

資料 2

緊急地震速報評価・改善検討会  
技術部会（第 8 回）  
資料

# 目 次

## ・ 議題

- 1 緊急地震速報に係わる報告事項
  - 1.1 緊急地震速報の発表状況  
(平成29年2月から平成30年1月) ----- ( P 1 )
  - 1.2 IPF法の処理結果と評価 ----- ( P 2 )
  
- 2 PLUM法導入の進捗状況の報告
  - 2.1 前回(第7回)技術部会に関するフォローアップ ----- ( P 7 )
  - 2.2 動作確認中に発生したイベントにおけるPLUM法  
およびハイブリッド法 ----- ( P 18 )
  
- 3 緊急地震速報の精度向上に向けた課題と対策
  - 3.1 2018年1月5日の発表状況について ----- ( P 24 )
  - 3.2 処理の問題点について ----- ( P 29 )
  - 3.3 今後の対策について ----- ( P 31 )
  
- 4 海底地震計データの活用
  - 4.1 海底地震計データの活用に向けた技術的検討 ----- ( P 34 )
  - 4.2 海底地震計にみられる過大振幅の特徴 ----- ( P 35 )
  - 4.3 上下動変位Mの利用 ----- ( P 42 )
  - 4.4 過大振幅データの除去手法の検討 ----- ( P 44 )

1 緊急地震速報に係わる報告事項

この項の要点

- 2017年2月～2018年1月の予報の発表回数は755回、うち警報は9回。
- IPF法の導入からの1年間において、IPF法は旧手法と概ね同等の精度で震源を決定できている。2017年4月20日の事例では、IPF法によって2地震の検測値が適切に分離された。

1.1 緊急地震速報の発表状況（平成29年2月から平成30年1月）

この期間の緊急地震速報の発表回数は次のとおりである。

- 緊急地震速報（警報）を発表・・・・・・・・・・：計9回
- 震度5弱以上を観測したが警報を発表せず・・：計4回
- 緊急地震速報（予報）を発表・・・・・・・・・・：計755回

表1.1に平成29年（2017年）2月以降の緊急地震速報（警報）の発表状況を、表1.2に同期間の震度5弱以上を観測した地震で緊急地震速報（警報）を発表しなかった地震を示す。

表 1.1 緊急地震速報（警報）を発表した地震（計9回）

| 年月日        | 時分     | 地震の概要<br>（観測値） |     |          | 緊急地震速報<br>（警報）<br>で発表<br>した<br>震央地名 | 緊急地<br>震速報<br>（警報）<br>を発表<br>した地<br>域の数 | 実際に観測した<br>最大震度毎の地域の数 |         |         |               | すべ<br>ての<br>地域<br>で<br>震度2<br>以下<br>（誤報） | 地震<br>検知後<br>予報<br>第一報<br>までの<br>時間<br>[秒] | 地震<br>検知後<br>警報<br>第一報<br>までの<br>時間<br>[秒] |
|------------|--------|----------------|-----|----------|-------------------------------------|---|-----------------------|---------|---------|---------------|--|--|--|
|            |        | 震央地名           | M   | 最大<br>震度 |                                     |   | 震度<br>5弱<br>以上        | 震度<br>4 | 震度<br>3 | 震度<br>2<br>以下 |  |  |  |
| 2017/06/25 | 7時02分  | 長野県南部          | 5.6 | 5強       | 長野県南部                               | 4                                       | 1                     | 2       | 1       | 0             |  | 2.3  | 7.6  |
| 2017/07/11 | 11時56分 | 鹿児島湾           | 5.3 | 5強       | 鹿児島県薩摩地方                            | 2                                       | 1                     | 1       | 0       | 0             |  | 3.8  | 9.7  |
| 2017/08/02 | 2時02分  | 茨城県北部          | 5.5 | 4        | 茨城県北部                               | 5                                       | 0                     | 4       | 1       | 0             |  | 4.1  | 6.2  |
| 2017/09/08 | 22時23分 | 秋田県内陸南部        | 5.2 | 5強       | 秋田県内陸南部                             | 2                                       | 1                     | 0       | 1       | 0             |  | 3.8  | 4.7  |
| 2017/09/27 | 5時22分  | 岩手県沖           | 6.1 | 4        | 青森県東方沖                              | 9                                       | 0                     | 3       | 3       | 3             |  | 4.5  | 6.6  |
| 2017/10/06 | 23時56分 | 福島県沖           | 5.9 | 5弱       | 福島県沖                                | 11                                      | 1                     | 5       | 5       | 0             |  | 4.3  | 9.2  |
| 2017/12/06 | 0時13分  | 長野県中部          | 5.3 | 4        | 長野県中部                               | 4                                       | 0                     | 2       | 0       | 2             |  | 4.4  | 5.5  |
| 2018/01/05 | 11時02分 | 茨城県沖           | 4.4 | 3        | 茨城県沖                                | 15                                      | 0                     | 0       | 1       | 14            |  | 5.0  | 19.4                                       |
| 2018/01/24 | 19時51分 | 青森県東方沖         | 6.4 | 4        | 青森県東方沖                              | 8                                       | 0                     | 3       | 5       | 0             |  | 4.4  | 4.4  |

表 1.2 震度5弱以上を観測したが緊急地震速報(警報)を発表しなかった地震(計4回)

| 年月日        | 時分     | 震央地名    | M   | 最大震度<br>(計測震度) | 予想最大震度<br>(計測震度) | 検知から予報<br>第1報発表ま<br>での時間(秒) |
|------------|--------|---------|-----|----------------|------------------|-----------------------------|
| 2017/02/28 | 16時49分 | 福島県沖    | 5.7 | 5弱(4.5)        | 4(4.2)           | 3.8                         |
| 2017/06/20 | 23時27分 | 豊後水道    | 5.0 | 5強(5.0)        | 4(4.0)           | 3.7                         |
| 2017/07/01 | 23時45分 | 胆振地方中東部 | 5.1 | 5弱(4.7)        | 4(4.3)           | 4.0                         |
| 2017/07/02 | 00時58分 | 熊本県阿蘇地方 | 4.5 | 5弱(4.7)        | 4(3.8)           | 2.6                         |

表中の「予想最大震度」は緊急地震速報(予報)の最終報で発表した予想震度の最大値を示す。

## 1.2 IPF法の処理結果と評価

平成28年(2016年)12月14日にIPF法を導入してから1年が経過した。導入後1年間(2016年12月14日から2017年12月13日)を対象に処理結果を確認したところ、IPF法による震源推定は旧来の手法による震源推定と同等の精度が概ね確保できており、一部の地震については震源精度の改善が見られた。

### (1) 震源決定精度

旧来のB- /主成分分析法・テリトリ法・グリッドサーチ法を用いた推定震源(以下、「旧手法震源」と、現在運用中のIPF法による推定震源(以下「IPF法震源」)の決定精度を概観した。図1.1は、対象期間内に予報を発表した地震イベントにおいて、同じ単独観測点処理結果(検出時刻・B- /主成分分析法・最大振幅等)を入力とした時の旧手法震源とIPF法震源について、気象庁カタログとして公表している震源(以下「一元化震源」)の震央に対して各手法の最終解における推定震源の水平誤差(震央誤差)がどの程度となっているか、その度数を調べたものである。旧手法とIPF法で誤差傾向に大きな変化はみられず、基本的に旧手法と同等の精度を確保できている。なお、ここでは予報発表条件を満たさない震源候補も含んでいる。

以降ではIPF法で特に改善した例(2017年4月20日 福島県沖の地震)と、IPF法で震央誤差が大きくなった例(2017年8月14日の千葉県北西部)の2例を紹介する。

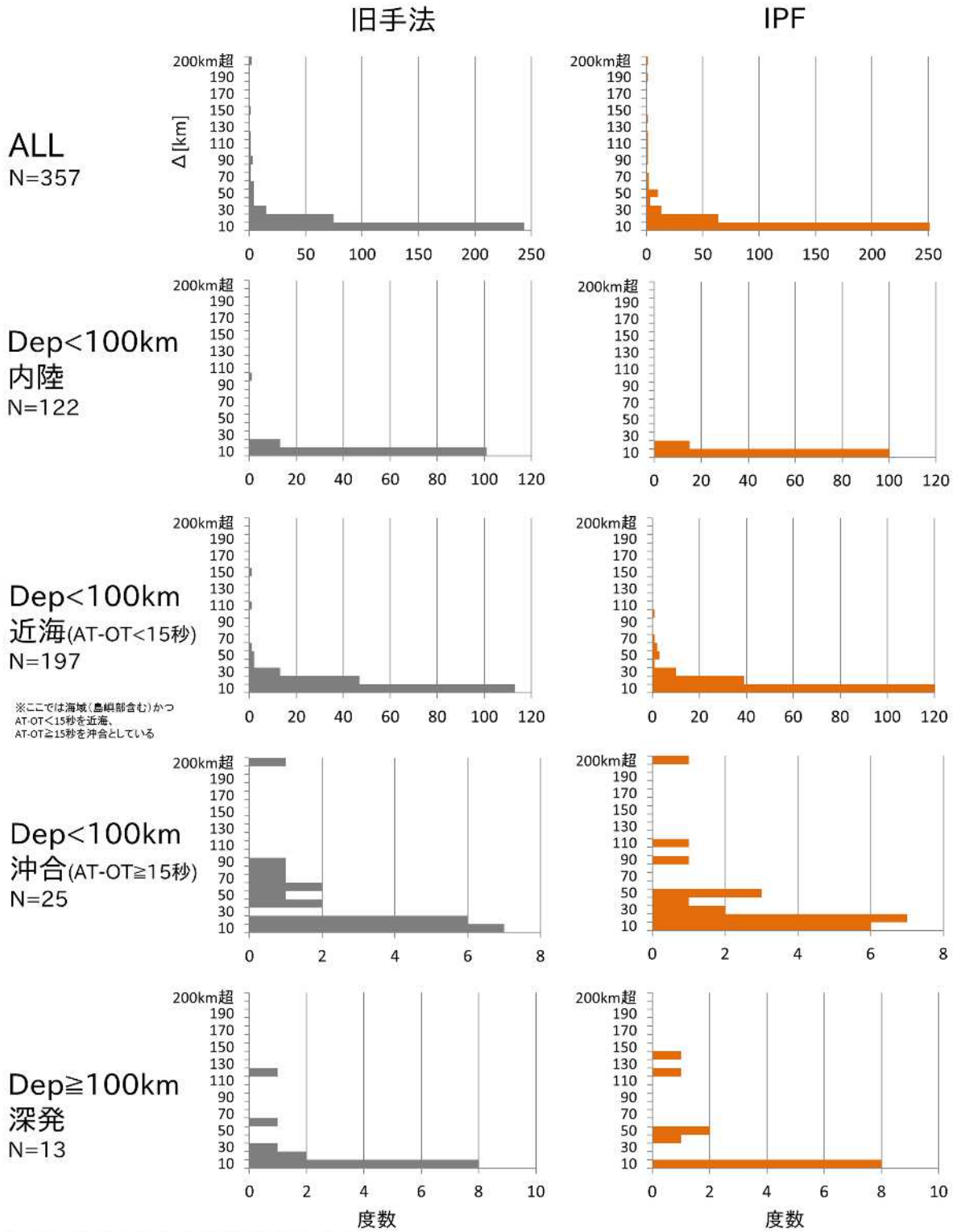


図 1.1 地震発生場所ごとにみた一元化震源に対する旧手法および IPF 法による推定震源(最終解)の震央誤差 [km] 分布

誤差傾向は類似しており、旧手法と IPF 法で同等の精度を概ね確保している。

IPF法で特に改善された例（2017年4月20日の福島県沖の地震）

この例では福島県沖の地震（深さ36km，マグニチュード（M）4.8 最大震度3）とほぼ同時刻に茨城県北部の地震（深さ5.9km，M1.4）が発生しており、観測点「常陸太田」では既にトリガがかかっている状況であった。常陸太田のトリガ時刻から約10秒後に福島県沖の地震によるP波が陸に到達し、福島県内の観測点でトリガがかかると、旧手法震源は両者のトリガ情報を混交して使用し関東東方沖や遠州灘の深さ400kmなどに震源を決定してしまった（図1.2左）。

一方、IPF法震源は福島県の観測点のデータが得られ始めた段階で検測値および震源を分離し両者を適切に決定している（図1.2右）。なおこの後、尤度の低い茨城県北部の震源処理は終了し、震源候補としては福島県沖の震源のみを通知している。

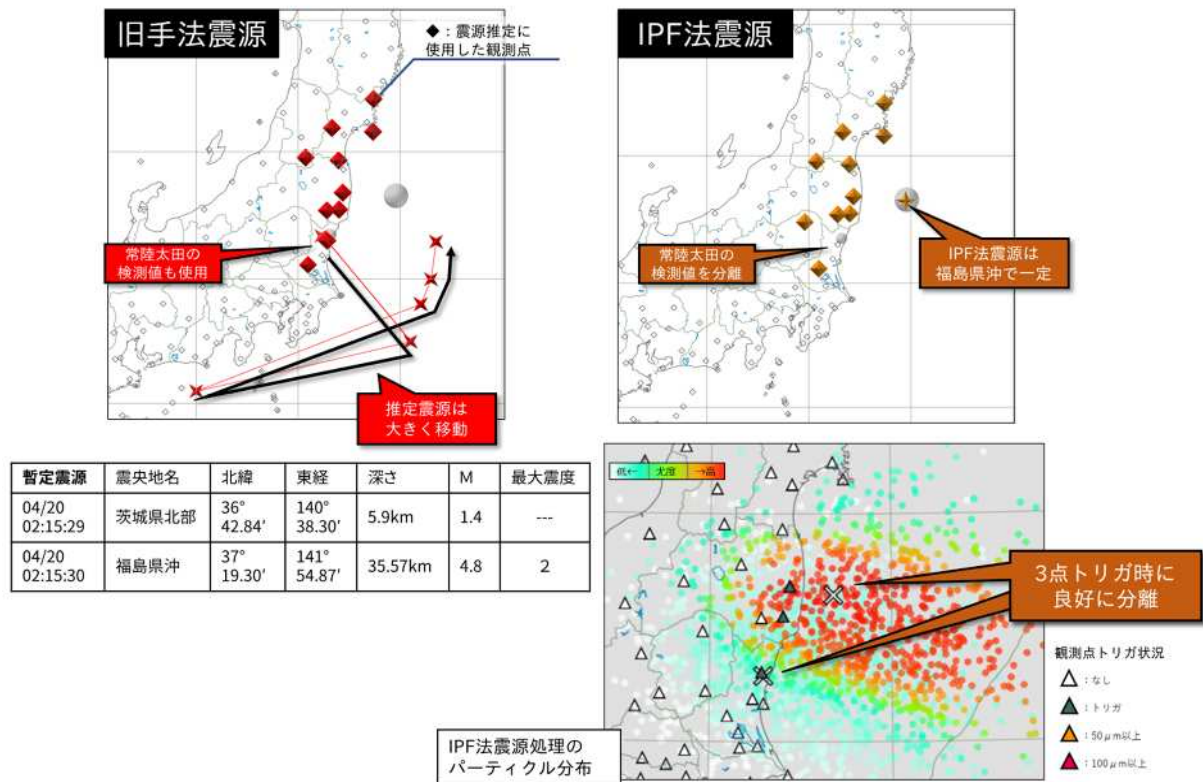


図1.2 2017年4月20日 福島県沖の事例における旧手法震源(左)とIPF法震源(右)の推移  
旧手法震源は関東東方沖や遠州灘などに震源を決定しているが、IPF法ではパーティクルの尤度分布(右下)に基づき地震を分離し、IPF震源を適切に決定した

IPF法で誤差が大きくなった例（2017年8月14日の千葉県北西部の地震）

この千葉県北西部の地震(深さ 102km, M4.5 最大震度 3)の例では、旧手法は検測時刻のみを用いたグリッドサーチ法等により千葉県北西部に決定していた。IPF法においても始めのうちは千葉県北西部の一元化震源付近に決めていたが、震源時から30秒ほど経過した時(周辺観測点に理論S波が到達し終わる頃)に、トリガ観測点数(46点)に変化がない状態で震源が40kmほど南西に移動した(図1.3左)。

深い地震については直上の観測点間の走時差が小さいために水平方向の分解能が上がり(図1.3右) 周辺の観測の振幅値等の変化に鋭敏に反応したとみられる。

なお、IPF法震源の移動前後で予測震度には大きな差はない分布が得られている。

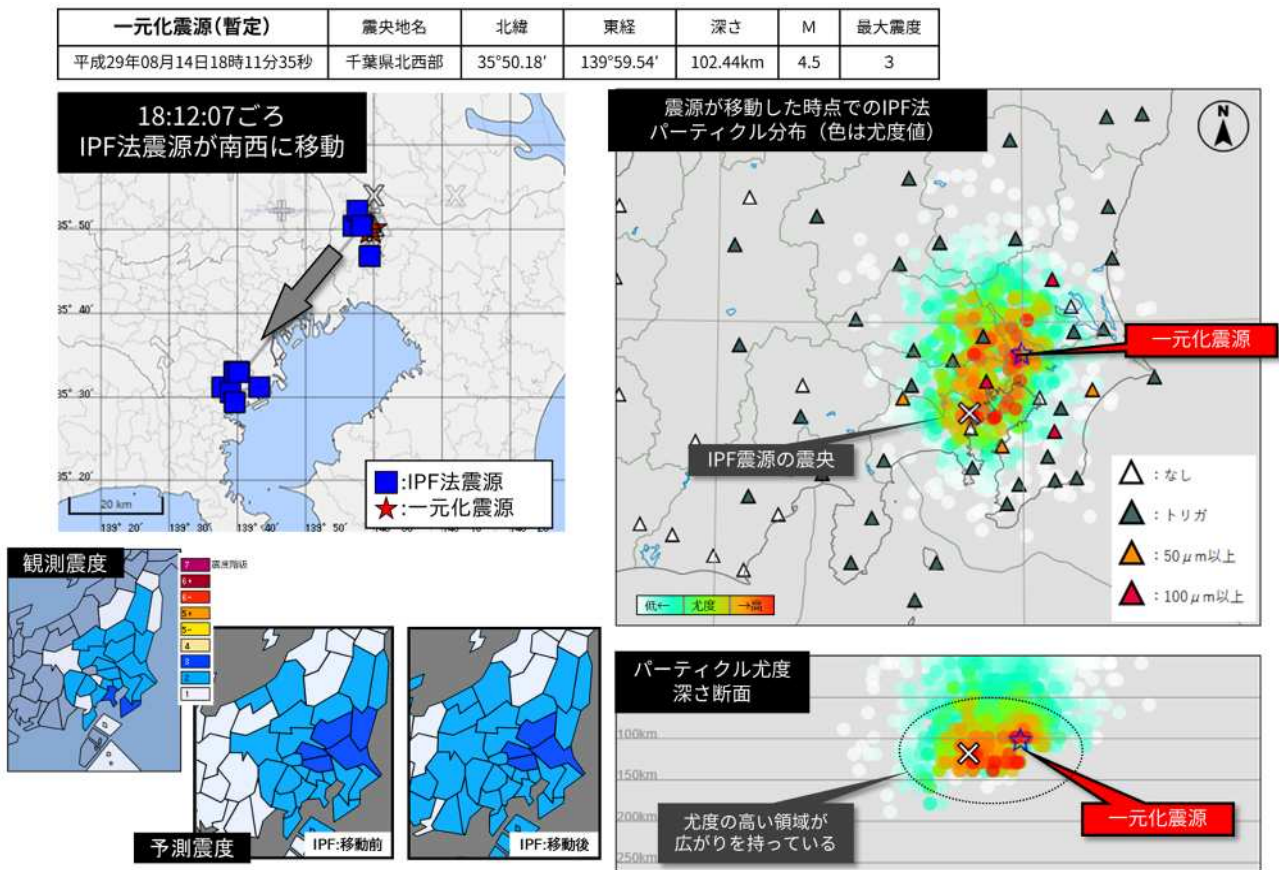


図 1.3 2017年8月4日 千葉県北西部の事例における IPF 法震源の推移

パーティクルの尤度分布(右)では、深い地震で水平方向の分解能が上がっていないことがみられる一方で、予測震度の分布(左下)では IPF 法震源の移動前後で大きな差はみられない。



（2）情報発表への寄与

処理結果の確認した対象期間内で情報発表を行った回数は759回、そのうちIPF法震源を用いて情報発表した事例は197例（約26%）であり、これらは全て第1報がIPF法震源であった（図1.4）。

地震の発生場所ごとの傾向を見ると、内陸の地震、あるいは海域/深い地震でもMの大きな地震に対しては、気象庁の多機能型観測点でも早期に大振幅を検知し、IPF法震源により第一報を発表できている（図1.5）。Mの小さい地震や、沖合の地震・深さが100kmより深い地震については着未着法やHYPOON（波形データからP相、S相、最大振幅の自動検測を行う旧来の震源計算手法）による震源が第一報発表をカバーしている。それらの地震については、IPF法震源の決定に用いる多機能型地震計で観測される振幅が小さい時間帯において、より高密度なHi-netの観測データを用いて震源精度を高めることができているためである。

