 U/ml

SM : 100 µg/ml

2-2-3 高受胎胚の選別方法

体外受精胚を受精後の発生時間と発育段階、形態学的な特徴、さらに胚盤胞の酸素消費量を基準に設定したいくつかの指標を組み合わせることで従来の形態学的観察のみで選定した高品質胚（40%）と比較して、極めて高い受胎率（70-80%）を得ることができます^{3,4)}。OPU-IVP 胚をこの指標により選別する方法を以下に示します。

胚の個別培養と選別方法

胚を個々に観察して選別するためには、胚を1個ずつ個別に培養する必要があります。現在、流通している胚の個別管理培養ディッシュ(胚が1つつ入る微細なくぼみがディッシュ中央に25個並んだもの。大日本印刷株式会社)を用いて、個別培養を行うと集合培養と同等の発生成績が得られます。

胚の選別には、このディッシュを用いて、リアルタイム細胞培養観察システム(CCM-1.3 XY2/CO2 ; 株式会社アステック)により、1枚/15分の間隔で体外受精後7日間撮影した胚盤胞に至るまでの個別画像データ(図3-2)-3)および受精卵呼吸測定装置(図3-2)-4)で測定した胚盤胞の酸素消費データを用います。(発生した胚盤胞は国際胚移植学会マニュアルによる胚の品質評価指標のCode1またはCode2にあたるのが前提です。)これらのデータを以下の選別指標により評価し、各指標の充足の度合により胚の受胎性が推定できます(表3-2)-1)。なお、リアルタイム細胞培養観察システムがなくとも、媒精開始から定時に胚の発生と形態を観察することで4つの指標により選別が可能です。

<胚の選別指標>

1. 媒精開始後27hまでに第1卵割が終了した胚
2. 媒精開始後31hにおいて割球が均等な2細胞だった胚
3. 第1卵割においてフラグメントがない胚
4. 媒精開始後55hにおいて6-8細胞の胚
5. 媒精開始後168hで胚盤胞以上に発育し、酸素消費量(受精卵呼吸測定装置HV-405SP ; 北斗電工)が $0.84 F \times 10^{-14} / \text{mols}^{-1}$ よりも多い胚

表 2-2-1 指標の組み合わせによる受胎率の向上効果.

指標の組合せ	移植頭数	受胎頭数	受胎率 (%)
従来の形態学的観察 (Code-1胚)	52	21	40.4
指標 1, 2	27	18	66.7
指標 1, 2, 3	24	17	70.8
指標 1, 2, 3, 4	22	16	72.7
指標 1, 2, 3, 4, 5	19	15	78.9

今井ら (日本胚移植学雑、2014)

以上の指標委に合致した胚を選別して移植することにより、効率的な子牛生産の一助になります。

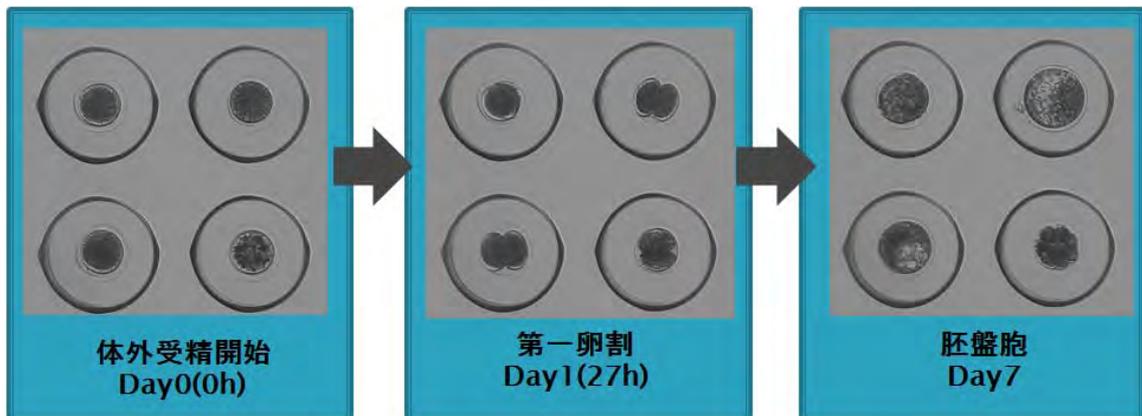


図 2-2-4 リアルタイム細胞培養観察システムで撮影した胚の発生と形態.

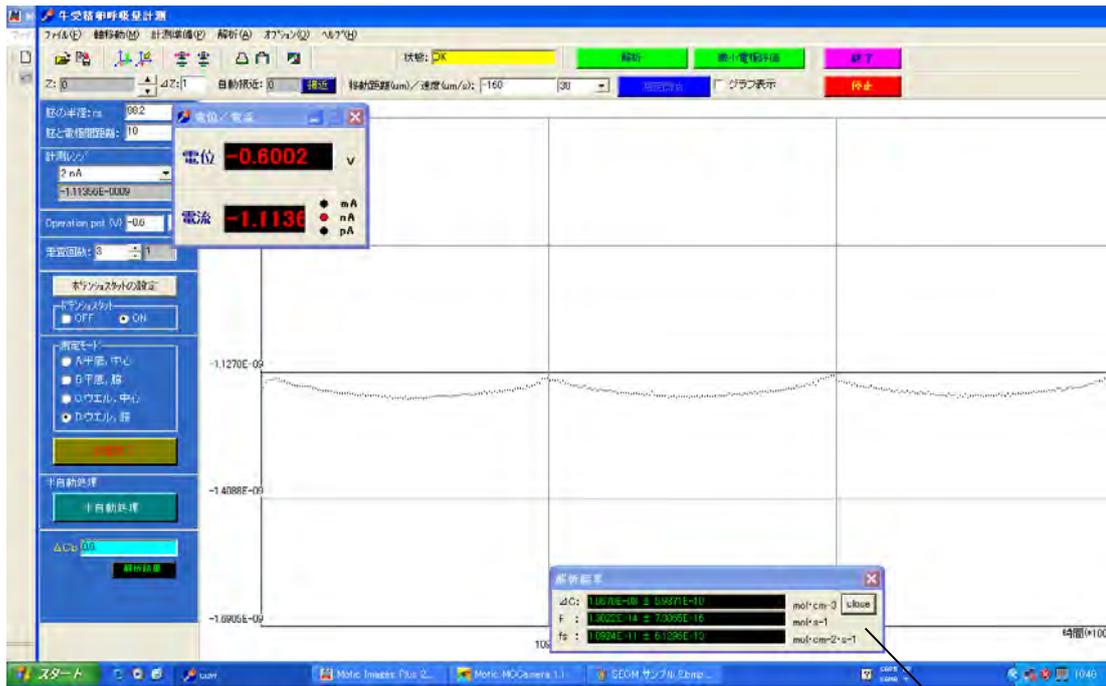


図 2-2-5 胚盤胞の酸素消費量の測定.

