

(議題 1)

緊急地震速報の技術的改善について (報告)

議題1) 緊急地震速報の技術的改善について (報告)

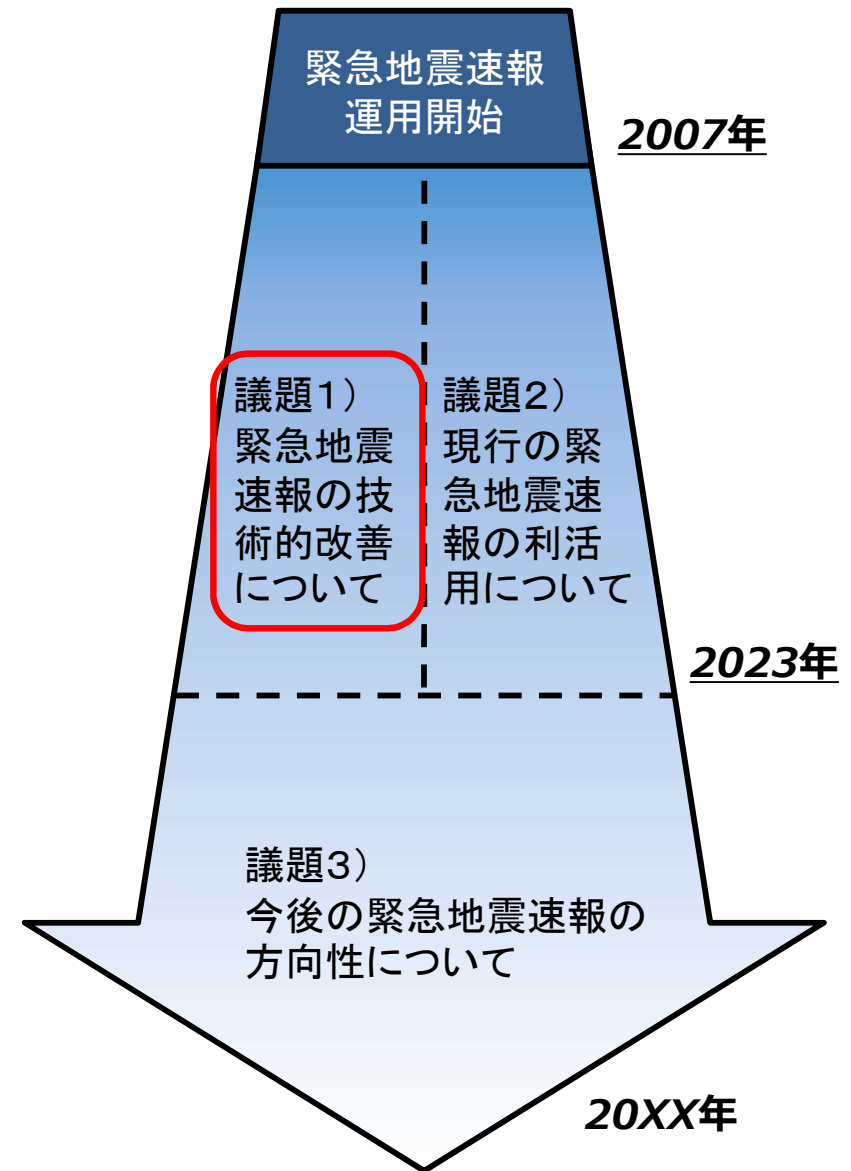
- 海底地震計など活用観測点の増強
- PLUM法の運用開始
- IPF法の運用開始と震源推定手法の一本化
- 長周期地震動予測の提供開始