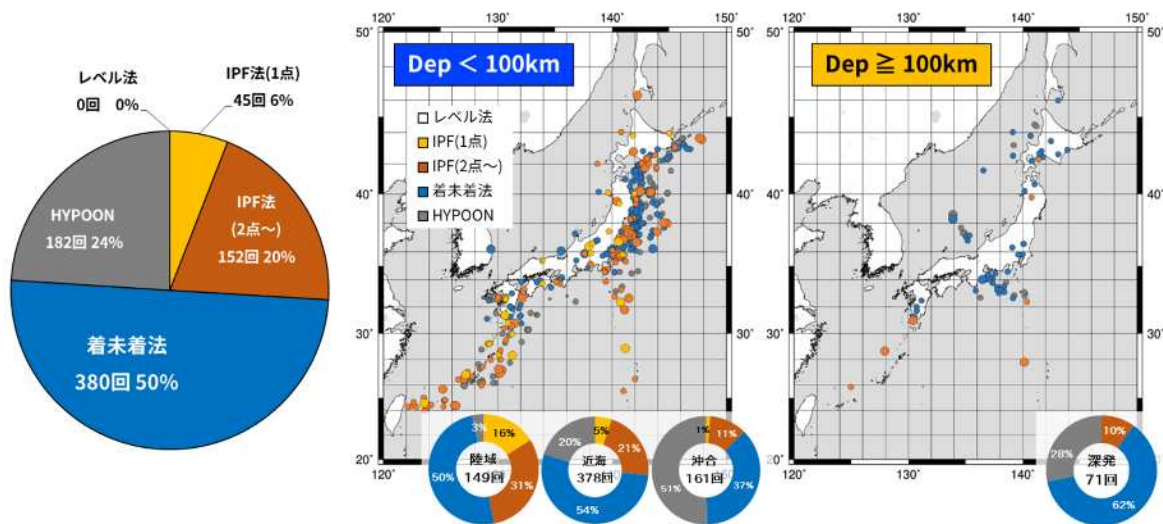


図 1.4 予報第一報における震源要素の推定手法およびその位置

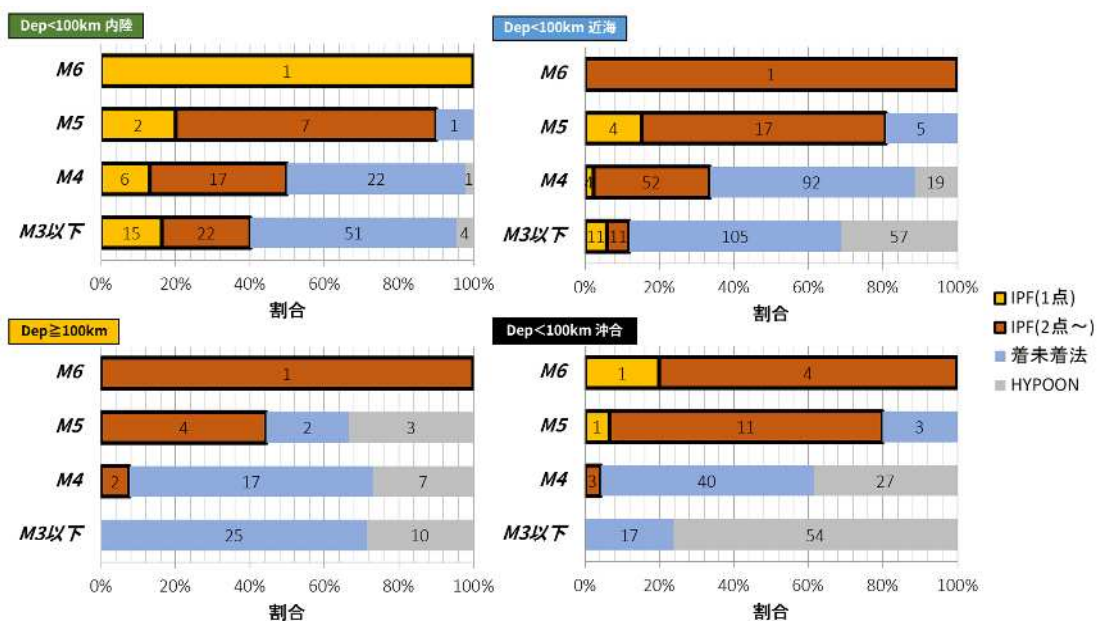


図 1.5 予報第一報を発表した震源推定手法の割合と回数（一元化震源のMおよび地震発生場所ごと）



## 2 PLUM 法導入の進捗状況の報告

### この項の要点

- 前回（第7回）技術部会での意見に対するフォローアップを行い、以下の点を確認いただいた。
  - PLUM 法に最適な予測適用距離を確認するため、過去9年間に最大震度5弱以上を観測した30km以浅の地震101個の計測震度分布を調査した。その結果、警報発表に適切な適用距離は30kmである。
  - PLUM 法で予測震度が過大になる地域は、Mが小さく浅い地震の震源周辺に限定的である。また、従来法（IPF法など、震源を基に震度を予測する手法）でも予測震度が過小になる場合があることから、警報発表を前提とした運用には従来法とPLUM法の予測震度の早い方で発表、大きい方で更新するハイブリッド法が適当である。
  - ハイブリッド法における震源棄却手法は、入力データの制限によりIPF法震源が不安定となった場合や、IPF法以外の震源にも適用することができることから、有効に機能すると考える。
- PLUM法のリアルタイム処理での動作確認を実施しており、緊急地震速報の発表対象となった149イベントのうち、5イベントでPLUM法による震度予測結果が反映された。ほとんどのイベントは従来法での緊急地震速報となっており、想定通りの動作を確認している。

### 2.1 前回（第7回）技術部会に関するフォローアップ

前回の第7回技術部会において、PLUM法・ハイブリッド法について以下の意見をいただいた。

- 同一震度と見なせる距離（適用距離）を30kmとする根拠の説明が不十分である。
- IPF法などによる従来法とPLUM法の予測結果を比較して、単純に大きい方の震度を採用するハイブリッド手法では、震源が適正に決まっているときには予測精度を悪化させる（過大評価する）ことになるのではないかと。
- IPF法には振幅の情報も評価関数に取りこまれており、ハイブリッド法における近傍観測点の振幅を用いた震源棄却手法が有効であるかについて再整理すべき。

上記のPLUM法の予測適用距離とハイブリッド法の処理に関する意見に対し、フォローアップとして各委員に補足説明するための資料を提示し、確認をいただいた。以下にその資料を掲載する（8～17ページ）。

## フォローアップで用いた資料

## PLUM 法による予測適用距離とハイブリッド法の処理について

## 1.1 PLUM 法の予測適用距離について

## (1) PLUM 法の原理

Propagation of Local Undamped Motion(PLUM)法は、“距離 R [km]以内で観測された地震波が、工学基盤面上で減衰しない平面波として入射する”と仮定して震度予測を行う手法である。リアルタイムでデータ取得可能な気象庁観測点(多機能型地震計+震度計)のデータを元に、予測地点から同一波動場とみなす適用距離 R 以内のリアルタイム震度から地盤増幅率を考慮して震度予測を行う。そのため、PLUM 法の震度予測には、予測観測点から同一波動場とみなす適用距離 R の設定が鍵となる。PLUM 法の適用距離 R が小さければ予測に利用可能な観測点が限定され猶予時間が確保できない。一方、距離 R が大きければ、同一波動場の仮定が成り立たなくなり、予測精度を悪化させることになる。第7回緊急地震速報評価・改善検討会技術部会において、適切な適用距離 R を 30km とする検討結果を報告したが、以下では、過去に発生した地震で観測された計測震度分布を用いて、適用距離 R と予測精度についての追加検証を行った。

## (2) 検証に利用したデータとその処理手法

2008年から2016年の約9年間において、最大震度5弱以上を観測した深さ30km以浅の地震101個(図1)で観測された計測震度を用いた。PLUM法で予測に利用する気象庁観測点(約680点)の計測震度を元に、PLUM法と同様に適用距離 R 以内のデータから、各予測地点(震度発表地点全点:約4,400点)の震度を予測し、実測された計測震度と比較して、適用距離 R に対する予測精度の違いを調べた(図2)。なお、震度予測の比較対象として、従来(従来法の震度予測)と呼ぶ)との比較も行った。予測に用いる震源は気象庁一元化震源を用いた。

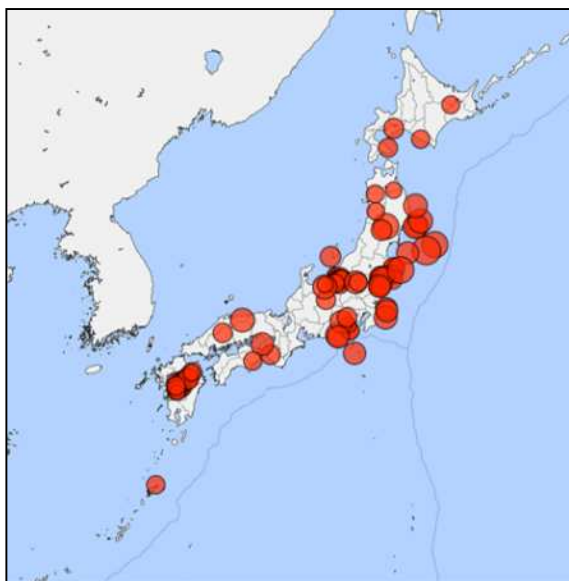


図1 . 調査対象とした地震の震央分布図  
2008年から2016年までに発生した、深さ30km以浅、最大震度5以上の地震(計101個)

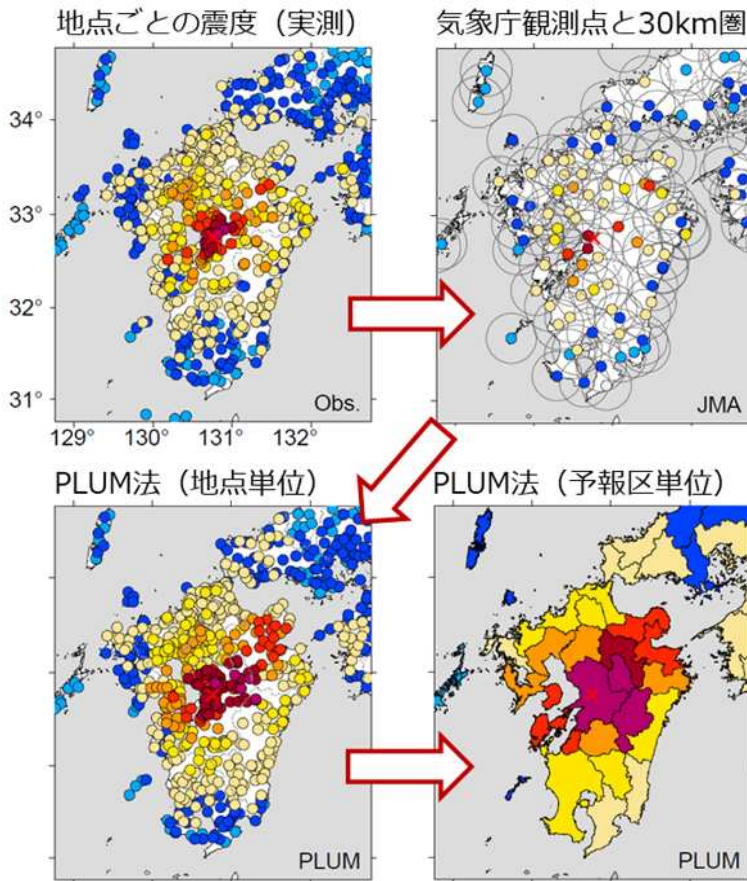


図2．処理の概要

PLUM法の適用範囲を変化させた際の精度を検証するため、気象庁観測点で観測された計測震度を使用した（右上）。PLUM法と同様の予測手法で、予測地点（震度観測点全点）から適用距離R以内の気象庁観測点の観測値より震度を推定（左下）、さらに、予報区ごとに予測震度を算出（右下）してPLUM法の予測震度（適用距離ごと）と従来法の震度予測とを比較した。

### （3）適用距離と予測可能な観測点数の関係

初めに、適用距離Rを小さくした時の影響について検討する。適用距離Rを小さくすれば予測精度が向上することが見込まれるが、一方で猶予時間が短くなることに加え、予測地点の半径R以内の観測点数が少なくなるために予測に必要なデータが入手できず、震度予測ができなくなる地点が生じる。ここでは、検証に利用したデータのうち震度4以上を観測した地点を予測地点とした場合に、適用距離Rを10kmから50kmまで10kmおきに変化させたときのその地点の予測可能性（予測地点の半径R以内に気象庁観測点が1地点でも存在する場合は予測可能）を評価した。表1には、予測可能であった地点数とその予測に用いた気象庁観測点の数の平均を示す。適用距離Rが20kmよりも小さい場合には震度予測に利用可能な観測点が少なくなり、Rが10kmの場合には40%、20kmの場合には5%の地点でPLUM法による震度予測ができない。予測に用いた観測点数も、R=20kmでは平均で約2点と少なくなっている。対して、Rが30kmよりも大きい場合には、震度4以上を観測したほぼすべての観測点において震度予測が可能であることがわかる。

表1．適用距離（R）ごとの予測可能な地点数と予測に利用した観測点数の平均

| 適用距離<br>(R)  | PLUM法で予測可能な地点数<br>(全予測地点に対する割合) | 予測に利用した<br>観測点数の平均 |
|--------------|---------------------------------|--------------------|
| 0 km         | 827 地点 (12.9%)                  | 1.00               |
| 10 km        | 3,884 地点 (60.4%)                | 1.11               |
| 20 km        | 6,111 地点 (95.0%)                | 2.12               |
| <u>30 km</u> | <u>6,418 地点 (99.8%)</u>         | <u>4.16</u>        |
| 40 km        | 6,430 地点 (全地点)                  | 6.91               |
| 50 km        | 6,430 地点 (全地点)                  | 10.40              |

## (4) 適用距離 R ごとの PLUM 法の予測震度と従来法の震度予測との精度比較

予測地点における PLUM 法の震度予測精度（予測と観測の差）の検証結果を図 3 に示す。適用距離が 20km あるいは 30km の場合には、どの震央距離においても PLUM 法の予測残差の平均値は  $\pm 1$  以内に収まっているが、適用距離を 40km 及び 50km と設定した場合には、特に震央距離が 100km 以内のときに、予測残差（予測震度 - 観測震度）の平均値が +1.0 を超える場合がある。一方で、震央距離が 200km よりも遠方においては、適用距離ごとの違いが小さい。PLUM 法の予測残差のばらつきは、総じて震源からの予測のばらつきよりも小さい。なお、PLUM 法において震源距離が適用距離以内となる範囲で特徴的な予測残差のばらつきがみられるが、これは次項にて詳細に示す。

予測事例として、平成 28 年熊本地震のうち 2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分に発生した M6.5 の地震の例を図 4 に示す。PLUM 法の適用距離 R が 40km および 50km の場合は、震度 6 弱以上の予測となる予報区が過大に広がる傾向にあるが、適用距離 20km および 30km の場合には観測震度に対して PLUM 法の予測が適切である。また、震度 5 弱や震度 4 の広がり、震源からの予測震度と比較してもより適切であると考えられる。



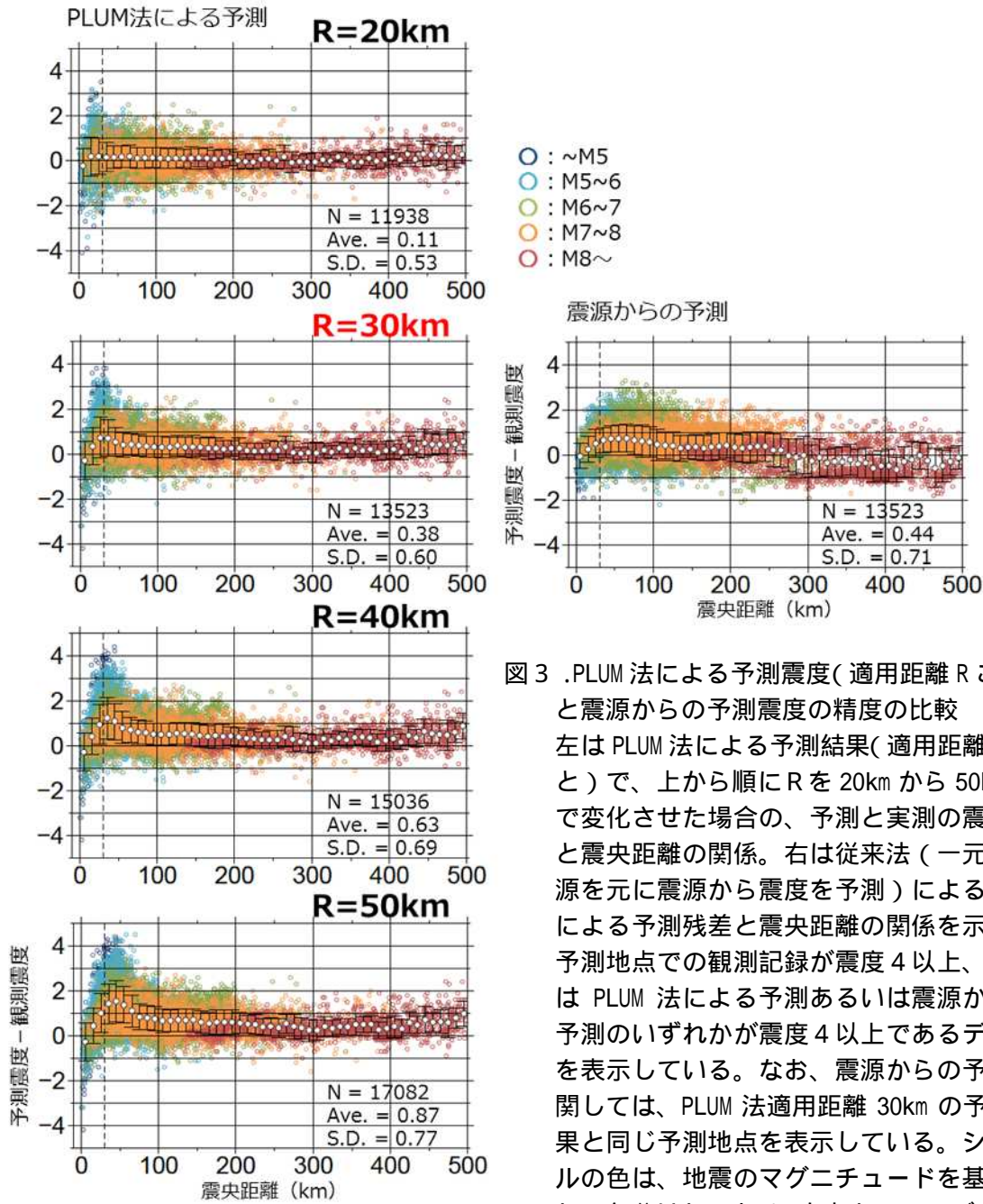


図3 .PLUM 法による予測震度(適用距離 R ごと)と震源からの予測震度の精度の比較  
 左は PLUM 法による予測結果(適用距離 R ごと)で、上から順に R を 20km から 50km まで変化させた場合の、予測と実測の震度差と震央距離の関係。右は従来法(一元化震源を元に震源から震度を予測)による予測による予測残差と震央距離の関係を示す。予測地点での観測記録が震度 4 以上、または PLUM 法による予測あるいは震源からの予測のいずれかが震度 4 以上であるデータを表示している。なお、震源からの予測に関しては、PLUM 法適用距離 30km の予測結果と同じ予測地点を表示している。シンボルの色は、地震のマグニチュードを基準として色分けしており、白丸とエラーバーは、震央距離 10km 幅での予測震度残差の平均値とその標準偏差(±1)を示す。破線は震央距離 30km を示す。

(5) 最適な適用距離 (R) について

予測に利用可能な観測点の間隔により、適用距離を 20km 以下とした場合には PLUM 法が機能しない可能性が高く、猶予時間も確保できない。一方、適用距離を 40km 以上とした場合には、特に震央距離 100km 以内の地点において、予測残差が過大側に大きくなることがわかった。以上のことから、PLUM 法による警報発表のための適用距離 (R) は 30km が最適である。

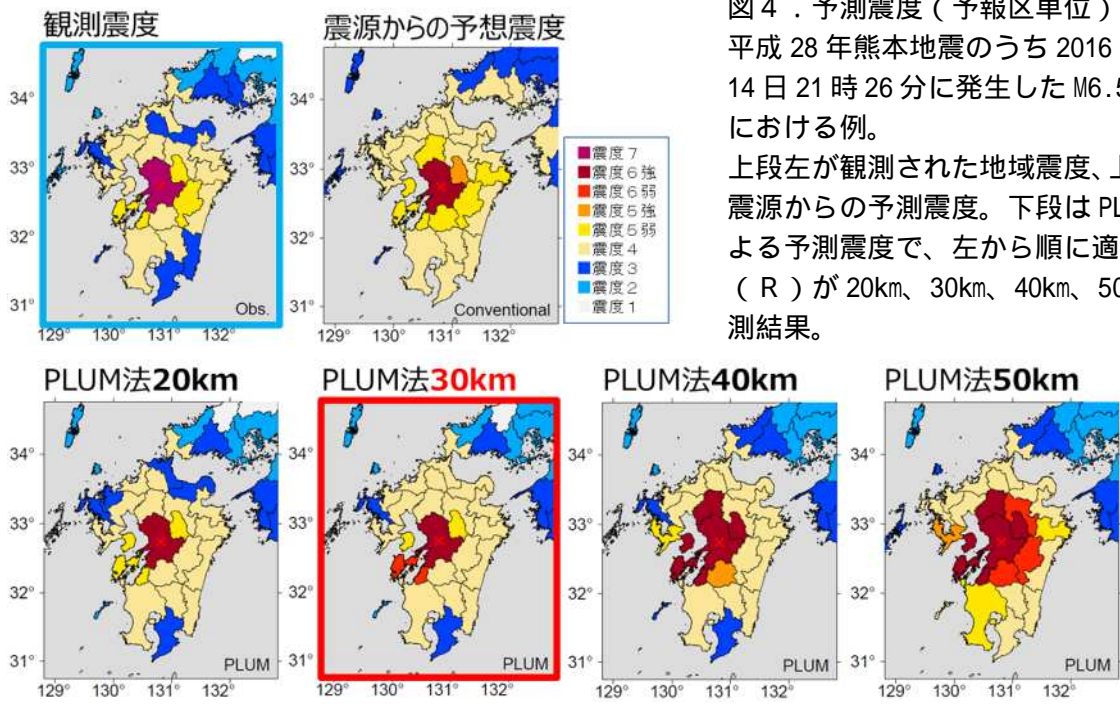


図4．予測震度（予報区単位）の比較  
平成28年熊本地震のうち2016年4月14日21時26分に発生したM6.5の地震における例。

上段左が観測された地域震度、上段右が震源からの予測震度。下段はPLUM法による予測震度で、左から順に適用距離（R）が20km、30km、40km、50kmの予測結果。

## 1.2 PLUM法が過大評価となる事例の検証

### (1) PLUM法の予測のばらつきの理論的考察と実データでの検証

前項で確認された、震央距離が小さいときに特徴的なPLUM法の誤差について考察する。第7回技術部会資料においては、内陸の浅い地震などで震源近傍のPLUM法の予測が過大になる事例があることを示した。緊急地震速報で用いている地震動予測式(司・翠川(1999)など)の特徴をみると、震源が浅くMが小さい地震ほど、震源近傍で距離減衰が急峻となることがわかる(図5)。一般に、2点間の距離が小さいほど、両観測点を同一波動場とみなすことができるが、前項で実データから確認されたように、震源近傍では地震動の距離減衰が急峻となる影響から、PLUM法の予測精度にばらつきが生じる場合がある。震源の深さ0kmと20kmにおける距離減衰式をもとに、ある震央距離の地点の予測震度と、その地点から半径R以内の予測震度の最大値と最小値との差の範囲がPLUM法による予測の理論的なばらつきの範囲であると考えて、震央距離に対する関係をプロットした結果が図5下段である。震央距離が適用距離内である場合に、この図から深さが浅くMが小さい地震ほど予測のばらつきの範囲が大きくなることが期待されるが、この傾向は今回の実データを用いた検証結果(図6)にも明瞭に現れており、本考察の妥当性を示している。



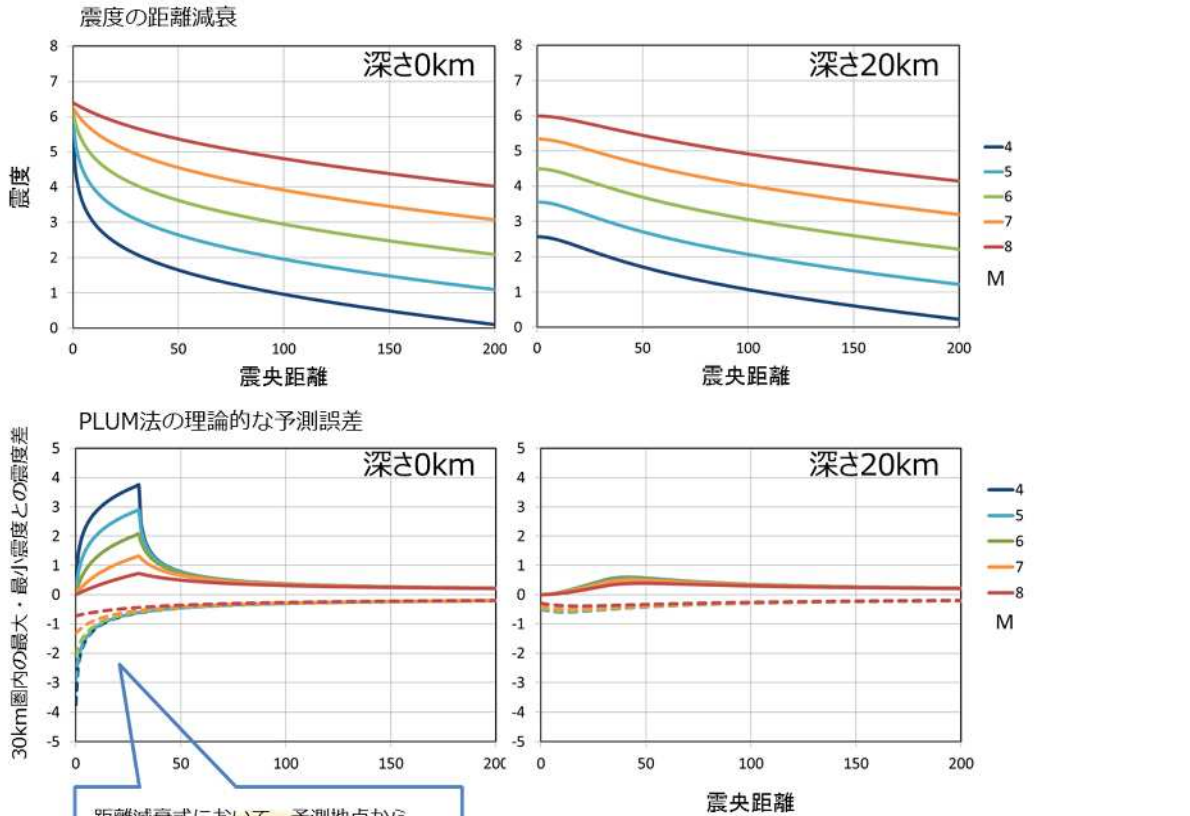


図5．緊急地震速報に利用している震度の距離減衰式（上段）と、それを基に算出した、深さ 0km と深さ 20km の場合における PLUM 法（適用距離 30km）の理論的な予測のばらつき（ある地点の予測震度と、半径 30km 以内の最大と最小の予測震度の差）（下段）。地盤増幅率は地表における平均的な値（2.061、岩切（2012））としている。

