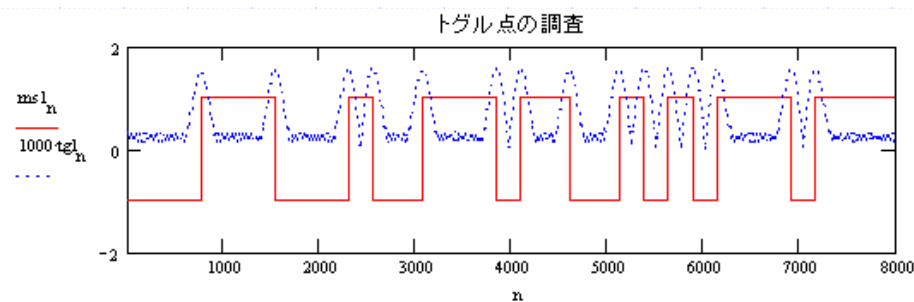


# 微弱電波による長距離無線通信

高速同期スペクトラム拡散通信の防災現場への適用

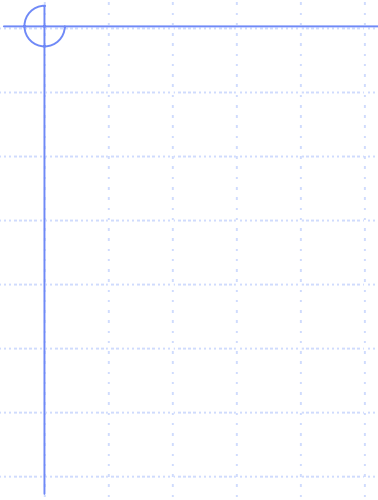


地温調査研究会 



地温調査研究会 第71回例会  
2008/10/11 大津商工会議所

株式会社数理設計研究所 矢澤正人



# 数理設計研究所の趣旨



できそうでできることと超常現象はその道の専門家に任せ  
できそうでできないことやわからないことの研究をしています  
最近はやりにくいものの測定に情熱を燃やしています

## 電子技術を防災に役立てよう

携帯電話やパソコンなど、昨今の電子技術の発展は凄まじいものがあります。  
しかし、その技術が防災の現場で活用される場面は、あまりにも少ない。

私たちは電子技術を得意とし、現場へ足を運ぶことを好みます。  
自然災害は絶対になくならないし、有用な技術は必ず世の役に立つはずで  
趣味と実益と社会貢献を兼ねられるか？ 為せば成る！

困難ばかりですが、なかなか魅力的な仕事だと思ってやっています。

数理設計のマスコットキャラクター？ → (C)MAD



# 紹介する新技術の概要

- ◆ 「スペクトラム拡散方式の通信装置、及び、その高速同期法」を応用した、無線通信技術
- ◆ 超低電力で長距離通信
  - ・500m~2km@ 50nW(免許不要、キーレス相当の送信電力)
  - ・200km over@0.4mW(免許要、特小無線の1/25の送信電力)
- ◆ 周波数帯を自由に選べる
  - ・VHF帯(30~300MHz)は植生や地形の影響を受け難い
  - ・特定小電力無線や携帯電話、無線LANはUHF帯(300MHz~)以上
- ◆ 高速同期
  - ・2秒後に最初の電文を復調完了
- ◆ 超低速
  - ・10bit/sec ... 1秒間に1文字程度、電報の速度
- ◆ 高い秘匿性
  - ・拡散コードを知らなければ解読できない → 多重通信
- ◆ 受信・解読
  - ・無線受信後の解読演算はパソコンでおこなう
- ◆ 特許
  - ・日本、EU、米国、韓国、台湾で基本特許を取得



# 開発の発端

- ◆ 安価な水位検出型土石流センサを開発(2000)
- ◆ 開発は成功したが、源頭部から麓までの警報伝送ができなかった
- ◆ 伝送部が高価では安価なセンサの意味が無い
- ◆ 困難は、センサではなく情報伝送手段にあることに気付いた・・・。