議題2) 現行の緊急地震速報の利活用について

- 緊急地震速報の現状と課題について

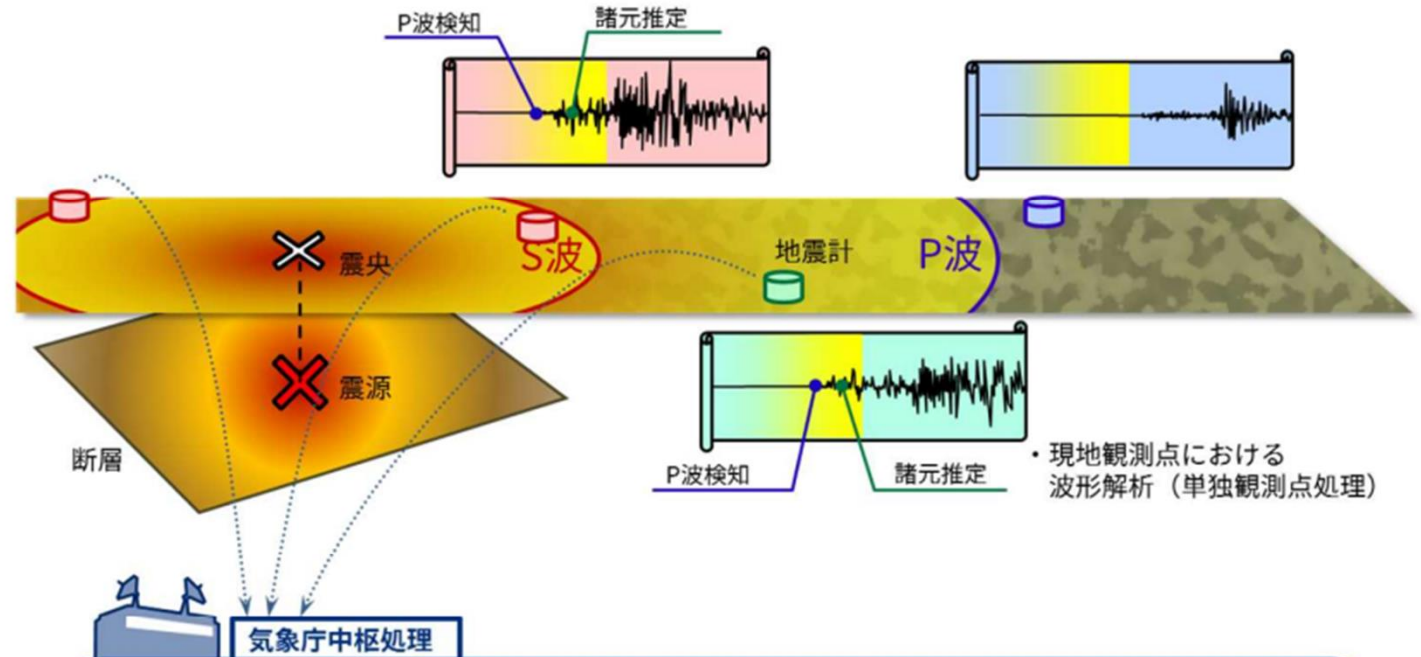
議題3) 今後の緊急地震速報の方向性について

- 面的な揺れの広がり予測について
- 今後の緊急地震速報の方向性について



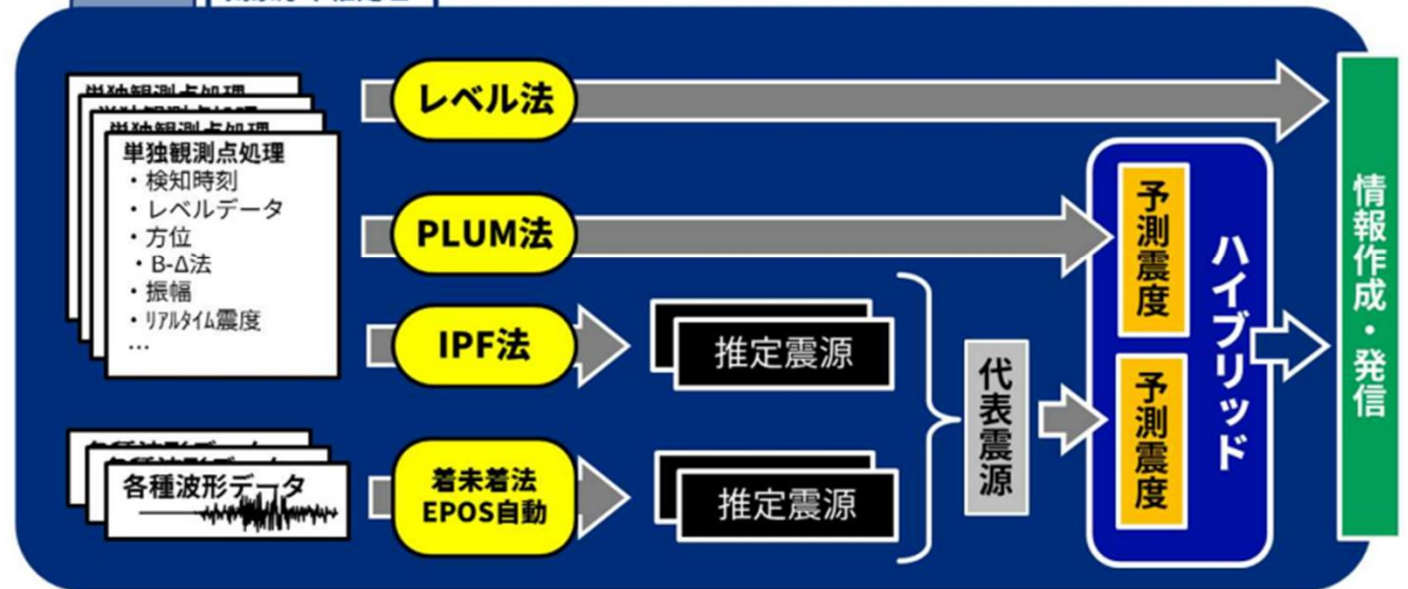
緊急地震速報とは

- 地震発生後、震源付近の観測点のデータをもとに震源の場所や地震の規模を速やかに推定、または強い揺れの広がりや到達時刻を予測してお知らせする情報
- 現地観測点での単独観測点処理、中枢処理としての震源推定手法や震度予測手法など、様々な技術の組み合わせにより即時の情報提供が可能となった



2007年10月1日
一般提供開始

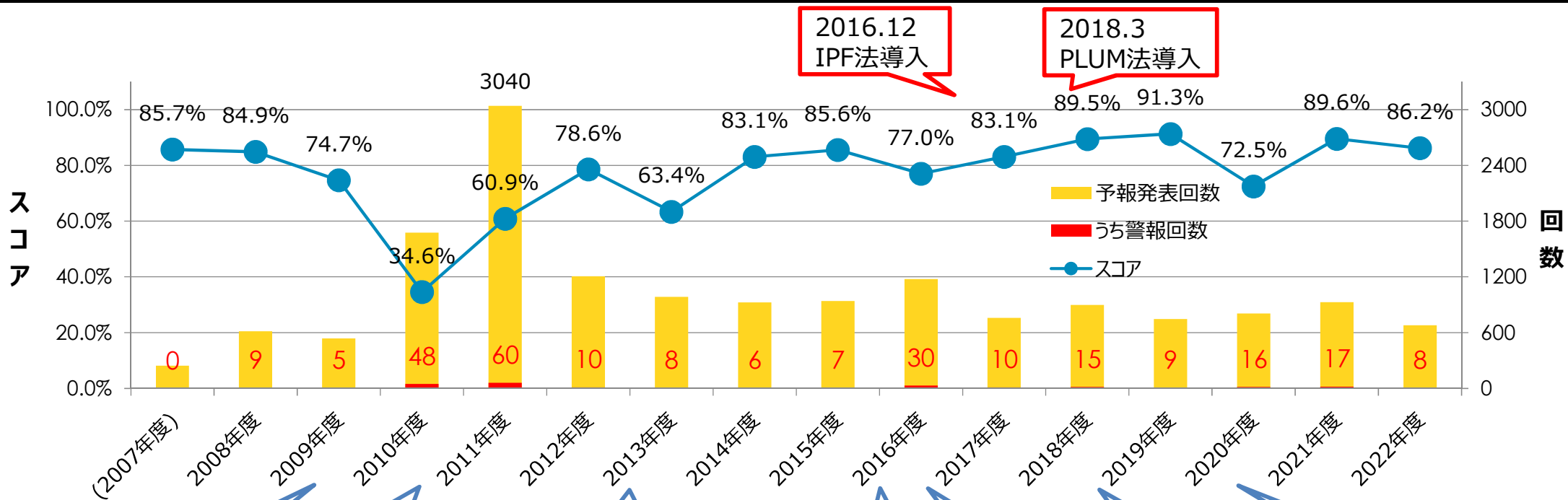
その後も様々な技術的改善を実施



※緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料より抜粋
(<https://www.data.jma.go.jp/eew/data/nc/katsuyou/reference.pdf>)

