

平成20年3月18日
緊急地震速報検討委員会

短期的課題への取り組み について

- 緊急地震速報の精度向上等の取り組み(案)【p. 1】
- 平成20年度の取り組みについて【p. 3~5】
- 次期地震活動等総合監視システム(EPOS4)での取り組み【p. 7~11】
- ケーブル式海底地震計システムの活用のための検討【p. 13~15】
- 震度予測精度向上のための震度マグニチュードの気象庁観測網への適用の検討【p. 17~19】
- 緊急地震速報の雷による誤報防止対策について【p. 21~23】

気象庁地震火山部

緊急地震速報の精度向上等の取り組み(案)



平成20年度の取り組みについて

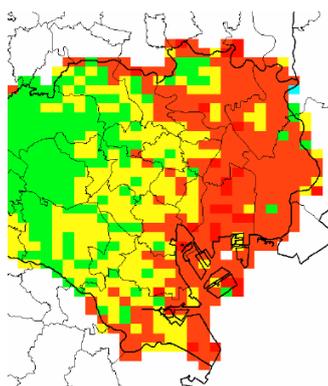
1

1. 観測点補正値を用いた震度の推定

震度の推定精度向上のため、緊急地震速報の震度推定で用いられている地盤増幅度(国土数値情報)にかわって、過去の地震の観測震度と予測震度の差の評価に基づく観測点補正値を用いた震度の推定手法を検討した。

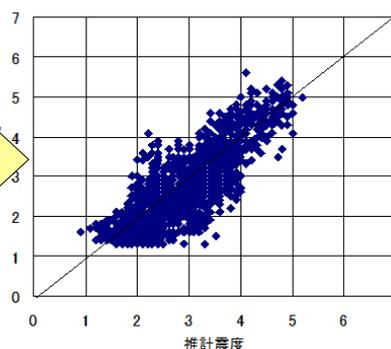
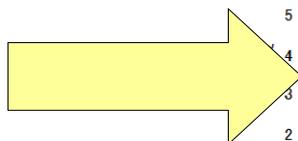
検討の結果、観測点補正値を用いることによって、従来手法よりも予測震度の差のRMSが0.1程度向上することが分かった。

この結果にもとづき、平成20年度に観測点補正値を緊急地震速報処理に導入する予定。



1kmメッシュの地盤増幅度

表層地盤のゆれやすさ全国マップ(内閣府)の資料より抜粋



観測点単位で観測値と予測値の差にもとづく観測点補正値を算出

2

観測点補正値の検討

(データ)

1996年5月～2007年7月の期間に発生したM4.0以上、深さ60km以浅の地震のうち、気象庁、地方公共団体、防災科学技術研究所（K-NET）の震度計で観測された計測震度。解析に用いた観測点の距離制限として、距離減衰式（司・翠川，1999）の導出時と同様の値を用いた。震源情報は一元化震源を用いた。

(補正値の求め方)

観測震度より求めた地表の最大速度（翠川・他，1999）の常用対数（ o ）から、最大速度の距離減衰式（司・翠川，1999）より求めた硬質地盤上の最大速度の常用対数（ c ）を引いた値（ $o-c$ ）の震源距離の逆数の2乗の重み付き平均値とした。

それぞれの最大速度と断層最短距離の算出、 M_j から M_w への変換は緊急地震速報と同様の方法（気象庁，2006）で行った。得られた観測点補正値を過去のデータに適用し、国土数値情報に基づく1kmメッシュの地盤速度増幅度を用いた現行の方法と震度の推定精度を比較した。

(結果)

小さな観測震度（1～2程度）の $o-c$ は、大きな観測震度（5弱程度以上）の $o-c$ よりも断層からの距離、震源の深さ、地震の規模によらず小さい傾向があった。このため、サンプル数の多い小さな震度を含むデータの $o-c$ から求めた観測点補正値を大きな震度にそのまま適用すると震度を過小に推定してしまう。

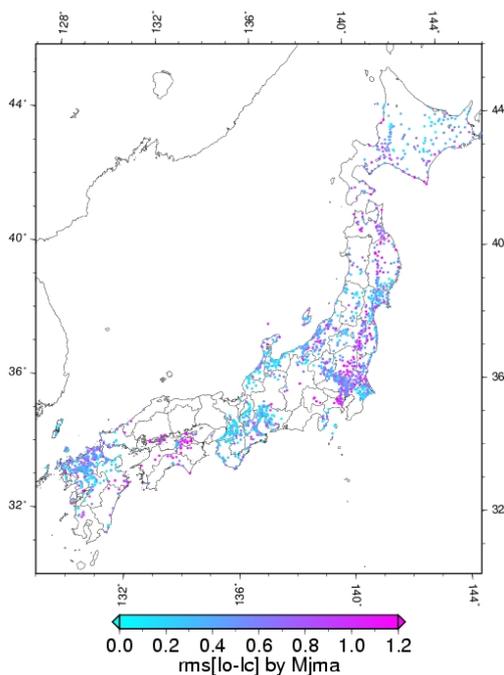
そこで、過去の観測震度3以下のデータについて距離減衰式の補正を加えた上で、観測点補正値を求めた。この観測点補正値を適用して、期間の重複しない過去の観測震度4以上の観測点の震度を推定した。

3

従来手法と観測点補正値による結果の比較の例

震度予測の検証の条件：期間2003～2007.7、 $M \geq 4.0$ 、震源の深さ ≤ 60 km、震央距離 ≤ 300 km、計測震度 ≥ 3.5

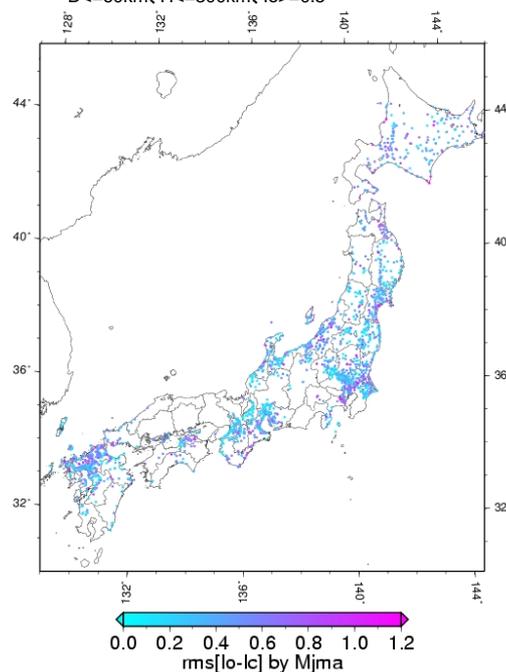
従来手法（地盤増幅度を使用）



全データのRMSは0.62

観測点補正値を適用

STC計算条件：期間1996.5～2002、 $M \geq 4.0$ 、 $D \leq 60$ km、 $H \leq 300$ km、 $l_0 \geq 0.5$