長野県小谷村 蒲原沢 1999

# 従来の無線通信の問題点

- ◆ 消費電力
  - ・バッテリーでは長期動作不可能、太陽電池は森林や谷底では困難
  - ・電力線を敷設するならば、無線通信の意味は薄い
- ◆ コスト
  - ・携帯や衛星はランニングコストがかかり、広域災害時には不通
- ◆ 周波数
  - ・特定省電力無線や携帯電話で使われるUHF帯以上の電波は、周囲環境(地形、植生、天候、etc)の影響を受けやすい
- ◆ 到達距離
  - ・免許不要の微弱通信(<50nW)では10m程度が限界
  - ・特小無線はカタログ値最大1km程度だが実際には困難
  - ・携帯電話は山地では圏外なことが多い

青電舎 特定小電力デジタル無線機



# 開発目標

技術革新には、明確で具体的な目標が必須！

## 蒲原沢で警報伝送できる通信技術を作ろう

- ◆ 送信電力50nW以下
  - ・電波法の規制以下
- ◆ 到達距離500m以上
  - ・蒲原沢の上流部から国道まで警報を通報
- ◆ 乾電池で2年間以上稼動
  - ・1年間以上現場に入れない状況を想定
  - ・落石・積雪・谷底 太陽電池は使えない
- ◆ 伝達時間2秒以内
  - ・下流域で緊急避難するための限界時間
  - ・ダイヤルアップでは間に合わない
- ◆ 混信に強い
  - ・警報を確実に伝送



長野県小谷村 蒲原沢 2001

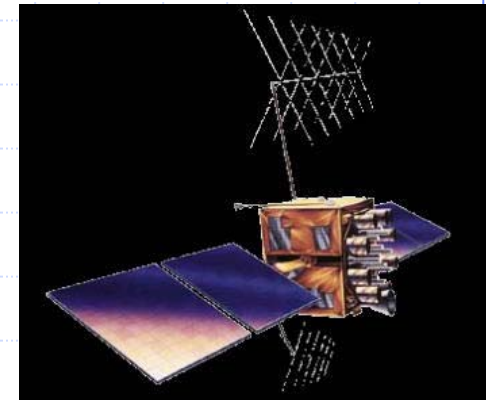
# スペクトラム拡散

## 概要

- ◆ 深宇宙探査、GPS、軍事技術からきた通信法
- ◆ GPS、携帯電話、無線LANなどで使われている
- ◆ 極めて混信に強い  
→ 通常の通信に比べ1000倍以上の耐雑音性能
- ◆ 復調(解読)が難しい  
→ 受信も1000倍難しい

## 原理

- ◆ 元信号を、規則に従ってこまぎれにして送信
- ◆ 受信した情報を、規則に従って回復
- ◆ こまぎれの情報を解読するには、送信側・受信側で時間軸上の位置と搬送波周波数が同期している必要がある



GPS衛星

# スペクトラム拡散通信の問題点

周波数が判らなければ同期できず、同期しなくては周波数が判らない。

- ◆ 受信側は、こまぎれになった情報を伝送遅延時間だけずらして搬送波を解読する。
- ◆ しかし、送信側と受信側を同期させ、さらに伝送遅延時間を調査しなければ、解読はできない(スライド法)。
- ◆ スライド法では検出までにおよそM系列の周期時間×M系列チップ数の時間がかかる。
- ◆ 周期1秒、1023チップだと1023秒かかり、受信を始めてから17分待たなければデータ受信が始まらない可能性がある。  
これでは17分間送信していなければ受信できないので、低電力の目標が達成できないし実用にならない。
- ◆ 位相変調が基本になっている伝送では1拡散周期で搬送波信号の位相量が搬送波の0.5周期以内で判明していなくては搬送波のレベル検出自体が成功しない。  
つまり、同期するためには、搬送波の周波数を厳密に知らなくてはならない
- ◆ 周波数が判らなければ同期できず、同期しなくては周波数が判らない。
- ◆ 一般のSS波では拡散信号のずれ時間だけ→1次元のマッチングですんでいたのだが、搬送波周波数の厳密性が確保されない装置では同期確立のために(拡散信号のずれ+周波数のずれ)→2次元の同期が必要となる。
- ◆ この困難が、開始当初の課題だった。