緊急地震速報の発表状況

- 2007年10月1日の緊急地震速報の一般提供開始より15年
- これまでに、258回の警報と、16,158回の予報を発表（2023年1月時点）



- 2009/8/25 千葉三芳の異常データによる誤報
- 2011.3 東北地方太平洋沖地震の後の活発な地震活動による過大予測の影響
- 2013.8.8 海底地震計ノイズデータに起因する過大予測
- 2016.4 熊本地震の影響
- 2016.8.1 観測点1点ノイズによる予報
- 2019.1.5 茨城県沖と富山県西部の同時発生
- 2020.7.30 鳥島近海過大警報

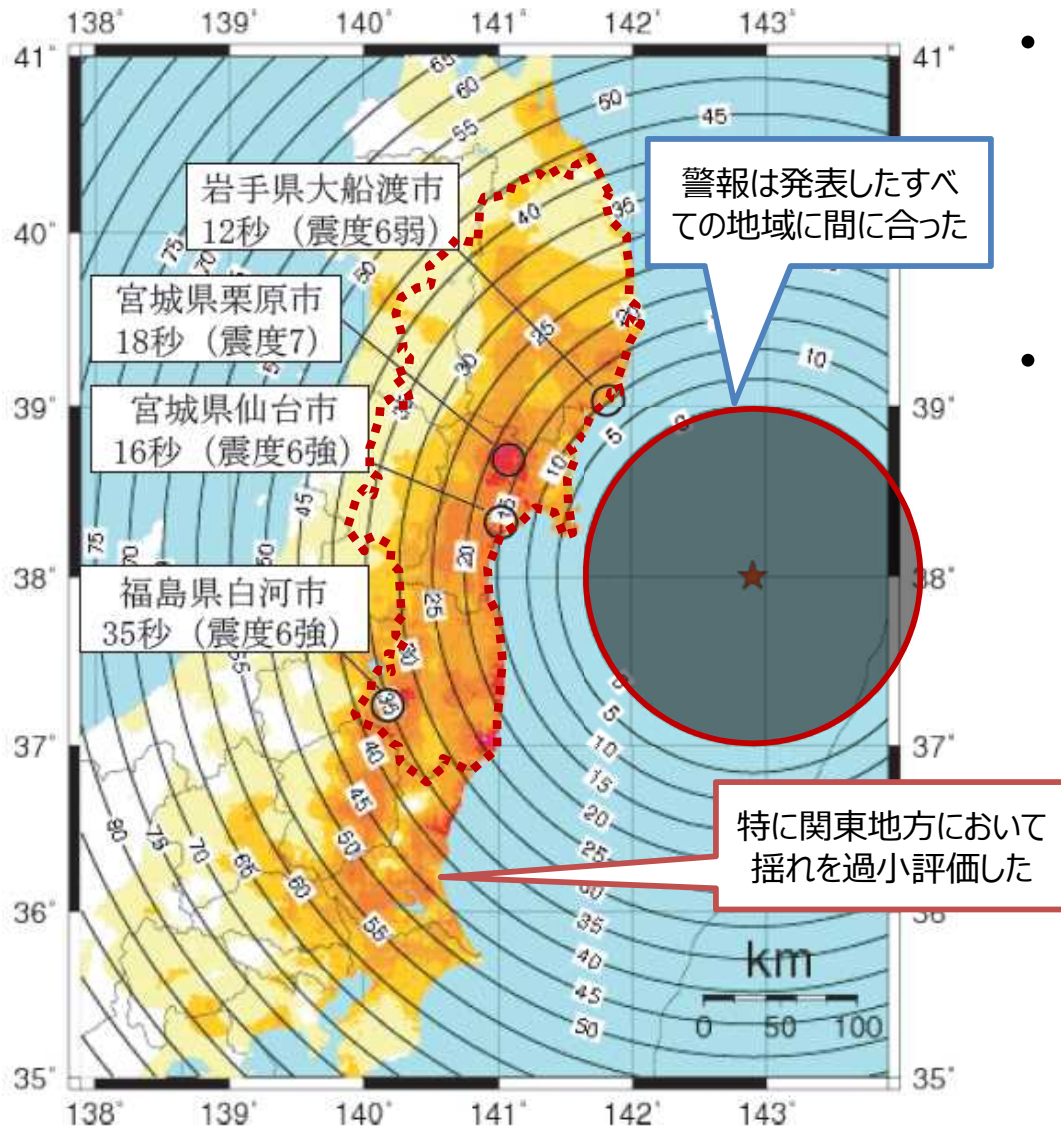
「スコア」の定義

$$\frac{\text{青の予報区数}}{(\text{青} + \text{赤}) \text{の予報区数}} \times 100 (\%)$$

観測または予測震度が4以上であった予報区のうち、予測誤差が±1階級以内であった予報区の割合

観測震度	0	1	2	3	4	5	5+	6	6+	7
0	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
1	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
2	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
3	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
4	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
5	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
5+	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
6	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
6+	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
7	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青

