

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658225

研究課題名(和文)動物専用周波数帯を用いた放牧牛のリアルタイム監視装置の開発

研究課題名(英文)Development of real-time monitoring system of grazing cattle using animal-only frequency band

研究代表者

竹田 謙一 (TAKEDA, Ken-ichi)

信州大学・農学部・准教授

研究者番号：90324235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：2008年に総務省が動物の行動を追跡する無線システムに電波を割り当てたことを受け、その電波帯を利用した放牧牛リアルタイム監視装置を開発し、その性能を検証した。調査は、乳用種雌牛3頭に動物専用発信機とGPS受信機をそれぞれ1台ずつ装着した。受信局を介して得られたデータは、Web上においてリアルタイムで位置座標を示すように設定した。本監視装置とGPS受信機による測位座標の測位誤差は、94.1mだった。最大誤差は、745.2mで、最小誤差は2.4mだった。測位誤差は発信機装着牛に行動によって異なり、摂食時(147m)に比べて、移動時(80m)、休息時(72m)が有意に小さくなった( $P<0.05$ )。

研究成果の概要(英文)：The Ministry of Internal Affairs and Communications assigned radio waves to wireless systems that to track the behavior of animals in 2008. So we developed a grazing cow real-time monitoring device using the radio band, and verified its performance. Three Holstein cows were used for surveys. The GPS receiver and the VHF transmitter for real-time monitoring put on each cow. The data obtained via the receiving station was set to indicate the position coordinates in real time on the Web. Positioning error of positioning coordinates by the GPS receiver and the real-time monitoring device was 94.1m. The maximum and the minimum error were 745.2m and 2.4m, respectively. Positioning error depends on behaviours of cows. The error came to have a shorter at rest (72m) than at moving (80m) and grazing (147m), significantly( $P<0.05$ ).

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学、畜産学・草地学

キーワード：放牧 リアルタイム監視 ICT ソーシャルネットワーク分析

1. 研究開始当初の背景

(1) 放牧監視現場での実態

放牧牛の監視作業は、放牧牛を発見、頭数や脱柵有無の確認の他、牧草地内に広がった放牧牛の健康を個別に監視するなど多大な労力を要している。特に、放牧牛の発見には、熟練した牧場管理者の経験に依存している。申請者が行った事前のアンケート調査では、長野県内にある38の公共牧場で、19.4%が牛群管理の不備を経営上の問題として挙げており、23の営業休止牧場のうち、53.3%が管理者の不在(=放牧牛を管理できる人材不足)を挙げていた。

すなわち、飼料自給率向上の1方策として、あるいは、家畜の快適性向上の1方策として、放牧利用を促進するためには、経験、技術の不足を補えるバックアップシステム(放牧牛の位置を知る等)の構築が必要不可欠である。

(2) 既存の手法による限界

FM電波利用による放牧牛の位置推定には、離れた3点からその位置を推定するため多大な労力が必要となる。また、そこで利用されていた動物用発信機は、電波法改正により使用できなくなった。

GPSを用いた放牧牛の位置推定が機器の発展とともに、多く行われた。しかし、電池寿命が短いばかりか、位置情報の取得には、発信機を装着した放牧牛を再捕獲してデータ処理しなければならず、経験の浅い牧場管理者から挙がっている「牛がどこにいるか、今すぐに知りたい」というニーズに応えられなかった。

2. 研究の目的

既存の位置情報検知システムとして、FM電波を利用したラジオテレメトリーシステムやGPSを内蔵した首輪装着による手法がある。いずれも、海外製であるのと同時に、前者は位置情報検知に多大な労力と時間を要し、後者は1台の価格が50万円前後する高価なもので、放牧牛の再捕獲、データの回収、電池交換が必要である。そこで本研究では、改正電波法に準拠した我が国初の放牧牛監視装置の開発を目的とする。また、開発するシステムを用いることで、放牧牛の位置を牧場事務所のPCや牧場管理人の携帯電話上での監視システムを構築する。