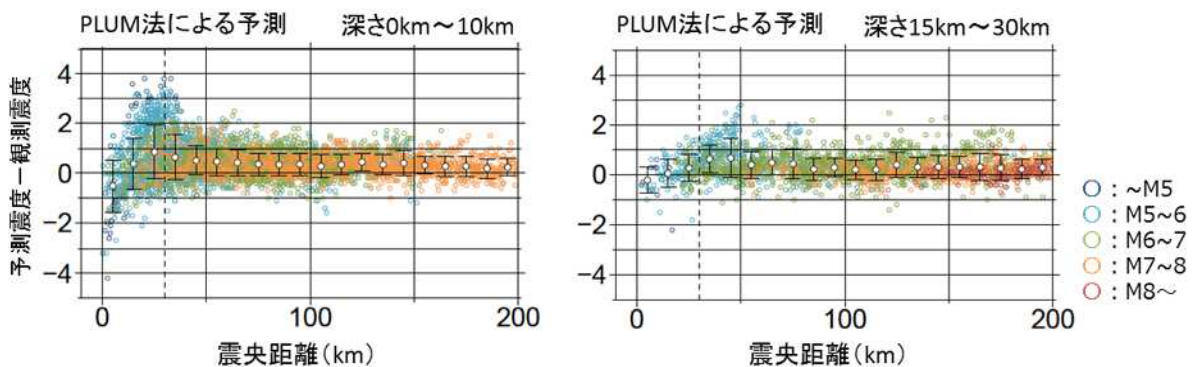


図6．PLUM 法による震度差と震央距離との、震源の深さ・マグニチュードごとの関係（適用距離：30km）。左は深さ 0～10km、右は深さ 15～30km の事例。図 5 下段の理論上の特徴と良く一致することがわかる。破線は震央距離 30km を示す。

（2）PLUM 法の予測震度が過大となる地震の例

今回調査対象とした地震全 101 事例のうち、適用距離 30km の PLUM 法を用いた場

合に、震度を過大に評価した事例（予報区単位での予測震度が観測震度よりも+2.0以上大きかった事例）は、10事例であった。それらの一例を図7に示す。適用距離が30kmの場合においては、+2.0以上過大な震度予測を行った予報区域は、震央の隣接領域1～3地域に限定される。また、10事例のすべてが、震源の深さが10kmよりも浅く、M6.0よりも小さい地震であった。これは、震源近傍の震度の距離減衰が急峻となる影響を受けたものと考えられる。なお、震源近傍であっても、気象庁観測点で最大震度の揺れを観測しなかった場合は、PLUM法による予測震度が過小になる場合も生じる（図8）。

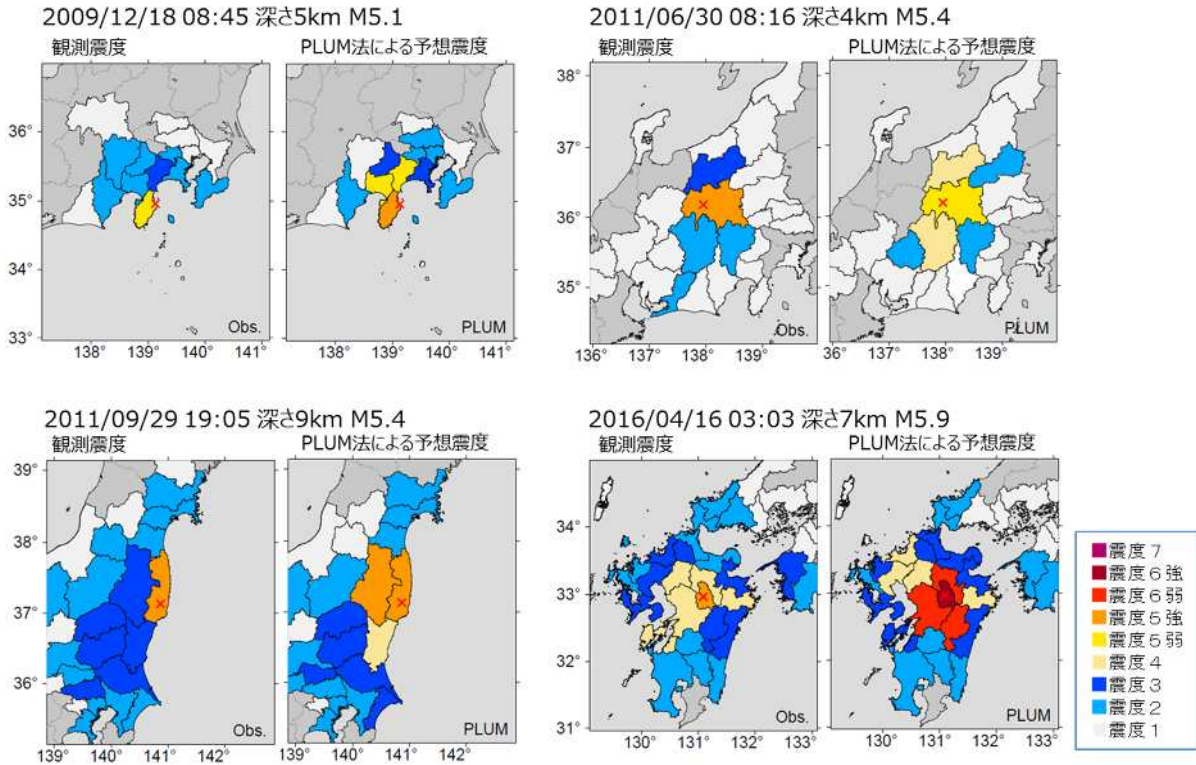


図7．予報区で PLUM 法の予測震度が過大となる地震の例

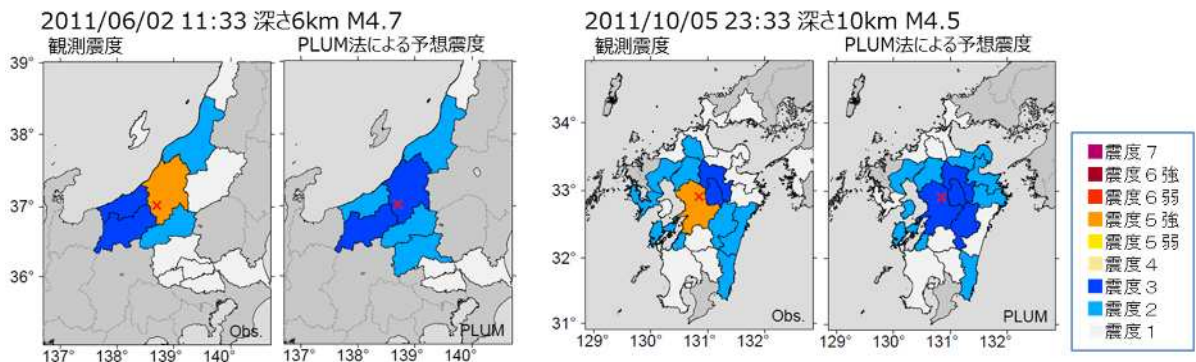


図8．予報区で PLUM 法の予測震度が過小となる地震の例

### 1.3 ハイブリッド法の処理について

#### (1) ハイブリッド法の概要

震源要素から震度予測を行う従来法は、揺れが伝わる前に迅速に緊急地震速報を公表することで猶予時間を稼げるという特徴を持ち、PLUM法は震源要素がなくても観測した揺れから見逃しなく震度を予測するという特徴を持つ。この2つの特徴を組み合わせ、従来法とPLUM法の早い方の予測震度で発表し、大きい方の予測震度で更新する方法がハイブリッド法である。

例えば、1.2(2)の事例で示した2011年6月30日の長野県中部の地震(M5.4、最大震度5強)では、当時の緊急地震速報は、発震時刻(OT)より約52秒後に警報を発表している。警報が遅れた理由は、マグニチュードの成長により予測震度が震度4(4.4)から震度5弱(4.5)に上がるタイミングが遅れたことであった。PLUM法では、OTから約11秒後に最大震度5弱以上が予測され、従来法よりも早いタイミングでの警報発表が可能となると考えられる(図9)。

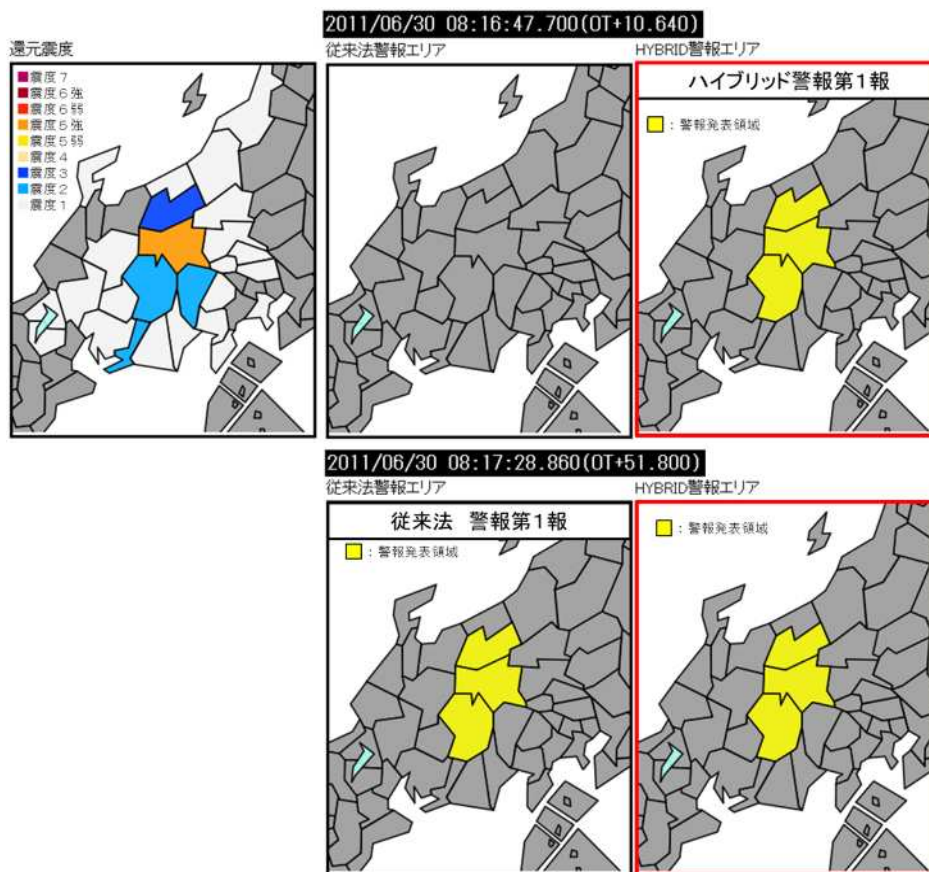


図9 . ハイブリッド法により、警報発表が迅速となる事例での警報発表領域

2011年6月30日の長野県中部の地震(M5.4)における、観測震度(左) 従来法警報領域(中央) ハイブリッド法警報領域(右)の比較。当時の緊急地震速報ではOTから約52秒後に長野県全域に警報を発表した(下段)。ハイブリッド法により、OTから約11秒後に同じ領域に警報を発表できる(上段)。なお、ハイブリッド法での発表時刻は、観測データ遅延などの影響を加味していない。



（2）PLUM法の特徴を踏まえたハイブリッド法のあり方について

1.2で示したように、PLUM法で予測震度が過大となる地域は、比較的Mの小さな浅い地震の震源近傍に限定的であるといえる。震源近傍での急峻な距離減衰が生じた場合には過大評価となることもあるが、これは隣接する予報区では大きな揺れに見舞われているという観測事実に基づいた予測でもある。IPF法などによる従来法でも予測震度が過小になる場合があることも踏まえて、警報発表を前提に運用する場合には、従来法とPLUM法の予測結果を比較して、その時点で単純に大きい方の震度で更新するハイブリッドを行うことが、過小評価を避けて警報を発表するためには適当である。

1.4 ハイブリッド法における震源棄却手法について

ハイブリッド法は、従来法での推定震源近傍の観測点で実際に観測されている揺れが、推定されたマグニチュードに対して有意に小さい場合に、従来法による震度予測結果を棄却し、PLUM法のみで予測する手法であることについて、第7回技術部会で説明を行った。

従来法のうち、IPF法には震源決定の際に用いる尤度の算出には振幅情報が既に考慮されているが、振幅がある基準を満たして地震波として検知された場合に観測点より送信されるデータを元に決定されるため、震源近傍の観測点を利用しない場合があるなど、地震波検知の可否やデータの品質の影響により震源が不安定になる可能性がある。また、震源棄却手法は、IPF法による震源のみでなく、着未着法やHYPOONによる震源に対しても機能する。仮に震源を棄却した場合でも、PLUM法による予測結果が存在すれば、緊急地震速報を発表することができる。これらのことから、ハイブリッド法における震源棄却手法は有効であると考え（図10）。

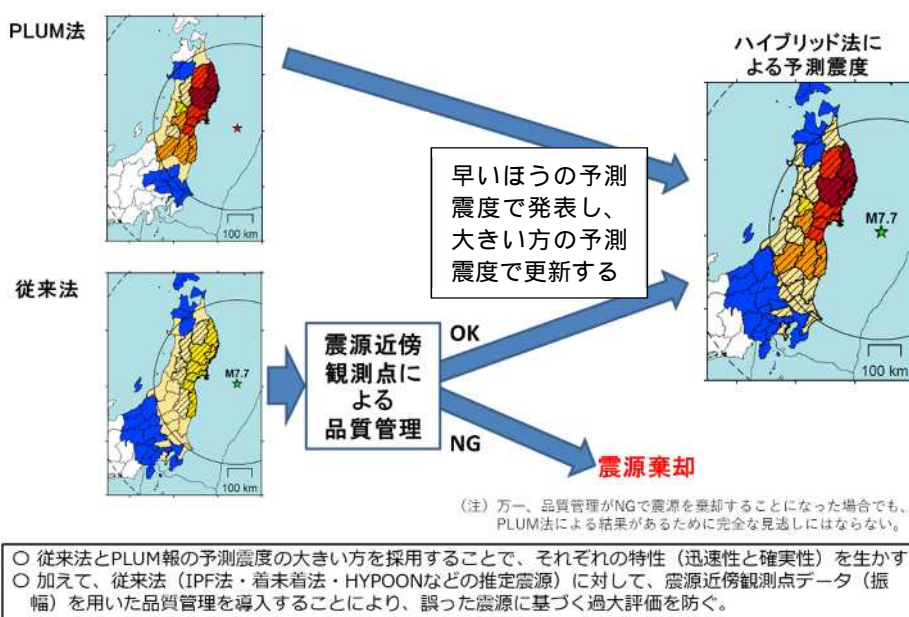


図10. ハイブリッド法における予測震度の採用方法と震源近傍観測点による品質管理

### 1.5 適用距離30kmのPLUM法の導入について

PLUM法の導入により、巨大地震における強震域の広がりに対応することが可能となるほか、地震波検知の情報が得られず震源が推定できないような場合も、リアルタイム震度が観測されたならば警報を発表することが可能となる。また、揺れから揺れを予測するため、マグニチュードの成長が遅いことから警報が遅れる場合にも、従来法より早く警報発表が可能である。さらに、データを利用可能な観測点数が多くなることから、従来法よりも早く警報発表が可能な場合もあるため、まずは従来より適切な警報発表を可能とするPLUM法を速やかに導入（平成29年度中の導入）することを目指す。

なお、PLUM法は、今回示したように震源近傍の震度予測に改善の余地があるなど課題もあり、PLUM法を含む「揺れから揺れを予測する手法」については、今後も改善、高度化に努める必要がある。

## 2.2 動作確認中に発生したイベントにおける PLUM 法およびハイブリッド法

現在、運用開始（平成30年3月22日を予定）に向けて、PLUM法のリアルタイム処理での動作確認を、実際の緊急地震速報処理と併行して実施している。その動作確認中（2017年11月11日～2018年1月31日）に実際に緊急地震速報を発表した149イベントであり、そのうち運用開始後であればPLUM法による震度予測結果が反映されるイベントは5つ（表2.1）であった。ほとんどのイベントでは問題なく従来法で緊急地震速報を発表しており、想定通りの動作を確認している。

表 2.1 PLUM 法による震度予測結果が反映された緊急地震速報を発表したイベント

|  | 地震発生日時               | 震央地名   | 深さ   | M   | 最大震度 |
|--|----------------------|--------|------|-----|------|
|  | 2017年11月11日01時38分20秒 | 宮城県沖   | 59km | 4.7 | 4    |
|  | 2017年12月02日00時12分29秒 | 茨城県南部  | 43km | 4.4 | 4    |
|  | 2017年12月16日02時58分43秒 | 岩手県沖   | 52km | 5.5 | 4    |
|  | 2018年01月06日00時54分13秒 | 東京湾    | 71km | 4.7 | 4    |
|  | 2018年01月24日19時51分19秒 | 青森県東方沖 | 34km | 6.3 | 4    |

以下に参考資料として、そのうち特徴的であった3イベント（～）について詳細を添付する（19～23ページ）。



## 参考資料

## （1）事例 2017年12月16日 岩手県沖 M5.5

当該地震に対して、地震波検知（02時58分52.9秒）から7.3秒後に緊急地震速報（予報）第1報を発表した。この時の震源は着末着法によるもので、M4.4、最大予測震度は震度3で、地域予測震度は発表していない。その後、検知後15.5秒にM5.4となり、はじめて震度4を予測した（岩手県沿岸北部、岩手県内陸北部、青森県三八上北）。

同地震について、動作確認中の PLUM 法が導入された処理では、検知後9.2秒までは従来法により最大予測震度3で発表された（M4.4～M4.7）。しかし、検知後9.5秒には PLUM 法による震度予測が採用され、「岩手県沿岸北部」に対して震度4を予測した（図2.2）。その後、M5.4となった検知後15.4秒以降は、推定震源からの震度予測により「岩手県沿岸北部、岩手県内陸北部、青森県三八上北」に対して震度4を予測した（図2.3）。

本事例では、従来法のMの成長が比較的ゆっくりだったため、震度4予測となるまでに時間を要したが、PLUM法により約6秒早く「岩手県沿岸北部」に対して震度4の予測を出すことができた。

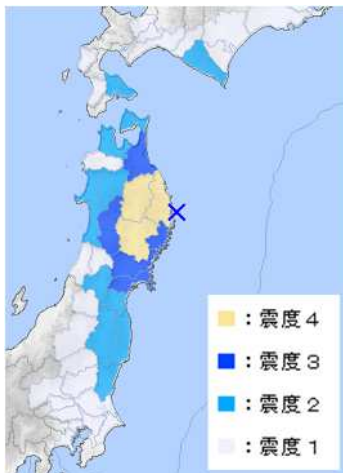


図2.1 実際に観測された震度（地域最大震度）

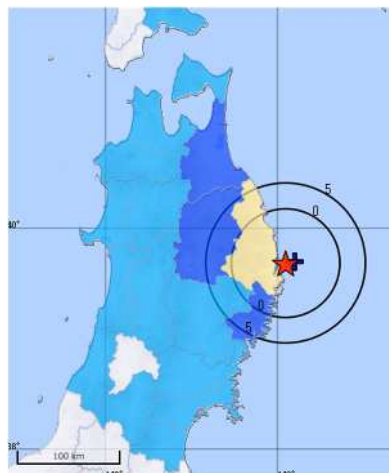


図2.2 震度予測結果（PLUM法）  
検知後9.5秒ではじめて震度4を予測

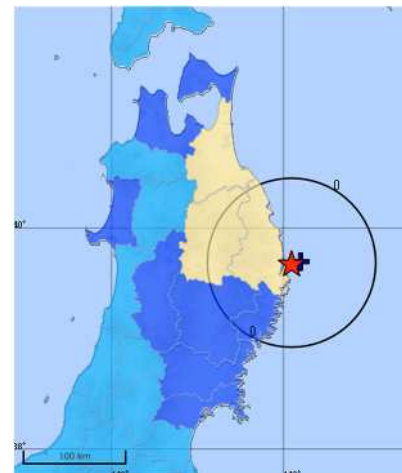


図2.3 震度予測結果（従来法）  
検知後15.5秒ではじめて震度4を予測

注 上図では予測震度3以下の予報区も描画しているが、緊急地震速報（予報）では震度4以上を予測した予報区を発表している

## （2）事例 2018年01月06日 東京湾 M4.7

当該地震に対して、地震波検知（00時54分25.1秒）から3.5秒後に緊急地震速報（予報）第1報を発表した。この時の震源はIPF法によるもので、「千葉県北西部、埼玉県南部、茨城県南部、東京都23区」に対して震度4を予測した。その後、IPF法震源と着末着法震源で緊急地震速報（予報）の更新を行ったが、検知後6.9秒以降の最大予測震度は震度3であり、地域の予測震度は発表していない（図2.5上）。

同地震について、動作確認中の PLUM 法が導入された処理では、第1報発表から検知後約7秒までは実際に発表された緊急地震速報（予報）とほぼ同等であった。しか

し、それ以降は PLUM 法による震度予測が採用され、予報の内容が異なった。検知後 10.7 秒に「東京都 23 区、埼玉県南部、千葉県北西部、東京都多摩東部、神奈川県東部」に対して震度 4 を予測した。さらに、検知後 14.8 秒には「茨城県南部」が、検知後 19.3 秒には「埼玉県北部」にも震度 4 予測が追加された（図 2.5 下）。

推定震源からの震度予測（従来法）でも、予報の初期には震度 4 予測となったが、実際に観測された震度分布と比較すると北側に偏っていた。また、予報の後半では予測震度が震度 3 以下と、実際よりも過小となった。対して PLUM 法では、震度 4 を観測した 4 地域のうち神奈川県西部を除いた 3 地域について、予測震度 4 の予報を発表できた。しかし、それ以外の観測震度 3 であった地域に対しても、予測震度 4 で発表しており、若干過大予測となっている（図 2.6）。