# 課題の明確化

低速通信は低電力。しかし、同期に時間がかかる。

- ◆ 通信速度と送信電力はトレードの関係にある。  
低電力とするために低速にすると、高速通信では問題にならなかった同期時間の長さが問題となった。
- ◆ たとえば11Mbpsの無線LANで11チップのスペクトラム拡散符号を使えば、たかだか11回のトライで同期が成立する。  
1チップ0.1 $\mu$ secとして11チップ=1.1 $\mu$ sec、これをずらせながら11回試行(12 $\mu$ sec)で通信が確立する。
- ◆ ひきかえ、毎秒1ビットの低速通信で8191チップ長の拡散符号を使えば8191倍の電力利得が得られる。
- ◆ しかし、同期捕捉のためにチップ速度を毎秒8191チップとしても、最長で8191秒(2時間半)を要する。
- ◆ 拡散符号長が長いと処理利得が稼げるが搬送波の周波数偏差の影響が大きくなる。  
拡散符号長の長さの範囲で位相が0.5以内でなければならない。
- ◆ S/N比が極度に悪い状態でPSK信号を復調するには、搬送波に同期した参照信号が必要となる。
- ◆ しかし、参照信号を確立するには拡散符号が同期している必要がある。
- ◆ 例えばGPSでは同期探索の困難を避けるために、高精度な原子時計を搭載し厳密な周波数管理をおこなっている。

# 課題解決の概要

拡散方法の工夫 + 強力な解読演算によって、高速同期を実現した。

## ◆ 処理手順

一挙に逆拡散することはできないので順に処理する

1. BPSKの遷移点(以下トグル点と言う)を検出してトグル点の時系列に直す
2. 拡散コード1周期分のトグル点をあらかじめ作っておき、それと相互相関させて拡散コードのズレ量を推定する
3. 拡散コードのズレ量で逆拡散して搬送波を再生する
4. 搬送波らしきものをFFTして周波数を推定
5. 有効なスペクトルなら確実に受信できたことがわかる

## ◆ 勘所は2箇所

1. トグル点の検出は2チップ分の変調波でよい
2. 2秒で同期が確立する(拡散コード長1秒の場合)

## ◆ 許容誤差

- ・毎秒1拡散周期、1024チップ、50MHzならば2チップは約2msec。この間に0.5周期のズレを許容するとすれば、 $0.5\text{周期}/2\text{msec}=250\text{Hz}$ のずれが許容できる。
- ・1Hzの誤差しか許容できない従来法と比較し、大幅な改善になる。
- ・ $\pm 5\text{ppm}$ まで許容できれば、短時間の温度変化にも耐えられる。