3. 研究の方法

(1) 県内の平坦な採草地で、2素子2基型の八木アンテナを備えた受信ユニットを220m方形区の2つの対角に、それぞれ1局ずつ設置した。実験者がGPS受信機(以下、GPS)と動物専用発信機LT-01(以下、V発信機)を携帯し、方形区内の任意に選択した14ポイントの緯度と経度を測位した。GPSとV発信機によって得られたそれぞれの同時刻における座標間距離をHubeny(1953)の距離計算公式(式1)を用いて算出し、その値をGPSとV発信機の測位誤差とした。

式1)

$$D = \sqrt{\left\{ \frac{(M \times dP) - (M \times dR)}{\cos(dP) \times dR} \right\}^2 + \left\{ \frac{(N \times dP) - (N \times \cos(P) \times dR)}{\cos(dP) \times dR} \right\}^2}$$

D: 2点間の距離(m)

dP: 2点の緯度差

P: 2点の平均緯度

dR: 2点の経度差

M: 子午線曲率半径

N: 卯酉線曲率半径

福島県内の旧原子力災害警戒区域であったH牧場で実験した。前述の受信ユニット6局(2素子2基型×4局、3基型×2局)を放牧地を囲むように、また、放牧地の中心に1局(2素子4基型)設置した。受信局を介して得られたデータは、FOMA回線網の packet 通信によりサーバーに転送され、Web上においてリアルタイムで位置座標を示すように設定した(図1)。次に、H牧場で保護されている原発事故被災牛の中からホルスタイン雌牛3頭を供試牛として選び、GPSとV発信機を固定した首輪を供試牛に装着した後、他の保護牛とともに放牧した。そして、首輪装着後から22.5時間、供試牛の位置を測位した。供試牛の測位と同時に、日中の6.5時間、各供試牛の姿勢(立位、伏臥)と行動(摂食、休息、移動)ならびにV発信機のアンテナの向き(上、下)を5分間隔で、個体追跡法により、記録した。さらに、供試牛の測位終了後、放牧地内の任意に選択した16ポイントで、と同様の方法で定点測位した。それぞれ、GPSとV発信機による測位誤差を算出した。

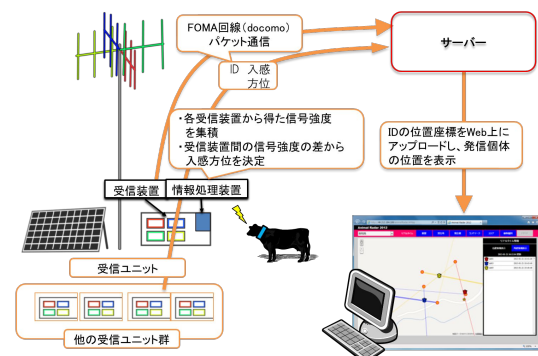


図1. リアルタイムモニタリングシステム概要

(2) 測位誤差が大きくなった原因として、発信される複数の電波が周波数が近似しているため混線したことが挙げられた。そこで、牛群動態を把握するための中核牛(ハブ牛)の抽出を試みた。山梨県K牧場で飼育されているジャージー種搾乳および乾乳牛(2~7歳)24頭を供試した。供試牛は1日2回(7:00、

18:00)搾乳され、朝の搾乳後に牛舎から 30m ほど離れた人工草地に一群として放牧された。この牛群は、個体の出入りがない閉鎖牛群だった。行動観察は、最近接個体とその距離を記録する空間的な観察、相互舐め行動を記録する行動的な観察から成り、各観察の総観察時間が 40 時間、計 80 時間になるまで、供試牛群が放牧されている間(5~6 時間/日)に行った。そして、不特定個体追跡法により、各供試牛の最近接個体とその距離、姿勢を 15 分間隔のタイムサンプリング法で、代表的な親和行動である相互舐め行動は連続観察し、その行動が発現したとき、供受の区別をして、個体番号の行動持続時間を記録した。行動観察終了後、二項検定により有意に多く観察 ( $P<0.05$ )されたダイアド(二者関係)を抽出し、SNA 専用ソフト PaieK®1.01 を用いて、供試牛群の親和関係を可視化し、ネットワークにおける重要度を表す媒介中心性を算出、ハブとなり得る個体を推定した。