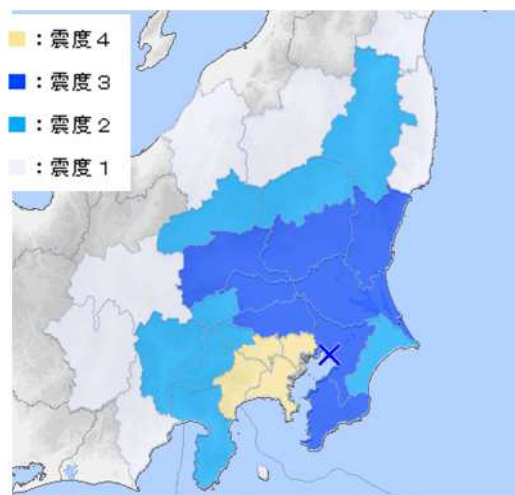


図 2.4 実際に観測された震度（地域最大震度）

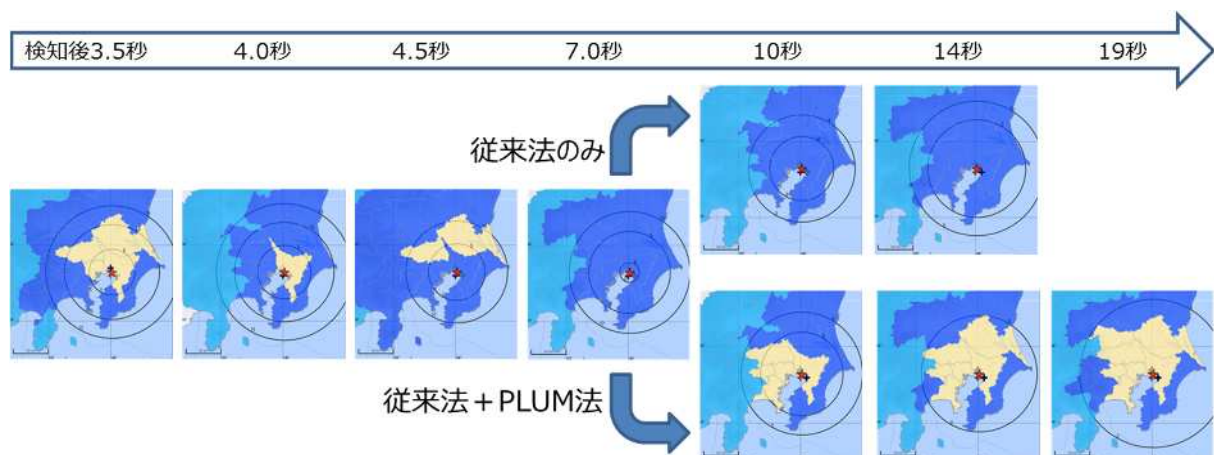


図 2.5 震度予測結果（上：従来法のみ 下：従来法 + PLUM 法）

注 上図では予測震度 3 以下の予報区も描画しているが、緊急地震速報（予報）では震度 4 以上を予測した予報区を発表している

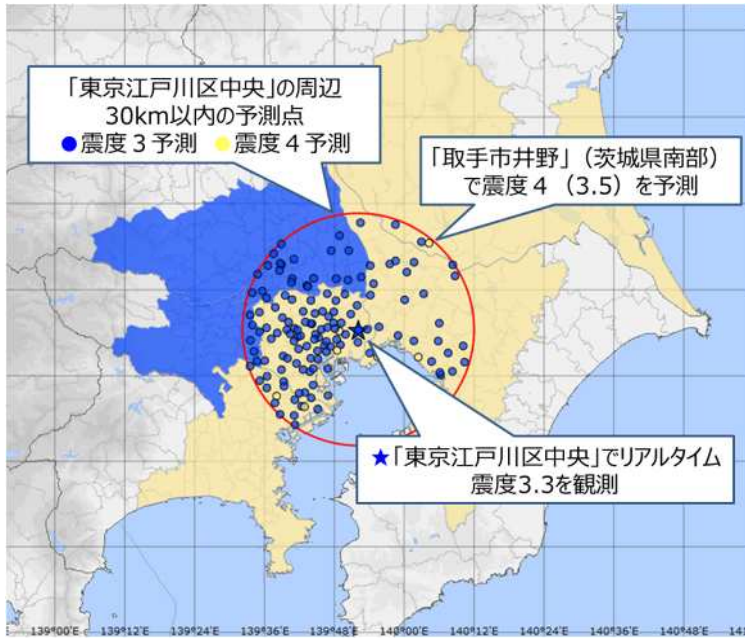


図 2.6 「東京江戸川区中央」観測点  
でリアルタイム震度 3.3 を観測し  
た場合の PLUM 法予測

検知後 14.8 秒のタイミングで茨城県南部で震度 4 予測となったのは、「東京江戸川区中央」観測点でリアルタイム震度 3.3 を観測し、PLUM 法により茨城県南部の予測点「取手市井野」で震度 4 (3.5) を予測したため。(茨城県南部で震度 4 予測となった予測点はこの 1 点のみ)

(3) 事例 2018 年 01 月 24 日 青森県東方沖 M6.3

当該地震に対して、地震波検知(19時51分34.7秒)から4.4秒後に緊急地震速報(警報)第1報((予報)第1報)を発表した。この時の震源はIPF法によるもので、「青森県三八上北、青森県下北」に対して震度5弱を予測し、「岩手県沿岸北部、岩手県内陸北部、日高地方東部、青森県津軽北部、渡島地方東部、日高地方中部」に震度4を予測した(図2.8)。その後、予報の最終報として第11報(検知後53.7秒)まで発表した。

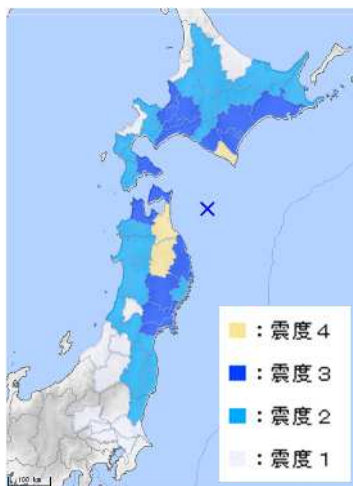


図 2.7 実際に観測された震度  
(地域最大震度)

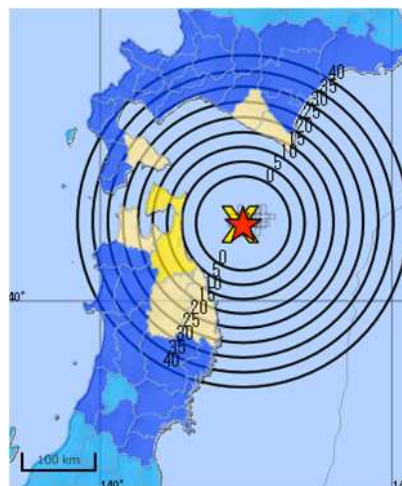


図 2.8 震度予測結果(従来法)  
検知後 4.4 秒



図 2.9 別イベント ID の予報内容  
最初の予報の検知後 90 秒(+ : 仮定震源)

注 上図では予測震度 3 以下の予報区も描画しているが、緊急地震速報(予報)では震度 4 以上を予測した予報区を発表している

PLUM 法が導入された処理でも、第 1 報の発表時刻(検知後 4.4 秒)や、最終報にいたるまでの警報・予報の発表内容については大きな差異はなかった。しかし、予報の



最終報が発表された15秒後（19時53分04秒）に、別イベントIDで最大予測震度3の緊急地震速報（予報）を発表した（図2.9）。これは、当初発表していたIDの緊急地震速報の処理が終了した後に、宮城県北部にある「登米市中田町」と「涌谷町新町裏」の気象庁観測点で震度3（リアルタイム震度2.5）を観測したため、PLUM法による新規イベントとして緊急地震速報（予報）の発表条件を満たしたためである。当該イベントの加速度波形を確認したところ、これらの観測点の観測時刻に異常があるわけではなく、S波到達以降のリアルタイム震度の最大値（PLUM法に採用される閾値であるリアルタイム震度2.5程度）の発現時刻付近であることがわかった（図2.10）。

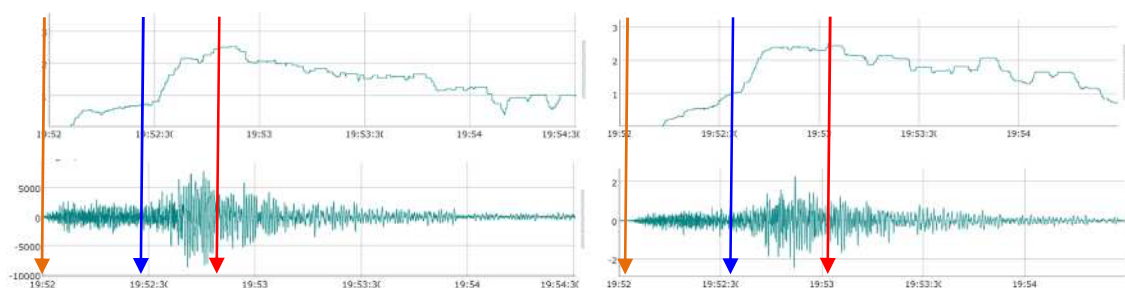


図2.10 リアルタイム震度・加速度波形（上下動成分） 左：登米市中田町 右：涌谷町新町裏  
：理論P波走時      ：理論S波走時      ：リアルタイム震度2.5を観測した時刻

図2.11に、当該イベントにおけるPLUM法のトリガオン予報区の推移を示す。19:51:49（図2.11）にリアルタイム震度2.5以上のデータが初めて入電し、PLUM法としてのイベント処理が開始した（従来法としてはすでに19:51:39に予報第1報を発表しており、この時点で予報第8報まで発表している）。その後、周辺地域でもリアルタイム震度データが入電していく（図2.11～）が、19:52:49（図2.11）にPLUM法で同一イベントとして処理している全予報区でトリガオフ（予報区内のリアルタイム震度の最大値が2.0を下回った時間が10秒継続）となり予報処理を終了した。しかしその1秒後の19:52:50（図2.11）に、登米市中田町の観測点からリアルタイム震度2.5のデータが入電したことで宮城県北部の予報区がトリガオンし、その14秒後の19:53:04（図2.11）に2点目の涌谷町新町裏からリアルタイム震度2.5のデータが入電したことでPLUM法による予報発表条件を満たし、同時刻に緊急地震速報（予報）第1報を発表した。

最初のIDの予報処理の終了タイミングが遅ければ、新規に開始されたPLUM報のイベントは、既存のIDの予報処理に取り込まれ、新規IDによる緊急地震速報（予報）の発表はなかった。このようなケースは想定していたが、頻度が低い現象と考えている。今後PLUM法を運用していく中で必要に応じて、イベント終了条件の見直しを検討したい。

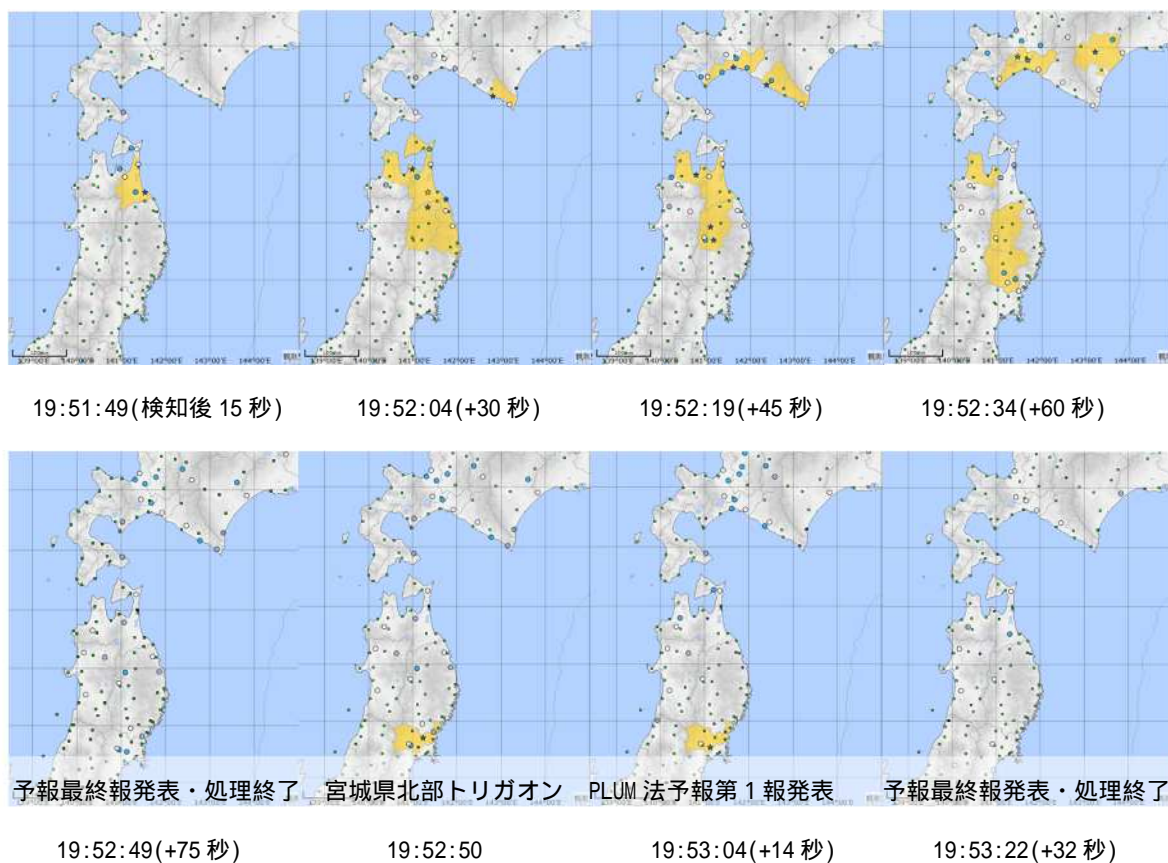


図 2.11 PLUM 法のトリガオン予報区の推移

黄色の領域が PLUM 法の内部処理におけるトリガオン予報区。予報区のトリガオン・オフ条件は下記のとおり。

- ・トリガオン条件：当該予報区内の観測点のリアルタイム震度の最大値が 2.5 以上となった。
- ・トリガオフ条件：最大値が 2.0 を下回った時間が 10 秒以上となった。

### 3 緊急地震速報の精度向上に向けた課題と対策

#### この項の要点

- 1月5日11時02分頃に茨城県沖を震源とする地震(M4.5、茨城県で最大震度3)に対して発表した緊急地震速報について、震度を過大に予測したため関東地方や福島県に警報を発表した。
- 今回の問題点は、その直前に富山県西部を震源とする地震(M4.0)が発生しており、IPF法における地震同一判定処理、イベントID発番処理、マグニチュード(M)計算における観測点選別処理、の3つの処理に起因する。
- 年度内に実施する対策のほか、からの処理について、対処策の検証と改善の実施を予定している。

#### 3.1 2018年1月5日の発表状況について

1月5日11時02分頃に茨城県沖を震源とする地震(M4.5、茨城県で最大震度3。以下「地震\_I」とする)に対して発表した緊急地震速報について、震度を過大に予測したため関東地方や福島県に警報を発表した。図3.1と表3.1に発表状況を示す。

この過大予測の原因は、地震\_Iの約3秒前に約400km離れた富山県西部で発生していた別の地震(M4.0、石川県で最大震度3。以下「地震\_T」とする)による振幅(富山県周辺の2観測点)を用いて、地震\_IのMを過大(M6.4)に推定したためである(図3.2)。

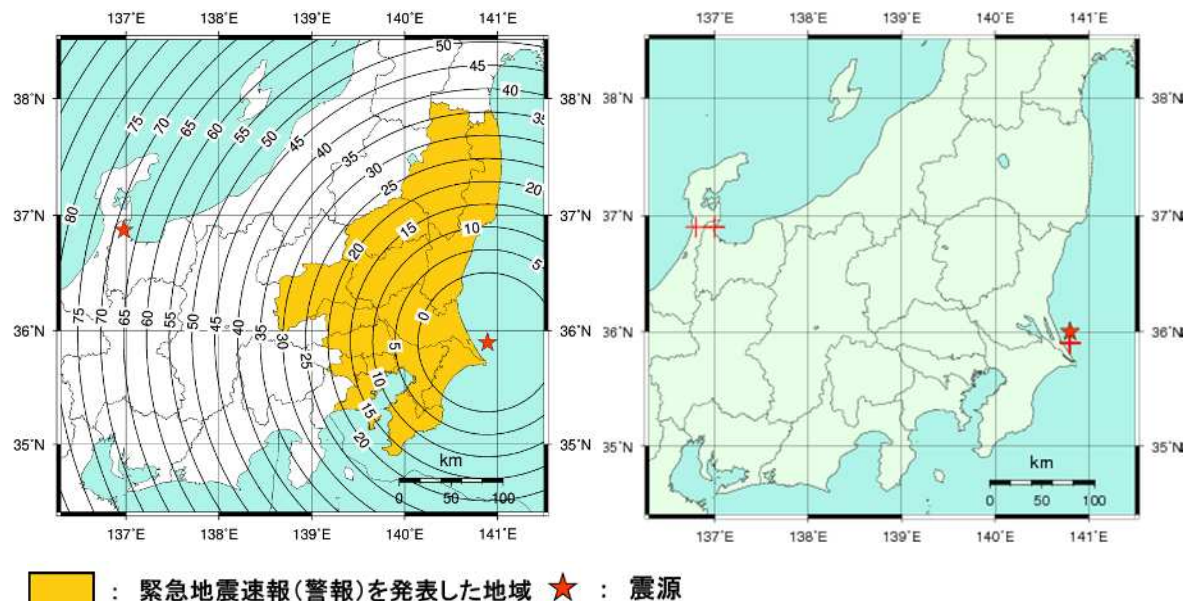


図3.1 左：緊急地震速報（警報）発表から主要動到達までの時間及び警報発表対象地域の分布図

右：推定した震源の位置



表3.1 発表した緊急地震速報の詳細

## 発生した地震の概要（暫定値）

| 地震発生日時                 | 震央地名  | 北緯      | 東経       | 深さ   | M   | 最大震度 |
|------------------------|-------|---------|----------|------|-----|------|
| 平成30年01月05日11時02分25.5秒 | 茨城県沖  | 35°53.7 | 140°53.4 | 41km | 4.5 | 3    |
| 平成30年01月05日11時02分22.9秒 | 富山県西部 | 36°52.2 | 136°58.8 | 14km | 4.0 | 3    |

## 緊急地震速報の詳細（緊急地震速報（警報）は背景が灰色の時に発表）

| 地震波検知時刻    |                    | 11時02分27.0秒<br>(羽咋) |             | 震源要素        |              |             |            |               | 予測震度 | 震源種別 |
|------------|--------------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|---------------|------|------|
| 提供時刻       | 経過時間               | 震央地名                | 北緯          | 東経          | 深さ           | M           |            |               |      |      |
| 第1報        | 11時02分32.0秒        | 5.0                 | 石川県能登地方     | 36.9        | 136.8        | 10km        | 3.9        | 最大震度3<br>程度以上 | IPF法 |      |
| 第2報        | 11時02分32.3秒        | 5.3                 | 富山県西部       | 36.9        | 137.0        | 10km        | 4.3        | 最大震度3<br>程度以上 | 着未着法 |      |
| 第3報        | 11時02分37.1秒        | 10.1                | 富山県西部       | 36.9        | 137.0        | 10km        | 4.3        | 最大震度3<br>程度以上 | 着未着法 |      |
| <b>第4報</b> | <b>11時02分46.4秒</b> | <b>19.4</b>         | <b>茨城県沖</b> | <b>35.9</b> | <b>140.8</b> | <b>30km</b> | <b>6.4</b> | <b>1</b>      | 着未着法 |      |
| 第5報        | 11時02分54.9秒        | 27.9                | 茨城県沖        | 35.9        | 140.8        | 30km        | 6.4        | 1             | 着未着法 |      |
| 第6報        | 11時02分57.1秒        | 30.1                | 茨城県沖        | 35.9        | 140.8        | 30km        | 6.4        | 1             | 着未着法 |      |
| 第7報        | 11時03分10.9秒        | 43.9                | 茨城県沖        | 35.9        | 140.8        | 30km        | 5.9        | 2             | 着未着法 |      |
| 第8報        | 11時03分30.0秒        | 63.0                | 茨城県沖        | 35.9        | 140.8        | 30km        | 5.9        | 2             | 着未着法 |      |
| 第9報        | 11時03分41.6秒        | 74.6                | 茨城県沖        | 35.9        | 140.8        | 30km        | 5.9        | 2             | 着未着法 |      |

- 1 震度5強程度 茨城県南部  
震度5弱から5強程度 千葉県北東部  
震度5弱程度 茨城県北部  
震度4から5弱程度 千葉県北西部  
震度4程度 千葉県南部、東京都23区、埼玉県南部、栃木県南部、埼玉県北部、神奈川県東部、  
栃木県北部、群馬県南部、福島県浜通り、福島県中通り  
震度3から4程度 東京都多摩東部
- 2 震度5弱程度 茨城県南部  
震度4程度 千葉県北東部、千葉県北西部、茨城県北部、埼玉県南部、  
栃木県南部、埼玉県北部  
震度3から4程度 東京都23区

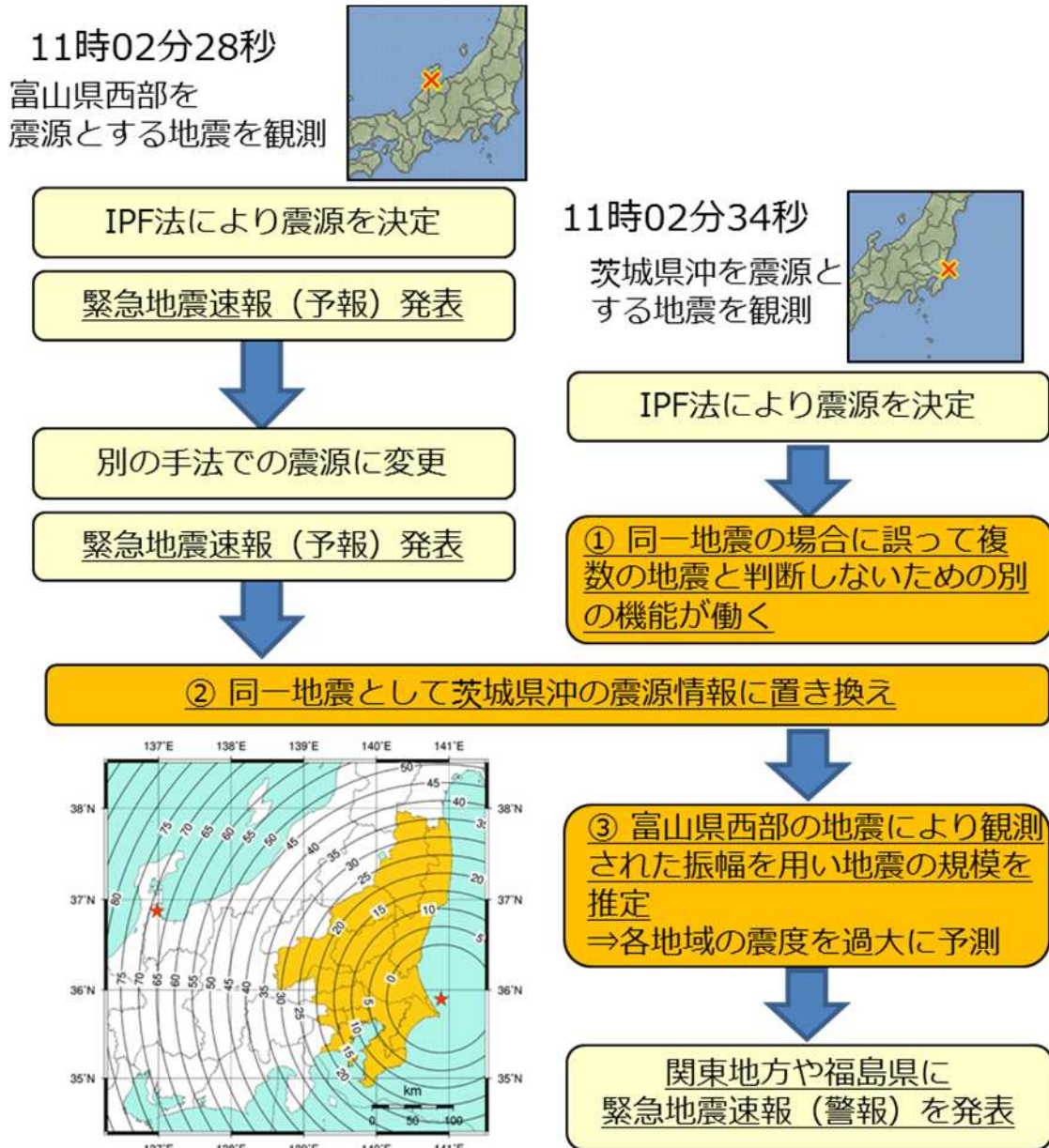


図 3.2 2018 年 1 月 5 日 11 時 02 分に発表した緊急地震速報における主な処理フロー

今回の処理フローの概略は以下の通り（図3.3）。

1. 地震\_Tを検知し、イベント ID\_Tを発番。
2. IPF法の震源情報により最大震度3以上を予測し、予報（第1報）を発表。その後、より優先度の高い着未着法による震源情報で代表震源を更新し、予報（第2報）を発表。
3. 地震\_Iを検知。IPF法等により適正に分離し、別のイベント ID\_Iを発番。
4. IPF法において、地震同一判定処理（現地観測点から送信される諸元データ（以下「A電文」とする）がどちらのイベントに所属可能かどうかを理論走時や振幅によりチェック）を実施。その結果、イベント ID\_T及びイベント ID\_Iの両者に重複して所属可能であると判断されたA電文の割合が一定値を超過したため、両イベントを同一の地震とみなし、尤度（震源としての尤もらしさ）が低いイベント ID\_Iを強制終了した（図3.4）。
5. 着未着法において、茨城県沖を震源とする地震を決定。イベント ID 発番処理において、既存であるイベント ID\_Tの代表震源（着未着法：富山県西部）と震源位置・規模等の比較を行い、両者間の震源距離が閾値である500km以内であったことなどから、同一地震とみなして新たなイベント ID は発番しなかった。
6. イベント ID\_Tの代表震源を 茨城県沖に更新した上で、イベント ID\_Tとして管理されている富山県周辺の2観測点の振幅を利用してMを推定（M6.4）し、関東地方・福島県に警報を発表した。
7. その後も IPF法において、茨城県沖の地震を識別しているが、と同じ理由で強制終了となったり、強制終了とならなくてもイベント ID\_Tが優先度の高い着未着法による代表震源であったため更新されなかった。

