



第9回 東北大学災害制御研究センター公開講座

2010年11月27日

## 構造ヘルスマモニタリングと早期地震警報の 融合システムの開発



東北大学大学院工学研究科

災害制御研究センター

源 栄 正 人

## 最近の活動から～海外での招待講演と 小学校での地震防災授業



■ USCでの招待講演(2009/12)  
[http://http://www.univsource.com/edu-channels/show-video/Seminar-Astani-Department-Dr-Masato-Motosaka\\_xV6ixplQbLI&feature=youtube\\_gdata.html](http://http://www.univsource.com/edu-channels/show-video/Seminar-Astani-Department-Dr-Masato-Motosaka_xV6ixplQbLI&feature=youtube_gdata.html)

■ 米国地球惑星合同学会招待講演(2009/12)  
■ トルコ地震10周年記念シンポ招待講演(2009/10)

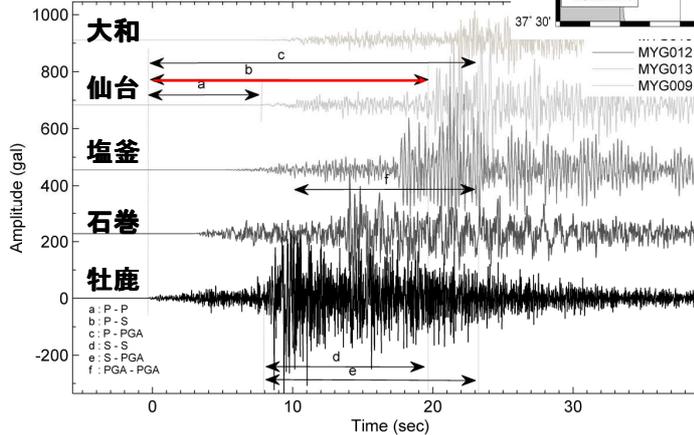
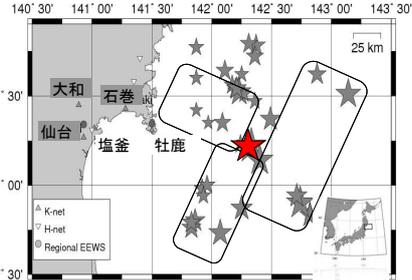


河北新報2009年11月1日

■ H21/H22で5つの小学校

## 2005年8月16日宮城県 沖地震における地震観測 記録

太平洋岸の牡鹿でP波を捉えてから仙台  
にS波が到来するまでに20秒



## 講演内容

- 「新結合の遂行」としての融合技術
- 早期地震警報システムの現状と課題
  - \* 緊急2008年岩手・宮城内陸地震と緊急地震速報
  - \* 緊急地震速報の利点・欠点と限界
- 構造物ヘルスマモニタリングと早期地震警報システムの融合技術の開発
  - \* システム構築の基本概念
  - \* EEW/SHMシステム連携網の構築
  - \* オンライン波形情報活用システムの開発
- リアルタイム地震動予測の高精度と構造物の振動制御
  - \* 前線波形情報の有効活用
- EEW/SHMシステムの地域における利活用

## 融合～科学技術と防災教育のために

■ 寺田寅彦(1878-1936)



自然の「不可思議」、  
「狂気」、「陰呑」

防災

科学と芸術の融合

■ レオナルド・ダ・ビンチ  
(1452-1519)



文理  
融合

師  
弟  
関  
係

■ 夏目漱石(1867-1916)