2-2-4 繁殖プログラムと OPU-IVP 胚

OPU-IVP 胚を用いての繁殖プログラム（図 2-1-2）による ET を行うと、実受胎率は 40-50% となります（表 2-2-2）。この OPU-IVP 胚の内、高受胎胚を選別して ET を行うと、表 2-2-1 に準じて実受胎率はさらに高まることが確認されました。

表 2-2-2 放牧下の乳用育成牛に対する繁殖プログラムの ET 受胎成績.

試験区	受胎頭数 (胚齢60日時点)		実受胎率 (胚齢60日時点)
	1回目 ET 実受胎率	2回目 ET 実受胎率	
OPU - IVP ^{*1} 新鮮胚 ET	50% (3/6) ^{*2}	0% (0/3)	50% (3/6)
OPU - IVP ^{*1} 凍結胚 ET	30% (3/10) ^{*2}	17% (1/6) ^{*3}	40% (4/10)
参考：全国平均 ^{*4}			
OPU - IVP 新鮮胚 ET			38%
OPU - IVP 凍結胚 ET			41%

*1 全て高受胎の胚を選別したET結果ではない

*2 不受胎の2頭は60日齢で不受胎（途中、胚死滅または流産）

*3 1回目ETで不受胎だった1頭は、2回目ETでOPU-VP新鮮胚をETし32日+のみ確認したが調査中で60日妊娠診断待ち

*4 農林水産省 畜産部HP 牛受精卵移植実施状況(平成25年度版)

2-2-5 文献

- ・家畜改良センターマニュアル 19 (2007). ウシ生体卵子吸引・体外受精技術マニュアル第4版(2014)、独立行政法人家畜改良センター.
- ・体内成熟卵子採取法マニュアル (2013). 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「生体内吸引卵子と性選別精子を用いた効率的な体外胚生産技術の開発 (2016)」独立行政法人 家畜改良センター技術部技術第1課および独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 家畜育種繁殖研究領域.
- ・Sugimura, S., T Akai, Y. Hashiyada, T. Somfai, Y. Inaba, M. Hirayama, T. Yamanouchi, H. Matsuda, S. Kobayashi, Y. Aikawa, M. Ohtake, E. Kobayashi, K. Konishi & K. Imai (2012), PLoS One. 2012; 7(5): e36627
- ・今井 敬、杉村智史、松田秀雄、稲葉泰志、橋谷田豊 (2014) 、日本胚移植学雑誌 36 (1): 37-41.後藤祐司・手島茂樹・有川華子 (2013)

<参考> 国内外に様々な試薬・器具機材がありますが、例を下記に示します。

1. 試薬

名称	メーカー	カタログ番号	容量
Dulbecco's Phosphate Buffered Saline, Modified	Sigma	D4031	500mL
Medium 199 Earle's, Powder	ライフテクノロジーズ (GIBCO)	31100-035	1L 用粉末 x10 袋
Medium 199 Earle's, liquid	ライフテクノロジーズ (GIBCO)	12340-030	500mL
Hepes	Sigma	H7523	50g
HEPES sodium salt	Sigma	H8651	100g
IVF100	機能性ペプチド研究所	IFP9630	30mLx5 本
流動パラフィン	ナカライ	26114-75	500mL
Water for embryo transfer	Sigma	W1503	500mL
Linoleic Acid-Albumin	Sigma	L8384	500 mg
Bovine Serum	ライフテクノロジーズ (GIBCO)	1670-078	500mL
New Born Calf Serum	フナコシ	S0750	500mL
GOLD Fetal Bovine Serum	MP Biomedicals	1916554	500mL

Percoll	Sigma	P4937	500mL
	GE Healthcare	17-0891-01	1L
Beta-mercaptoethanol	Sigma	M7522	100mL
BSA, fatty acid free	Sigma	A7030	10g
BSA, fraction V	Sigma	A9647	50g
Lactic acid, hemicalcium salt	Sigma	L2000	50g
DL-lactic acid sodium salt	Sigma	L7900	100mL
Phenol red solution, 0.5%	Sigma	P0290	100mL
Sucrose, ultra-pure	Organics (代理店：フナコシ)	0928S	500g
エチレングリコール	和光純薬	058-00986	500mL
グリセリン	和光純薬	072-04945	500mL
塩化ナトリウム, NaCl	和光純薬	191-01665	500g
塩化カリウム, KCl	和光純薬	163-03545	500g
HYALURONIDASE	SIGMA	H3506	5g
塩化カルシウム・二水塩, CaCl ₂ ・2H ₂ O	和光純薬	031-00435	500g
リン酸二水素ナトリウム・二水塩, NaH ₂ PO ₄ ・2H ₂ O	和光純薬	192-02815	500g
塩化マグネシウム・六水塩, MgCl ₂ ・6H ₂ O	和光純薬	135-00162	500g
重炭酸ナトリウム, NaHCO ₃	和光純薬	191-01305	500g
水酸化ナトリウム溶液, 1mol/L	Sigma	28-3010-5	500mL
水酸化ナトリウム溶液, 0.1mol/L	Sigma	28-3040-5	500mL

