

### 無線式携帯型心電計を利用した乳牛の血中カルシウム濃度解析システムの開発

平成25年度 SCOPE 「地域ICT振興型研究開発」採択課題

- 帯広畜産大学
- 北海道立総合研究機構
  - 畜産試験場
  - 根釧農業試験場
  - 工業試験場
- 酪農学園大学



### 背景


日本国内  
 乳牛飼養頭数：142万頭  
 年間分娩頭数：79万頭

**分娩前後の起立不能**  
 発生頭数：7万頭  
 うち死廃頭数：8千頭

酪農業における大きな損失のひとつ



### 分娩性低カルシウム血症（乳熱）



分娩後、乳汁中に大量のカルシウム(Ca)が排出されるため、血液中のCaが低下し、筋肉が収縮できずに起こる起立不能  
 →Ca剤投与が有効

分娩牛または起立不能牛に対し、**低Ca血症の有無**を早急に見分ける必要あり  
 ↓  
 最も有効な方法は**血中Ca濃度**の測定

### 血中Ca濃度測定における問題点

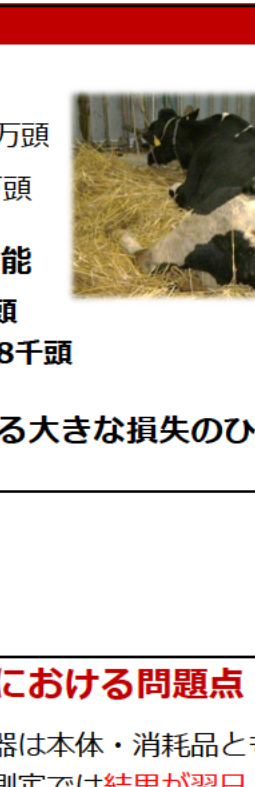
- 現地測定可能な機器は本体・消耗品とも**高価**
- 検査センターでの測定では**結果が翌日**

↓

起立不能牛に対し、血中Ca濃度を測定することなく、臨床症状等から総合的に判断し、診断や治療を行っているのが現状

**牛舎内で安く・早く・簡単に血中Ca濃度の測定ができないか？**

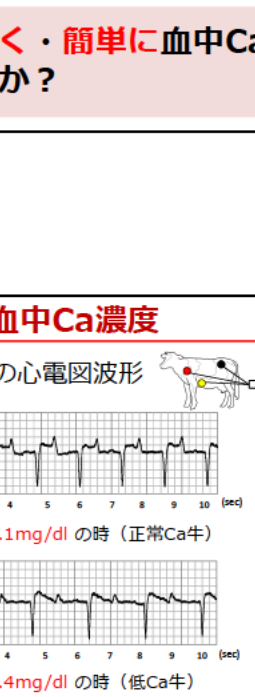
### 心収縮とCaとの関係



Caが細胞内に流入して心臓が収縮する  
 →低Ca血症によりST部分およびQT時間が延長

### 牛の心電図波形と血中Ca濃度

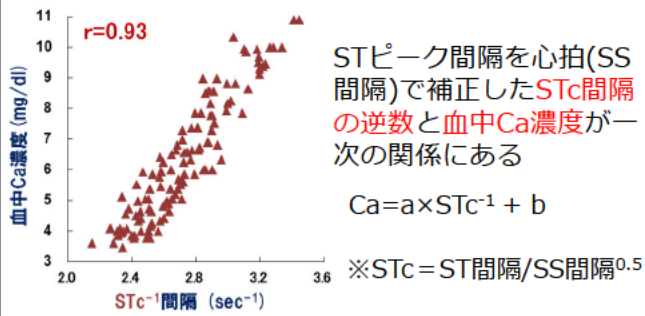
実験的低Ca血症牛の心電図波形



血中Ca濃度 9.1mg/dl の時（正常Ca牛）  
 血中Ca濃度 4.4mg/dl の時（低Ca牛）

血中Ca濃度の低下とともにSS間隔に占めるSTピーク間隔の割合が増加

## STピーク間隔と血中Ca濃度の相関



実験的低Ca血症生の心電図STc間隔と血中Ca濃度の関係

心電図STc間隔から採血することなく血中Ca濃度の推定が可能?

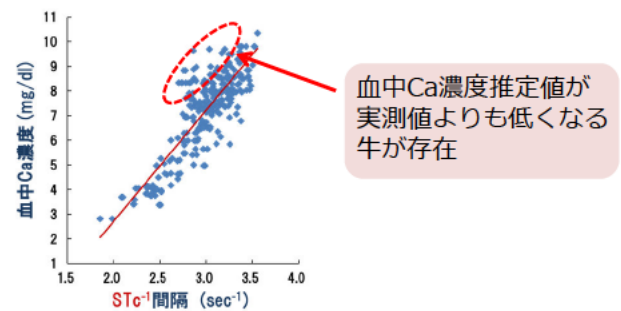
## 目的

心電図波形から血中Ca濃度を簡易・非侵襲的・短時間に計測する携帯無線型の「乳牛の血中Ca濃度解析システム」を開発する。

## 検討内容

- ①心電図STc間隔から血中Ca濃度を推定する回帰推定式を作成する。
- ②STc間隔を自動抽出するアルゴリズムを作成する。
- ③牛舎での利用性を考慮した心電図波形測定・解析システムを作成する