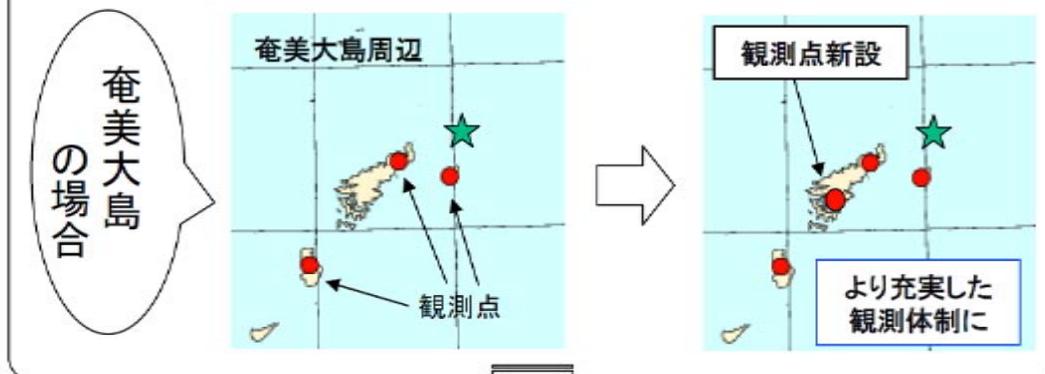
全データのRMSは0.50

4

2. 精度向上のための地震観測点の強化

伊豆諸島、南西諸島における観測点密度を上げるため、

・奄美大島及び八丈島に地震観測点を増設。



効果

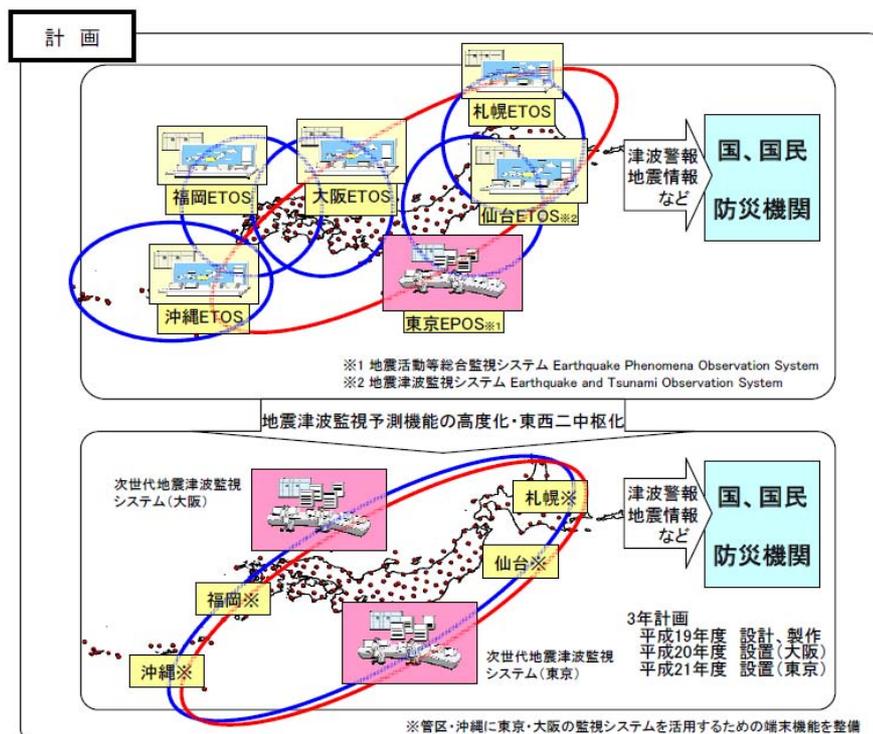
伊豆諸島、南西諸島地域に対して、
信頼性の高い緊急地震速報をより迅速に発表が実現

次期地震活動等総合監視システム(EPOS4)での取り組み

1

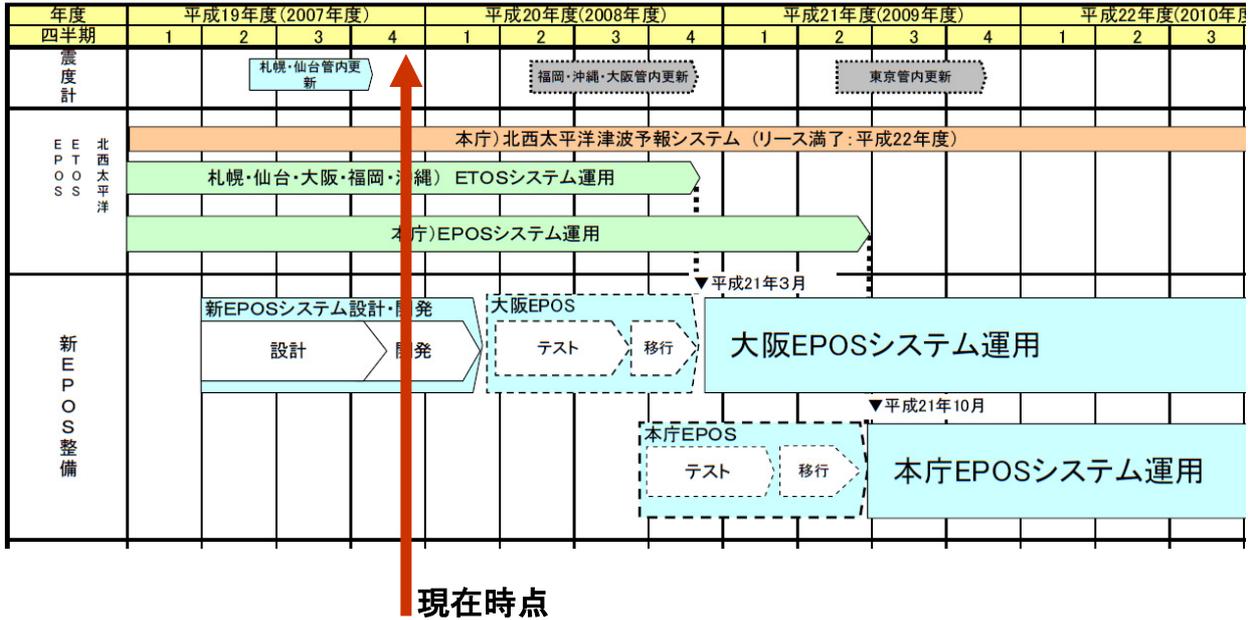
次期地震活動等総合監視システム(EPOS4)