緊急地震速報の発表回数と精度を示す「スコア値」の年度別推移
この15年間で緊急地震速報の精度に影響のあった事例を吹き出しで示す

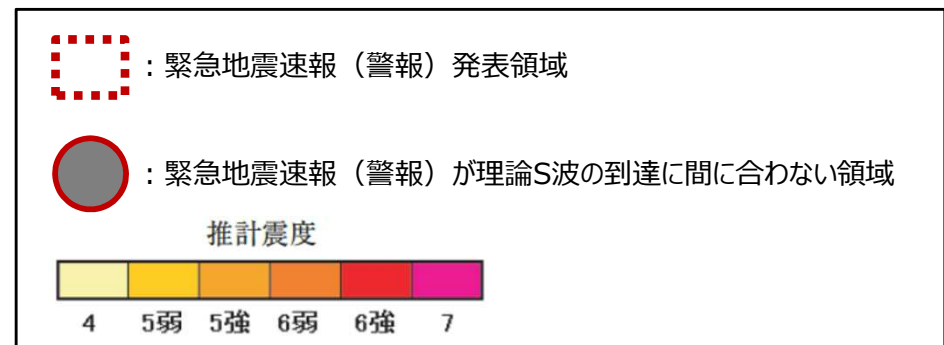


警報発表の状況

- 石巻大田での地震波検知後8.6秒後に警報発表
- 震度7を観測した宮城県栗原市築館をはじめ、警報を発表したすべての地域に対して主要動の到達前に発表した

緊急地震速報の課題

- 本震での課題
 - 巨大地震時の震源域の広がりに対応できず、関東地方の強い揺れを精度良く予測できなかった
- 直後の活発な地震活動での課題
 - 本震後、各地で地震活動が活発となり、様々な地域で地震が同時発生したことで、システムが複数の地震と分離できず、1つの大きな地震が発生したと誤解し、過大予測となる警報が相次いだ



<東北地方太平洋沖地震以後の緊急地震速報の技術的改善の変遷>

- 2011年8月10日 : 複数の地震を分離するためのソフトウェア改修
- 2015年3月31日 : 気象庁地震計50地点、KiK-net15地点等の活用開始
- 2016年12月14日 : IPF法の運用開始
- 2018年3月22日 : PLUM法の運用開始
- 2019年6月27日 : 海底地震計 (S-net、DONET) のデータ活用開始
- 2023年2月1日 : 長周期地震動階級の予測情報の追加
- 2023年内目途 : 震源推定手法のIPF法への一本化

近年の緊急地震速報の 技術的改善項目

① 情報発表の迅速化

活用観測点の増強
海底地震計の活用開始

② 巨大地震への対応

PLUM法の運用開始

③ 震源推定 精度の向上

パラメータチューニングおよび、
IPF法の導入と一本化

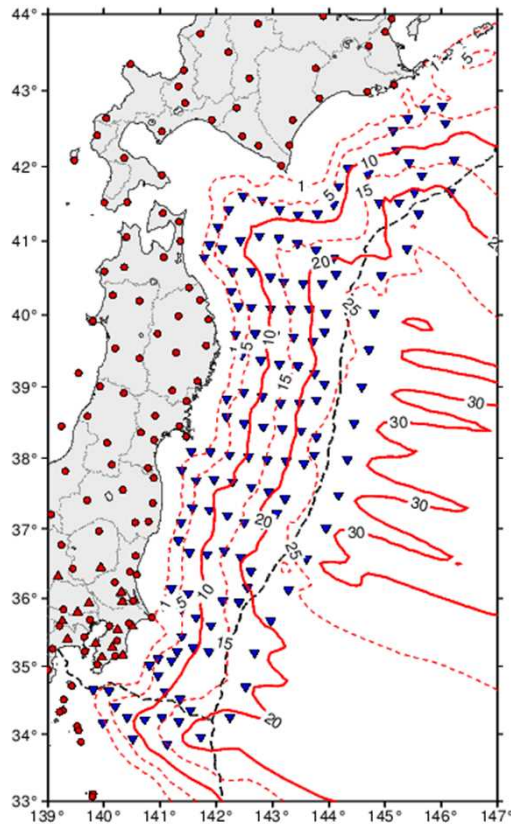
④ 様々な指標での 情報提供

長周期地震動の
予測情報提供開始

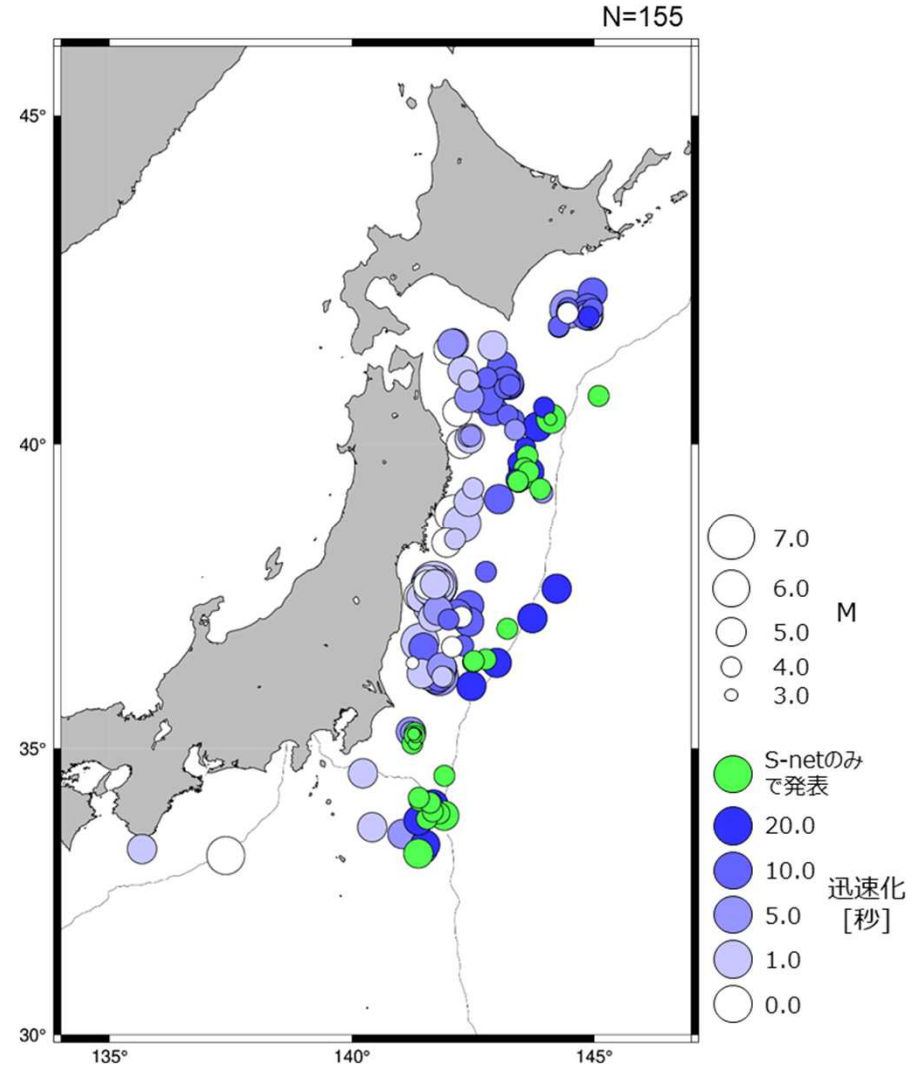
① 情報発表の迅速化

- 観測点の活用拡大（気象庁50地点、KiK-net15地点、S-net150地点、DONET52地点）
- 海域で発生する地震に対する緊急地震速報の迅速化を図るため、海底地震計（S-netとDONET）の活用に関する技術開発を進め、2019年6月より活用を開始した