人間の「不可思議」  
「狂気」、「陰呑」

防犯

文学と心理学の融合

## 融合による防災技術の進化

早期地震警報  
(EEW)システム

通信技術  
地震観測技術

警報:心理学と  
の融合



融合

構造ヘルスマニタ  
リング(SHM)  
システム

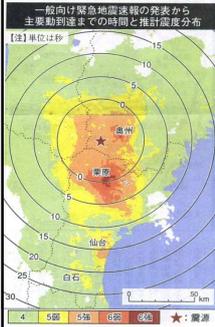


システム同定技術  
構造解析技術

融合:組み合わせにより相乗効果をもたらす。  
Sinergic Combunation

# 2008年岩手・宮城内陸地震と緊急地震速報～学校と工場で効果

河北新報  
2008年7月13日



### 緊急地震速報

## 学校、工場…「意義あった」

緊急地震速報の発表から、一般向け緊急地震速報の発表から主要動到達までの時間と推計震度分布

【注】単位は秒

避難、防災初めて効果

緊急地震速報の発表から、一般向け緊急地震速報の発表から主要動到達までの時間と推計震度分布

緊急地震速報の発表から、一般向け緊急地震速報の発表から主要動到達までの時間と推計震度分布

読売新聞 2008年6月21日 夕刊 1面  
読売新聞 2008年6月22日 宮城地方版

### 緊急地震速報 21秒前に受信

### 生徒100人無事避難

緊急地震速報の発表から、一般向け緊急地震速報の発表から主要動到達までの時間と推計震度分布

緊急地震速報の発表から、一般向け緊急地震速報の発表から主要動到達までの時間と推計震度分布

緊急地震速報の発表から、一般向け緊急地震速報の発表から主要動到達までの時間と推計震度分布

訓練をしていた。和田山秀博  
教務主任は「訓練のおかげで、  
生徒たちは慌てることもなく、  
机の下に隠れることができた。  
揺れが来る前にしっかりと  
心の準備もできた。緊急地  
震速報の自動放送システム  
の効果を実感した」と  
話す。

## 半導体工場における緊急地震速報の利活用

OKIセミコンダクタ宮城  
(旧宮城沖電気)  
迫り来る宮城県沖地震  
・人命保護  
・生産活動継続

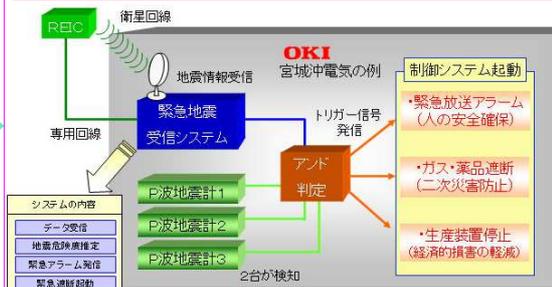
### 2003年の地震被害

- ・2003年三陸南地震
- ・2003年宮城北部地震

被害額: 約30億円

- ・物的被害発生
- ・操業完全復旧に1ヶ月

### 地震早期警報システム開発



### 特徴

- ・P波地震計で直下型地震に対応
- ・P波地震計でS波加速度予測
- ・受信、地震計、システム二重化による信頼性

平成20年岩手・宮城内陸地震では人的・物的被害無し！  
操業再開期間を最小に

## 緊急地震速報の特徴と限界

### 利点

#### <直接的>

大揺れが来る前に警報を鳴らし、到来時間(カウントダウン)、

予測震度を知らせることにより、適切な避難行動がとれる

#### <間接的>

防災対策のインセンティブとなる

### 限界

- 震源距離の短い、直下型地震では間に合わない
- 海洋型の地震でも沿岸部では余裕時間は短い
- 震源、マグニチュード、震度等の推定の精度が十分でない場合がある
- 雷や事故などのノイズによる誤報のおそれ

### 欠点

#### <直接的>

パニックを引き起こす可能性、凍りつき症候群

#### <間接的>

緊急地震速報の一般配信による市民の根拠の無い安心、防災対策の怠りなど

## 構造ヘルスマニタリング(SHM)と早期地震警報(EEW)の融合技術の開発

- 科研費基盤研究(B) 研究代表者源栄正人(H18-H19)
- 科研費基盤研究(B)研究代表者源栄正人(H20-H22)
  - \* システムの地域展開
- 関連事業
  - ・ひらめき☆ときめきサイエンス  
(日本学術振興会H20公募事業)
  - ・H20 地域イノベーション創出総合支援事業  
(科学技術振興機構)