## ①高精度な回帰推定式の作成



分娩牛および起立不能牛の心電図STc間隔と血中Ca濃度の関係

特に推定精度低下の原因の補正を目的とした血中Ca濃度回帰推定式を作成

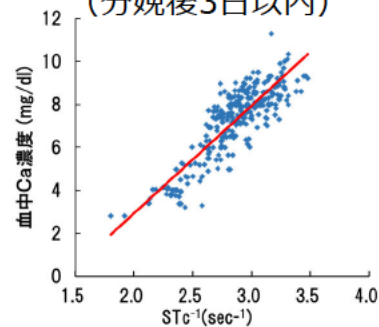
## 方法

供試牛:  
正常心電図のホルスタイン種牛 延べ894頭

測定項目:  
血中Ca濃度、心電図STc間隔、分娩後日数、産次数、年齢、体温、日乳量、測定時間、飼料摂取時間、搾乳時間、血中リン濃度、マグネシウム濃度、カリウム濃度、その他の疾病の有無など、約30項目のデータベースを作成

## 結果

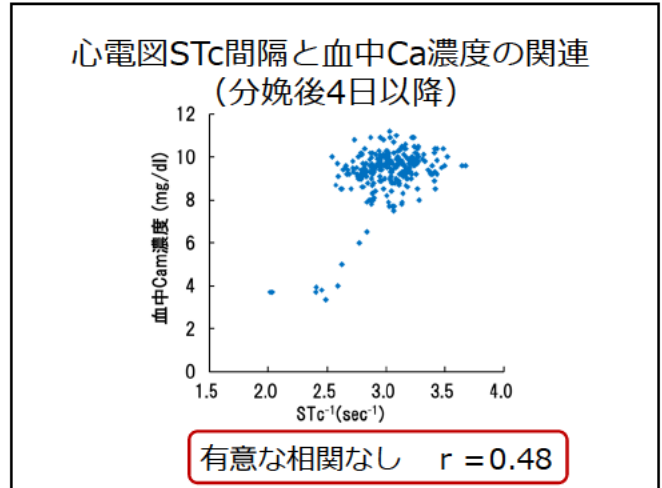
心電図STc間隔と血中Ca濃度の関連 (分娩後3日以内)



測定項目間の相関係数行列  
(分娩後3日以内)

	Ca	STc <sup>-1</sup>	時間	産次数	年齢	体温	日乳量	...
Ca		0.86	-0.23	-0.57	-0.55	0.02	0.16	
STc <sup>-1</sup>			-0.14	-0.49	-0.48	0.22	-0.17	
時間				0.11	0.14	0.34	-0.4	
産次数					0.95	-0.18	0.2	
年齢						-0.19	0.2	
体温							-0.19	
日乳量								

産次または年齢を回帰式に追加  $r = 0.88$   
(特許出願中)



### ②高精度なアルゴリズムの作成

正常な牛の心電図波形

体動や筋電位によるノイズが混入した心電図波形

陰性T波が出現した心電図波形

特にノイズの除去を目的としたアルゴリズムの作成

### ノイズ除去方法

- ① S波ピークを基準に波形を重ね合わせる
- ② 逸脱波形を削除する
- ③ 残りの心電位を平均化する

極めてクリアなS波およびT波ピークが検出

### 結果

ノイズが混入した心電図波形の場合

クリアなS波ピークとT波ピークが出現

### 陰性T波を示す心電図波形の場合

S波とT波以外の異常波形は認識されない

### ③無線式携帯型システムの作成

データ収集のために作成した試作機



大きく：34×24×5cm  
重く：3kg  
有線式：USB型心電計

牛舎での利用性向上が望まれる

無線化・軽量化・小型化したシステムを作成

### 開発したシステム



タブレットPC（解析装置）  
8.1 inch・500g / Win 8

Bluetooth型  
心電アンプ

先端をクリップ状に加工

### ワイヤレス心電計の仕様

項目	仕様
<b>アンプ部</b>	
誘導方式	双極誘導
ゲイン	250倍
フルスケール	±6mV
入力インピーダンス	1GΩ以上
周波数特性	0.2Hz~150 Hz
ローパスフィルター	2次バタース (1次 2段)
ハイパスフィルター	1次バタース
<b>A/D部</b>	
サンプリング周波数	1024Hz
最小分解能	2.92mV(12bit)
出力オフセット電圧	1.5V
<b>無線部</b>	
無線方式	Bluetooth Ver.2.1+EDR Class2
通信距離	最大30m程度
データ出力	仮想COMポート
<b>物理的仕様</b>	
寸法	長さ68×幅34×厚さ14mm
重量	38g
電源	リチウムイオンバッテリー (450mAh)
最大動作時間	10時間
温度範囲	-40~85℃