## ◆ 解読演算

- ・パソコンでおこなう。近年のパソコンなら低スペックでも即時解読できる。

# アプリケーション

## 防災計測

- ◆ ワイヤセンサ
- ◆ 水位計
- ◆ 伸縮計
- ◆ 傾斜計

## 動物テレメトリ

- ◆ 鳥類
- ◆ クマ・シカ・サル
- ◆ 鯨類

## 環境計測

- ◆ 気象観測
- ◆ ガイガーカウンタ
- ◆ 水質測定
- ◆ 地震計・振動計

## 地温計測

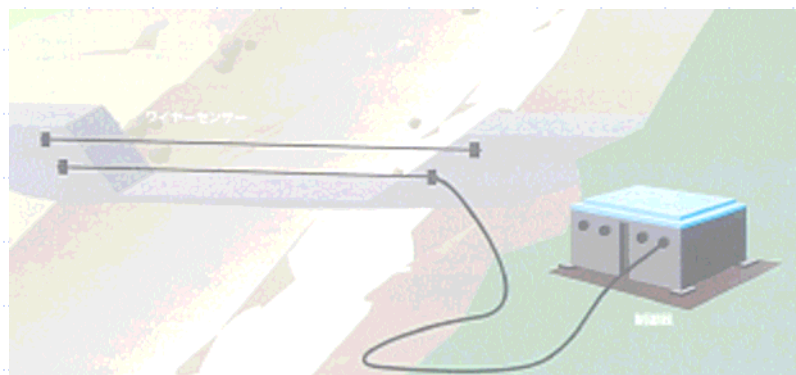
- ◆ 1m深地温計
- ◆ 流向流速計
- ◆ 多点温度計

ほとんどのものは未実施です。簡単にできるものも、困難なものもあります。  
普通のRFIDにも使えますが、防災と環境以外の分野は他社に任せる方針です。

# ワイヤセンサ

- ◆ 接点出力を持つ土石流検出用ワイヤセンサ
- ◆ 土石流や土砂崩壊の危険箇所に設置
- ◆ 現場から、下流の道路や家屋へ警報
- ◆ 即時警報、及び平時の動作確認ビーコン