2. 動物薬、医薬

名称	メーカー	カタログ番号	容量
CIDR1900	ファイザー		10 個/袋
アントリン R10	共立製薬		5mLx5A
スポルネン注	共立製薬		2mLx5A
ダルマジン	共立製薬		2mLx10 本 または 20mL
動物用塩プロ注	共立製薬		100mL
乳酸加リンゲル液	日本全薬工業	ハルゼンV	1Lx20 本
ノボ・ヘパリン注	持田製薬		(1 万単位 /10mL)x10 本/箱

イソジンスクラブ液 7.5%	明治製菓株式会社		500mL
逆性石けん液 (塩化ベンザルコニウム 10%)	日本製薬株式会社	オスバン S 液	600mL
ペニシリン G カリウム	Meiji Seika ファルマ		20 万単位 x10 バイアル
硫酸ストレプトマイシン	Meiji Seika ファルマ		1g カ働

3. 器具

名称	メーカー	カタログ番号	容量
ディッシュ, 直径 90mm	NUNC	172958	240 枚
	アズワン	D-210-16	10 枚 x50 袋
ディッシュ, 直径 35mm	BD Falcon	1008	20 枚 x25 袋
	NUNC	153066	500 枚
遠沈管, 50mL	アシスト	62.559S	25 本 x 12 袋
	BD Falcon	352070	500 本
遠沈管, 15mL	アシスト	62.553.041S	
	BD Falcon	352196	500 本
パスツールピペット	ヒルゲンバルグ	3150101	1000 本
PCR チューブ (Snap Seal Microtube)	BM	NT-172	0.6ml
フィルターユニット	NUNC	566-0020	0.2 μ m, 500mL, 12 個
受精卵回収フィルター	エムコン	04135	
フィルターユニット	NUNC	568-0020	0.2 μ m, 250mL, 12 個
フィルター	Sartorius	16534-K	Minisart 0.2 μ m, 50 個
細胞計算盤	アズワン	2-7732-21	50 枚

4. 医療器具

名称	メーカー	カタログ番号	容量
ディスプレイブル採卵針動物用 (滅菌済み卵子採取用器具)	御澤医科工業	A-タイプ (超音波診断装)	17G, 500mm,

		置の機種により異なる)	20本
超音波診断装置	ALOKA	SSD-900	
動物用電子コンベックス単触子（プローブ）	ALOKA	UST-9109P-7.5	
採卵針ガイド	FHK		
吸引器	FHK	Model FV4	
恒温器	FHK	Model FV5	
注射針	19G, SB		
注射針	21G, SB		

3. 衛生管理

3-1 迅速・簡便な血液成分測定装置を用いた省力衛生管理

3-1-1 はじめに

放牧において牛は下痢や肺炎などの感染症の他、蹄病、第一胃鼓脹症、中毒、外傷など多くの疾病や事故の危険にさらされています。中でも牧野に生息するマダニによって媒介される小型ピロプラズマ病は貧血、発育不良など種々の生産性阻害を引き起こすことから、長年にわたり放牧病の中での重要疾病と位置づけられており、早期発見を目的とした定期的な衛生検査が全国的に実施されています。一方、山間地に位置することの多い放牧場では器具、機材および電源の確保などに制約を受け、検査に続く速やかな治療・処置の開始が困難な場合があります。今回、近赤外測定技術を利用して採血管内の血液スペクトルを迅速に計測し、検査現場で直ちに貧血指標であるヘマトクリット値を中心とした血液成分データを得る装置およびシステムを開発しました。

3-1-2 ピロプラズマ病

放牧牛が罹患するピロプラズマ病には小型ピロプラズマ原虫および大型ピロプラズマ原虫の感染によるものがありますが、現在、牧野で問題となっているのは前者です。小型ピロプラズマ原虫は牛の赤血球に寄生し（図 3-1-1）、主にマダニ（フタゲチマダニ）によって媒介されますが、アブやシラミも機械的に伝搬することが知られています。主症状は発熱と貧血で、病状が進むと元気・食欲の減退、発育不良を示し、重症の場合は死亡することもあります。本病は初放牧の乳用種牛で発生が多く見られ、入牧後 1 ヶ月頃に多発する傾向があります。治療は抗原虫薬の投与、補液や強肝剤、栄養剤の投与などが行われており、重度の貧血には輸血も有効とされています。本病予防は媒介者であるマダニの駆除および定期的な衛生検査によって感染や発病状態をきめ細かく観察し、早期発見、早期治療を行うことです。衛生検査では採血を行い、貧血の状況（ヘマトクリット値の測定：図 3-1-2）や小型ピロプラズマ原虫の寄生度を把握します。本病を予防するワクチンはありません。

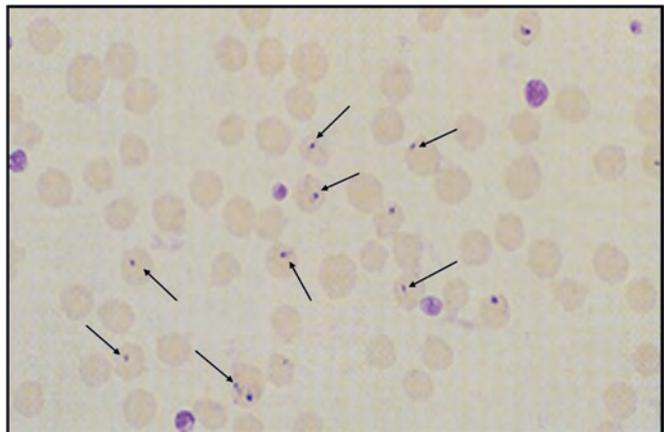


図 3-1-1 赤血球内の小型ピロプラズマ原虫。
(矢印)