データ処理・情報発表を中枢に集約して迅速な地震津波情報発表を行う
(緊急地震速報を含む)自動処理の一層の高度化



2

整備スケジュール



3

EPOS4で予定されている改善・追加機能

1. 緊急地震速報処理に活用する手法の統合
2. 新規観測網(ケーブル式海底地震計)の活用
3. 誤報防止への取り組み
(雷対策については別資料を参照)
4. XMLフォーマットへの対応

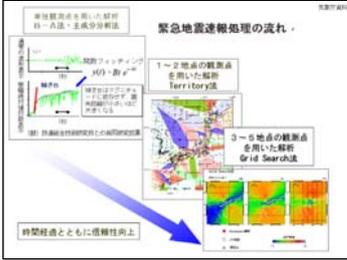
4

1.緊急地震速報処理に活用する手法の融合

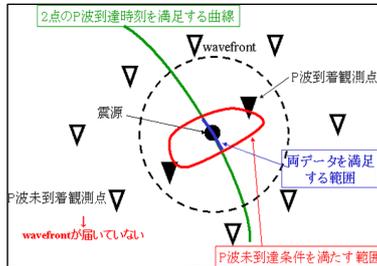
<現行システム>

全て異なる処理システムで実行して、得られた結果のみをマージしていた
 使用する手法によって使用できる観測網が決められている

B-△、テリトリー、グリッドサーチ
 (気象庁多機能型観測網)



着未着法 (防災科研Hi-net)



従来型の自動震源決定
 (気象庁多機能型観測網)

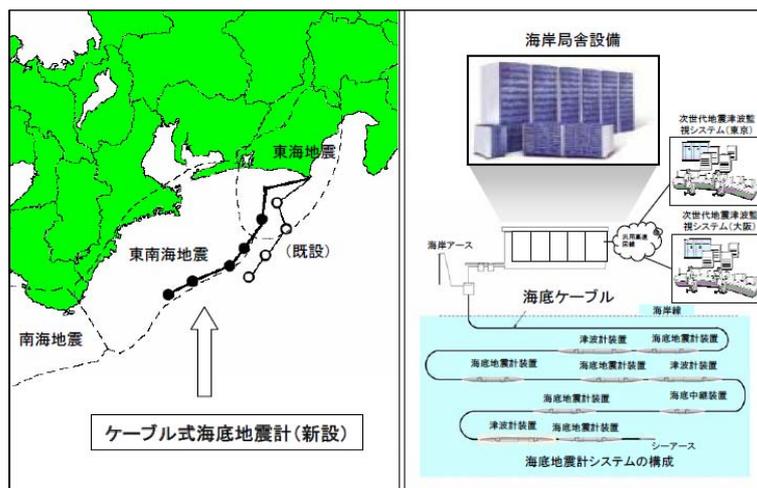


<次期システム>

- ・すべての手法に全国の観測網を使用可能
- ・Hi-net観測点にB-△法を適用
- ・1台のシステムで内部的にマージする処理へ変更
- ・より効率的な処理、迅速性・耐障害性の確保を実現

5

2.新規観測網(ケーブル式海底地震計)の活用



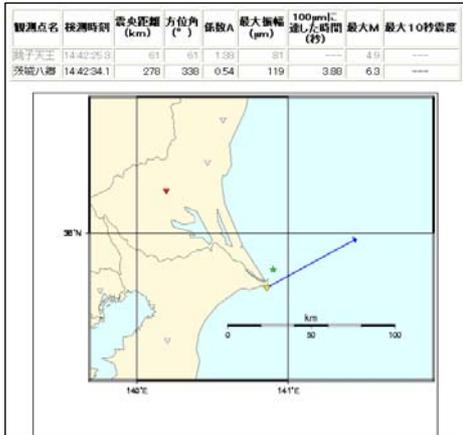
新設されるケーブル式海底地震計は、海岸局舎において多機能型地震計と同等の現地観測点処理(B-△法など)を実施し、緊急地震速報処理に活用できるようにする。

既設海底地震計の波形を用いて、検証を実施している。

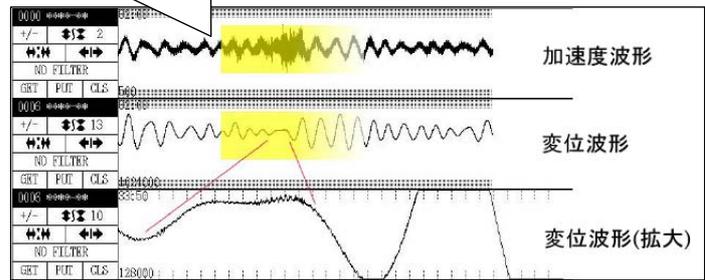
(実際の処理については別資料を参照)

6

3. 誤報防止への取り組み(振幅の品質管理)



1時間前に発生した千島東方沖の地震(M8.2)による周期の長い振幅を茨城県北部の地震による振幅と誤認



2007年1月13日14時42分の緊急地震速報でトリガ検知した観測点(M4.9と推定、実際はM3.2)

銚子天王台の上下動の加速度波形及び変位波形

多機能型地震計の現地観測点処理:

トリガ検知に伴う波形状態の品質管理が重点的に行われているが、振幅に関する品質管理が少ない(上図参照)。

上図のような振幅を回避するために、毎分のノイズレベル振幅を求めておき、地震発生時の振幅との比較を行うことで振幅の品質管理を行う。

7

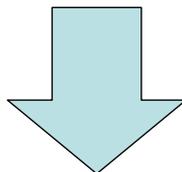
3. 誤報防止への取り組み(振幅の品質管理)

$$\text{ノイズレベル振幅} : \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |\sin(x)| dx = \frac{2}{\pi}$$

シグナルはノイズレベル×5倍以上とすると、シグナルの平均振幅はノイズレベル振幅×10/π以上であればよい。

【副次的効果】

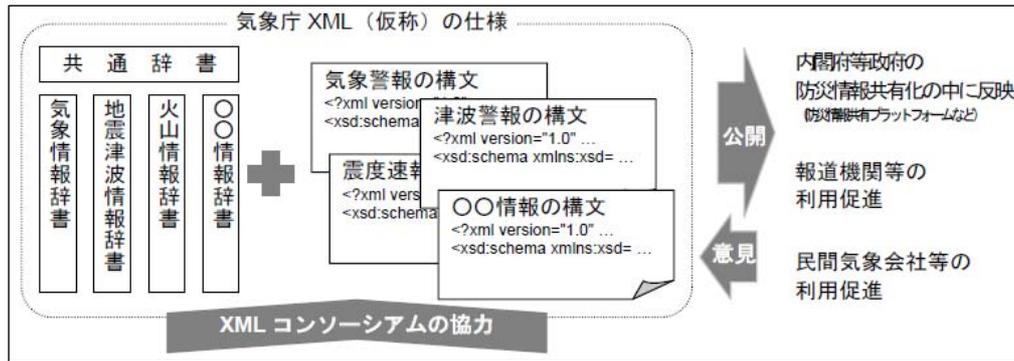
緊急地震速報で用いる振幅値は100 μm 以上としていたが、このノイズレベル振幅チェックを超えたものを使用することが出来れば、M計算に用いる変位振幅を100 μm より小さい段階から使用可能となる。