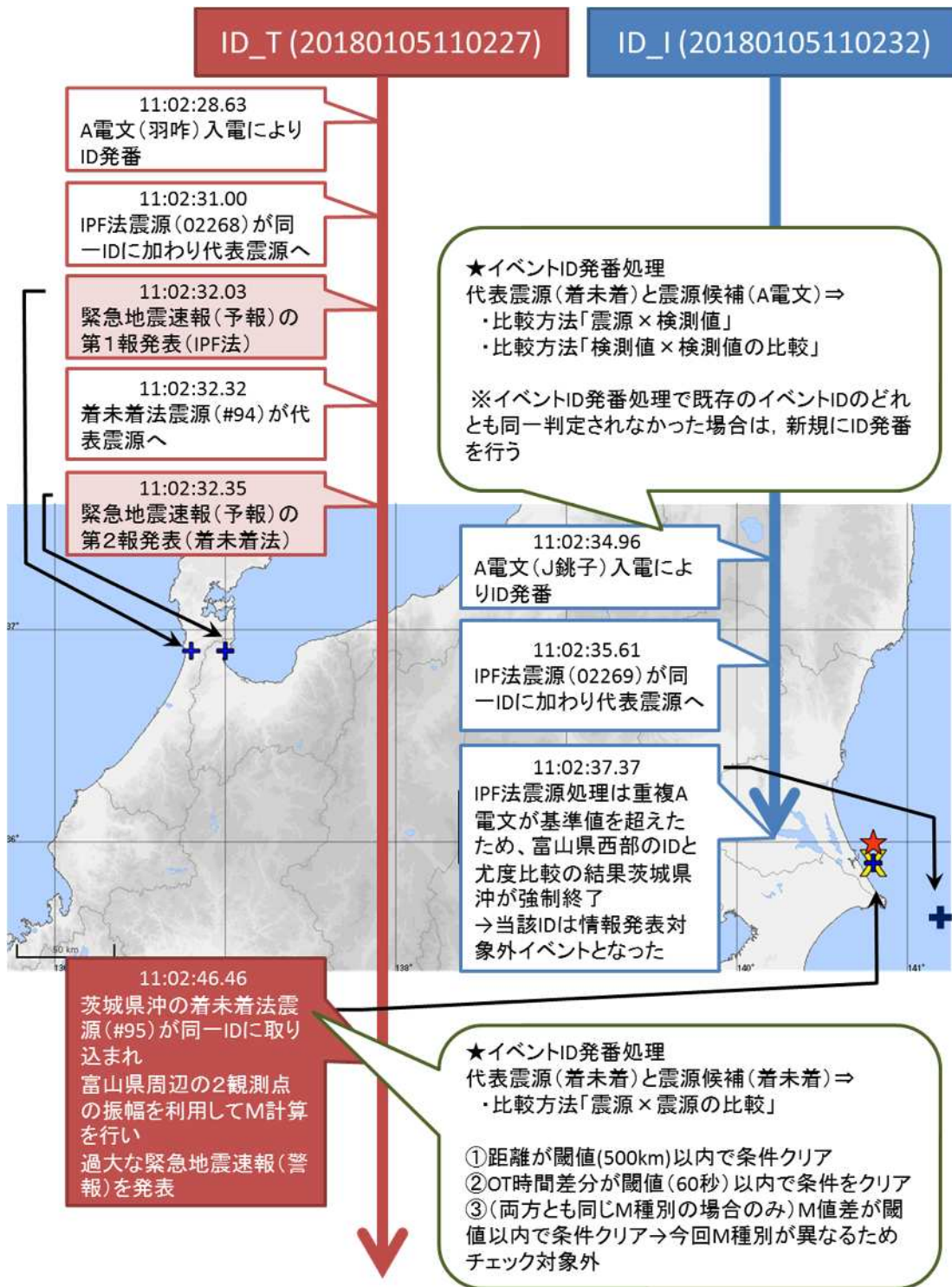


図 3.3 2018年1月5日に発表した緊急地震速報における処理の詳細



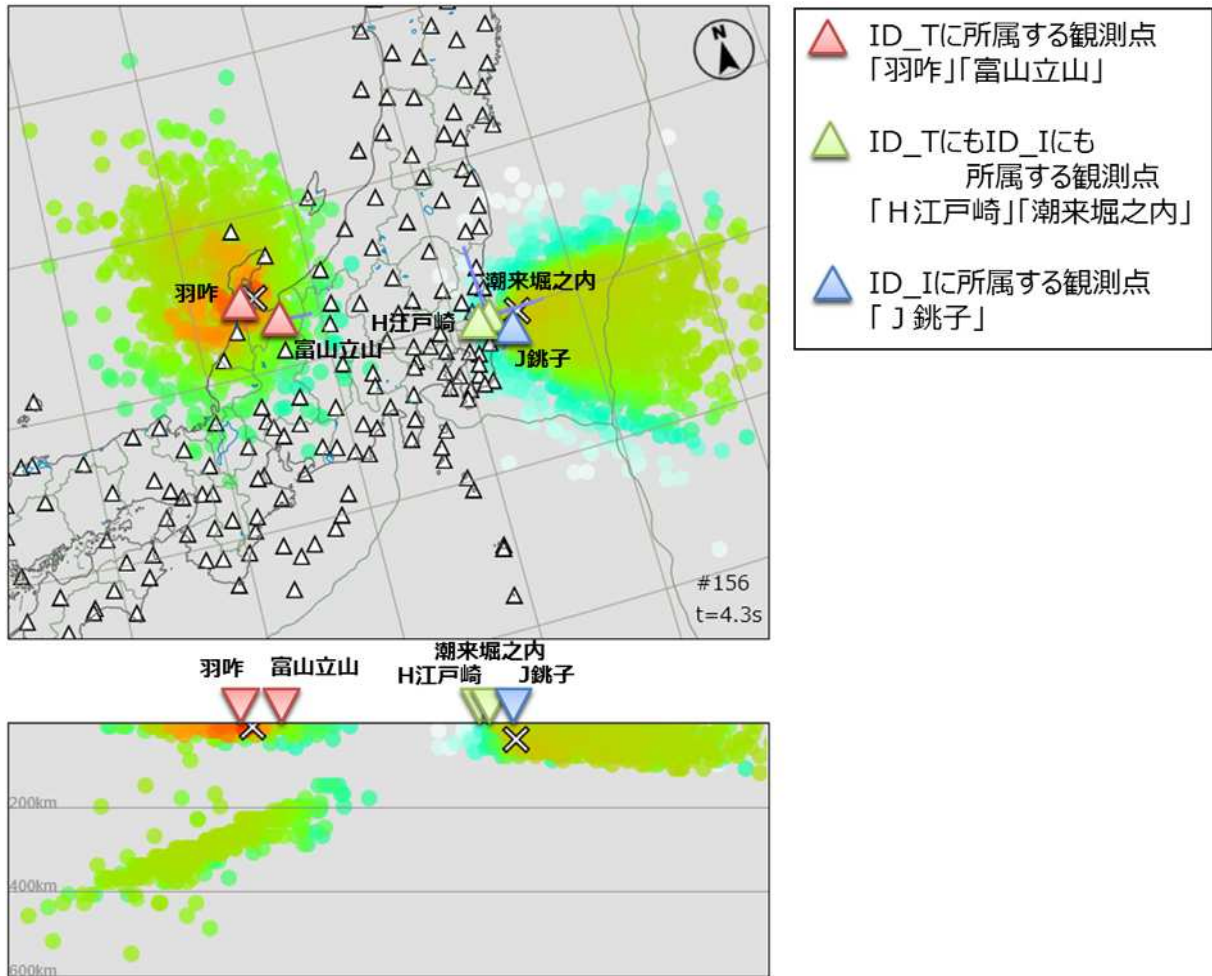


図 3.4 2018 年 1 月 5 日の IPF 法におけるパーティクルの尤度分布と A 電文が送信された観測点  
 イベント ID\_I の強制終了時点のスナップショット。イベントを適正に分離しているが、日本海側の  
 深発地震も考慮したパーティクルの尤度分布により、H江戸崎と潮来堀之内（緑）の A 電文は ID\_T  
 にも ID\_I にも所属可能と判断された

### 3.2 処理の問題点について

今回の処理の問題点は、3.1 で記載した の3つの処理に起因する。 からそれぞれの処理の概念図を図 3.5 に示す。また、各処理の概要と今回の動作については以下の通り。

#### IPF 法における地震同一判定処理

##### ア 処理の概要

地震同一判定処理とは、地震の同時発生時においてはイベントを正しく分離させるとともに、巨大地震や深発地震時などにおいても誤って複数の震源を作り出すことなく一つのイベントにまとめるためのものである。

##### イ 今回の動作

本処理の判定ロジックの一つに、既に決定している複数のイベントに対し、A電文が走時や振幅の情報に基づき、どのイベントに所属可能かどうかを判断し、

重複して所属するA電文の割合が一定値（50%）を超過した場合には、重複所属している地震を同一と判断してイベント終了させるというものがある。今回は、この割合が66.7%となったため、より尤度が低いイベントID\_Iは強制終了となった。

## イベントID発番処理

### ア 処理の概要

緊急地震速報は、時々刻々入電するデータに対し、複数の震源決定手法（IPF法、着未着法、HYPOON）で処理を行っており、イベントID発番処理において、それらの処理結果（震源情報）が同一イベントのものであるかどうかを判断し、別イベントであれば新規にイベントIDを発番し、同一であれば既存のイベントIDに結びつけて情報発表を行っている。

### イ 今回の動作

本処理においては、既存のイベントIDの代表震源と新たな推定震源の震源情報の比較を最初に行い、時空間的に近接（同じ地震が複数に分離しないよう、震源距離については500km以内とするなど）している場合には同一のイベントと判断している。今回の場合は、両者の震源距離が約400kmであり、同一地震と判断されたため、イベントID\_Tの震源が富山県西部から茨城県沖に変更となった。

なお、震源情報の比較で同一とならなかった場合も、震源と各検測値の比較、検測値同士の比較による判定も実施している。

## M計算における観測点選別処理

### ア 処理の概要

地震発生直後は、振幅データが少なくMが求まらずに緊急地震速報が発表できなくなる場合があるため、あるイベントIDに結びつけられた基準以上の振幅については、震源距離や最大振幅発現時刻の妥当性チェック等は行わず、M計算に利用している。

### イ 今回の動作

震源が茨城県沖に移動した後も、富山県付近の振幅のみを利用してM計算を行った。なお、利用した最大振幅の発現時刻は、いずれも茨城県沖の地震による理論P時刻以前ののものであった。



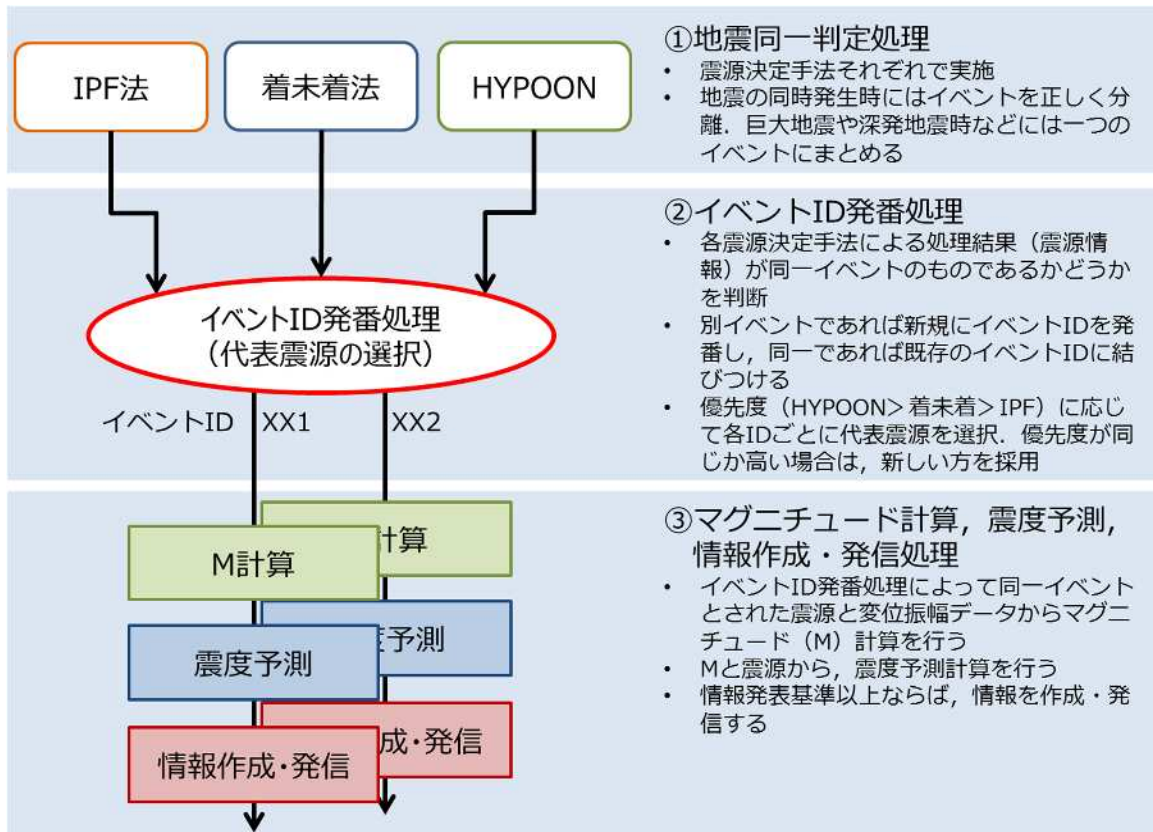


図 3.5 緊急地震速報処理の概念図

### 3.3 今後の対策について

将来的には、震源決定手法の整理や高密度な観測データの利用などを検討する。震源決定手法を整理することで、今回問題となったイベント ID 発番処理自体が不要となる。現在、気象庁観測点と一部の他機関観測点のデータしか利用していない IPF 法において、より高密度な観測データを利用するなどの検討を進める。

#### （1）年度内に実施する対策

まず、本年3月末に予定している PLUM 法の導入と同じタイミングで、推定された M と震源近傍の観測点の振幅値を比較し、妥当だと判断されない場合は、その震源情報を代表震源に置換しない処理（緊急地震速報評価・改善検討会 技術部会（第7回）「3.2.従来法震源の信頼性の判定」で説明）を導入する予定である（第7回資料より再掲：図3.6）。

この処理は今回の事例のような過大な M 計算に対する対策としても有効であり、茨城県沖を震源として富山県付近の振幅を用いて M 計算した結果（M5.8 または M5.9）はいずれも妥当と判断されず、過大な警報発表にはいたらないことが確認できた。（表3.2）。

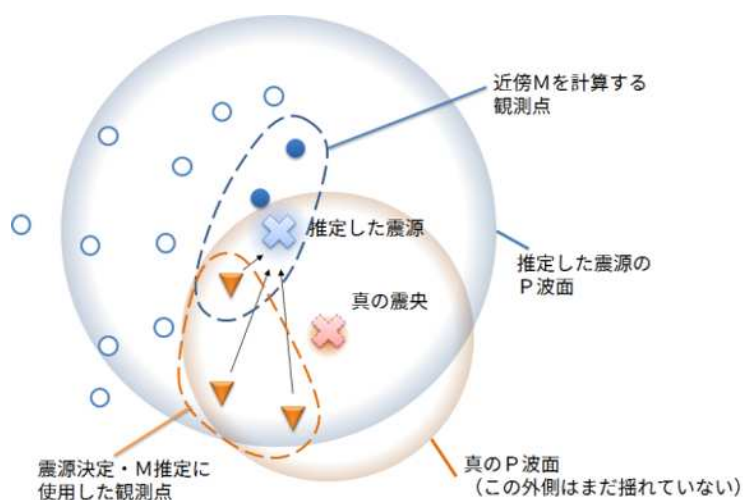


図 3.6 近傍Mによる品質管理の概念図（第7回資料より再掲）

表 3.2 2018年1月5日の事例で震源近傍観測点による品質管理を適用した結果

| 処理時刻       | 緯度   | 経度    | 深さ | M   | 震源地名   | 処理状況                    |
|------------|------|-------|----|-----|--------|-------------------------|
| 11:02:32.2 | 36.9 | 136.7 | 10 | 3.9 | 石川県西方沖 | 予報第1報（最大予測震度3）          |
| 11:02:32.3 | 36.9 | 137.0 | 10 | 4.3 | 富山県西部  | 予報第2報（最大予測震度3）          |
| 11:02:36.3 | 36.9 | 137.0 | 10 | 4.6 | 富山県西部  | 予報第3報（最大予測震度3）          |
| 11:02:37.0 | 36.9 | 137.0 | 10 | 4.6 | 富山県西部  | 予報第4報（最大予測震度3）定時報       |
| 11:02:38.2 | 36.9 | 137.0 | 20 | 4.1 | 富山県西部  | 予報第5報（最大予測震度3）          |
| 11:02:43.6 | 35.9 | 140.8 | 30 | 5.8 | 茨城県沖   | 近傍M3.6に比べ過大(+2.2)のため不採用 |
| 11:02:49.9 | 35.9 | 140.8 | 30 | 5.9 | 茨城県沖   | 近傍M3.6に比べ過大(+2.3)のため不採用 |
| 11:02:57.0 | 36.9 | 137.0 | 20 | 4.1 | 富山県西部  | 予報第6報（最大予測震度3）定時報※      |
| 11:03:07.4 | 36.9 | 137.0 | 20 | 4.1 | 富山県西部  | 予報第7報（最大予測震度3）最終報       |

予報第5報と同じ震源要素で発表

なお、PLUM法が導入された処理では、茨城県沖のイベントについては、PLUM法に利用している気象庁観測点で震度3（リアルタイム震度2.5）以上を観測しなかったため、PLUM法としてのイベントは成立しなかった。また、富山県西部のイベントでは1箇所リアルタイム震度2.5以上を観測したが、従来法による予測震度を超えなかったため、PLUM法の予測結果として緊急地震速報に反映されなかった。

## （2）現在検討中の対策

今後はさらに、前述 から の処理について、以下のような対処策の検証と改善の実施を予定している。

### IPF法における地震同一判定処理

本処理の導入にあたっては、東北地方太平洋沖地震以降に、地震の同時多発のため過大警報となった多数の事例において検証を行い、適切に動作することを確認し

ている。このため、今回の事例に適応できるように重複判定の基準値を調整することが妥当であるかについては、今後さらに多くの事例検証等を行ってその必要性を検討する。

#### イベント ID 発番処理

現在、発番処理において、既存の ID の代表震源と新たな処理結果が同一イベントのものであると判断された場合の新たな代表震源への採用の優先度については、HYPOON、着未着法、IPF 法の順としている。この優先度について、IPF 法の実績（利用観測点数に応じた精度等）を踏まえて検証し、見直しや高度化を実施する。

また、既存のイベント ID の代表震源と新たな推定震源の震源情報の比較を行う際の基準値について、見直しを実施する。

さらに、今回の事例では問題となっていないが、新たな処理結果の震源が複数の既存 ID のイベントと同一と判定された場合における、既存 ID との結びつけの優先度の見直しや高度化も実施する。

#### M 計算における観測点選別処理

本処理は、M 未計算による未発表（見逃し）等を防ぐために、可能性のある振幅データはなるべく計算に利用するような処理にしている。PLUM 法の導入に伴い、振幅データの不足による M 未計算が発生しても見逃しの可能性が低くなることから、震源距離や最大振幅発現時刻の妥当性チェックを行うなど、遠方や走時に合わない振幅の利用を制限する方策等検討する。また、推定震源近傍の観測点のみで M 計算を行う手法についても検討する。

## 4 海底地震計データの活用

## この項の要点

- 海底地震計において震源近傍で生じる過大振幅について特徴を整理した。
- 傾動や震源近傍で生じる水平動の過大振幅に対しては、上下動変位マグニチュード（M）の利用が有効である。
- 上下動変位Mの利用においても、揺動によって生じる過大振幅の混入を避けるための手法検討が必要である。
- 初期のM計算の安定性を高めるため、M計算において、複数地点のデータが得られてからMを算出し、過大振幅となりうる地点Mの上位数点のデータを除外することとしたい。
- 過大振幅データによる影響を避けるため、観測した加速度の大きいデータや、品質管理処理において揺動が検出された場合に、振幅値をM計算処理から除外することとしたい。

## 4.1 海底地震計データの活用に向けた技術的検討

緊急地震速報評価・改善検討会においては、海底地震計データの活用に向けた検討としてこれまでに、第6回で JAMSTEC の釧路沖 OBS のデータを元に傾動による加速度オフセットの特徴について、第7回で S-net における自動検出・単独観測点処理の適用状況と上下動変位Mの利用可能性、そして観測点近傍での過大振幅値によるMの過大推定について紹介した。今回は、過大振幅値を生じる事象の詳細について述べたうえで、M推定のための中枢処理手法と、S-net での単独観測点処理に実装すべき品質管理処理について示す。データの検証には、2016年4月以降に S-net 周辺で発生した M5以上の地震と、2016年10月以降に発生した M4.5以上の地震 216個のデータを利用した（図4.1）。