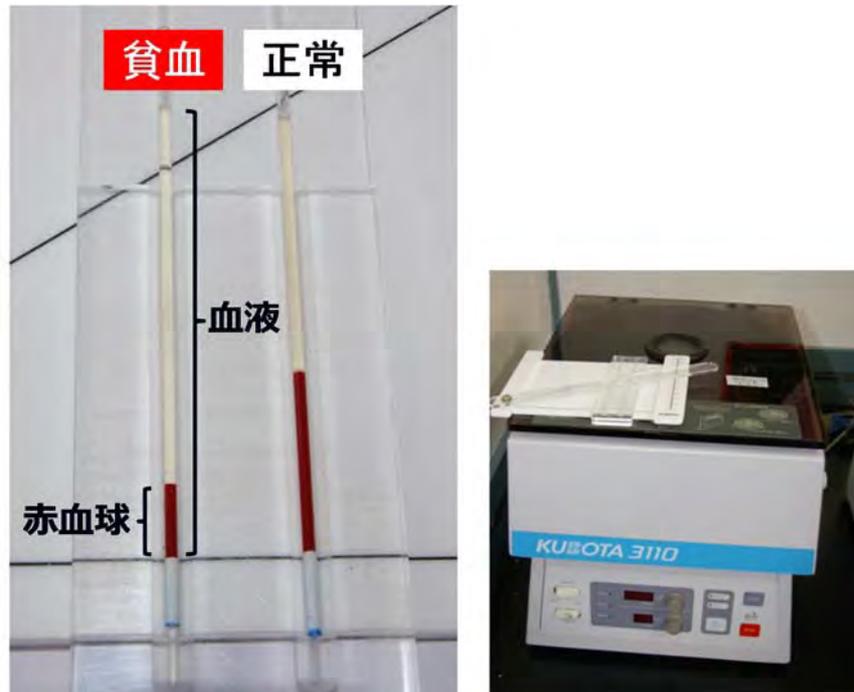


図 3-1-2 毛細管遠心法によるヘマトクリット値の測定。
 ＊ヘマトクリット値：一定量の血液中に含まれる赤血球の割合
 (左：貧血例および正常例を示す、右：測定用遠心分離器)

3-1-3 迅速・簡便な血液成分測定装置

(1) 仕様 (図 3-1-3)

測定項目：①ヘマトクリット値 ②赤血球数 ③ヘモグロビン濃度 ④平均赤血球容積

測定方式：近赤外分光方式

測定時間：約 30 秒／1 回測定

使用採血管：テルモベノジェクトⅡ真空採血管 (コード番号：VP-NA052K)

制御・解析：タブレット PC (Windows 8.1)

インターフェース：Bluetooth[®] 4.0

電源：リチウムイオンバッテリー (本体内蔵)

バッテリー容量：11.1V、2.2Ah

連続動作時間：約 5 時間 (満充電時)

使用環境温度：20℃以上

形状：270(W)×240(H)×180(D)mm / 4.8 kg



図 3-1-3 血液成分測定装置。
(左：装置、右：小型軽量で携帯可能)

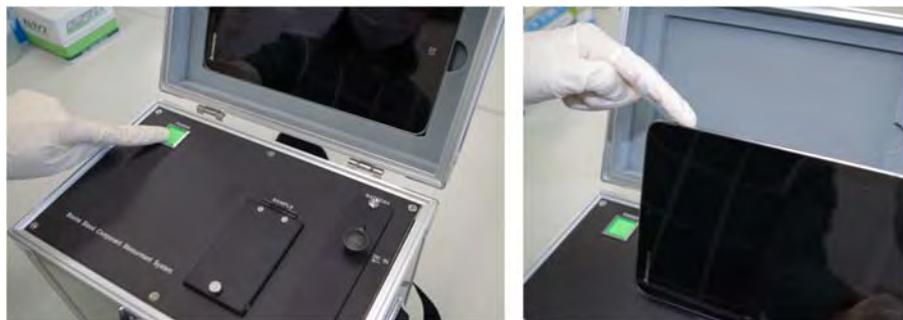
(2) 測定

1) 使用上の注意

- ・環境温度 20℃以上で使用すること。
- ・雨など水滴がかからない場所で使用すること。
- ・測定時、装置への直射日光を避けること。

2) 操作手順

手順 1：測定装置および付属 PC の電源入力。



手順 2 : PC 画面に表示されたアイコンをタッチして、プログラムソフト「Blood analyzer mini」を立ち上げる。



手順 3 : 牛から採血. 真空採血管 (テルモ VP-NA052K) に牛血液を 2ml 採る.



… 以下、測定装置の音声案内および PC 画面表示にしたがって操作 …

手順4 : 測定牛の個体識別番号を PC に入力.



手順5 : 採血管を測定装置の測定部にセットし、蓋を閉じる → 測定が開始.

(注意) ・採血量は 2ml を下回らないようにする.

・測定前に採血管表面の汚れや水分を柔らかい紙等を用いて除去する.



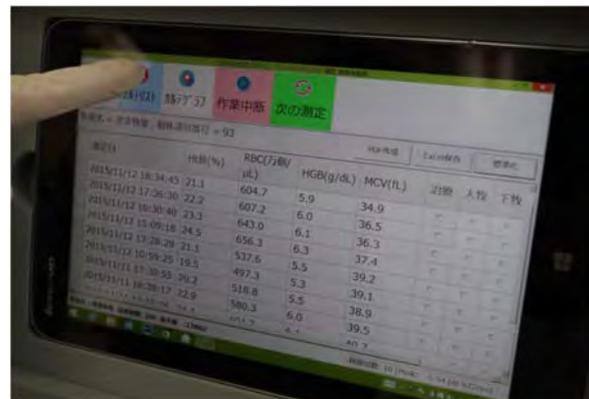
手順6 : 測定部の蓋を開けて採血管を取り出し、再び蓋を閉じる → 波長校正、解析.