より小さな地震から、変位振幅マグニチュードが計算可能となる。

8

4. XMLフォーマット対応(案)



気象庁ではより一層の情報の有効活用を図るため、全庁的にXMLフォーマットを用いた提供を行うことを決定。

今年度:気象庁XML形式の仕様確定作業を実施中。

H21.10(東京EPOS4運用開始時):

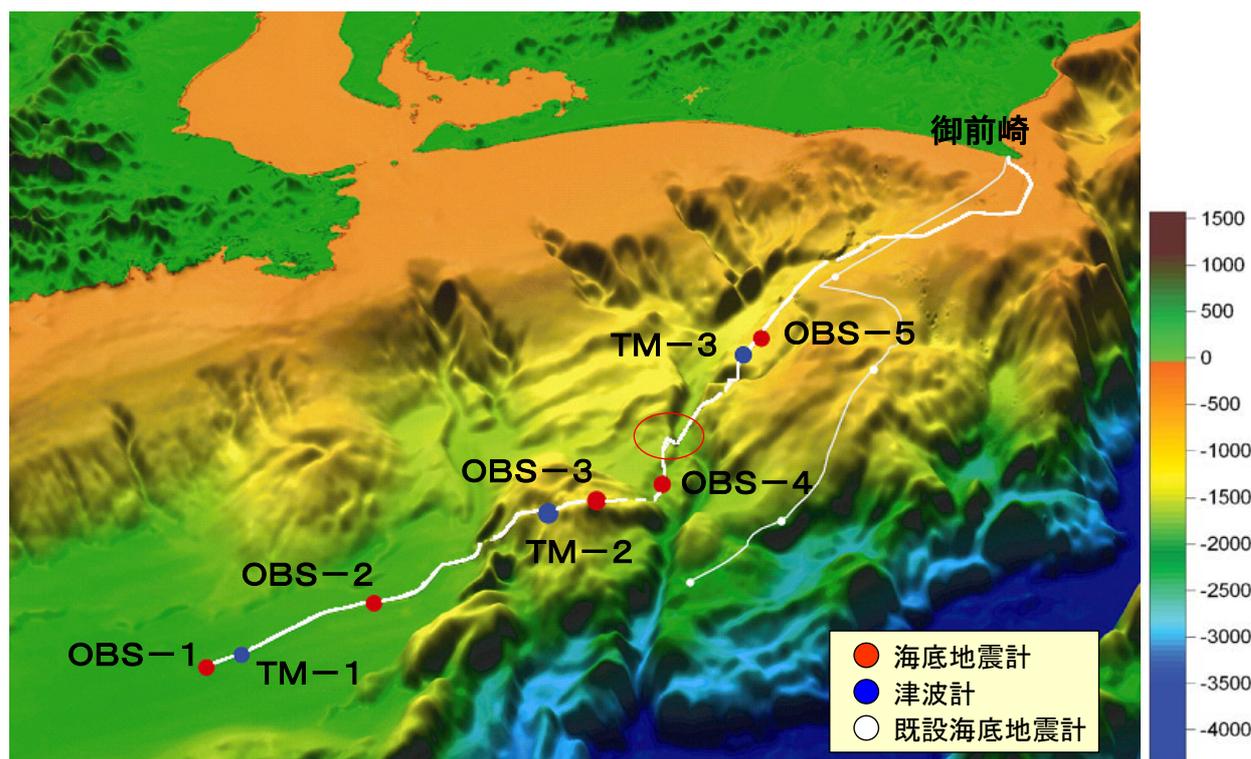
緊急地震速報、地震情報についてXML形式での配信を実施

ケーブル式海底地震計システムの 活用のための検討

- ・平成20年度設置予定の東南海沖・東海沖のケーブル式海底地震計は、緊急地震速報に活用の予定。これにより海域での緊急地震速報の精度向上と情報発表の迅速化を図る。
- ・海底地震計の緊急地震速報への活用のためには、陸上とは大きく異なる海底の設置環境において、観測点処理(B- Δ 法の処理)が適切に行えるかどうかの検討が必要。
- ・このため、現在、既に運用されているケーブル式海底地震計のうち、緊急地震速報で利用を想定する加速度計タイプの地震計である三陸沖および釧路沖のシステムのデータについてB- Δ 法の適用を行った。
- ・その結果、ばらつきはあるものの、概ね陸上と同じBと Δ の関係が保たれていることが確認できた。平成20年度の設置・運用開始後のデータを確認の上で、平成21年度を目処に新しい海底地震計を緊急地震速報に活用する予定。

1

新しい海底地震計(平成20年度敷設予定)



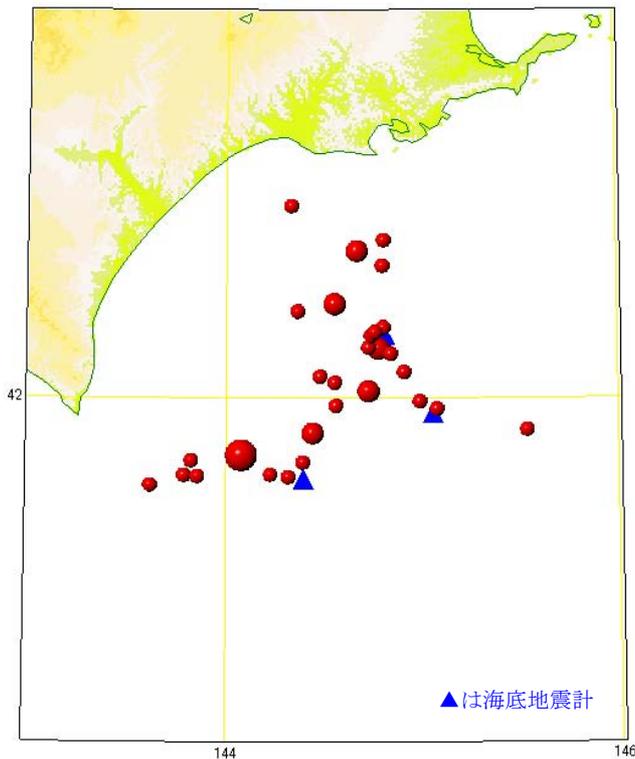
2

ケーブル式海底地震計の整備全体計画

	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
海洋調査	⇔				
海底機器 ケーブル製作 組み立て		地震計、津波計、中継装置 ⇔			
海洋敷設工事			⇔		⇔ ⇔
陸上局設備 陸上敷設工事			電源、テレメータ、送受信装置 ⇔		⇔