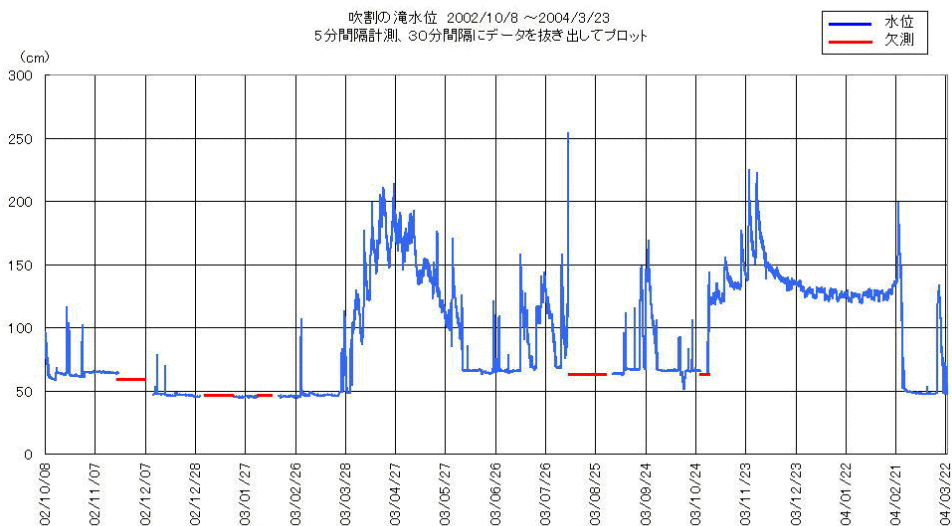
栃木県足尾町 松木川大ナギ沢 1999



(株)拓和 TOV-SS

# 水位計

- ◆ 水圧型センサが低電力で使いやすい
- ◆ ダムアップ検出
- ◆ 水面振動測定による異常検出
- ◆ 現場から、下流の道路や家屋へ警報



群馬県沼田市吹割の滝 2002 - 2007

- ・ 砂防学会2004, 2005で発表
- ・ データロガーで記録 (現在は休止中)
- ・ 微弱無線にシステム変更し再開予定



# 伸縮計

- ◆ 抵抗値出力型の伸縮計を使用
- ◆ LV-500を使用した場合…
  - ・測定範囲 0～500mm
  - ・分解能0.1mm

長野県小谷村 蒲原沢 2003



(株)測商技研 LV-500



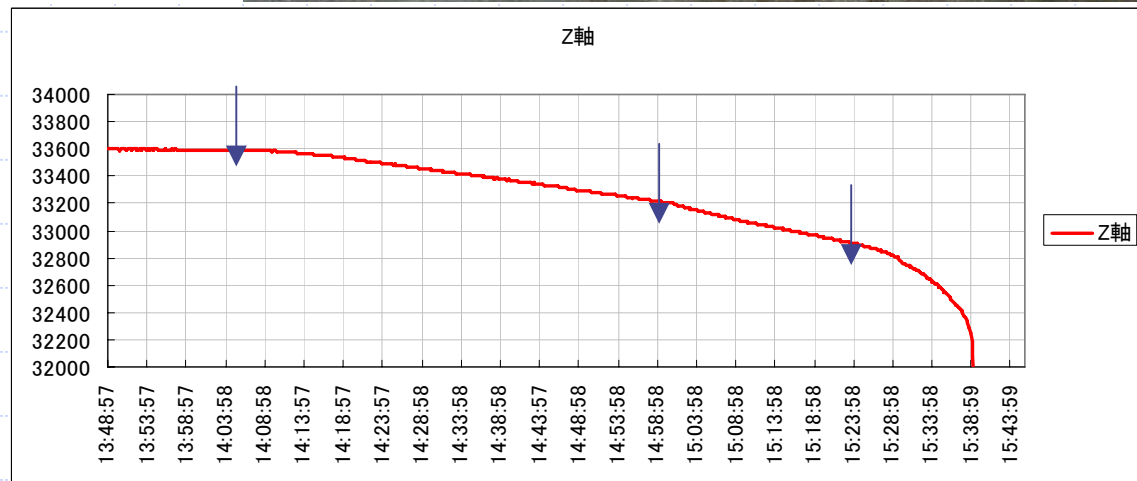
# 傾斜計

- ◆ MEMS型3軸加速度センサ
- ◆ 分解能0.01度
- ◆ 斜面移動検出