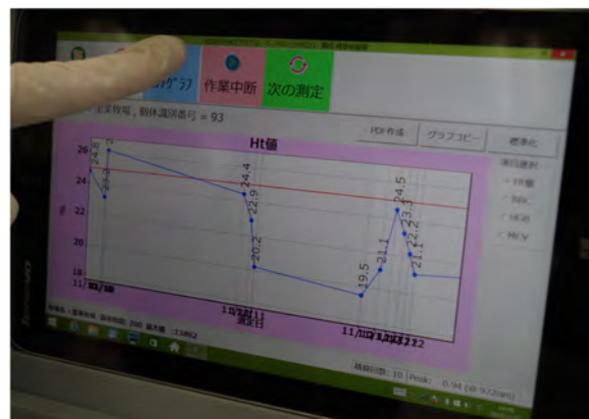
手順7：測定値が PC 画面に表示される。（測定結果の表示、「最大化」タッチで文字が大きく表示される）。



手順8：過去の測定データは、測定項目ごとに「カルテリスト」「カルテグラフ」で呼び出しが可能。当日のデータとの比較が容易にできる。



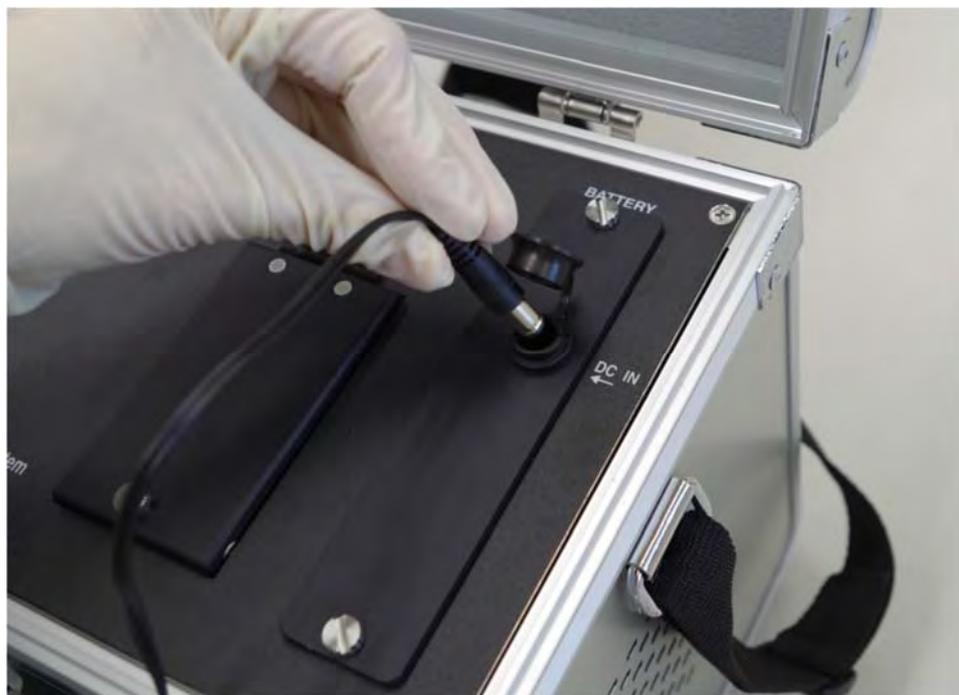
「カルテリスト」タッチで、同一牛の過去データ一覧が数値で表示。



「カルテグラフ」タッチで、同一牛の過去データがグラフ化されて表示。

………… 上記動作を検体毎に繰り返す ………

手順9：充電は本体にアダプターのプラグを差し込み行う。
バッテリー交換も容易に可能。



3) 精度

検量モデル評価による RMSEP（標準誤差）は、ヘマトクリット値、ヘモグロビン濃度、赤血球数、MCV（平均赤血球容積）の順にそれぞれ 0.72%、0.29g/dl、65 万個/ μ l、6.4fl です。

実際の測定上の誤差として、ヘマトクリット値では毛細管遠心法による値から概ね $\pm 2\%$ の範囲内に入ります（図 3-1-4）。

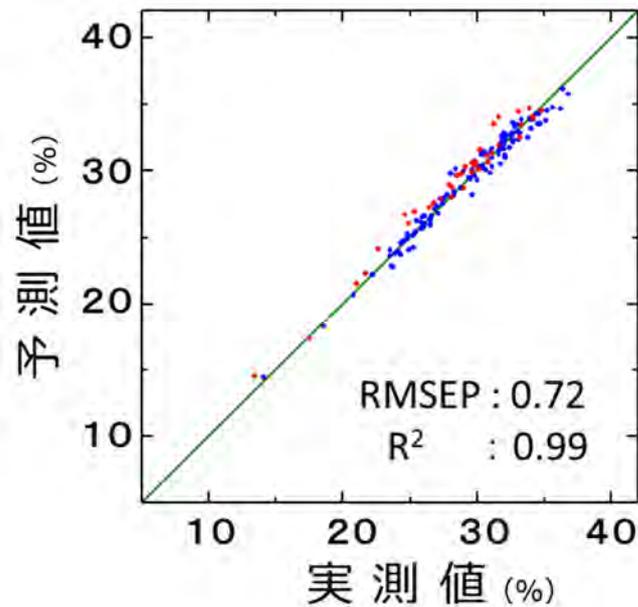


図 3-1-4 ヘマトクリット値の実測値—予測値の相関。
 青点：検量モデル作成用データ、赤点：未知のテストデータ

3-1-4 検査の省力化・効率化

通常、牛の放牧衛生検査では集畜後、追い込み柵内等で採血を行い、血液サンプルは遠心分離器など分析機器や電源施設のある牧場事務所や家畜保健衛生所に持ち帰り検査が行われています。この場合、検査中は牛をその場に待機させておくか、解放した場合は検査値に問題があった牛を再び集めることとなります。牧場条件にもよりますが、採血後検査結果が出るまでに1～2時間程度かかっていることもまれではありません。このため牛や管理者には大きな負担をかけ、検査に続く速やかな治療や置を妨げている場合もあります。

本測定装置を利用することにより、採血後直ちに貧血を中心とした血液成分の把握が可能となり、採血後追い込み柵内で正常牛と異常牛の判別を行うことができます。これより、検査に続く速やかな治療・処置が実現でき、検査の省力化・効率化のみならず、検査に続く迅速な処置が可能となるため、治療率向上、損耗防止効果も期待できます。