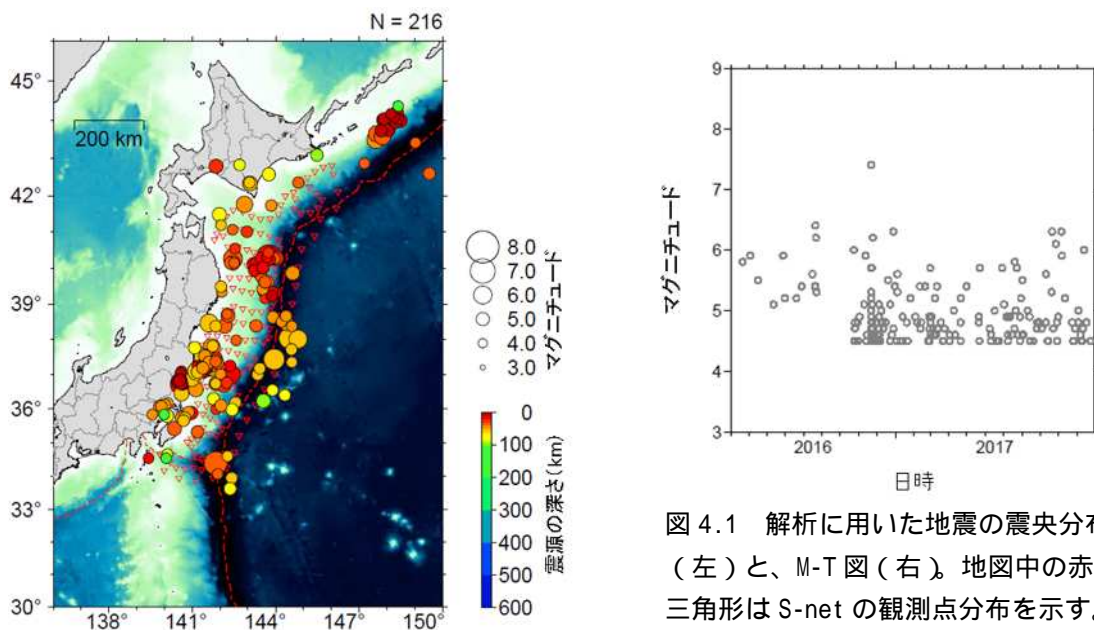


図4.1 解析に用いた地震の震央分布図（左）と、M-T図（右）。地図中の赤の逆三角形は S-net の観測点分布を示す。



#### 4.2 海底地震計にみられる過大振幅の特徴

広く面的に分布するS-netでは、地震の震源直上での観測記録が得られることから、緊急地震速報の迅速化に貢献できると考えられるが、特に震源直上や入力加速度が大きい場合などではM計算に用いる変位振幅が過大になることがあることがわかってきた。地震計の傾動による影響や、震源近傍で生じる水平動の過大振幅に関しては、上下動変位M式の利用で影響を軽減することが可能である。対して、地震計の揺動による影響や、海溝軸陸側の観測点で生じる振幅過大については、上下動変位Mにおいても地点Mが過大となる場合があるため注意が必要である。

##### (1) 地震計の傾動による影響

過大な変位振幅を生じる海底地震計特有の現象として、地震計の傾動がある。海底地震計が強震に見舞われた際、海底地震計の円筒状の筐体の姿勢が地震中に回転して変化することで重力加速度の3成分への分力が変化すること（傾動）により、重力加速度のオフセットを正しく補正できなくなることが原因である。S-netにおいて加速度計に記録される重力加速度の解析により地震記録の前後での海底地震計の姿勢角を調査したところ、入力加速度が100galよりも大きい場合に、その入力加速度に応じて海底地震計の姿勢角変化が有意に大きくなることがわかった（図4.2）。また、海底地震計筐体の長軸方向であるケーブル軸方向が傾くピッチ角変化に比べて、円筒容器が回転する方向であるロール角変化が大きい特徴がある。傾動による影響は、姿勢角の変化量が小さい場合には水平動のオフセットとして大きく出現する特徴がある（図4.3）。2016年11月22日5時59分の福島県沖の地震（M7.4）では、震源直近の観測点4～5点において傾動が生じ、過大な変位振幅が生じた。例えば、N.S2N14観測点においては、1,270galの入力による傾動（-9.9度のロール、-1.1度のピッチ変化）により、3成分合成変位MではM9.0と評価される。傾動による変位振幅のオフセットが実際の地震動のシグナルを超える場合があるためである。なお、上下動変位振幅では傾動による影響は小さく、上下動Mでは過大傾向が小さい（図4.4、図4.5）。

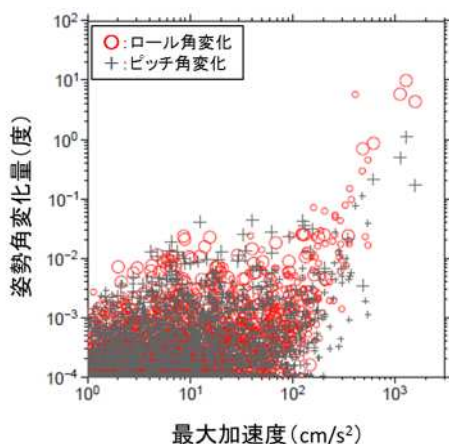


図 4.2 S-net における入力加速度と地震前後での姿勢角変化量との関係。大きなシンボルは2016年11月22日の福島県沖の地震（M7.4）の結果を示す

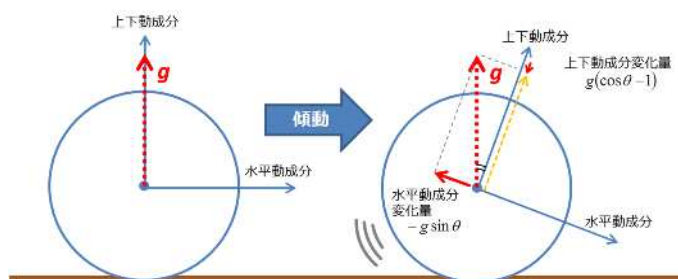


図 4.3 筐体の傾動に関する模式図。地震計の姿勢角が変化することで、上下動にも水平動にも重力加速度の分力がオフセットとして加わることになるが、回転量（ $\theta$ ）が小さい場合には、上下動に比べて水平動のオフセットが大きくなる。

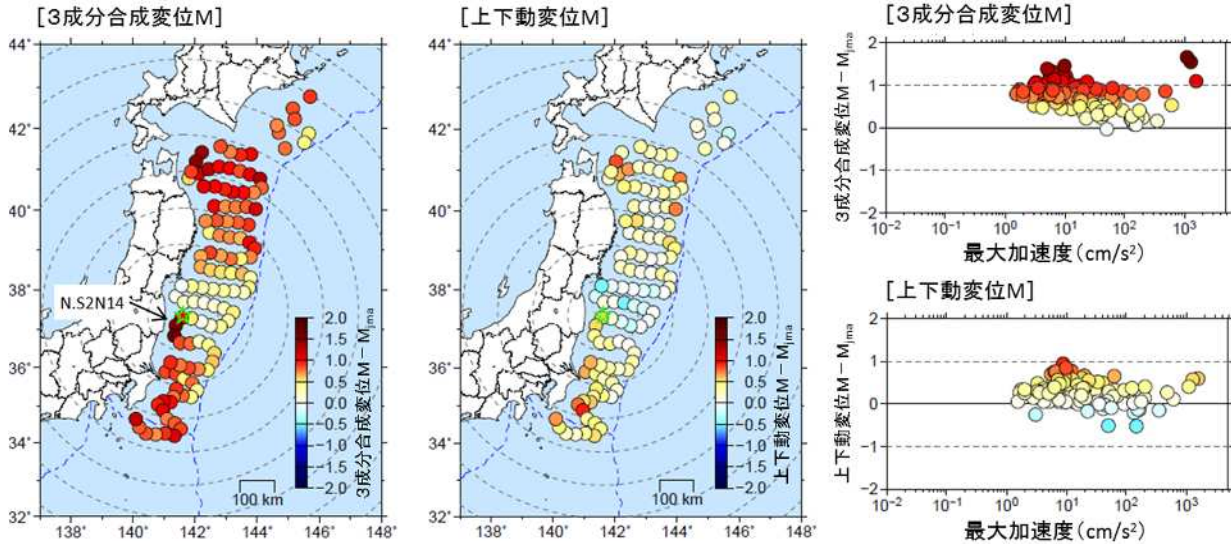


図4.4 2016年11月22日05時59分のM7.4の地震における3成分合成変位Mと上下動変位Mとの地点Mの気象庁マグニチュード(M<sub>jma</sub>)との残差の分布図(左:3成分合成、中:上下動)と、M残差の最大加速度との関係(右)。3成分合成Mでは傾動の影響により、入力加速度の大きな観測点で過大評価となる傾向が大きい。

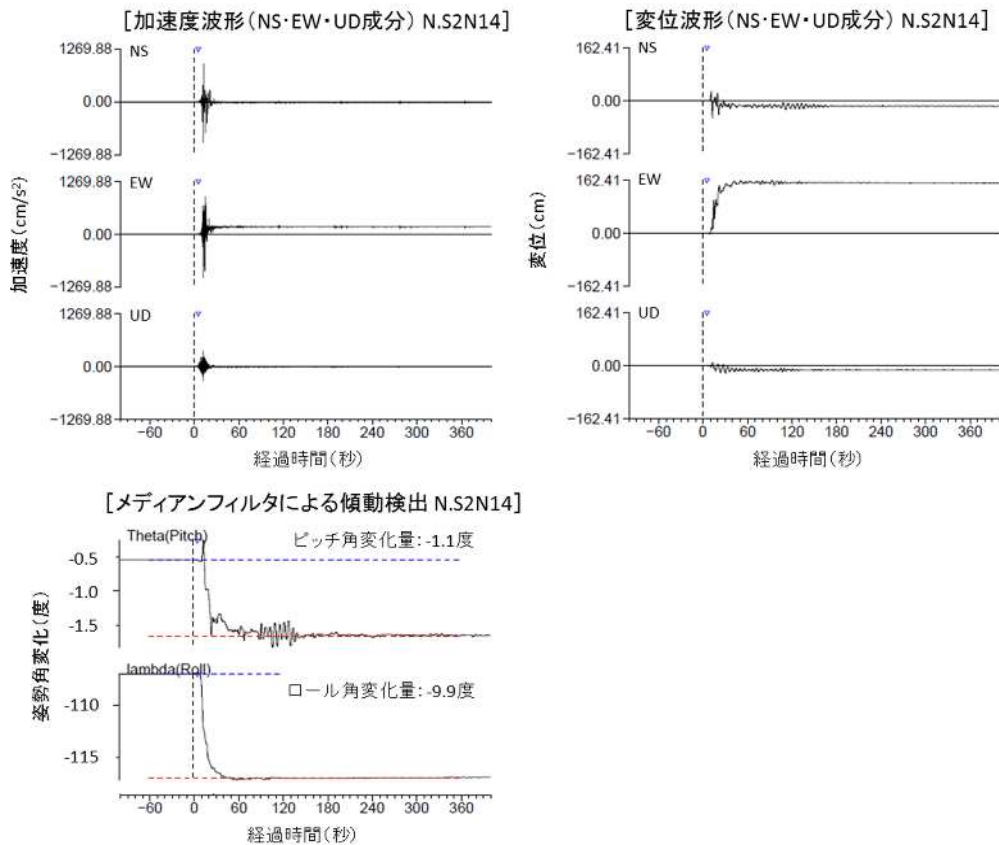


図4.5 2016年11月22日05時59分のM7.4の地震におけるN.S2N14観測点での3成分加速度波形(左上)変位波形(右上)と、地震波形からメディアンフィルタにより抽出したオフセット変化を元に算出した姿勢角の時系列変化(左下)。地震前後でロール角に-9.9度の姿勢角変化が生じていることがわかる。

（2）地震計の揺動による影響

傾動による水平動の過大振幅は、上下動変位M式を用いることでより適切なMが算出できることが確認できた。ただし、上下動Mを利用した場合も、震源近傍の観測点でMが過大になる場合が存在することがわかった。その一例を図4.6に示す。変位振幅にオフセットとして生じる傾動の特徴とは異なり、上下動変位波形に下向きの片づれとして出現する特徴的な記録が存在する。傾動による加速度オフセットの変化は、加速度波形を単純積分した場合には基線の折れ曲がりとして表現されるが、上下動の片づれが上下動変位波形に発現する事象では、上下動加速度波形の単純積分波形にオフセットとして発現している（図4.7）。また、この現象は上下動成分にしか存在しない。これらの特徴から、強震時に地震計が揺れ動くことで上下動成分に混入する重力加速度値が一定時間減少することにより上下動成分に下向きのノイズが生じていると解釈し、この現象を「揺動」と呼ぶこととする。揺動の影響は上下動変位Mの利用に影響を及ぼすことから、この影響を受けた地震波形をM推定に利用しない方法の検討が必要である。

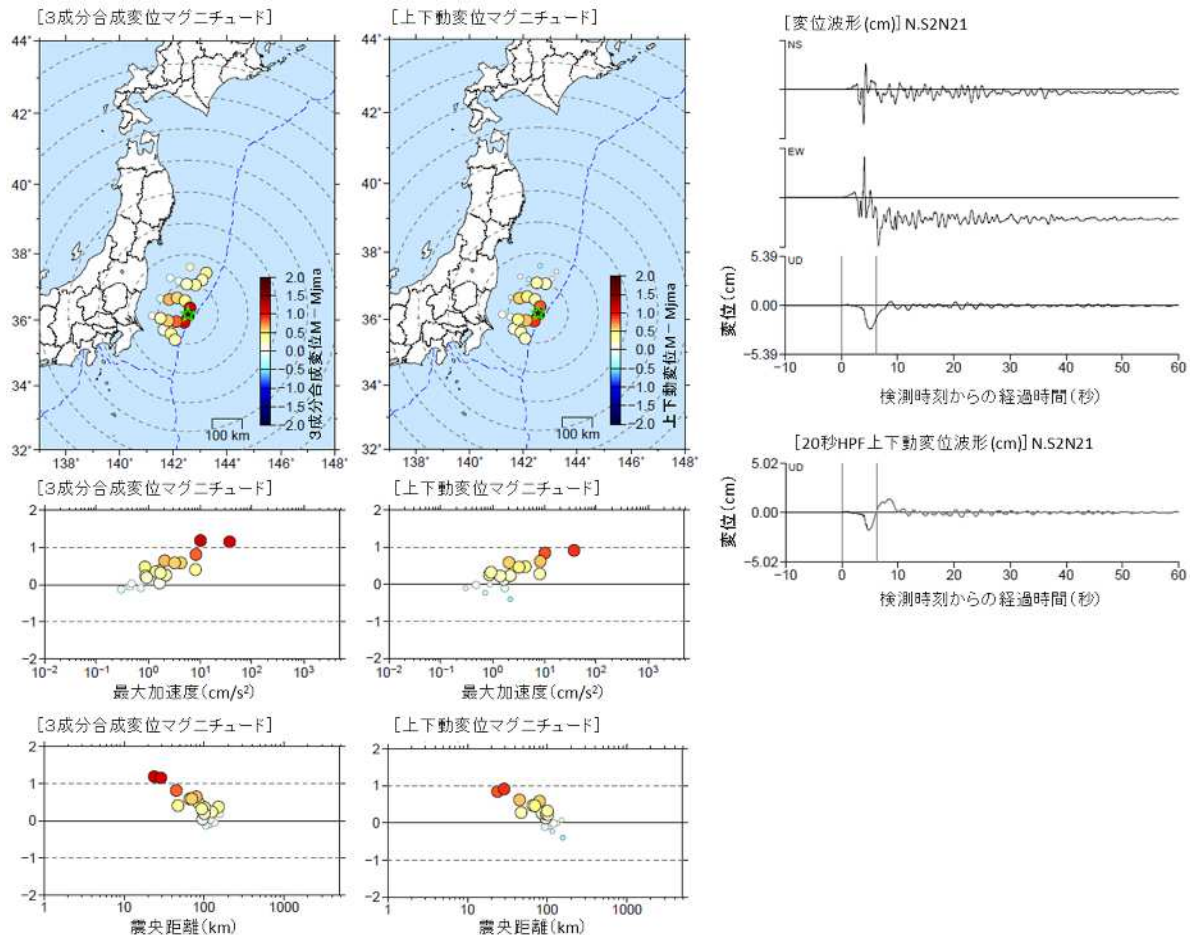


図 4.6 傾動と共に揺動による影響が上下動変位振幅に生じた事例。3成分合成変位 M には傾動に伴う過大評価が生じるが、上下動変位 M にも震源近傍観測点において過大評価が生じている。右は、震源に最も近い N.S2N21 観測点の変位波形。水平動（特に EW 成分）に傾動によるオフセット、上下動に揺動による片づれが生じている。上下動変位 M に利用する 20 秒 HPF を適用した上下動変位波形においても、片づれの影響は残留する。



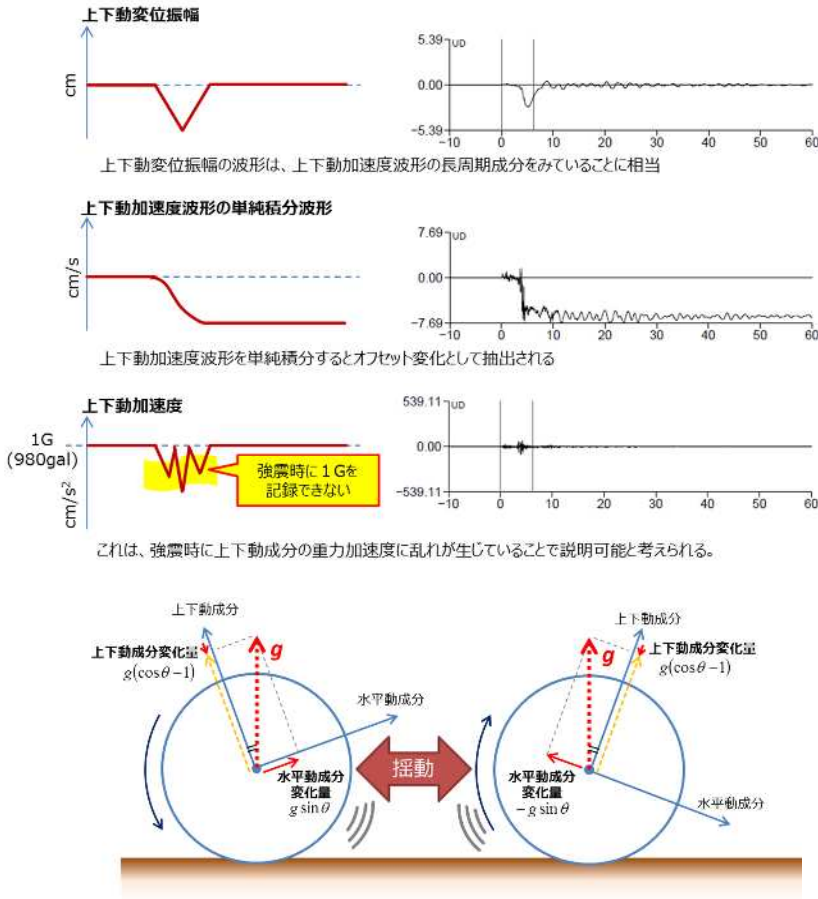


図 4.7 管体の揺動に関する観測波形の一例とその模式図。地震計の姿勢角が強震動を受けて揺れ動く場合（揺動）水平動には重力加速度の分力が極性を持って混入するため波形と区別がつかないが、上下動成分には傾いている間だけ上向きに記録される重力加速度が減少する。上下動変位記録に現れる下向きの片ぶれは、地震計の揺動により重力加速度が減少したために現れると推察される。

なお、揺動による振幅過大の特徴は、S-net のみでなく他の OBS でも同様に確認されている。例えば、S-net などのインライン式 OBS とは異なり、ノード式の OBS である DONET でも、2016 年 4 月 1 日に DONET の直下で発生した M6.5 の地震においては、震源直上の観測点での揺動による影響が確認された（図 4.8）。

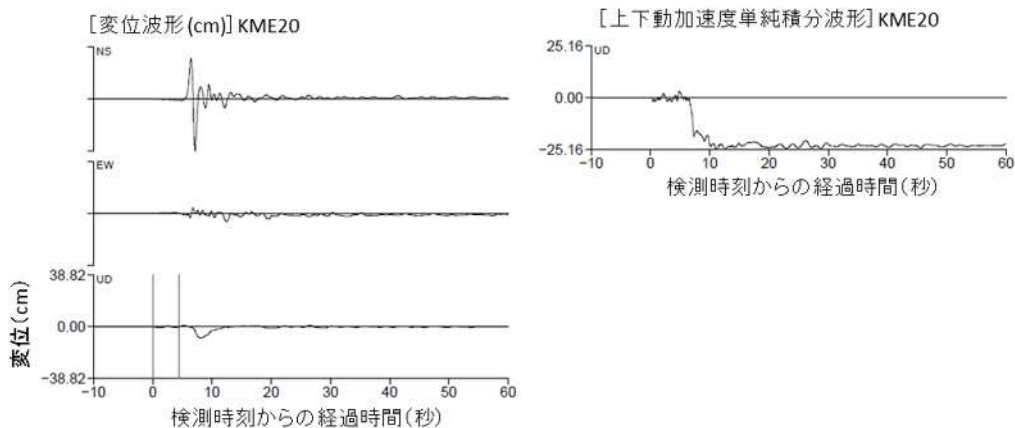


図 4.8 2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖の地震 (M6.5) における KME20 での 3 成分変位波形 (左) と、上下動加速度波形を単純積分した波形。上下動成分には揺動に伴う変位波形の片ぶれと、加速度単純積分波形のオフセット変化が生じている。



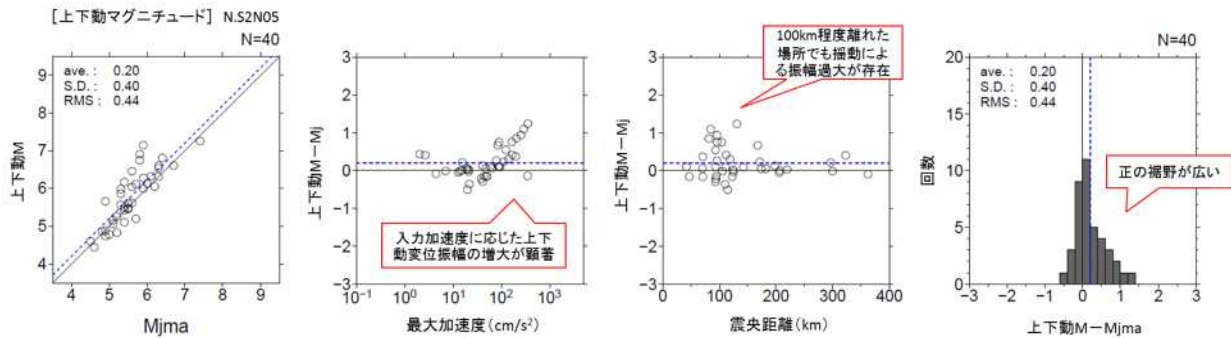


図 4.9 N.S2N05 観測点における上下動Mと気象庁一元化Mの比較および、その残差の最大加速度・震央距離との関係。揺動の生じやすいN.S2N05 観測点においては、揺動に伴うM残差の平均値からのずれが顕著に生じている。

また、観測点が必ずしも震源の近傍に位置しなくても、この揺動の特徴が生じやすい観測点が存在することもわかった。N.S2N05 観測点においては、震源から 100km 程度離れて、入力加速度が 100gal を下回る場合にも上下動変位振幅に下向きの片づれが生じている（図 4.9）。これは海底地震計の設置環境の差異により、この観測点で地震計筐体の姿勢が変化しやすいことが原因と考えられる。このような特徴を持つことが事前に把握された観測点については活用観測点から除外することとしたい。