#### 4. 研究成果

(1) 明らかにエラーと考えられた 2 つの定点ポイントを除き、定点ポイントの平均測位誤差は、 $77.36 \pm 76.87m$  となり、ポイント間の差が極めて大きかった。分析に供することができるデータ 9958 点を得た。得られたデータをリアルタイムで Web 上に表示することができた(図 2)。

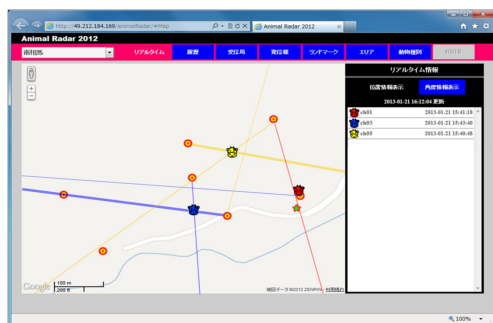


図2. リアルタイムモニタリングシステムのWeb上の画面  
(画面上の 受信アンテナ、牛アイコンは放牧牛の測位位置)

GPS と V 発信機の平均測位誤差は、 $94.1 \pm 174.07m$  となった。標準誤差が大きかったので、供試牛別に平均測位誤差を示すと、A 牛が  $104.18 \pm 79.1m$ 、B 牛が  $99.28 \pm 70.51m$ 、C 牛が  $81.75 \pm 86.86m$  となった。V 発信機のアンテナの向きは、測位誤差に影響しなかった ( $P=0.69$ )。また、測位誤差は供試牛の行動によって有意に異なり、摂食時 ( $147.58 \pm 33.54m$ ) に比べて、移動時 ( $80.61 \pm 5.17m$ )、休息時 ( $72.06 \pm 21.12m$ ) が有意に小さくなった ( $P=0.01$ ) (図 3)。

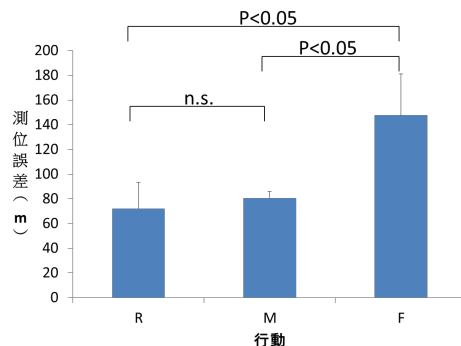


図3. 行動(休息R、移動M、摂食F)別の測位誤差

行動観察に基づいた、行動別の解析結果では、摂食行動の測位誤差が最も大きかった。乾草ロールが牛舎近くに位置する竹藪付近に配置してあり、その竹藪などによって電波の反射や妨害が引き起こされたこと、そして一つの乾草ロールを複数の個体が密接して摂食していたために、他個体の身体で電波が反射したことが考えられる。本実験では、牛の首横に LT-01 を固定したが、首上に固定すれば個体の身体による反射波の影響は防げるかもしれない。

定点 16 ポイントの平均測位誤差は  $83.9 \pm 36.44m$  となった。また定点記録した 16 ポイントのうち、受信ユニットの受信可能範囲が 2 つ以上重なる区域(図 4)で測位したポイント ( $65.34 \pm 24.76m$ ) は、受信可能範囲が 1 つ以下で測位したポイント ( $102.25 \pm 39.05m$ ) よりも測位誤差が小さかった。

実験の定点測位に比べ、誤差が大きくなった。西箕輪は高低差も障害物もない土地であったのに対し、南相馬では勾配のある傾斜や木々があった。これは、野生動物専用周波数が 150MHz 帯の VHF 波に属しているために、電波が山に当たった場合は様々な方向へ電波が反射したり、樹木に当たると電波が吸収されたりして、急激に電波強度が弱まる性質があるため(和多田、1982)、受信可能距離が短くなってしまったと考えられる(増間、2012)。