3-1-5 文献

- Akifumi Ikehata, Xuan Luo, Kunio Sashida, Shanji Park, Tsutomu Okura and Yutaka Terada: Feasibility of rapid in vitro estimation of haematocrit in cattle by using shortwavelength nearinfrared spectroscopy. J. near infrared spectroscopy '22,11-17 (2014).
- 寺田 裕、池羽田晶文、羅 せん、指田邦夫、朴 善姫、大倉 力、中村義男：採血管型近赤外血液成分測定装置の小型ピロプラズマ原虫感染実験への応用 第157回日本獣医学会学術集会講演要旨集 p472 (2014)
- 羅 せん、池羽田晶文、指田邦夫、朴 善姫、大倉 力、寺田 裕：Comparison of Different Approaches of Instrument Standardization to Portable Spectrometers for Estimation of Haematocrit of Cattle. 第30回記念近赤外フォーラム講演要旨集 p97 (2014)
- 寺田 裕、池羽田晶文、羅 せん、指田邦夫、朴 善姫、大倉 力、中村義男：携帯型近赤外測定装置を用いた牛の血液中メトヘモグロビン濃度の測定 第30回記念近赤外フォーラム講演要旨集 p136 (2014)
- Luo Xuan, Akifumi Ikehata, Kunio Sashida, Shanji Piao, Tsutomu Okura, Yutaka Terada: Comparison of Different Approaches of Calibration Transfer: Application to Portable Spectrometers for Measuring Blood Hematocrit of Cattle. NIR2015 (近赤外分光国際会議) 講演要旨 (2015)

3-2 アブトラップの利用

3-2-1 はじめに

吸血性のアブはその吸血行動によって、牛にストレスを与えたり、病気の伝搬を行う等の被害を与えます。牛に飛来するアブの数が多いほど、ストレスは大きく、病気の伝搬の確率も高くなります。このため牛に飛来するアブの数を減らすことが求められています。アブはその生態から薬剤による防除が難しく、トラップによる捕殺が最も現実的なアブ防除の手段です。

3-2-2 アブの生態

アブの生態に関する基本的な知識があると、トラップの仕組みや設置の仕方について理解しやすいので、簡単にアブの生態を紹介します。

吸血性のアブ類は卵を産むための栄養を得るために吸血します。したがって吸血するのは雌だけです。多くの種類は吸血しないと産卵できませんが、幼虫時代の栄養で1回産卵できる種類もいます。吸血後、産卵までに1週間程度かかり、この間は吸血はしません。産卵する環境は種類によって、草地、森林、湿地など様々ですが、卵は地面近くの植物に数百個の卵塊として産み付けられ、孵化した幼虫は、土中でミミズ、コガネムシの幼虫等の動物を食べて成長します。アブ類の発生は年1回で、孵化した幼虫は土中で過ごし、翌年成虫となります。なお、種類によっては成虫になるまで2, 3年かかる場合もあります(図3-2-1)。

アブの幼虫は肉食性で他の動物だけでなく幼虫同士の共食いもするので、急激に増加することはなく、放牧環境が安定している場所では、毎年の発生数は大きく変動しないようです。

アブの雌成虫は、視覚と炭酸ガス等の化学物質を手がかりに吸血する動物を探しています。視覚で遠くの目標物を見つけて飛んでいき、近づいてからは化学物質によって吸血対象かどうかを判断していると考えられます。黒や青の物体に良く誘引され、放牧地でこれらの色のシートを広げたとたんに多数のアブが飛んでくることがあります。

成虫の飛翔力ははっきりと判っていませんが、これまでの観察例からは一気に2km以上飛んだ例もありますし、幼虫の生息場所が数kmの範囲に無い都市部で成虫が見られることもあるので、かなり長距離の移動が可能と考えられます。

アブは暑熱にあまり強くなく、水分を補給できずに直射日光に曝されると30分程度で死ぬことがあります。牛やトラップに飛来したアブが動けなくなって地面に落ちてしまう例も観察されています。



アカウシアブ



ヤマトアブ



アオコアブ



ニッポンシロフアブ



ボルバートアブ

図 3-2-1 主な吸血性のアブ.

3-2-3 アブトラップの基本的仕組みと有効性

(1) トラップの仕組み

これまで様々なアブトラップが開発されていますが、基本的にはアブが吸血対象を探す習性を利用した物で、大部分は視覚的効果で誘引します。さらに炭酸ガスを放出することで、より誘引力を高め、トラップに飛来したアブの捕獲率を高めている物があります。

(2) トラップによる捕殺の有効性

トラップで捕獲されるのは基本的には、吸血対象の動物を探している雌です。したがってトラップで捕獲した数だけ、牛に飛来するアブの個体数は少なくなります。さらに、吸血していない雌を捕獲するので、産卵数も減少します。このためトラップで多数の雌を捕獲すると翌年のアブ発生数を減らすことができます。

(3) トラップの囲効果

トラップは吸血する動物を探しているアブを誘引するため、牛のいない牧区に設置されたトラップは、たとえ捕獲できなくても、その牧区内のアブを引き留め、牛のいる牧区への移動を遅らせる効果があります。また、アブに余分な活動をさせることで、暑熱による活動力の低下や死に至らせる効果が期待できます。

(4) トラップによる防除成功例

これまで十分な数のトラップを設置して数年間にわたって捕殺を続けた結果、アブの数が数分の一に減少した例や、設置1年目から牛白血病の放牧期間中の陽転率が大幅に低下した例があります。

3-2-4 トラップ各種の特性と使用トラップの選択

アブトラップには、炭酸ガスを使うことで高い捕獲能力を持つものと、炭酸ガスを使わずに比較的高い捕獲能力を持つ物があります。牧野でアブ防除を行う場合は多数のトラップが必要になりますが、炭酸ガスを使用するトラップは、炭酸ガスボンベの運搬、ボンベの開閉といった作業が必要なうえ、炭酸ガスの費用もかかります。このため牧野でのアブ防除には、基本的に炭酸ガスを使わずにアブを捕獲できる物を使用します。

アブトラップは市販されている物があまりありません。適当な市販品が見つからない場合は、自作するか、業者に作製を依頼することになります。自作可能で、炭酸ガスを出さずに比較的高い捕獲能力を持つトラップとしては現在、ボックストラップ、折りたたみ式トラップ、NZIトラップの3種類があります。