## 構造モニタリングを兼ねた早期地震情報統合システムの開発(I)～基本概念

- 日常機能として建造物の耐震モニタリング機能
  - …微動観測～強震観測(動特性の振幅依存性の把握)
  - …ダイナミックレンジの広い高感度地震計120dB
  - …定時サンプリングとイベントサンプリング
- 前方の遠隔地におけるP波検知機能を有し、観測波形をオンラインで逐次センターに伝送
  - …可変サンプリング、可変パケット長
- 現地にも同様のシステムを設置し、直下型地震に対する適用性を高める

⇒ 次ページへ続く



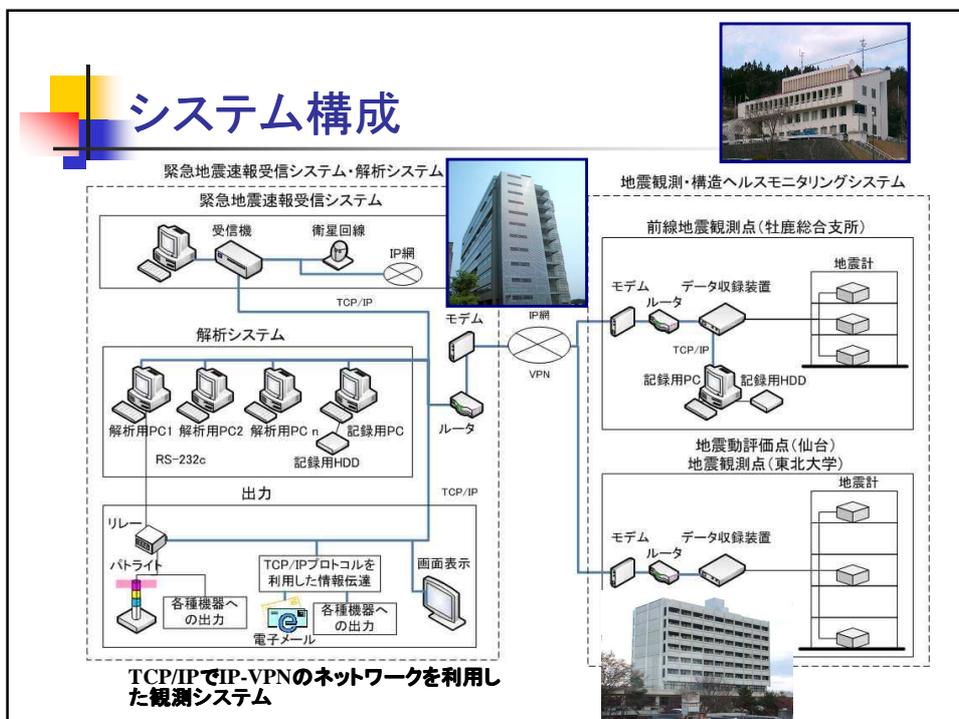
## 構造モニタリングを兼ねた早期地震情報統合システムの開発(II)～基本概念

- 前方観測点でのP波検知、緊急地震速報、現地のP波検知情報の作成・伝達
- 震度情報ばかりでなく、より高精度な地震情報としてPGA、PGV、スペクトル、波形
  - …地盤や建物の峽帯域フィルターを用いた情報の加工
  - …アクティブ、セミ・アクティブ制震のフィードフォワード制御への活用
- S波到来までの情報ばかりでなく、揺れの時系列に沿った情報や終息情報の作成も可能とする。
- 終息後に直ちに建造物の応答解析システムに連動