### （3） 震源近傍で生じる水平動の過大振幅

傾動の影響とは別に、震源近傍の観測点において、水平動成分が上下動成分と比較して振幅が大きくなる場合がある。2016 年 11 月 22 日の福島県沖の地震（M7.4）以降の余震活動などでは、震源直近の N.S2N13 観測点において、震央距離が 20km 程度以内の観測点において 3 成分合成変位Mが+1.0 以上過大となる事例が多く見られた（図 4.10）。例えば、11 月 22 日 10 時 38 分のM4.9 の地震に対し、震央距離 18km の同観測点での 3 成分合成変位波形を用いた地点MはM6.2 と+1.3 の過大評価となる（図 4.11、図 4.12、上下動MではM5.0）。一部の地震には傾動による影響も混在するが、多くの地震では傾動による変位オフセット以外に、水平動のS波部分でパルス状の過大振幅が記録されることにより最大動を記録している。M計算には変位振幅が 50 $\mu$ m 以上の観測点を用いることとしており、Mが小さい地震においては震源近傍で過大となったデータのみが閾値を超過してM計算を行うことになるため注意が必要である。傾動に加えて、水平動成分に震源近傍で生じる過大振幅により、3 成分合成変位Mを用いる場合には、震源近傍で入力加速度が大きいほどMを過大に評価する傾向が生じる（4.3 参照）。

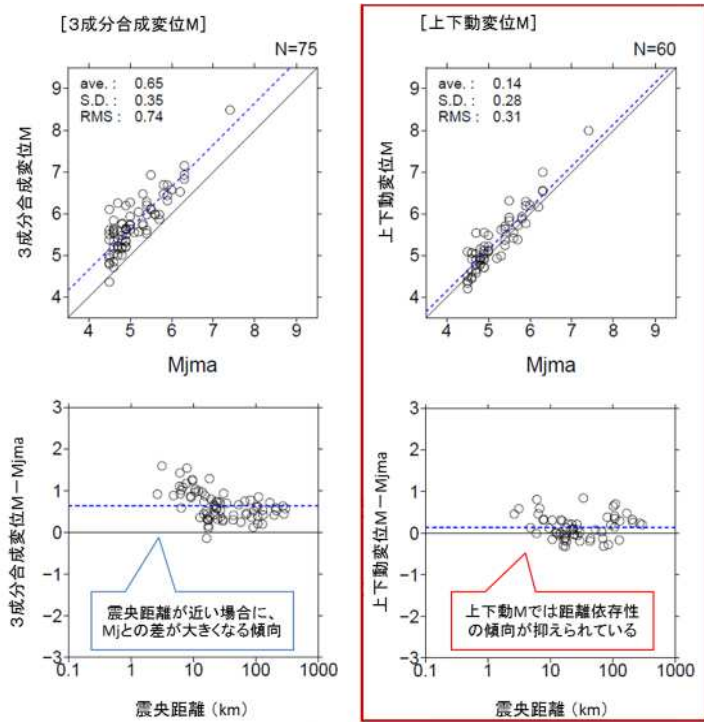


図 4.10 N.S2N13 観測点における 3 成分合成変位 M と上下動変位 M との、気象庁 M (Mjma) との比較。3 成分合成変位 M では、震央距離が 10km よりも近い場合に平均値からのずれが顕著であるのに対して、上下動変位 M では震央距離依存性が抑えられていることがわかる。

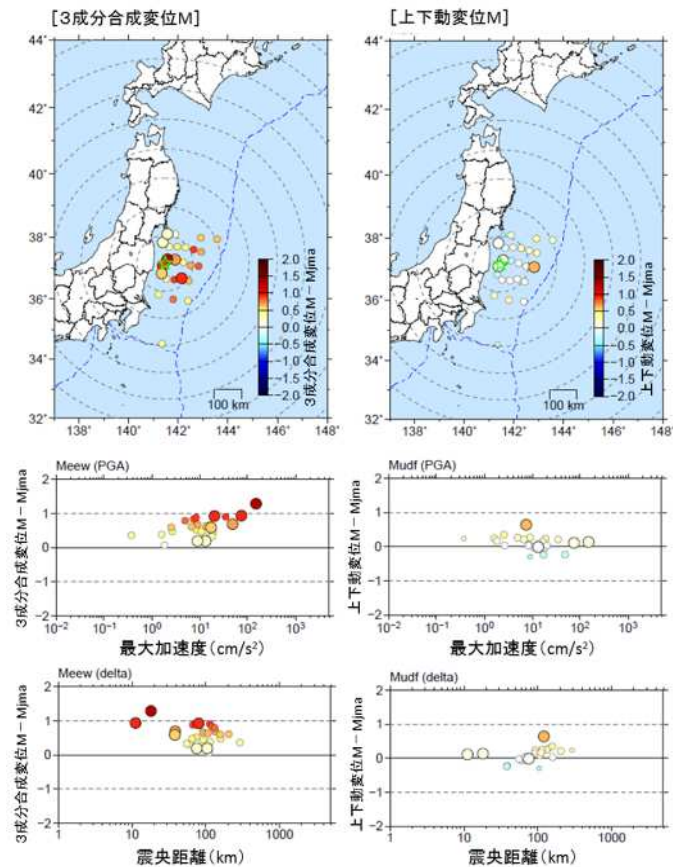


図 4.11 2016 年 11 月 22 日 10 時 38 分の M4.9 の地震における 3 成分合成変位 M と上下動変位 M との地点 M の分布図。大きな丸のシンボルが 50  $\mu\text{m}$  超過かつ変位波形の品質管理 OK となった観測点。

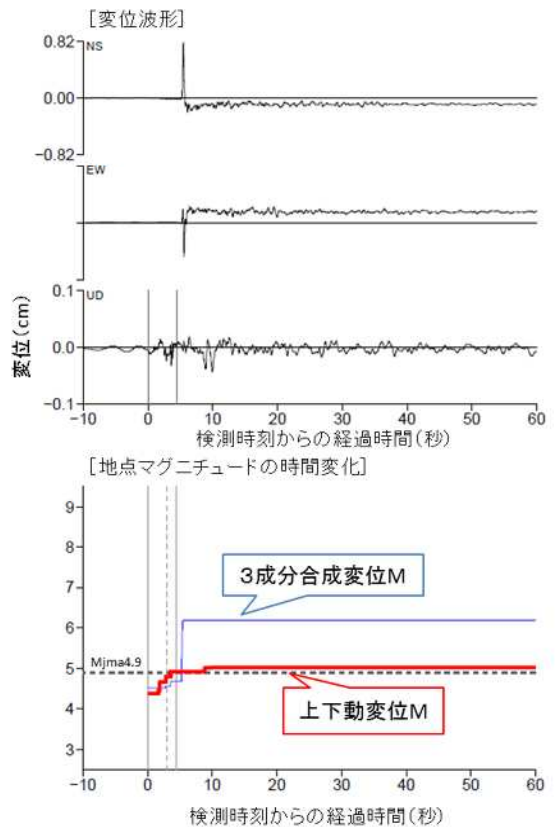


図 4.12 2016 年 11 月 22 日 10 時 38 分の M4.9 の地震における N.S2N13 観測点の変位波形と、3 成分合成変位 M・上下動変位 M の地点 M の時間変化。

震源近傍で水平動振幅が過大となる特徴も、S-net だけではなく DONET などの他の OBS においても確認されており（例えば、図 4.13）未固結堆積層上に設置された OBS 全般に発生しうる現象であると考えられる。

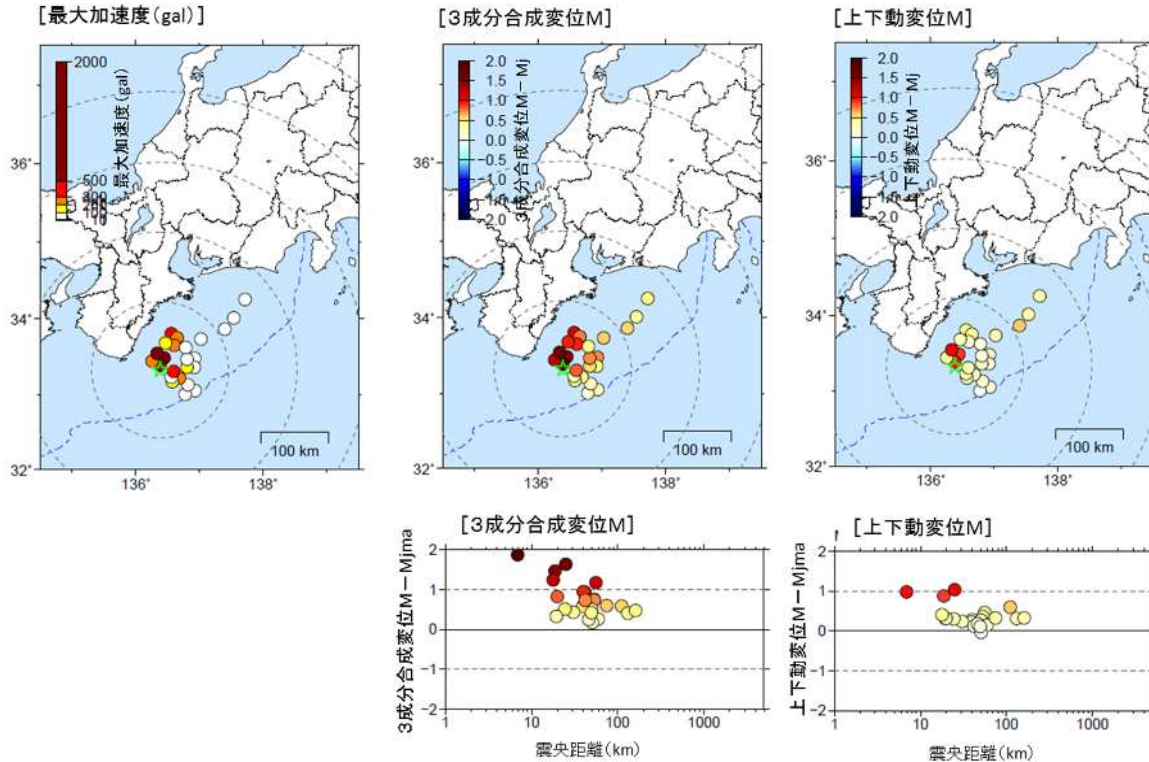


図 4.13 2016年4月1日の三重県南東沖の地震 (M6.5) における DONET および東南海 OBS における最大加速度 (左)、3成分合成変位 M の Mjma との差 (中央) および上下動変位 M の Mjma との差 (右)。下は、地点 M の Mjma からの差を震央距離に対して示したもの。3成分合成変位 M では震源近傍での振幅過大により、上下動変位 M では揺動による片ぶれにより地点 M が過大となっている地点がある。

#### (4) 海溝軸付近で生じる特徴

震源近傍の観測点で見られる過大振幅以外に M 残差を大きくする原因として、海溝軸付近の観測点で生じる増幅の違いがある。2017年3月8日の青森県東方沖 (M5.2) の地震においては、震央から離れるにつれ地点 M 残差が大きくなる距離依存した増幅特性が生じている (図 4.14)。これらの海溝軸に近い観測点は、観測点近傍で発生する地震については増幅の傾向は小さい (図 4.15) ことから、異常震域のような地震波の伝播経路の特性による影響と考えられ、M 計算に用いる観測点を限定することで M 過大推定となることを防ぐことができると考えられる。なお、今回は対象としていないが、M の観測点補正値を推定するような場合は、地点 M 残差が震源位置に依存するという特徴に留意する必要がある。



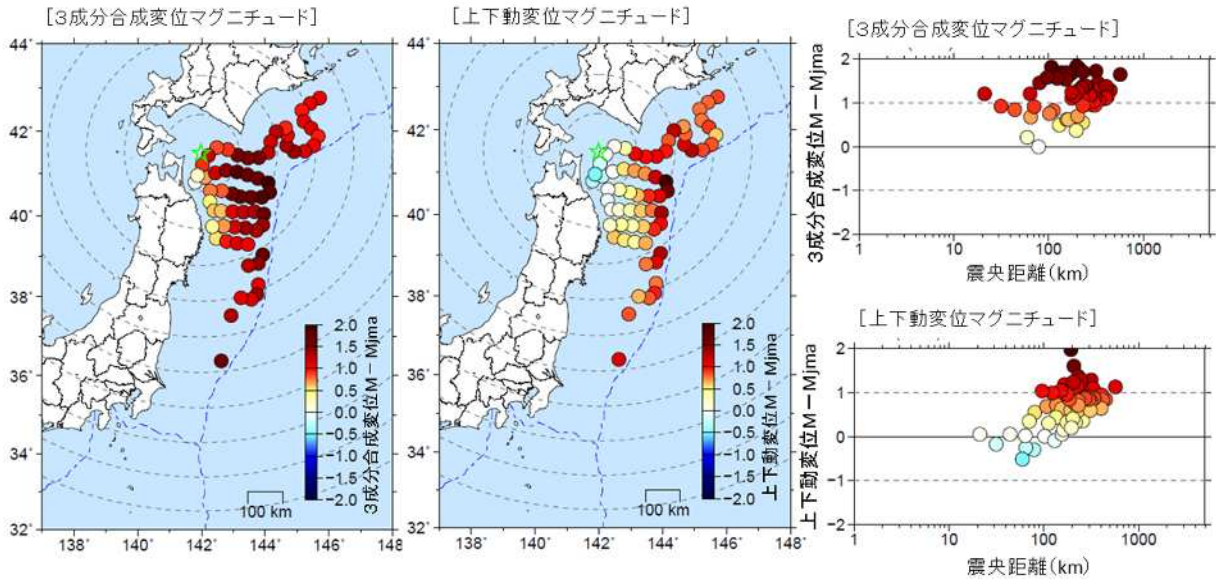


図 4.14 2017年3月8日の青森県東方沖の地震（M5.2）における、3成分合成変位Mと上下動変位Mとの地点Mの分布図。上下動成分の地点Mで海溝軸に近いほど増幅する傾向が顕著である。

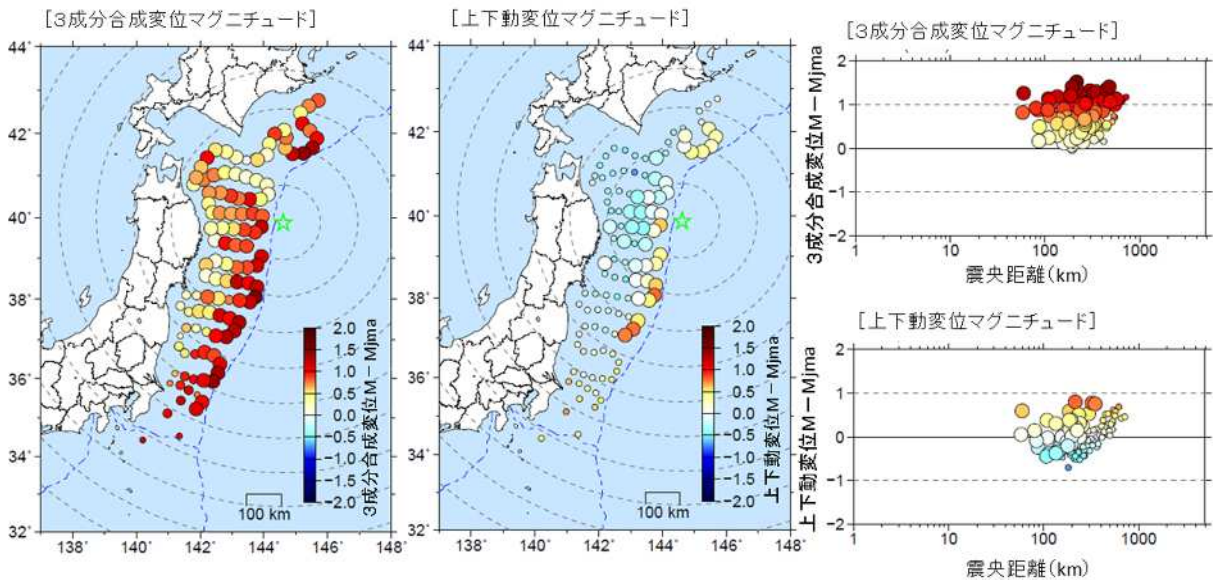


図 4.15 2016年6月30日の三陸沖の地震（M5.2）における、3成分合成変位Mと上下動変位Mとの地点Mの分布図。図 4.14 で確認されるような海溝軸付近での増幅は生じていない。

### 4.3 上下動変位Mの利用

3成分合成変位Mで生じているM残差の最大加速度依存性や、震源近傍での過大傾向は、上下動変位Mを用いることで改善されることが確認できた（図 4.16）。また、各観測点でのM残差のばらつきも上下動変位Mのほうが改善される場合が多いことがわかる（図 4.17）。このことから、海底地震計のM計算には上下動変位Mを利用することとしたい。



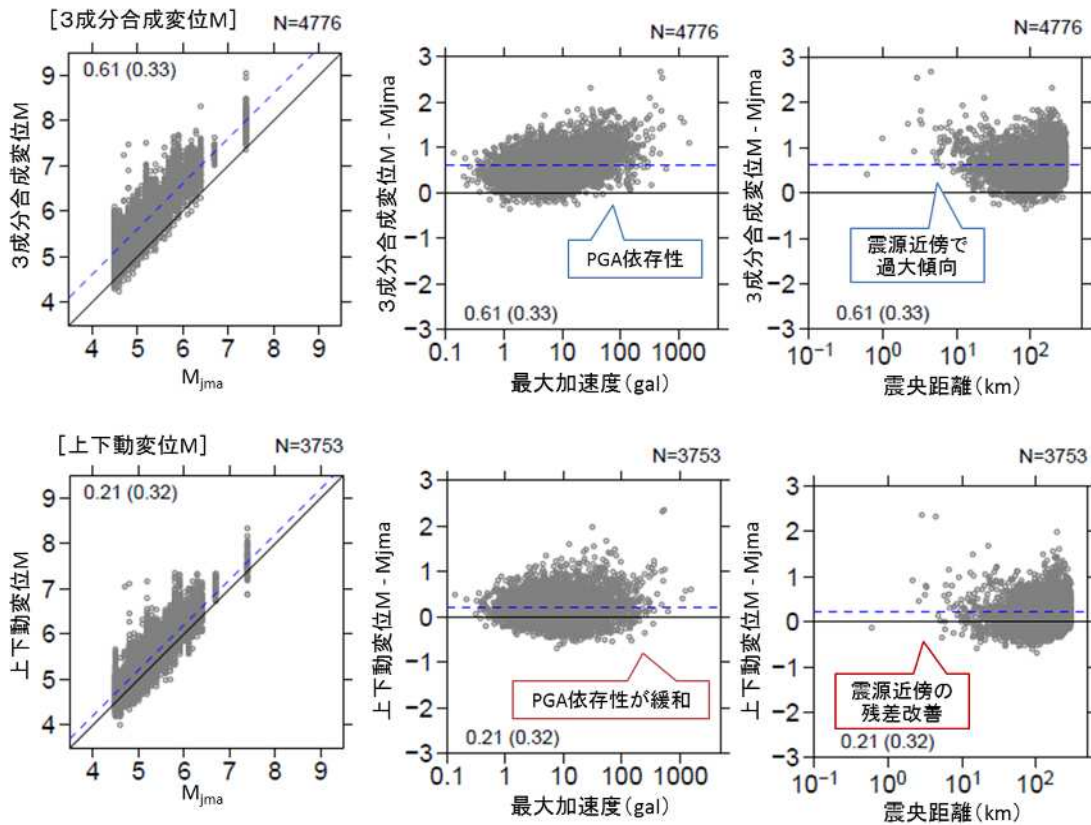


図 4.16 3成分合成変位 M（上段）と上下動変位 M（下段）の地点 M の、 $M_{jma}$ 、最大加速度、震央距離との比較。震央距離 300km 以内のデータについて示している。3成分合成変位 M で確認される最大加速度依存性や震源近傍での過大傾向は上下動変位 M の利用により緩和されることが確認できる。

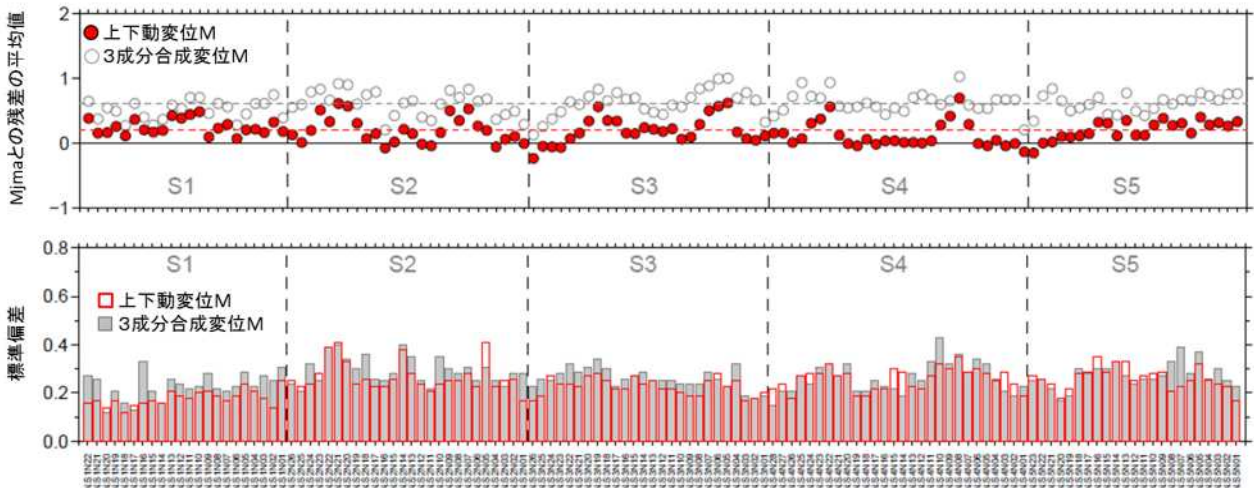


図 4.17 3成分合成変位 M と上下動変位 M の観測点ごとの M 残差の平均値とその標準偏差。上下動変位 M では観測点のサイト増幅特性の影響が小さい。

#### 4.4 過大振幅データの除去手法の検討

上下動変位振幅においても震源に近い海底地震計においては揺動の影響により変位振幅が大きくなることがわかった。緊急地震速報では、初期の限られた情報から震源とMを推定することから、過大な変位振幅が初期のM計算へ影響を及ぼすことが考えられる。過大振幅データがM統計処理結果に影響を与えることを避けるため、以下の3つの対策を実施し、海底地震計の振幅を活用することとしたい。

##### 1. 異常値混入を考慮したM統計処理の実施

複数地点でのデータが得られてからMを算出し、過大振幅となりうる地点Mの上位数点のデータを除外する。

##### 2. 最大加速度の閾値超過によるデータ除外

観測した加速度が大きい観測点のデータをM計算から除外する。

##### 3. 単独観測点処理における品質管理処理

品質管理処理において揺動が検出されたデータをM計算から除外する。

#### (1) 異常値混入を考慮したM統計処理の実施

現在の緊急地震速報においては、50 $\mu\text{m}$ 以上の3成分合成変位振幅が得られた観測点からのデータがM推定に用いられ、いずれか1点で100 $\mu\text{m}$ 以上となった際にMを発表する。一元化震源の位置および発震時刻(OT)を基準として、時間順に得られた振幅を用いてMの計算処理を行った。その時点で得られたデータを元に震源から近い順に最大5点までの観測点Mを中央値処理して、その時点のMとする。上下動変位振幅の利用についても、上下動で50 $\mu\text{m}$ を超える変位振幅が得られた場合にM計算に参加することとする。

3成分合成Mの統計処理結果をみると、特にOTから10数秒までの時間帯で、初期に推定したMが過大に推定されている事例が多くみられる(図4.18)。これは、先に述べた観測点近傍の振幅過大の影響を受けたものである。赤破線は、断層形成時間のスケーリング則( $\log Tr = 0.5M - 2.3$ )をOTから引いたものであるが、この破線を大きく超えて過大になっているデータは、Mの成長が破壊の平均的な成長から外れており、何らかの振幅異常である可能性が高い。また、上下動Mを利用した場合には、+1以上の過大評価の事例は減少するものの、やはり初期の情報で過大に推定されてしまう事例が数例生じている。M統計処理における初期の推定Mの過大評価は、4.2で触れた震源近傍での振幅過大による影響を受けたものであり、早い段階での緊急地震速報による予測が過大となる原因となる。