- ◆ 雪崩検知
- ◆ 構造物傾斜検知



防災科研 大型降雨実験施設 2008  
砂防学会2008で発表

- 50nW、150MHz帯
- 静岡県地すべり地へ設置予定
- 新潟県積雪地へ設置予定

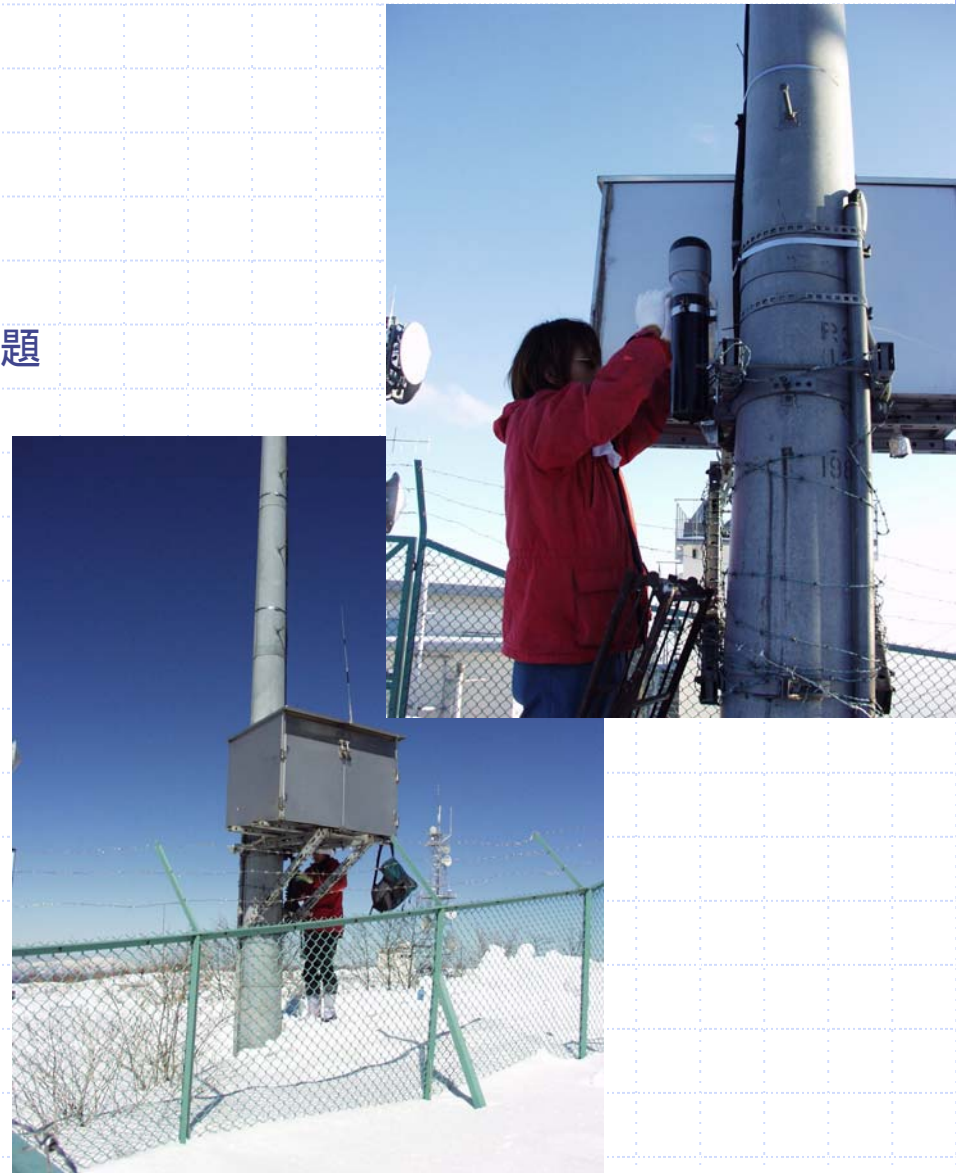


# 気象観測

- ◆ 気温・湿度・気圧  
…実現に困難は無い
- ◆ 雨量  
…転倒ます型が標準だが、落葉の問題  
凍結対策には電力が必要
- ◆ 風向・風速  
…風杯式は壊れやすい  
超音波式は電力の問題
- ◆ 日射・日照  
…センサの汚れが避け難い

赤城山地蔵岳山頂 気象観測ロボット

- 433MHzパケット通信で伝送（現在休止中）
- 微弱無線にシステム変更し再開予定



# ガイガーカウンタ

- ◆ 雲母窓型GM計数管
- ◆  $\alpha$ 線 4Mev以上
- ◆  $\gamma$ 線感度 1080cpm
- ◆ GM管が大電力のため長期電池運用に難あり
- ◆ 大型電池で常時観測予定