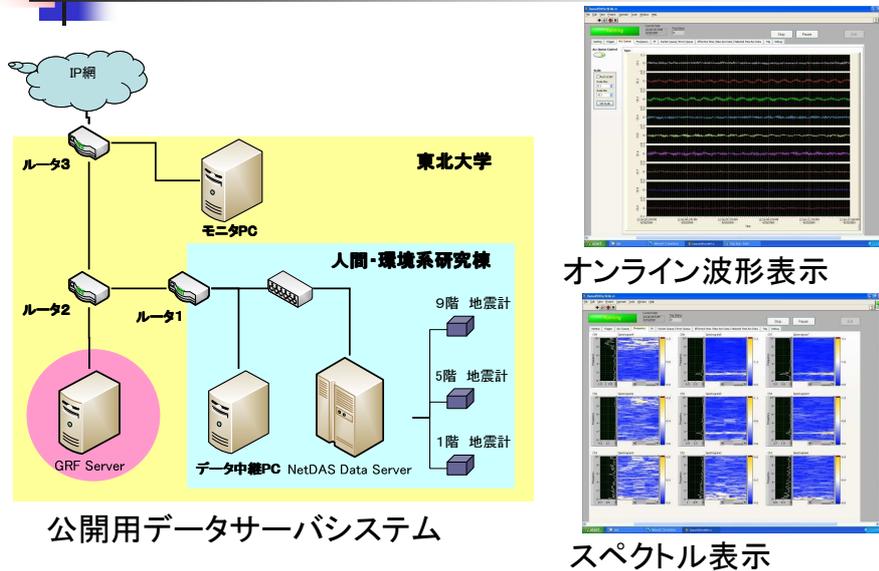
- 牡鹿総合支所 (K-NET地点)
- 雄勝総合支所 (震度情報ネットワーク)
- 石巻市立釜小学校

- サーバ 東北大学・工学研究科総合研究棟

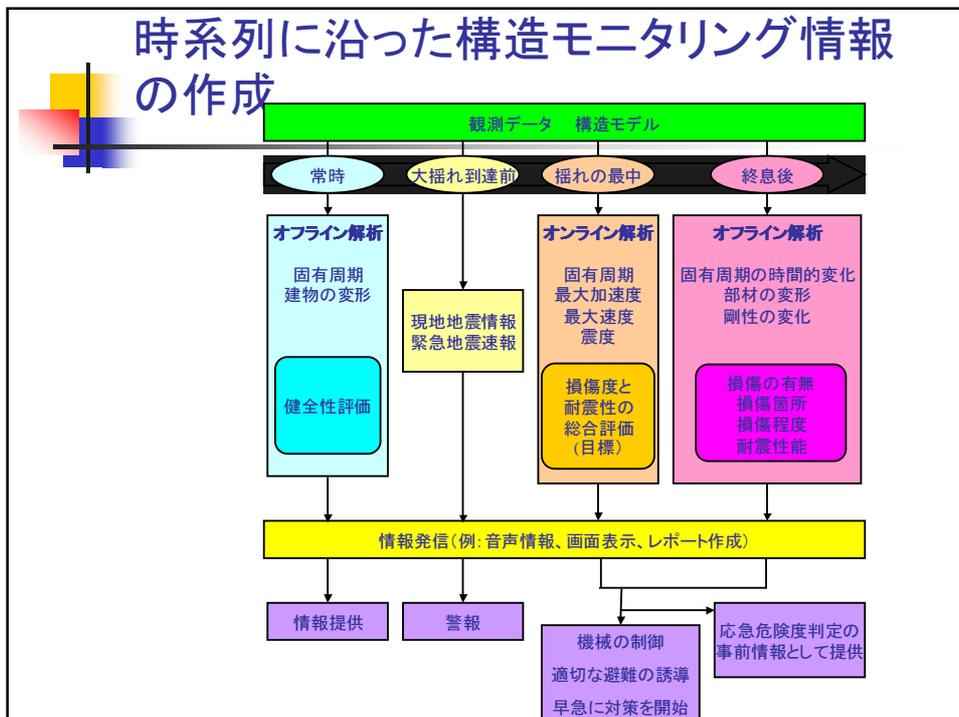
- 七ヶ浜町役場 (震度情報ネットワーク)
- 東北大学・工学研究科 人間・環境系研究棟