S-netの活用開始により、日本海溝沿いで発生した地震に対して、より迅速に緊急地震速報を発表することが可能となった



S-netの活用による迅速化の効果の理論値（秒）

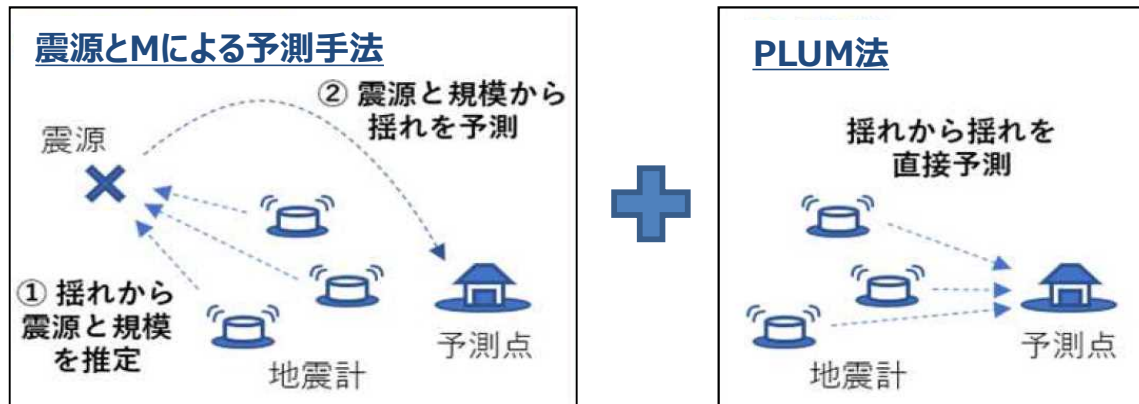


海底地震計の活用により予報第1報の迅速化が確認された発表事例

②巨大地震への対応

○ 巨大地震時の震源域の広がりに対しても強い揺れを予測するため、揺れから揺れを予測する「PLUM法」を開発し、2018年3月より運用を開始した

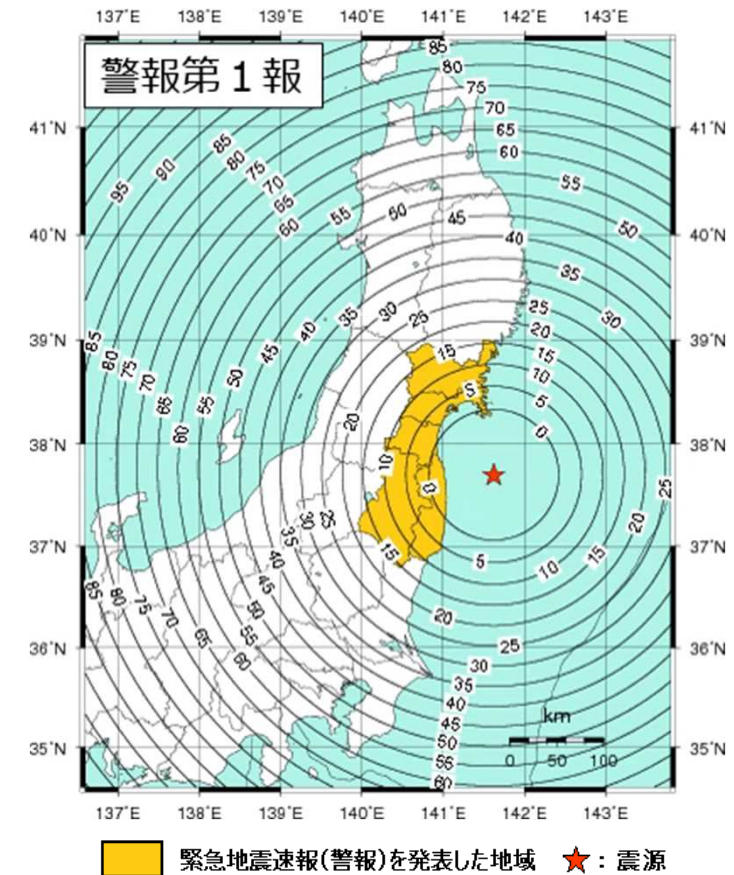
※PLUM法：Propagation of Local Undamped Motion 法 の略 (<https://www.data.jma.go.jp/eew/data/nc/plum/index.html>)



運用開始後PLUM法を利用して発表した緊急地震速報の事例数

	予報	警報
発表した緊急地震速報の総数	4077	65
PLUM法を活用して発表した緊急地震速報の数	149	24
PLUM法のみで発表した緊急地震速報の数	12	<u>1</u>

2022年3月16日、福島県沖を震源とするM6.1、M7.4の地震が立て続けに発生した。M7.4の地震では震源とMを決定できず、それに基づく震度予測できなかったが、PLUM法により震度予測を行い、緊急地震速報（警報）を発表することができた。



2022年3月16日福島県沖の地震（M7.4）で発表した緊急地震速報（警報）

③震源推定精度の向上

- パラメータチューニング等による震源推定精度の改良
- 同時多発地震への対応のため、2016年12月よりIPF法の運用を開始した

※IPF法：Integrated Particle Filter 法 の略 (https://www.jma.go.jp/jma/press/1612/13a/EEW_kaizen_201612_IPF.pdf)