2008/8 富士山山頂ー茨城県ひたちなか市  
200km超の観測データ伝送(のシミュレーション)に成功  
送信電力0.4mW、145MHz帯

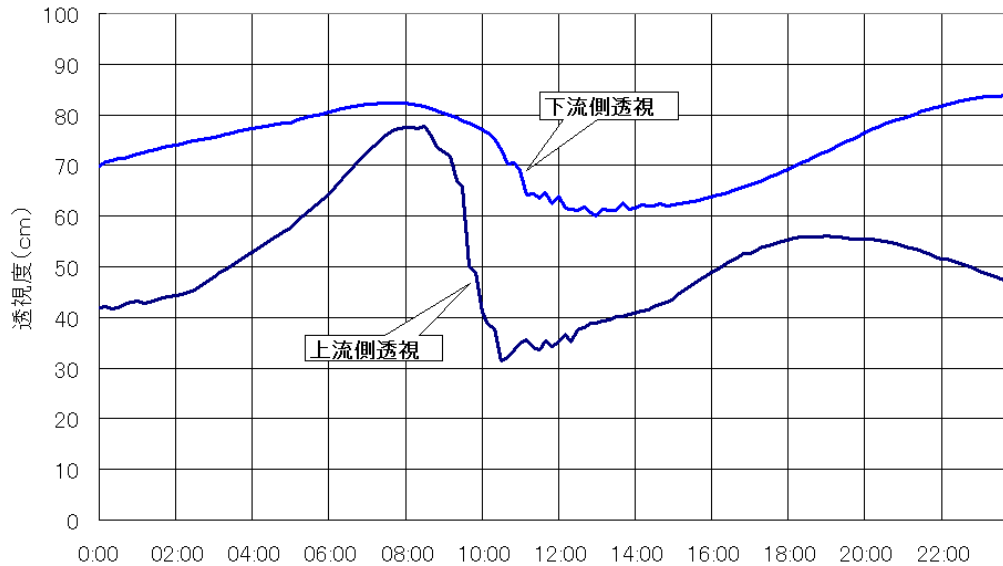
写真は合成写真です！



# 水質測定

- ◆ 非接触光学透視度計
- ◆ レーザの耐久性に難があったが、高輝度LEDによって解決
- ◆ 揚水ポンプとエアフロー必須、商用電源が必要

99年10月 中川実験水路 1ヶ月間の透視度平均化グラフ

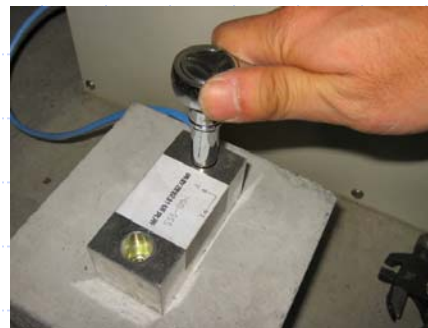


群馬県藤岡市中川 1999

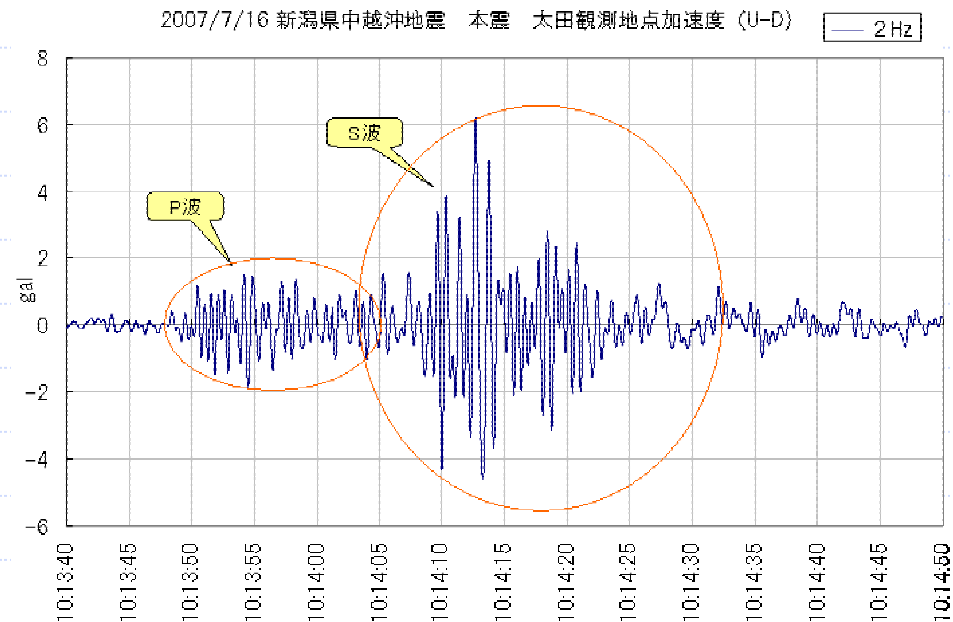


# 地震計・振動計

- ◆ MEMS型3軸センサ(低電力、1gal分解能)
- ◆ GMR型3軸センサ(大電力、0.01gal分解能)
- ◆ 低速伝送のため、波形伝送は困難
- ◆ 情報の抽出処理が必要 → 震度などで代表
- ◆ 用途
  - ・堤体や構造物、岩盤のヘルスマonitoring
  - ・出水検出
  - ・堤体漏水検出
  - ・残余耐震性能診断



GID-SSSパソコン接続地震計  
好評発売中！¥48,000  
(無線通信機能はついていません)