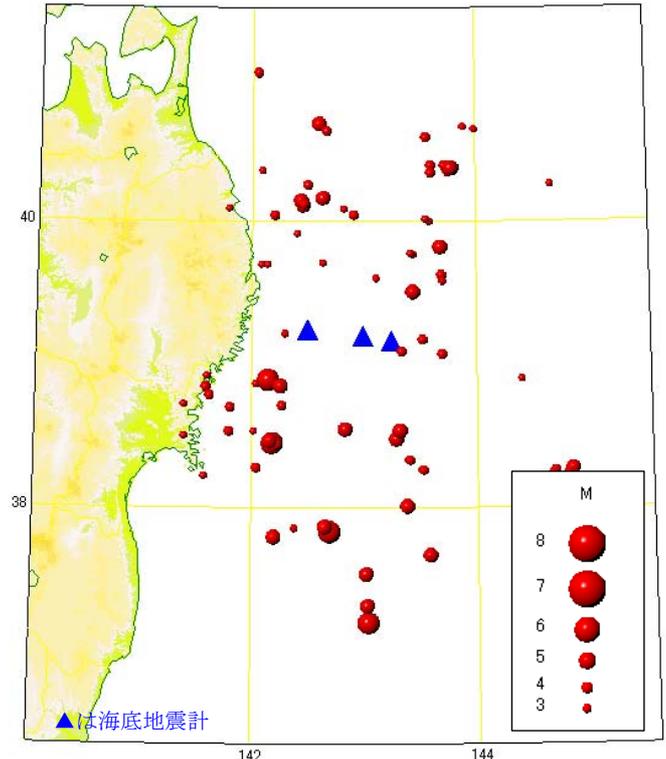
検証に使用したデータ

釧路沖



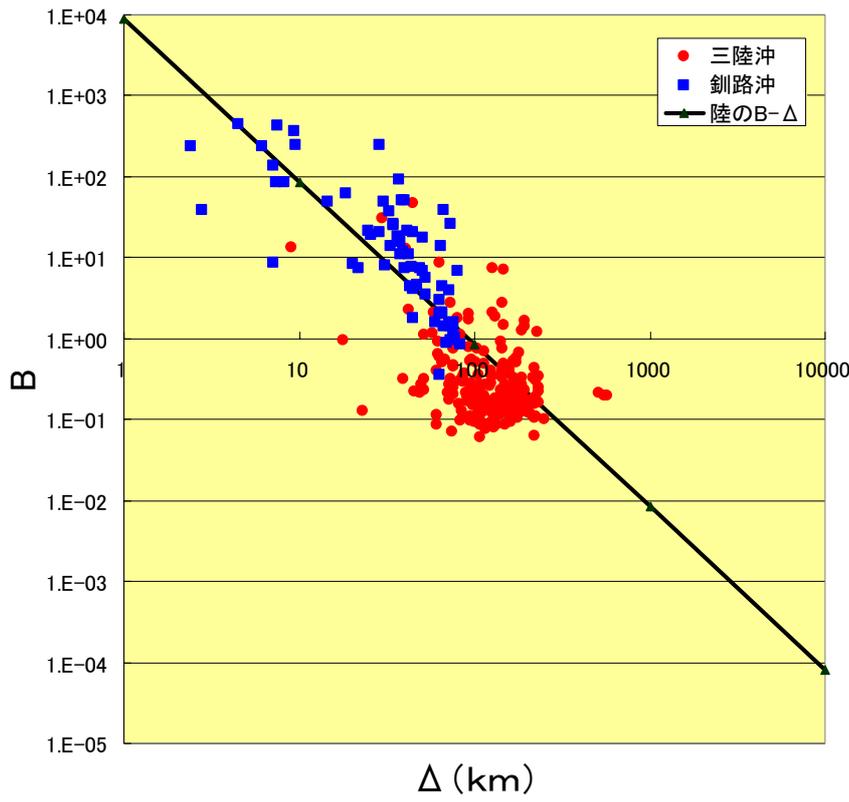
2003年釧路沖地震のM5以上の余震(30地震)
(2003年9月26日~10月18日)

三陸沖

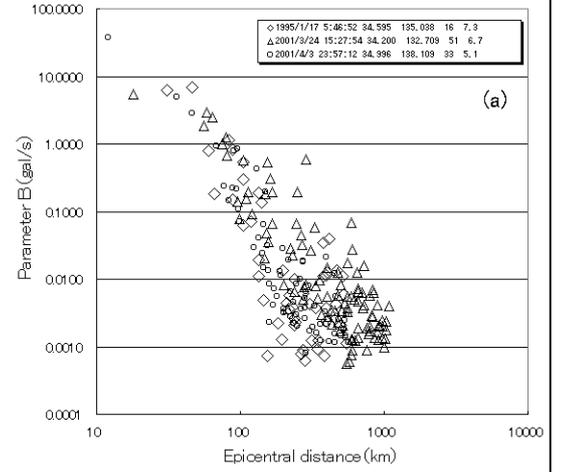


2002年~2006年に三陸沖の海底地震計周辺で発生した地震(85地震)

係数Bと震央距離の関係



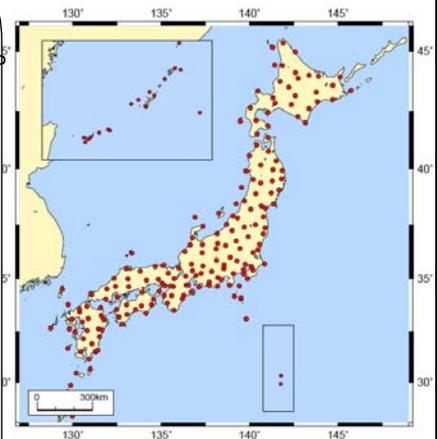
(参考)陸上観測点の例



震度予測精度向上のための震度マグニチュードの気象庁観測網への適用の検討

- ・震度マグニチュードについてはHi-netなどでの適用で震度の推定精度向上に有効であることが示されている。(山本ほか,2007)
- ・緊急地震速報への適用を考える場合、即時処理の観点から、振り切れの心配のない強震データとして現在唯一リアルタイムで利用可能な気象庁の多機能型地震計の観測網を使って震度マグニチュードを算出することが有効かどうかを検討した。
- ・その結果、気象庁の観測網のみで震度マグニチュードを算出した場合には、震度の推定精度の向上は見込めないことが分かった。震度マグニチュードを緊急地震速報処理に導入するには、より多くのリアルタイム処理できる観測点が必要と考えられる。