それぞれのトラップの作製方法は

URL : <http://cse.naro.affrc.go.jp/siraisi/trap/>

を参照して下さい。この URL が無効な場合は、「アブ捕殺用トラップ」、「ボックストラップ」、「折りたたみ式トラップ」で検索して下さい。

どのトラップも自作すれば1個数千円以下で作製可能です。自作が困難な場合は最寄りの業者に依頼するか、日本草地畜産種子協会が紹介する業者に依頼して下さい。

(1) ボックストラップ^o (図 3-2-2)

ニッポンシロフアブ、アオコアブ、ホルバートアブなどの腹側から吸血する小・小型種は良く捕れますが、構造上、アカウシアブのように牛の背中から吸血する種類は、ほとんど捕獲できません。ウシアブ、ヤマトアブといった中・大型種の捕獲効率も折りたたみ式より劣ります。90cm 四方の箱のため、設置の際の運搬の労力、冬季の保管場所の確保などの問題があります。しかし、比較的簡単な木工のため、自作はそれほど難しくありません。木製で丈夫なため野生動物による破損の可能性も低くなります。製作時の塗装が不十分だと、木材に水が染み込み劣化が早くなるほか、数年で塗装が剥げて塗り直しが必要になります(図 3-2-3)。



図 3-2-2
ボックストラップ。



図 3-2-3
塗装が劣化したボックストラップ。

(2) 折りたたみ式トラップ (図 3-2-4)

背中側から吸血する種類も腹側から吸血する種類も捕獲できます。特にアカウシアブ、ウシアブ、ヤマトアブといった中・大型種は良く捕れます。ニッポンシロフアブ、アオコアブ、ホルバートアブや、フタスジアブといった中・小型種はボックストラップと同程度です。折りたためるので運搬や保管は楽に行えます。また自作する際の材料費もボックストラップより安くなります。しかし、透明シート部分の加工がやや難しく、加工精度が悪いと小・中型種に対する捕獲効率が大幅に低下します。特にホルバートアブやフタスジアブは極端に低下します。また設置時にトラップが歪むと全ての種類の捕獲能力が低下するので、設置に際しては歪まないように注意が必要です。



図 3-2-4
折りたたみ式トラップ。

(3) NZI トラップ (図 3-2-5)

布をミシンの直線縫いで縫い合わせて作るので、ミシンの扱いに慣れていれば一番簡単に自作できるトラップです。背中側から吸血する種類も、腹側から吸血する種類も捕獲可能です。炭酸ガスを使うと良く捕れますが、使わない場合の捕獲力はやや低くなります。折りたたみ式同様、折りたたんで持ち運びできるので、設置場所への運搬、保管は楽です。使用する布により耐久性が違ってくるので、長期間、直射日光に曝されても退色せず耐久性のある素材を選ぶ必要があります。また、アブのトラップへの侵入口が他のトラップより

低い位置にあるので、周囲の草刈りを徹底する必要があります。



図 3-2-5
NZI トラップ。

(4) トラップの選択

どのトラップを使うかは基本的に防除対象牧野のアブ発生状況で判断します。折りたたみ式を精度良く作製でき、歪みが生じないように設置できれば、発生する種類に関わらず、折りたたみ式が適しています。

しかし、折りたたみ式の製作精度等に不安がある場合は、ホルバートアブやフタスジアブ、ニッポンシロフアブが多く、アカウシアブ、ウシアブなどの大型種があまりいない牧野ではボックストラップが適しています。一方、大型種が多くホルバートアブやフタスジアブが少ない牧野では折りたたみ式トラップ、小型種から大型種まで発生数の多い牧野では、ボックストラップと折りたたみ式トラップを併用するのが良いでしょう。実際にこの2種類のトラップを併用して小型種から大型種まで多数のアブを捕殺した牧野の例があります。また、ボックストラップや折りたたみ式トラップの自作が困難で業者に依頼すると費用的に厳しい場合は、NZIトラップをなるべく多く設置するという選択肢もあります。

背中から吸血する種類の多い牧野では、これらの種類を捕獲するために折りたたみ式または NZI トラップの設置が必須ですが、自作の可否、作製費用、設置労力、保管場所などの条件に応じて、なるべく多くのトラップを設置できるようにトラップを選択して下さい。

監視小屋の近くなど、炭酸ガスポンベの運搬やポンベの開閉が楽に行える地点では、これらのトラップに炭酸ガスの使用することや炭酸ガスを使うトラップの設置も検討して下さい。

3-2-5 トラップの設置場所の選定と設置上の留意点

(1) 設置場所の基本的条件

炭酸ガス使用の有無にかかわらず、基本的に視覚的効果でアブを誘引するため、トラップは写真のようになるべく広い範囲から見える場所に設置する必要があります。設置場所を選ぶ際は、広範囲を見渡せる場所を選んで下さい。背景が暗い、窪地になっている、日陰、などトラップが目立たない場所や牧柵などに囲われて見えにくい場合は誘引効果が低くなります。特に炭酸ガスを使用しない場合、設置場所が不適切だとほとんどアブを捕獲できません（図 3-2-6）。

アブは牛に強く誘引されますが、吸血できずに追い払われることのほうが多いので、水飲み場など牛が良く集まる場所の近くの見通しの良い場所にトラップを設置すると多数のアブを捕殺できます（図 3-2-7）。

なお、見通しが良い場所でも、風の通り道になっていて風が吹き抜けていることが多いとアブがあまり集まりません。このような場所への設置は避けて下さい。



背景が暗いとトラップが目立たない



周囲から見下ろすような場所ではトラップが目立たない



一日中日陰の場所はトラップが目立たない



牧柵が邪魔をしてトラップが目立たない

図 3-2-6 トラップの設置に不適切な場所。



図 3-2-7 水飲み場付近の開けた場所に設置されたボックストラップ。

(2) 設置個数

トラップの設置個数が多いほど、防除効果は高くなりますが、設置個数が多くなるとトラップの費用、設置労力も増すので、出来るだけ少ない個数のトラップを効率よく配置することが望めます。牧野のどの場所からも最低 1 個のトラップが見えるように設置すれば、牧野内の全てのアブを誘引可能です。したがって理想としては、「放牧地のどこからでも最低 1 個のトラップが見えるように設置」となります。