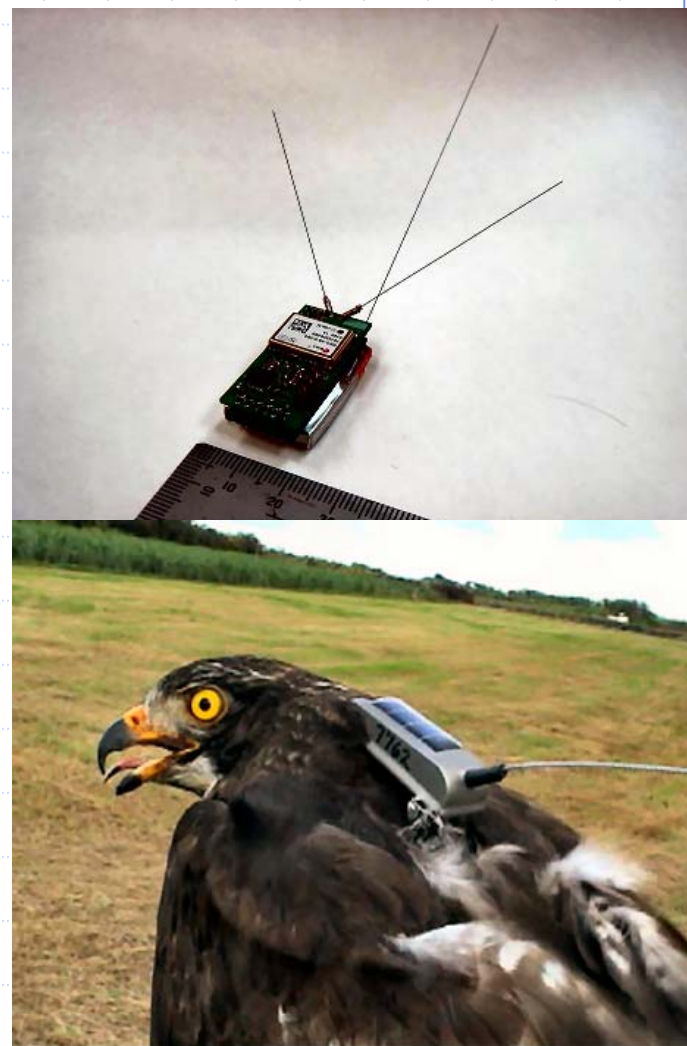
砂防学会2006、2007、地下水学会2008で発表

# 動物テレメトリ(鳥類・陸上動物)

- ◆ 機能
  - ・制御局からの問い合わせにより起動
  - ・GPSで鳥の現在位置を測位(緯度・経度・高度)
  - ・測位データをリアルタイム無線送信
- ◆ 特徴
  - ・到達距離 70km(制御局高度10m、鳥高度10m時)
  - ・形状 37 × 22 × 12mm
  - ・重量 20g
  - ・寿命 測位500回(概算値)
  - ・運用 自然環境保護無線協会が免許取得  
アマチュア無線周波数を使用
- ◆ 提供時期
  - ・2009 会員向け限定リリース
  - ・2010 一般向けリリース

2008年鳥学会に試作品を発表展示

自然環境保護無線協会のマスコットキャラクター →



# 鯨類・魚類テレメトリ

- ◆ GPSアルゴスの置き換え・代替
  - ・緯度・経度
  - ・深度
  - ・海水温
  - ・照度
- ◆ GPS座標を基にテレメトリ装置回収し、ロギングした高密度データの取得もできる

鯨類用のGPSアルゴス (PAT)



遠洋水産研究所 海洋資源調査 2005  
イルカを追って日本海溝上を3週間の船旅。  
写真（撮影 野路滋）は、シャチがウミガメを捕食するところ。  
残念ながら、この決定的シーンを私は目撃できなかった・・・。

独立行政法人水産総合研究センター研究開発情報

**遠洋** 2006 No. 1 ISSN 1880-8103 **1**号  
リサーチ & トピックス  
ENYO Research & Topics



写真解説：アカウミガメを攻撃するシャチ（撮影：野路滋）

編集 遠洋水産研究所



独立行政法人  
水産総合研究センター

# さらなる発展・応用

- ◆ 改良案
  - ・さらに高速同期
  - ・高速通信
  - ・受信システムの専用IC化
- ◆ 実は、無線以外にも適用できる。
  - ・光通信
  - ・音波通信
  - ・電力線通信
  - ・搬送波を変調する形式であればなんでも良い。
- ◆ しかし、
  - ・ある程度の実用的な性能は既に実現できている
  - ・発展・改良よりも、現状の通信性能による実用化を優先したい



thank you!

ご静聴ありがとうございました。