- IPF法とは、検測時刻や揺れの大きさなど観測データから得られる特徴量を統合的に処理することによって、得られたデータを説明するのに最ももらしい震源を決定する手法
- ただし、2018年1月5日に茨城県沖（M4.5、最大震度3）と富山県西部（M4.0、最大震度3）とでほぼ同時に発生した地震により、複数の震源推定処理の結果を併用する過程で、震源候補とM計算に用いる振幅値との同一判定がうまくいかず、富山県西部の地震の振幅値をつかって茨城県沖の地震のM計算を行い、過大な警報を公表するに至った

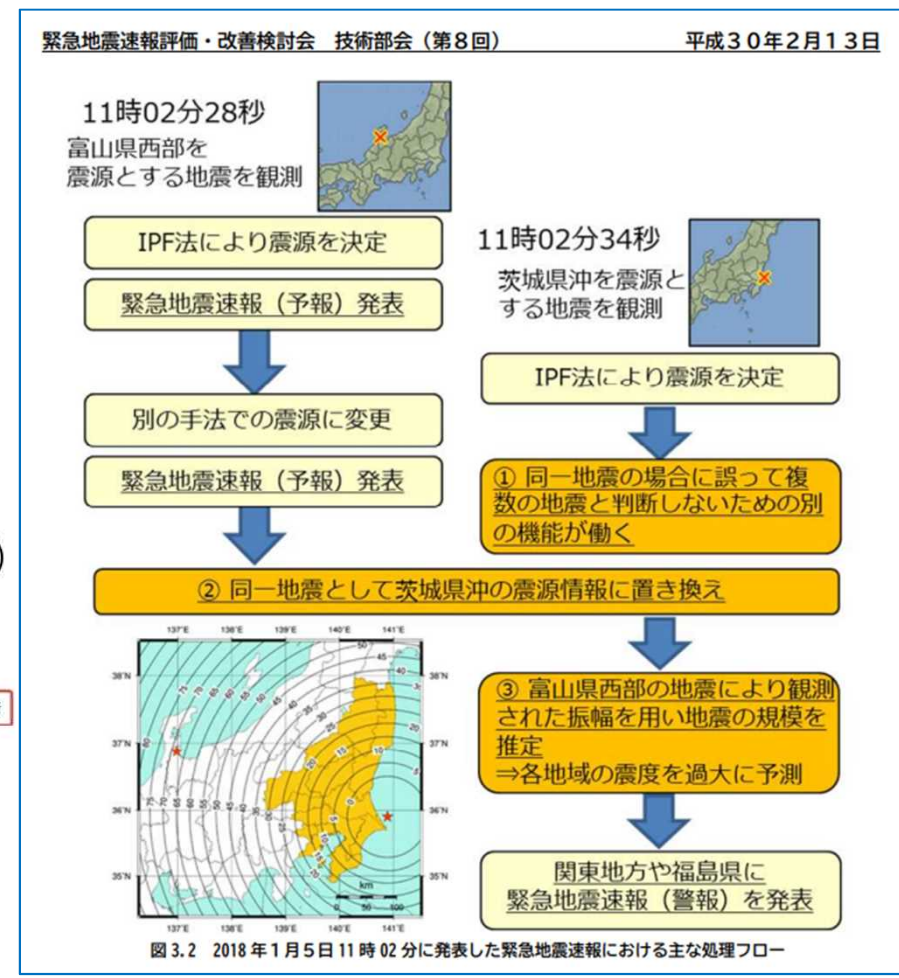
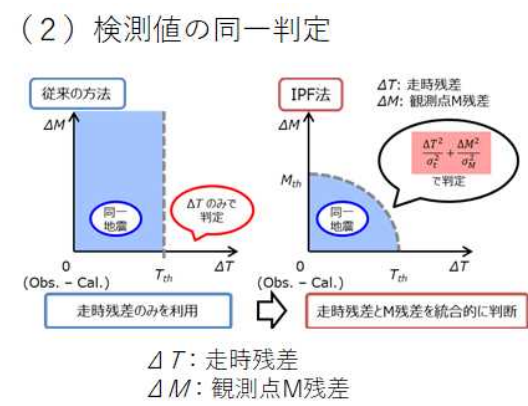
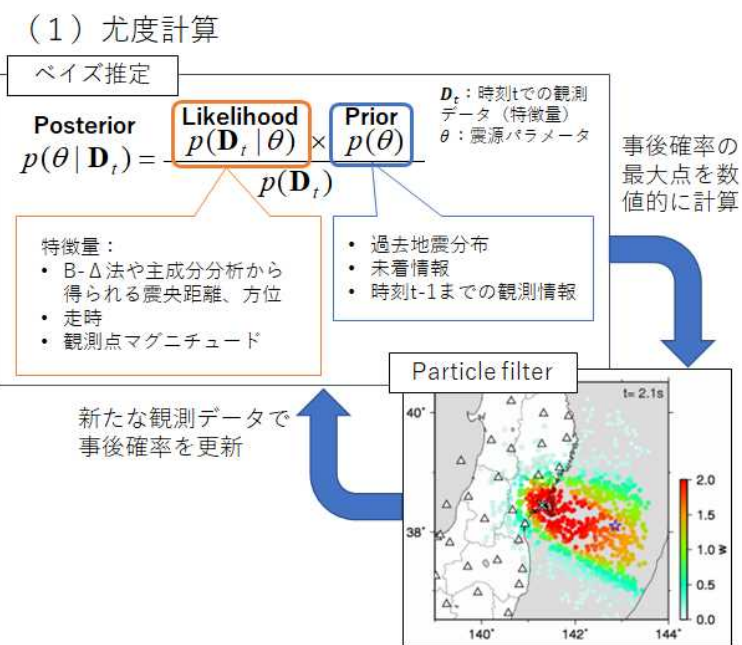