体動によるアーチファクトで起こるオーバーレンジを防止

皮膚や体毛のインピーダンスによるノイズ増加を防止

電極を牛の所定の位置に装着



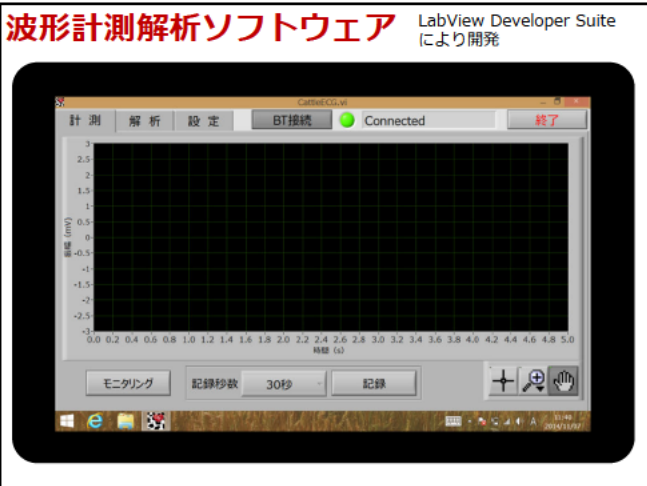
### 波形計測解析ソフトウェア

LabView Developer Suite  
により開発



### 波形計測解析ソフトウェア

LabView Developer Suite  
により開発



### 波形計測解析ソフトウェア

LabView Developer Suite  
により開発



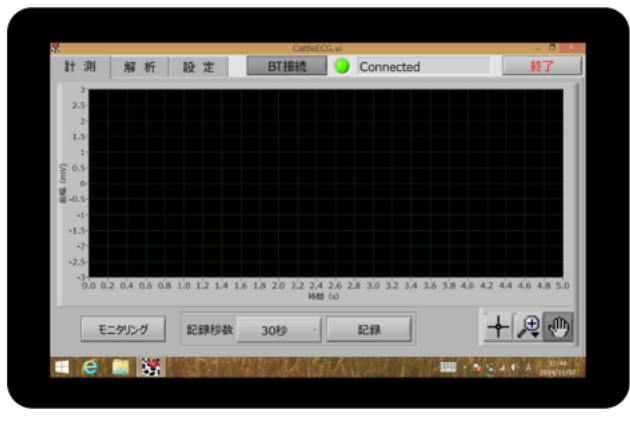
接続ポート COM4 産次 4

STc=ST/SS<sup>m</sup> Ca(P)=a+b/STc+c産次

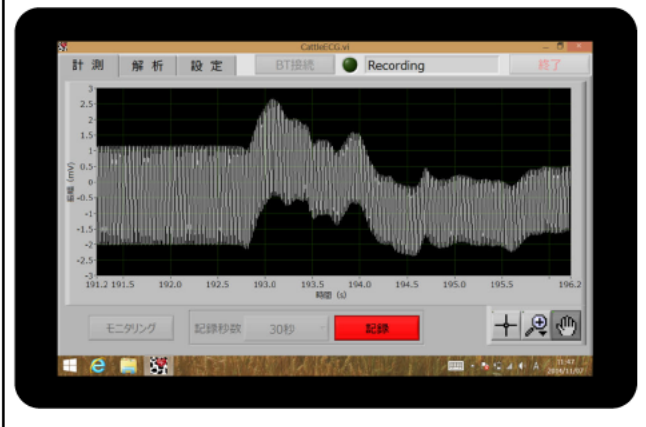
m 0.5 a b c

SS乗数 定数 STc-Inv 係数 産次係数

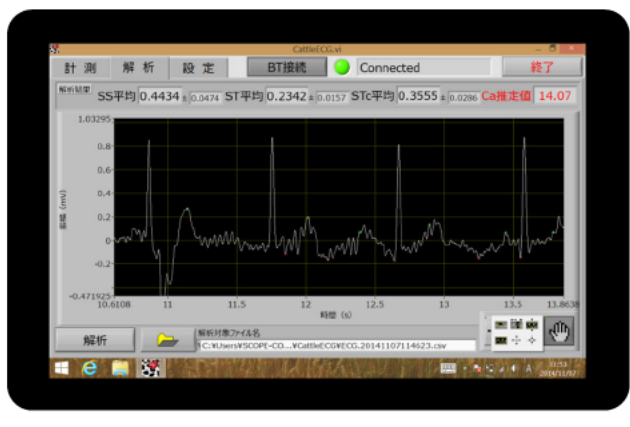
## 波形計測解析ソフトウェア LabView Developer Suite により開発



## 波形計測解析ソフトウェア LabView Developer Suite により開発



## 波形計測解析ソフトウェア LabView Developer Suite により開発



## 心電図の計測



## まとめ

- 本システムは分娩後3日以内の牛での利用が推奨される。
- 回帰推定式に産次数または年齢を加えることで推定精度が向上する。
- 開発したアルゴリズムにより、STc間隔が正しく検出され、陰性T波などの異常波形は除外される。
- 携帯無線式のシステムであるため野外での利用性が向上。

■ 野外農場においてシステムの有効性を実証中

## バージョンアップの検討

- iPhoneおよびスマートフォンでの利用
- 分娩後4日以降の牛における計測
- 陰性T波を示す牛におけるT波の検出