## リアルタイム波形情報活用のための 体験ソフトの公開～汎用LabVIEWソフトで作成



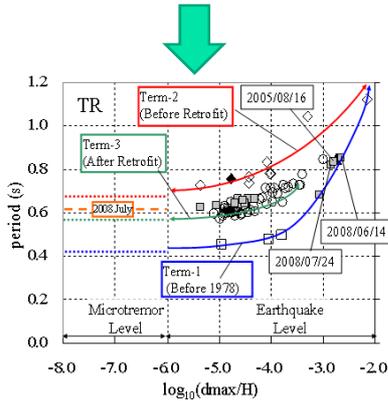
## 時系列に沿った構造モニタリング情報の 作成



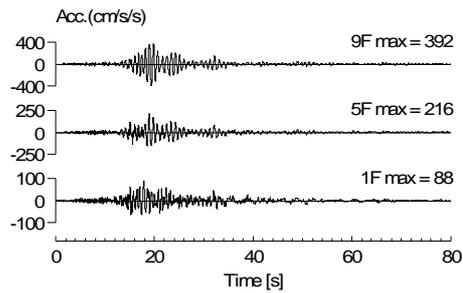
## リアルタイム地震情報利活用モデルの検討

東北大学人間・環境系棟での構造ヘルスマニタリング

建設以来、約40年間にわたる地震観測による構造ヘルスマニタリング



### 2008年岩手・宮城内陸地震



## 前線波形情報のフォワード利用

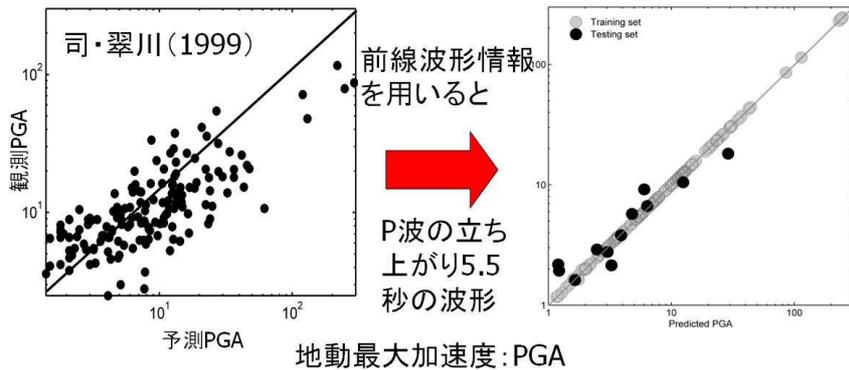
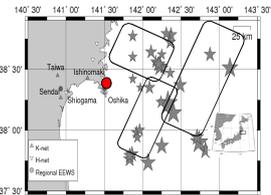


現在の緊急地震速報は震源情報の推定を基本としたバックワード予測であり、今後も機械制御を行うことのできる高精度の予測は期待できない。

フォワード予測の実現に期待

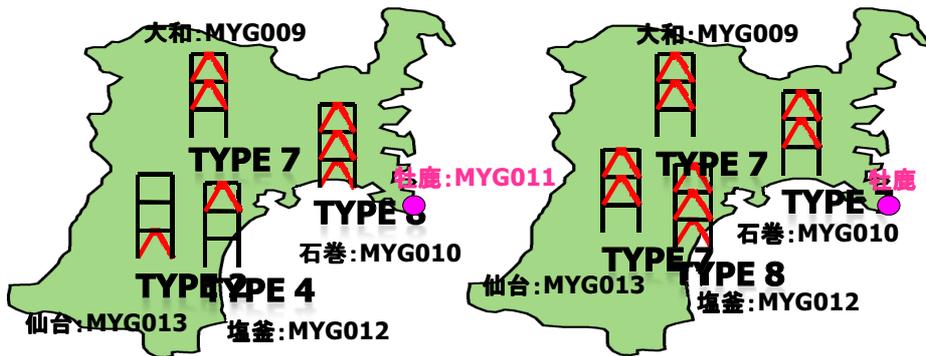
## 前線波形情報を用いた地震動予測システムの实用化～これまでの実績

ANNを用いた高精度リアルタイム地震動予測(Kyuk&Motosaka,2009)