図 3-2-8 のような比較的平坦で見通しの良い牧野では、少ない個数で牧野全体をカバーすることが出来ます。一方、起伏が激しい（図 3-2-9）、林などによって視界が遮られる、等により見通しの悪い牧野では、多くのトラップが必要となります。平坦で見通しの良い牧野では必要な個数は少なく、見通しの悪い牧野では理想的に配置するためには多くのトラップが必要となります。多くのトラップを準備するのは費用・労力の面で困難な場合が多いので、この場合は用意できる個数のトラップを、牧野全体で設置場所の偏りが無いように配慮しながら、なるべく見通しの良い場所を選んで設置して下さい。



図 3-2-8 このように平坦な牧野では、トラップの設置個数は少なくて済む。



図 3-2-9 起伏の激しい牧野では見通しがきかないので多くのトラップが必要になる。

(3) トラップの保護と下草対策

どのようなトラップを使う場合でも、放牧地内に設置する際は牛に壊されないよう必ず防護柵を設置して下さい。折りたたみ式やボックストラップでも上部の透明板にシートを使う場合は、トラップに入ったアブを狙ってカラスが穴を開ける場合があるので、必ずトラップの上にカラス除けのテグスを張るようにして下さい。

トラップの下や周囲の草が伸びると（図 3-2-10）、視認性が低下するため、アブが集まらなくなります。このため、設置後、草がトラップの下側近くまで伸びてきたら刈り払って下さい。刈り払いが困難な場合は、防草シートを防護柵内に敷くなど草が伸びないような対策を行って下さい。



図 3-2-10 周囲の草が伸びて半分くらい隠れてしまったボックストラップ。

(4) 放牧地内の灌木対策

比較的平坦な牧区でも牧区内の灌木により見通しが悪くなっている例があります。灌木があることで草地の生産性も低下します。牧区内の灌木の刈り払いを行うことで草地の生産性を向上させるとともに、トラップの視認性を高めることが出来ます。

(5) トラップ設置後の点検

トラップ設置後は、アブの発生が多くなった時点で、必ず、トラップにアブが捕獲されているか点検して下さい。一見好適に見える場所でも、何らかの条件でアブが捕獲されないことがあります。トラップにアブが入っているのに死んだ個体がない場合は、トラップに不具合があるので補修を行って下さい。アブがトラップに集まっていない場合はトラップをアブが飛んでくる場所に移動させて下さい。

3-2-6 トラップによるアブ防除を行ううえでの留意点

(1) 近隣牧野の有無

これまで、牧野に十分な数のトラップを設置して毎年多数のアブを捕殺した結果、アブの発生数が減った例がある一方、まったく減らない例もあります。アブの発生数が減少したのは近隣に他の牧野がない牧野で、減少しなかったのは近隣に他の牧野があるものでした。近隣に他の牧野がある場合、一カ所でいくらアブを捕殺しても、他の牧野からの流入があるためです。



牛への飛来数を減らすという点からは、毎年多数のアブを捕殺することで一定の効果がありますが、アブそのものの数が減らないので、飛来数を大幅に減らすことは出来ません。牧野から他の牧野が見えるような地域では、出来るだけその地域一帯の牧野が一斉にトラップを設置して地域全体のアブの数を減らすことを目指して下さい。トラップも少数作るよりもまとまった数を作るほうが、材料の無駄も少なく効率良く作製作業が出来ます。

(2) 捕獲されたアブのチェック

トラップで捕獲したアブは、出来れば回収しておおよその量を量って下さい。年毎の捕獲量を比較することで、アブの発生数が減少しているかどうかを判断できます。月に2回程度回収して種類と個体数を調べれば理想的ですが、放牧終了時に回収して、総重量を量るだけでも大雑把な比較は可能です。捕獲量が年々減少していけば十分効果が上がっ

ている証拠ですし、変化がないときはトラップの増設を検討する等の判断材料になります。

(3) 継続的なトラップの設置

トラップによるアブの防除は長期間、継続的に行って下さい。アブの発生数が減らない場合は、牛へ飛来するアブの数を減らすためにトラップの設置が必要です。発生数が減少した場合はより減らすためや、増加させないために継続的にトラップを設置して下さい。アブは急に個体数が増えることはありませんが、トラップを設置せずにいると徐々に発生数が回復していきます。

執筆者一覧

氏名	執筆担当箇所の見出し番号	所属（執筆時）
井出 保行	1 - 1 - 1 1 - 1 - 2 1 - 1 - 3	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
西村 一人	1 - 1 - 4	株式会社パスコ
北川 美弥	1 - 2 - 1 - (1) 1 - 2 - 1 - (2) - 1) 1 - 2 - 1 - (3) - 1,2,3,4) 1 - 2 - 1 - (4) 1 - 2 - 2	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
渡辺 也恭	1 - 2 - 1 - (2) - 2)	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター
山田 大吾	1 - 2 - 1 - (3) - 5)	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
平野 清	1 - 2 - 3	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
下田勝久 (塚田 英晴)	1 - 2 - 4	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 (麻布大学)
喜田 環樹	1 - 3	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
遠藤 健治	2 - 1	森永酪農販売株式会社 ミック事業部
松田 秀雄	2 - 2	独立行政法人 家畜改良センター
寺田 裕	3 - 1	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 動物衛生研究所
白石 昭彦	3 - 2	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター

お問い合わせ先：

〒329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所

井出保行 (runsama@affrc.go.jp)

電話：0287-37-7808

畜産草地研究所 平 27-8 資料

牧場管理効率化マニュアル

平成 27 年 3 月 4 日 発行

発 行：「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」、4. 畜産の生産性向上、省力化等を可能とする生産技術体系。効率的な家畜管理・草地管理法導入による公共牧場および繁殖農家の生産性向上技術の実証。公共牧場・繁殖農家支援研究チーム
研究代表 山本嘉人（国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所）

編 集：井出保行（国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 草地管理研究領域）

住 所：〒329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所

印 刷：近代工房
〒324-0036 栃木県大田原市下右上 1603



NARO