多機能型地震計観測網



1

震度マグニチュードと司・翠川式の震度推定精度との(観測値と計算値の残差のRMS)比較

○全てに共通の計算条件: $M \geq 4.0$ 、 $depth \leq 60km$ 、震源距離 $\leq 300km$

期間1996年5月～2007年7月K-NETの震度は防災科研による計算値。

(ただし、1996年5月～1996年12月はK-NETのみ)

○比較対象

- ①司・翠川(1999)の距離減衰式に1kmメッシュの地盤増幅度を適用した震度予測
(現在の緊急地震速報の方式)
- ②司・翠川(1999)の距離減衰式にもとづき、観測点補正値を計算し、それを適用した震度予測
観測点補正値の計算条件: 対象とする震度は計測震度2.5以上
- ③震度マグニチュードに基づいた震度予測 1
ただし、計測震度0.5以上のデータにもとづいて観測点補正値を計算した結果にもとづき、全震度観測点を使用して、震度マグニチュードを計算。
- ④震度マグニチュードに基づいた震度予測 2
ただし、計測震度0.5以上のデータにもとづいて観測点補正値を計算した結果にもとづき、多機能型地震計のみを使用して、震度マグニチュードを計算。

以上の条件で、観測震度3.5以上の地震、観測点について観測値と計算値の残差のRMSを比較した。

2

それぞれの震度予測手法によるRMSの比較

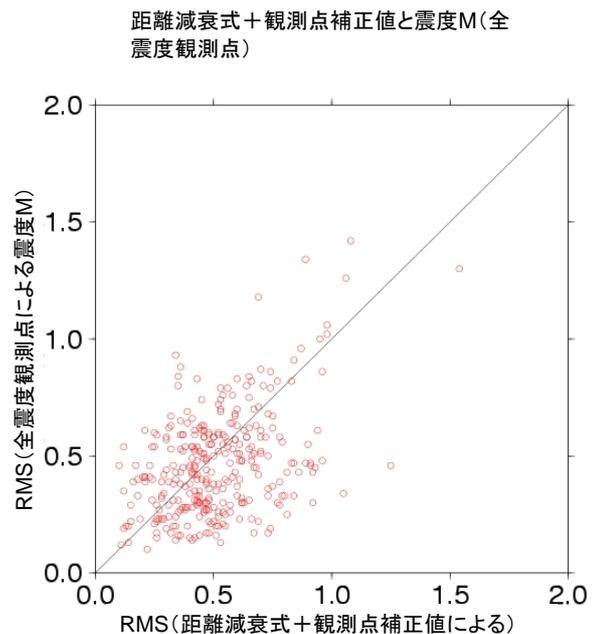
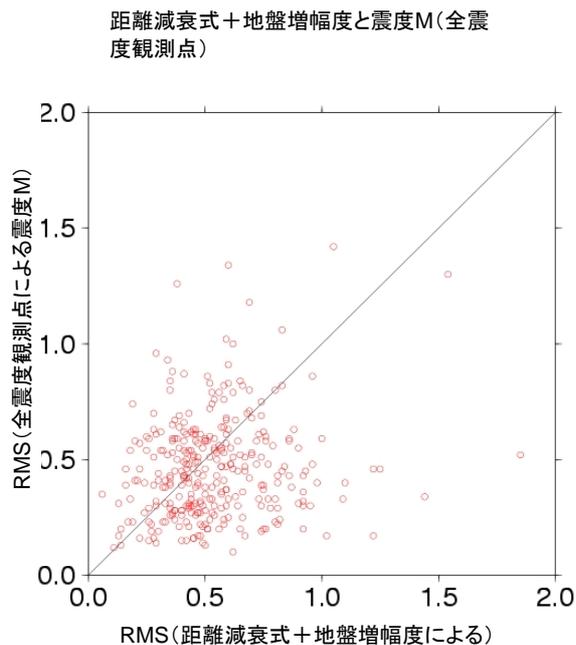
観測点補正値の算出期間とRMSの評価期間	対象地震数	①距離減衰式と地盤増幅度	②距離減衰式と観測点補正値	③震度M(全震度観測点)	④震度M(多機能型地震計)
1996年5月～2002年12月 2003年1月～2007年7月	130	0.57	0.55	0.5	0.72 (16)
1996年5月～2003年12月 2004年1月～2007年7月	101	0.56	0.55	0.48	0.67 (13)
1996年5月～2004年12月 2005年1月～2007年7月	55	0.6	0.57	0.46	0.61 (5)

※④の () 内は対象地震数。多機能型地震計のみを使用した場合、震度M算出に使用できる観測点数が③に比べると少ないため、地震数が少なくなる。

予測期間を変えた3通りの結果では、いずれも多機能型地震計のみで震度マグニチュードを決定する場合(④)は、従来手法(①)からの精度の改善は見られない。

3

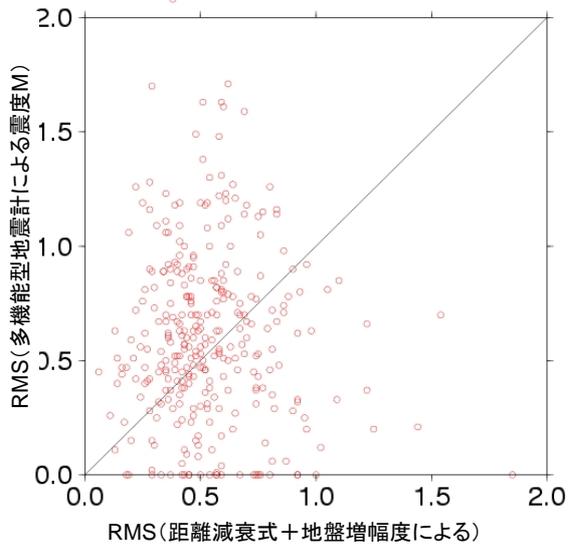
観測点毎のRMSの比較(1)



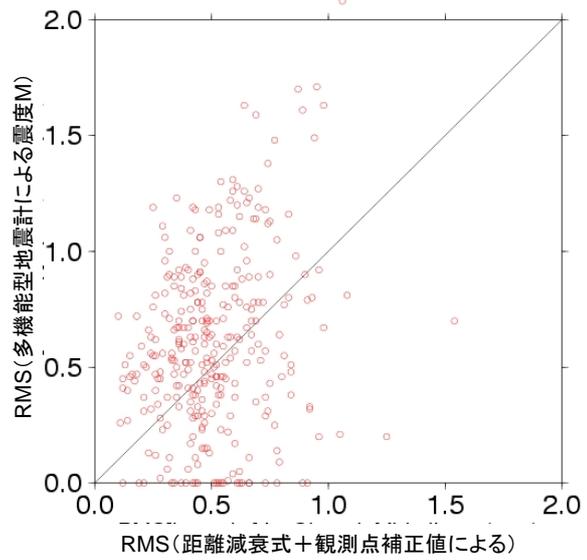
4

観測点毎のRMSの比較(2)