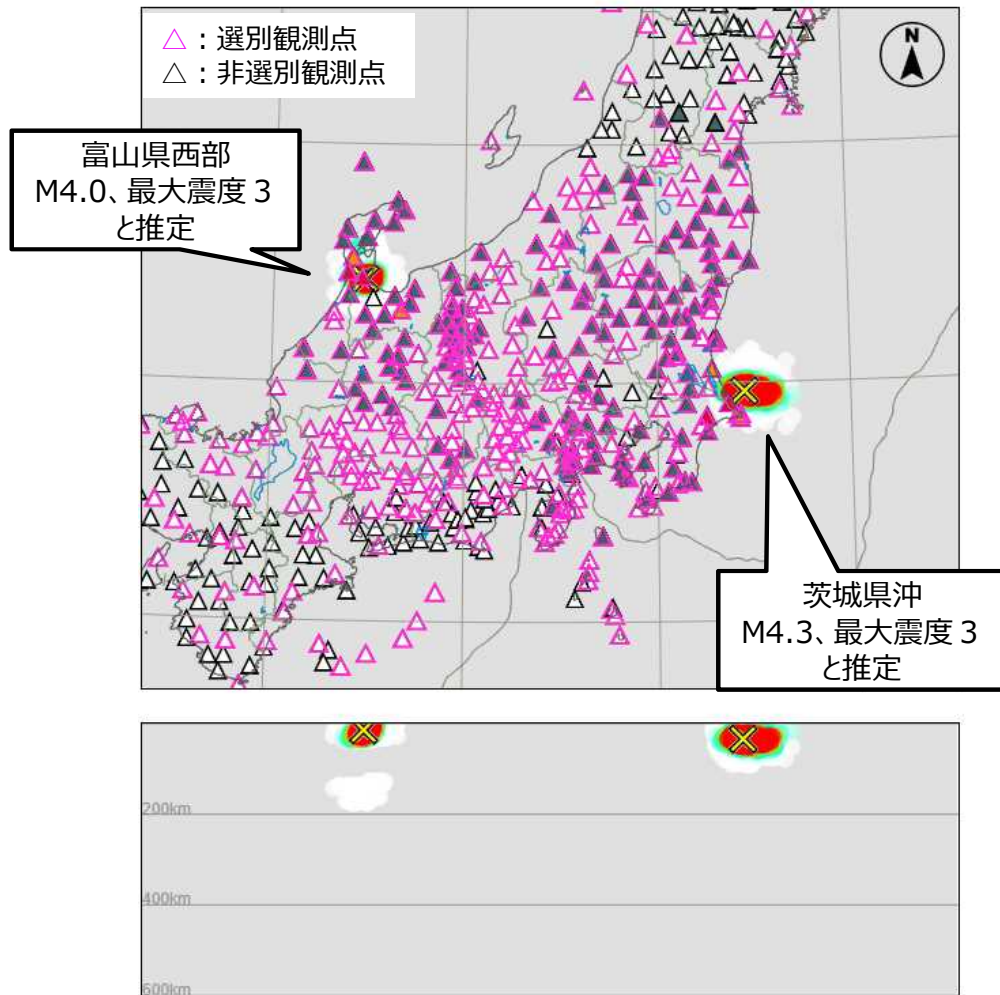
図3.2 2018年1月5日11時02分に発表した緊急地震速報における主な処理フロー

2018年1月5日の過大警報
 （※第8回技術部会資料）

IPF法の処理概要（尤度計算と検測値の同一判定）

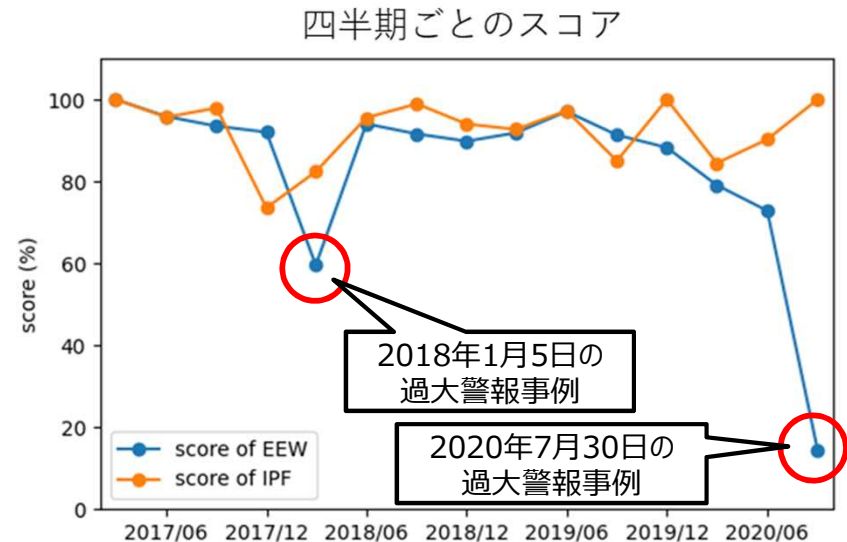
③震源推定精度の向上

○ 同時多発地震への対応や地震識別処理の堅牢化のため、複数の震源推定手法の併用から、2023年内目処で緊急地震速報の震源決定手法をIPF法に一本化する



2018年1月5日の茨城県沖 (M4.5)・富山県西部 (M4.0) の同時地震発生時の動作状況

- IPF法でHi-netデータを含むすべてのデータを処理し、震源推定手法を検測値の同一判定に優れたIPF法に一本化することで、より安定した震源とMの推定が可能となる
- 過去事例の検証の結果、震源推定精度が適切であり、予測震度の合致率を示すスコアが改善することを確認した



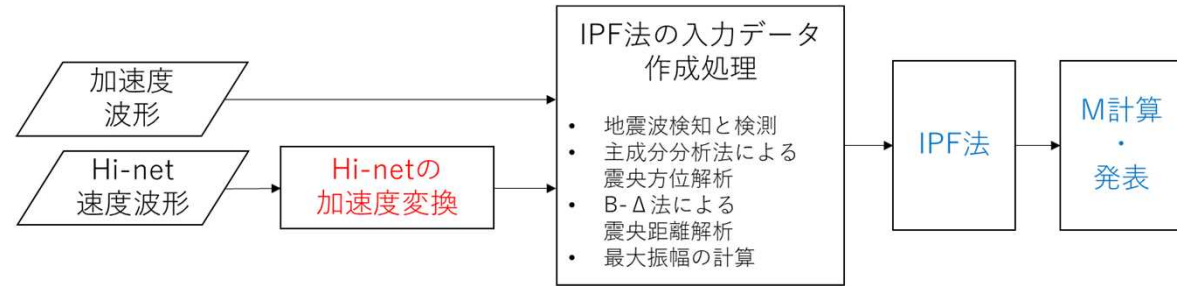
2017年1月から2020年8月の緊急地震速報発表事例における、四半期ごとの予測震度の合致率を示すスコアの推移
青線が当時の発表した事例のスコア、オレンジの線がIPF法一本化後のスコアの推移を示す