S-net 活用後は緊急地震速報の初期の情報が海底地震計のみのデータで発表されることとなるため、これらの統計処理に留意する必要がある。S-net では陸で強い揺れを観測するまでの間に十分な時間的猶予があることから、これまでの1点のみでの発表を許容するM推定手法ではなく、複数点のデータを待って統計処理を開始する以下の手法を提案する(図4.19)。

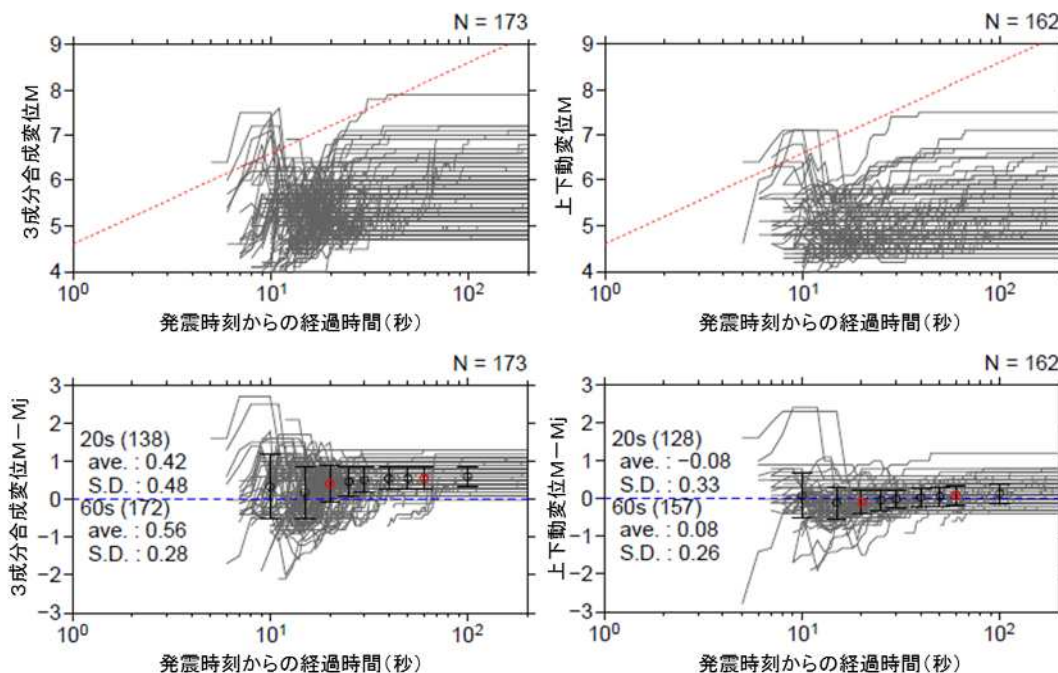


図 4.18 3成分合成変位M（左）と上下動M（右）の地震ごとの統計処理結果。上段は地震ごとのMの成長曲線で、赤の破線はMに応じた理論的な断層形成時間を示す。下段はM残差の時間推移を示す。Mは1点で50 $\mu$ mを超えた段階から推定を行い、最大5地点の地点Mで算出している。丸印とエラーバーは、その時点でのデータの平均値と標準偏差を示している。赤丸は20秒時点と60秒時点での値。

具体的には、以下の2点である。

1. 海底地震計の振幅値は、複数点（閾値以上）の海底地震計で計算基準となる振幅のデータが得られるまでの間、M統計処理に用いない。
2. その時点までに得られたデータのうち、海底地震計の地点Mの上位数点を異常振幅である可能性があるとしてM統計処理から除外する

現在、M計算処理は、基本的に震源近傍の1～5点を中央値処理することで決定しており、複数点のデータが得られた場合には1点程度の異常値の影響は小さくなるが、S-netでは初期のデータに複数の異常値が入る可能性を考慮する。また陸に揺れが伝わるまでに十分な猶予があることから、M算出タイミングを遅らせ、その時点での地点Mの上位数点を統計処理から取り除くことで、初期のM計算の安定化を図ることとしたい。

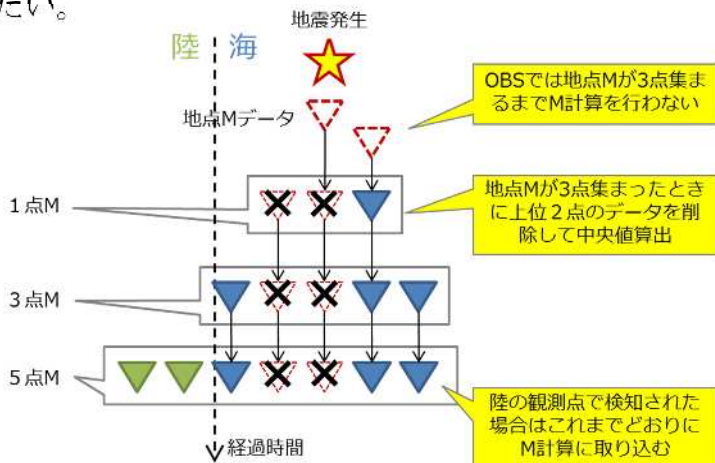


図 4.19 M統計処理の模式図

OBS データは計算基準となるデータが複数点集まるまで M 統計処理を行わない。また統計時には地点 M 上位数点のデータを異常値である可能性が高いとして統計処理に用いない。なお、陸上の観測点の地点 M はこれまでどおりに M 計算に参加できることとする。

図4.20は、図4.18と同様の事例について、地点Mが3点得られるまで統計処理を行わず、さらに上位2点の地点Mに異常値が混入している場合を仮定して統計処理から除外する処理を適用した結果である。初期のMの過大評価は今回のデータセットにおいてはこのような単純な処理手法でも有効に機能することがわかった。3成分合成Mも上下動Mも同様に初期のMが落ち着いているが、上下動Mのほうがより初期のばらつきが小さく抑えられ、3成分合成変位Mのような全体的なMの過大評価もみられない。これは、上下動Mのほうが地点Mの異常を軽減できていることと、P波からS波にかけての振幅のコントラストが小さいことが原因である。なお、陸上の観測点については理論S波到達前の期間についてはP波Mを採用しているが、海底地震計では初期のM推定を不安定にする可能性が考えられることから、上下動M式のみをトリガ以後の全ての区間に適用することとしたい。

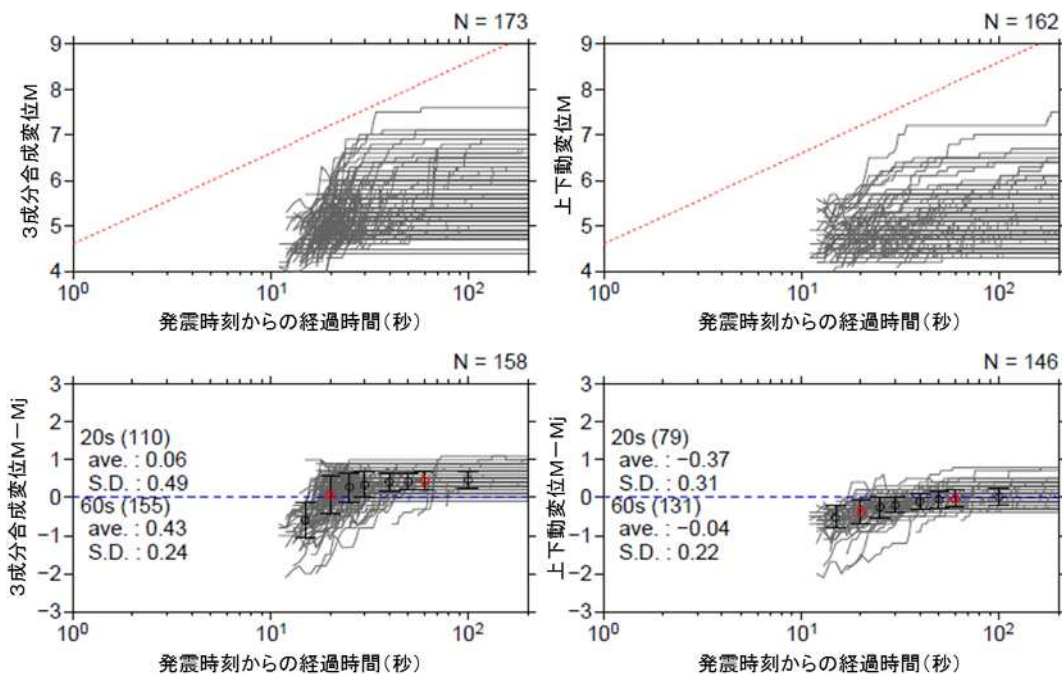


図4.20 3成分合成変位M（左）と上下動M（右）のイベントごとの統計処理結果。Mは3点で50 $\mu$ mを超えた段階から推定を行い、その時点での上位2点のデータを統計処理から除外した上で、最大5地点の地点Mで算出している。

1点の地点MからそのイベントのMを推定しない弊害として、Mの決定までに時間を要することが考えられる。図4.18と図4.20を比較すると、上位2点の地点Mを除外する手法においては初期のM成長は安定したものの、発震時刻から10秒以内にMが算出されることはできないことがわかる。そこで、陸の地点のみでM計算を行った場合とS-netのみでM計算を行った場合において、M計算処理がどの程度迅速化できるかの確認を行った。図4.21は、陸の観測点1点で50 $\mu$ mを超える3成分合成変位振幅を観測したタイミングと、S-netで50 $\mu$ mを超える上下動変位振幅を1点目およ



び3点目で観測したタイミングとの時間差を震央位置ごとに示したものである。S-netの観測網の直上であれば、3点からのデータを利用する場合においても情報発表が迅速化できる。また、3点目からM算出することによる遅延時間はM5.0程度以上であれば、周辺の観測点でも間もなく振幅が記録されることから、概ね数秒の差であることがわかる。

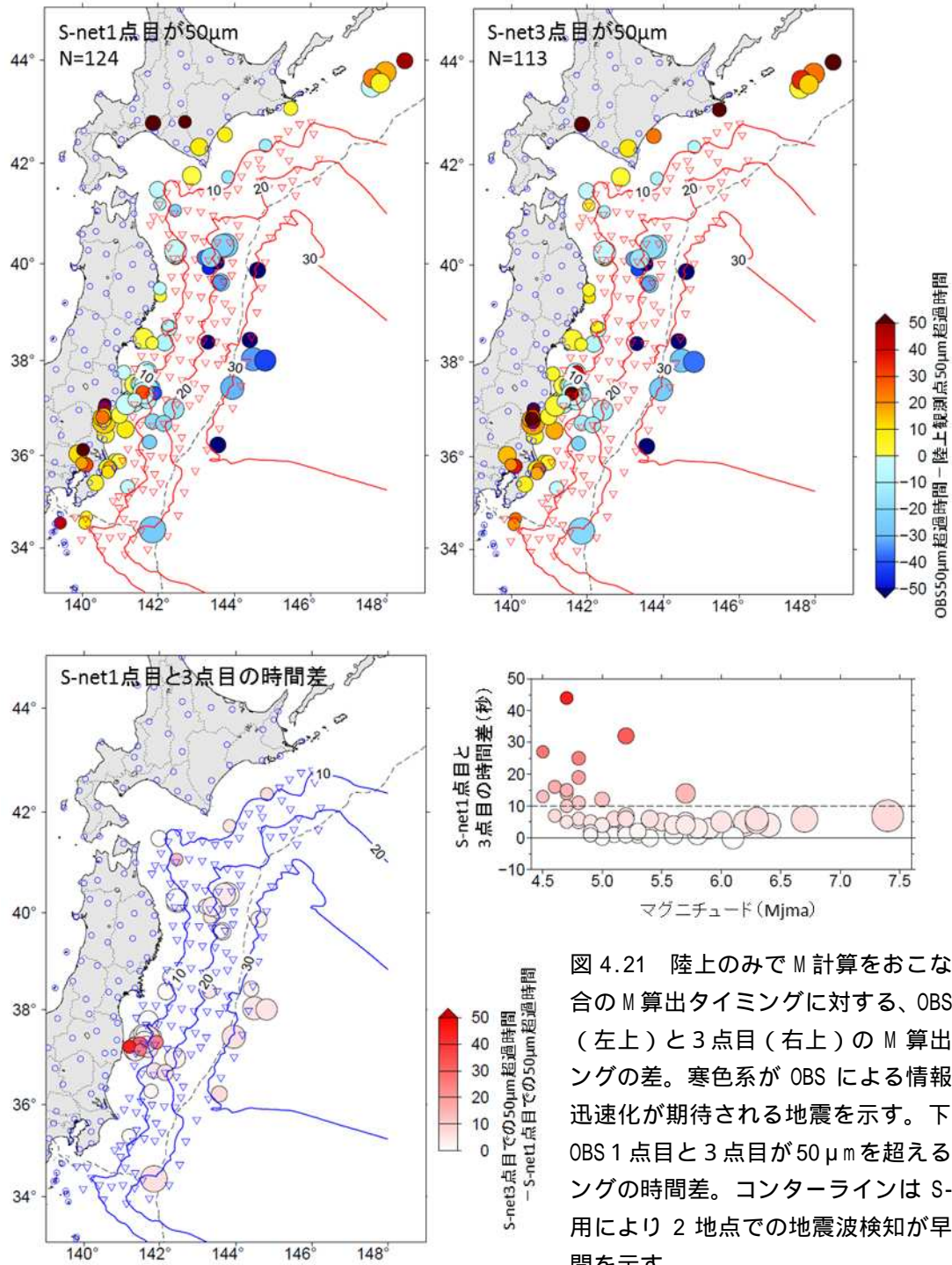


図 4.21 陸上のみで M 計算をおこなった場合の M 算出タイミングに対する、OBS 1 点目（左上）と 3 点目（右上）の M 算出タイミングの差。寒色系が OBS による情報発表の迅速化が期待される地震を示す。下段は、OBS 1 点目と 3 点目が 50  $\mu$ m を超えるタイミングの時間差。コンターラインは S-net 活用により 2 地点での地震波検知が早まる時間を示す。

## （2） 最大加速度の閾値超過によるデータ除外

入力加速度が大きくなればなるほど、傾動や揺動による過大振幅のリスクが高くなることは、傾動による姿勢角の変化量と最大加速度との関係（図4.2）からも明らかである。第6回技術部会で釧路沖OBSについて示したものと同様に、S-netのデータにおいても入力加速度が100galを超えるあたりから加速度に応じて姿勢角の変化が大きくなる関係が確認できる。このことから、入力加速度が大きい観測点のデータについては、設置環境の異常が生じている可能性が極めて高く、M計算の統計処理に用いないこととしたい。除外する閾値を小さくすれば異常値の混入は防ぐことができるが、大地震時に海域でのM計算に必要なデータが得られない恐れがある。図4.2の特徴から、確実にデータに異常をきたすと考えられる300~500galを超えた観測点の振幅値を以後のM計算から除外するようにする。なお、今回のデータ中で500galを超えたデータは8事例、300galを超えたデータは20事例であり、その多くで傾動や揺動が確認されている。例えば、もっとも大きな加速度が記録された2016年11月22日の福島県沖の地震（M7.4）においては、閾値300galでは6地点、閾値500galでは4地点、閾値超過以後の統計処理から除外されることになる（図4.22）。

300galを超える最大加速度が観測された観測点を除外した場合のM統計処理の変化を図4.23に示す。300galを超えた地点Mは、Mjmaよりも過大に評価されやすくなるのがわかる。なお、データの除外によりM推定に用いる観測点数は減少することになるが、統計処理後結果においてMの成長が大きく遅れることはない。なお、3成分合成変位M（図4.22）においても同様の推移が得られるが、300gal以上を観測したデータの振幅過大傾向が上下動に比べて大きいことがわかる。

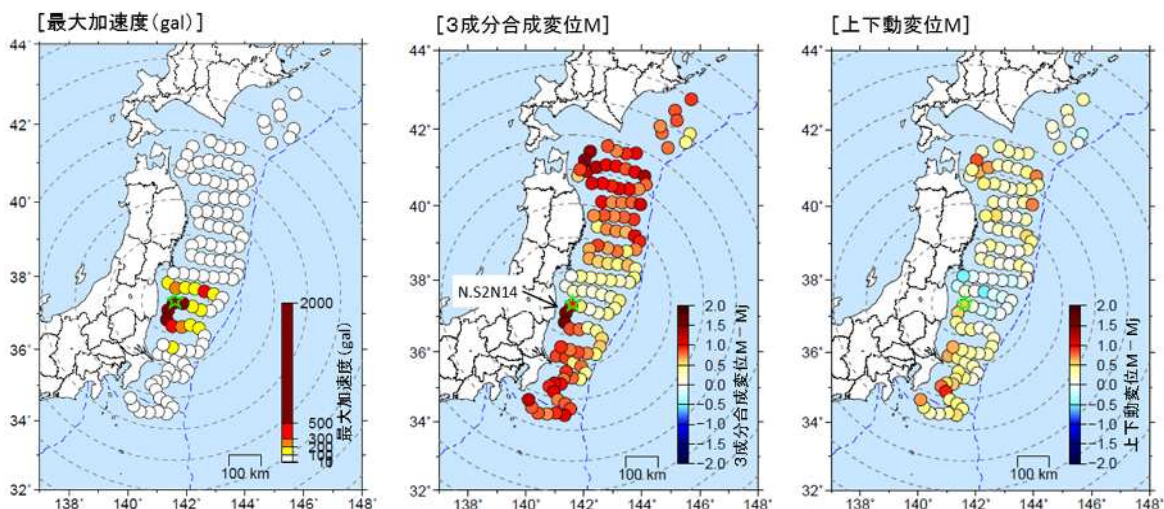


図4.22 図4.4で示した、2016年11月22日05時59分のM7.4の地震における、最大加速度(PGA)、3成分合成変位Mおよび上下動変位Mの分布図（左：最大加速度、中：3成分合成、右：上下動）。300galを超えする観測点は6地点、うち500galを超えする観測点は4地点存在し、明瞭な傾動がみられたN.S2N14観測点などが加速度超過後はM統計処理に利用されなくなる。

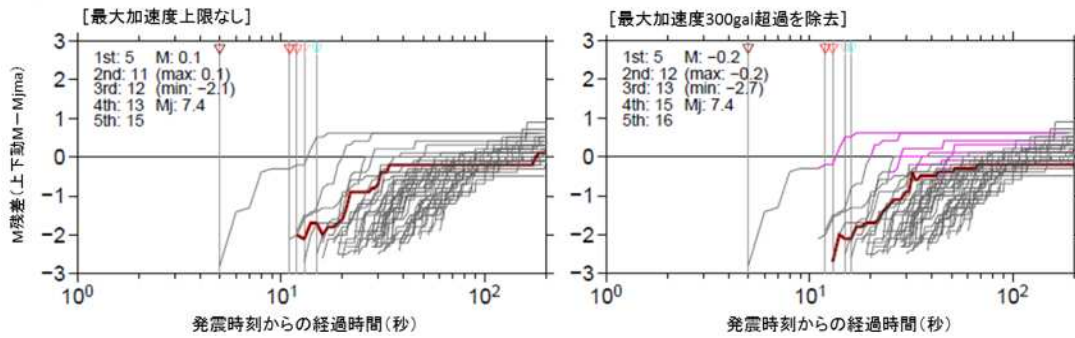


図 4.23 2016 年 11 月 22 日 05 時 59 分の M7.4 の地震における、S-net 観測点での地点上下動 M 統計処理結果の時系列推移。右は、300gal を超えるデータを除外し統計処理した結果。灰色は地点 M の時系列推移、赤は 3 点目のデータが得られた以降で上位 2 点のデータを除外して中央値処理を行った結果。最大 5 地点の地点 M を統計に用いている。ピンクの線は、観測点で 300gal が記録された以降の地点 M の推移で、M 統計処理から除外されたデータを示す。縦線は 1～5 地点目で 50 μm を超過して M 計算に参加可能となったタイミングを示す。

### (3) 単独観測点処理における品質管理処理

入力加速度が比較的小さい場合にも、N.S2N05 観測点などでは地震計の揺動による影響が生じやすいことがわかっている。傾動や揺動は状況によってはその発現そのものを検出できることが理想である。そこで、揺動の特徴を検出する以下のロジックを単独観測点処理に実装することを検討している。

2016/6/27 福島県沖の地震(M5.9)におけるN.S2N05観測点の事例

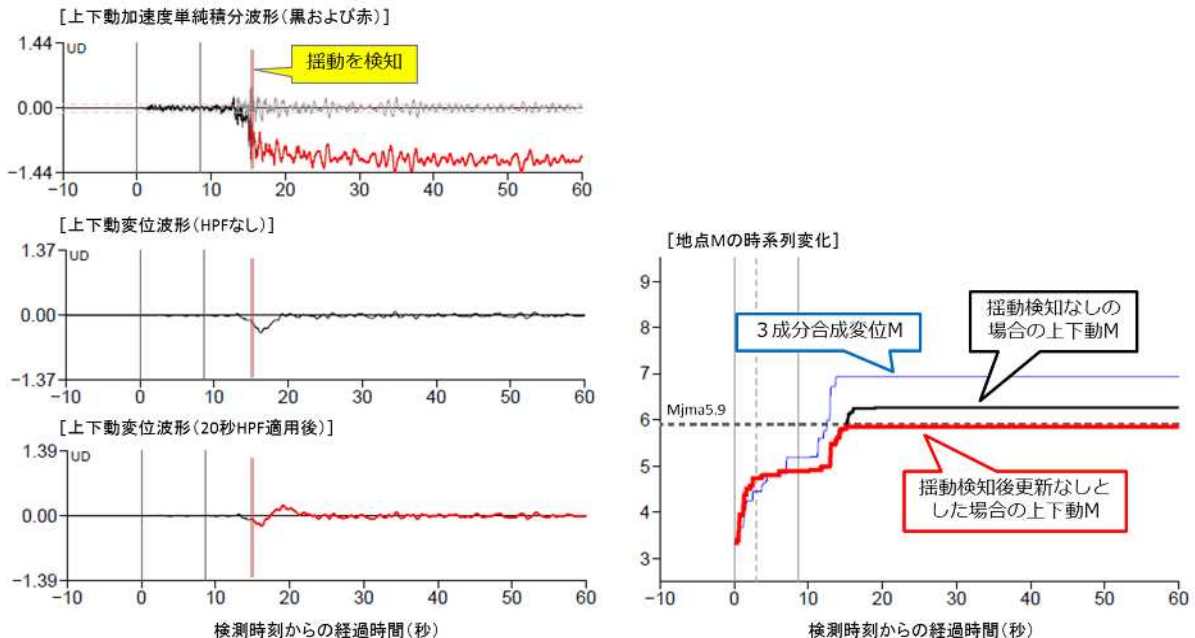


図 4.24 2016 年 6 月 27 日の福島県沖の地震 (M5.9) における揺動検知の事例。上下動加速度単純積分波形 (左上) のオフセットを検知することで、上下動変位波形で最大振幅を迎える前に揺動を検知することができる可能性がある (左中、左下)。



揺動の発生は加速度波形そのものからは確認することができないが、上下動加速度波形を単純積分した波形においてオフセット変化として生じる。この特徴を用いて、上下動加速度波形の単純積分波形を品質管理用波形として用意し、その波形がオフセット変化を生じてゼロクロスしなくなることを検出することを試みた。なお、揺動だけでなく大きな傾動が発生した場合も、品質管理用波形に基線の折れ曲がりとして生じるため、同様に検出可能である。図4.24に、2016年6月27日の福島県沖の地震(M5.9)においてN.S2N05観測点で生じた揺動における検出の一例を示す。この事例では、揺動による上下動変位振幅の最大値を迎える前に揺動を検知することができる可能性がある。

#### 謝辞

本検証に用いたデータは、国立研究開発法人防災科学技術研究所からの提供を受けたものである。