距離減衰式+地盤増幅度と震度M(多機能地震計)

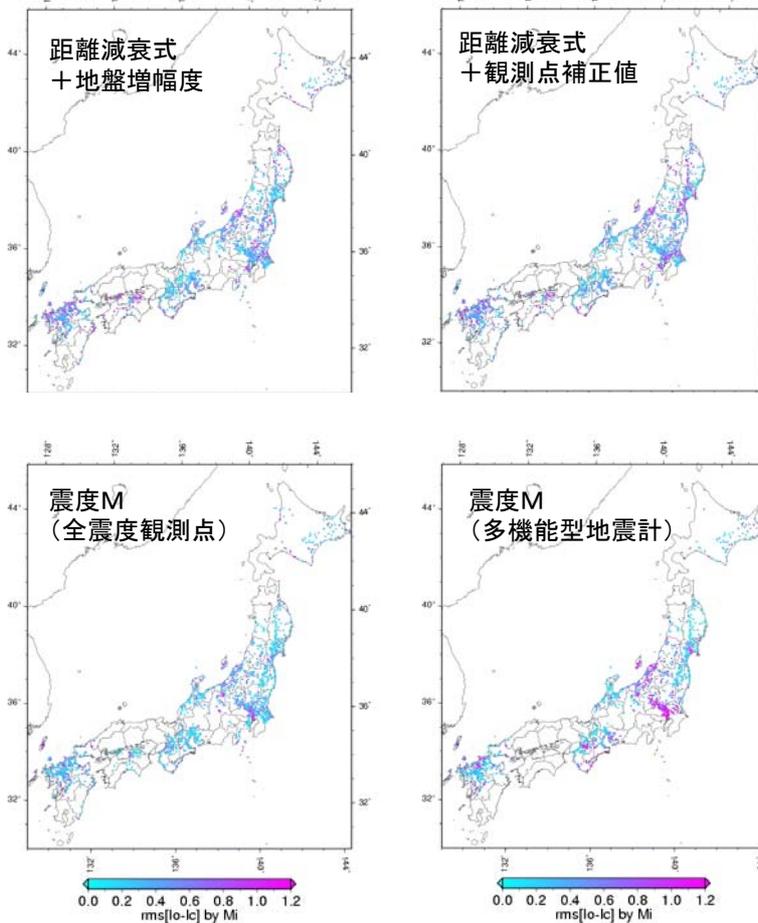


距離減衰式+観測点補正值と震度M(多機能地震計)



5

各手法による観測点毎のRMSの分布図



まとめ

- ・全震度観測点を使用すれば、既存の距離減衰式を使用した手法よりも、震度Mを使用した手法の方が、震度予測の精度がよい。
- ・多機能型地震計のみを震度M算出に使用した場合には、既存の距離減衰式を使用した場合よりも震度予測の精度がよいとは言えない。

6

緊急地震速報の雷による誤報防止対策について

雷検知器の活用検討と一次評価結果

■対策概要

緊急地震速報の誤報防止対策については、現地観測点でのノイズ判定ロジックを強化し対処しているところであるが、観測点付近での落雷による電気ノイズを誤検知し緊急地震速報を誤報するケースがあり、地震観測データに基づくノイズ判定ロジックだけでは完全に誤報を防止することが困難となっている。

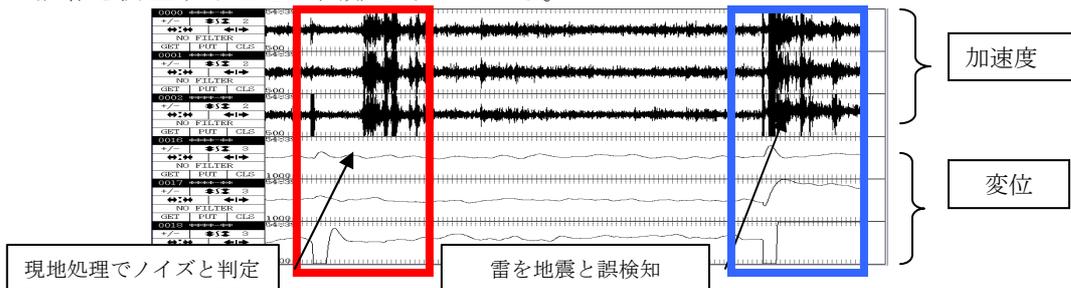


図1：雷により緊急地震速報が誤報となった観測点での波形例

このことから、ノイズ源である雷自体の発生、落雷等を事前に検知し、現地ノイズ判定ロジックと組み合わせて、雷接近、落雷前に現地での緊急地震速報処理を抑止する雷による誤報の防止策を検討した。今回、費用対効果を鑑み、比較的安価な市販品の雷検知器（「ポップ・サンダー」（平川製作所製））を活用することとし、以下の段階を経た上で各観測点へ導入していくこととした。

●雷検知器の原理と特徴

今回性能評価した製品は、電力線に直接接続し、設置した線路と大地間の高周波電位変化を検出し、落雷前に接点信号を出力するものである。

特徴)

- ①他の製品と異なり、専用のセンサー（空中線、光センサー等）の設置は不要であり、導入コストも設置スペースも小さい。
- ②落雷前検知が可能（設置点からおよそ1 Km以内に落雷発生の恐れが生じたときに検知）。
- ③雷放電検知が可能（設置点からおよそ10 Km以内に落雷域が接近、雷放電が発生したときに検知）。

●今後の工程

1) 第一段階（平成19年8月実施）

雷検知器単体としての性能評価を行う（今回報告）。

2) 第二段階（平成20年3月実施）

性能に問題ないことを確認の上、既存観測点での試験観測をしながら、誤報防止に最適な雷検知レベルの調整を行う。

3) 第三段階（平成20年度以降対応）

雷災頻発地域の観測点を優先して、各観測点へ雷検知器を導入していく。

●雷検知器の性能評価結果（第一段階）

1) テスト方法：

津波地震早期検知網「足利」観測点に、雷検知器を設置、雷検知の接点信号をデータロガーに記録した。記録された接点出力期間（雷検知期間）を当庁等による雷観測結果と照合・比較した。

2) テスト（比較）期間：

2007年8月10日09時～8月20日09時（日本時間）

3) 結果概要

テスト期間中、実際に誤報を伴う雷ノイズは発生しなかったが、足利観測点への雷雲の接近は何度かあり、8月15日と19日に対地放電を伴う雷が周辺で観測された。足利観測点の半径6km以内に観測された事例のうち、15日と19日における雷検知器の検知状況（ON/OFF）、及び速度波形による信号検出状況（波形トリガ状況）を図2、及び図3に示す。