放牧地の地図上に 7 局の CA をレイヤーし、16 ポイントの定点をプロットした結果、CA0 が 3 地点、CA1 が 6 地点、CA2 が 3 地点、CA3 が 4 地点あると確認された。CA 数別にみた測位誤差には有意差がみられなかったが、誤差は、CA0 と CA1 よりも CA2 と CA3 の方が小さかったことにより、2 局以上の受信局の受信範囲における測位が精度向上には必要であると考えられる。また、CA0 のデータを除去した平均測位誤差は、13 ポイントで  $77.20m$  となった。実験 1 の定点測位実験結果に近い結果が得られた。よって、ある地点に 3 分以上静止して測位した測位データは、地形の状態に関わらず、ほぼ同様の測位誤差であると示唆される。今回の実験や本システムを実用する際に、CA0 の区域があることは想定外であり、受信局設置場所の検討を的確に行うことが重要である。

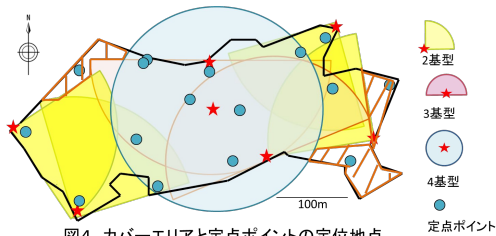


図4. カバーエリアと定点ポイントの定位地点

(2) 全 552 ダイアド中、空間的な観察で 524(94.9%)、行動的な観察で 257(46.7%) のダイアドを観察した。これらのネットワークを可視化したところ、牛群内で認められた親和関係は一致しなかった。そして空間的、行動的ダイアドで共通するダイアド個体を抽出した結果、30 ダイアドが抽出され、この結果からネットワークグラフを描いたところ、牛群内には 4 つのサブグループが認められた。最も大きなサブグループ内に牛群の中心となるハブ個体が認められた(図5)。そして、このグラフ中の各供試牛の媒介中心性は、月齢が進むほど有意に高くなった( $r=0.46$ ,  $P<0.05$ )。

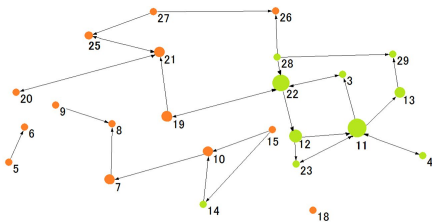


図5. 空間的な観察・行動的な観察で共通のダイアドのネットワークグラフ

以上のように、牛群の親和関係に着目したソーシャルネットワーク分析により、他個体との電波干渉を生じさせることなく、牛群全体の動態を把握できるハブ牛(個体)を見いだせた。今後は、このような個体に発信機を装着し、牛群の位置情報を得ることが理想と考えられた。

2 年間に及ぶ本研究の結果より、3 素子 4 基型を用いたシステムを評価した池田ら(2010)の研究結果から、改善がみられた。しかしながら、問題点として、放牧地内外の器物や樹木などによる電波の反射波、またその影響によるシステム上の測位データの急激な移動、2 つ以上の受信局ユニットの受信可能範囲に定位地点がある必要性が挙げられる。さらに精度改善を図るには、電波の反射、原因となる器物や樹木の除去や、ソフトウェア上で、大きすぎるデータは画面上に反映させないような、システムを構築すること、放牧地内が、必ず 2 つ以上の受信局ユニットの受信可能範囲になるように、受信局の数と設置場所を検討することが考

えられる。さらに、VHF 波を用いず、近年、急速に発展と普及を遂げている Wi-Fi システムを活用した UHF 波の利用を検討すべきだと考えられた。UHF 波は、障害物等の干渉を受けにくい。また、既存の VHF 波では、動物に装着できる周波数が 4 局しか与えられておらず、多頭数飼育を目指している今日の畜産業において、VHS 波の利用は不向きなのかもしれない。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 2 件)

木内明子・竹田謙一、ソーシャルネットワーク分析を用いた牛群の親和関係の空間的及び行動的な解析、日本家畜管理学会・応用動物行動学会合同 2014 年度春期研究発表会、文部科学省研究交流センター、2014 年 3 月 25 日。

竹田謙一・深澤舞子、動物専用周波数帯を用いた放牧牛のリアルタイム監視装置の開発、日本畜産学会第 116 回大会、安田女子大学、2013 年 3 月 30 日。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹田 謙一 (TAKEDA, Ken-ichi)

信州大学・農学部・准教授

研究者番号： 9 0 3 2 4 2 3 5