## フィードフォワード振動制御

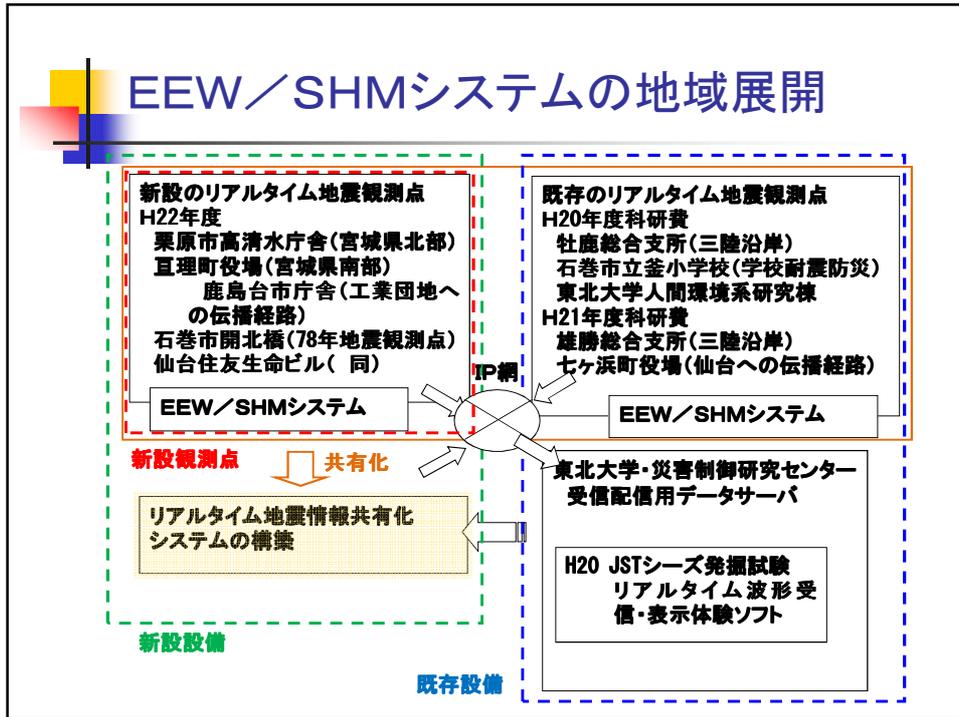
Kuyuk, 2008



2005 August 16  
7.2 M – 122 Epicenter 42 Depth

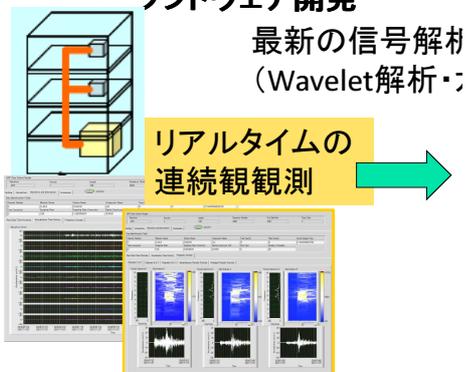
1997 December 07  
5.2 M – 43 Epicenter 83 Depth

## EEW/SHMシステムの地域展開



## リアルタイム地震情報の利活用モデルの検討

- ① 時系列 (常時、地震前、地震による振動中、地震後) の地震情報提供システムのためのソフトウェア開発
- ② 建物のリアルタイム損傷度評価システム開発のためのソフトウェア開発
- ③ 地震防災教育への活用



小学生～技術者教育まで

## 産官学連携によるEEW／SHMシステム利活用の推進

- 公共建築物に構造モニタリングによる耐震健全性の即時評価ができる
- 参画企業・大学の施設に同様のシステムを設置し、企業や大学の地震対策に活用で、事業継続計画(BCP)の一環として活用できる
- 企業の地域貢献(CSR)と大学の地域貢献(USR)として位置づけられる
- オンライン地震情報の共有化によりリアルタイム地震動予測や構造ヘルスマニタリングに関する学術的貢献
- 学校における防災教育の一環としてシステムを有効に活用することができる



地域防災力への貢献、企業誘致による地域経済の活性化

・国内他地域への展開  
・海外への展開の可

## おわりに

- EEWとSHMの融合
  - …イノベーション
  - …「新結合の遂行」(シュンペータ「経済発展の理論」)
- 「先んずれば地震を制す」
  - …事前対策の重要性の意味も
- 「大揺れの前に安全確保」
  - …報知系の対応  
日常から安全な場所と危険な場所の把握が  
防災対策のインセンティブに
  - …機械制御系の対応
- 「非常時のシステムは非常時だけにあらず」
  - …日常機能との融合により付加価値を高める