雷検知器は、15日と19日における雷発生時間帯の前後で、正しく雷を検知しON、OFFの信号を出力したことが確認できた。ただし、雷検地ONの直前、あるいはOFFの直後などに、波形トリガがかかっている時間帯がある。

以上のことから、雷検知器の性能に問題ないものの、雷検知のための検知レベルの調整が必要であることがわかった。

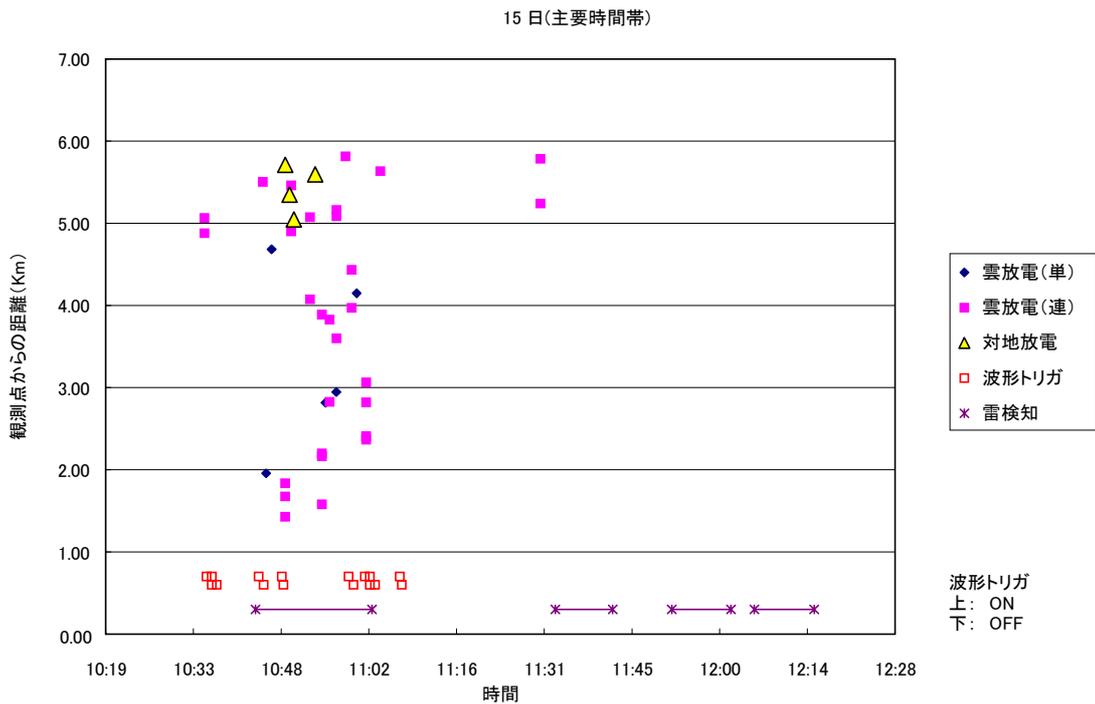


図2. 足利 半径6km以内に観測された雷（15日10時19分～12時28分）

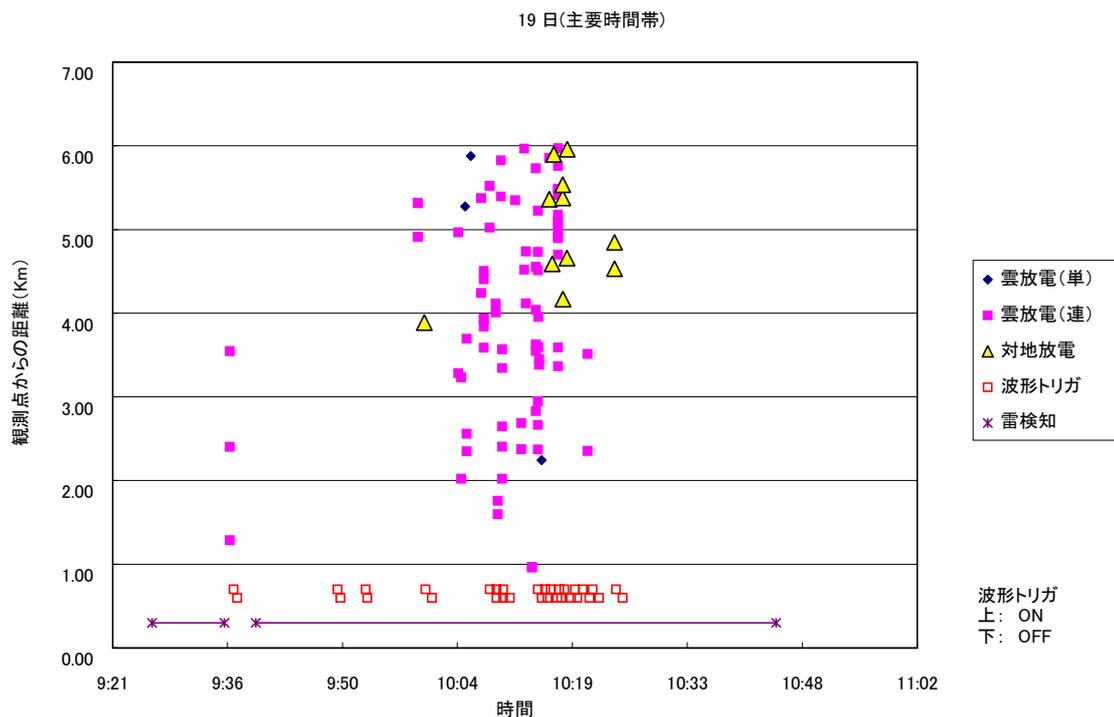


図3. 足利 半径6km以内に観測された雷(19日09時21分~11時02分)

●今後の取り組み

今回の性能評価結果を受け、平成19年度中に既存観測点の足利に雷検知器を実装し試験観測を行い、実際に雷検出接点信号を現地緊急地震速報処理の抑止に使用する。

雷検知器1式では、雷感度が固定(雷サージ電圧30~120Vpp)であるので、より有効な制御を模索するため、3段階の感度について検出し、それぞれの感度について接点出力を出せるように調整したものを実装し、有効なチューニングを行う。

実施項目は次のとおり。

- 1) 3台の雷検知器により、3段階のレベルで別々の接点信号を出力。
(検知レベルは、減衰器やピックアップコイルユニットの接続構成で変更可能)。
- 2) 現地多機能テレメータ装置にて、接点信号を受けて現地緊急地震速報処理(A処理)を停止する機能を追加
- 3) 各レベルの接点信号をロガーに記録。
- 4) 各レベルのうち、パラメータで選択した値の接点出力に対してA処理停止レベルとして設定しヒートラン。

全国観測点への導入

誤報防止に最適な検知レベルを調整したのち、費用対効果を見つつ、雷災頻発地域の観測点を優先して、各観測点へ雷検知器を導入していく。