③震源推定精度の向上

○ 同時多発地震への対応や地震識別処理の堅牢化のため、複数の震源推定手法の併用から、2023年内目処で緊急地震速報の震源決定手法をIPF法に一本化する

• IPF法への震源推定手法の一本化のため、Hi-netを利用するための処理の追加や変更、発表条件の変更を行う

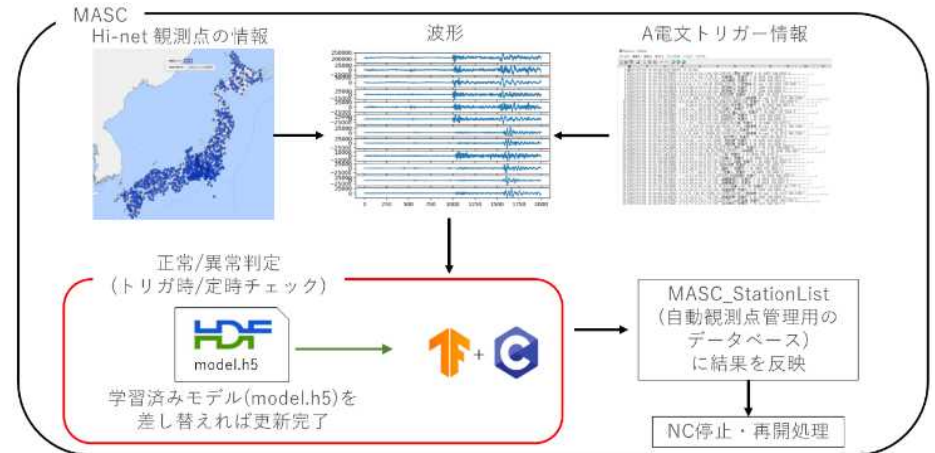
- ① Hi-net(速度) データ活用のためのA電文作成処理
 - ② Hi-netデータ活用のためのIPF法の処理改良
 - ③ 速度マグニチュード計算の導入
 - ④ 観測点の優先度の導入 (優先度高/優先度低)
 - ⑤ 発表条件の変更
 - ⑥ 機械学習を用いた観測点管理の自動化
- ✓ 詳細については[参考資料 1](#)に記載



IPF法一本化の処理概要、赤字が追加、青字が改良した処理

発表条件	発表に必要な観測点 (現状)	発表に必要な観測点 (IPF法一本化後)
予報	加速度計観測点 1 地点以上	加速度計観測点 1 地点以上
警報	「加速度計観測点 2 地点以上」 または 「加速度計観測点 1 地点以上かつ 着着法・HYPOONの震源」	「加速度計観測点 2 地点以上」 または 「加速度計観測点 1 地点以上かつ Hi-net (優先度低) 観測点 3 地点以上」

予報と警報の発表条件



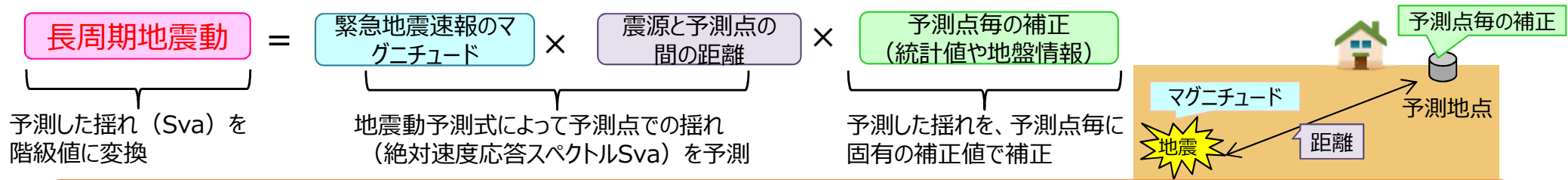
観測点管理の自動化

④ 様々な指標での情報提供

○ 巨大地震に伴って発生する長周期地震動により生じる被害の軽減のため、2023年2月1日より緊急地震速報による長周期地震動の予測の提供を開始した

緊急地震速報（警報）への長周期基準追加

- 長周期地震動階級3以上が予測される場合にも 緊急地震速報（警報）を発表
- 長周期地震動階級の予測には、（国研）防災科学技術研究所による地震動予測式を使用（Dhakal et al., 2015）



$$\log_{10} Sva(T) = c(T) + a(T)M_j - \log_{10} R - b(T)R + \text{siteFactor}(T)$$

絶対速度応答値 定数 c 係数 a マグニチュード 震源距離 係数 b 予測地点毎の補正係数

※(T)は周期毎であることを示す

※有識者による検討会「長周期地震動に関する情報検討会」平成28年度報告書より

(議題1) 緊急地震速報の技術的改善について (報告)

(まとめ)

- ✓ 緊急地震速報の運用開始から15年
 - 様々な技術の組合せによって実現した緊急地震速報
 - これまで、緊急地震速報評価・改善検討会やその技術部会を通して、技術の改善を図ってきた
- ✓ 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震での課題とそれ以後の技術的改善
 - 情報発表の迅速化 → 海底地震計など活用観測点の増強
 - 巨大地震への対応 → PLUM法の運用開始
 - 震源推定精度の向上 → IPF法の運用開始と震源推定手法の一本化
 - 様々な指標での情報提供 → 長周期地震動予測の提供開始
- ✓ このような技術が、現在の緊急地震速報の発表とその利活用の土台となっている

緊急地震速報は、公益財団法人鉄道総合技術研究所、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立大学法人京都大学防災研究所との技術開発・協力によって実現しています。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所の地震観測網のデータも利用しています。

(議題2) 現行の緊急地震速報の利活用について

(議題3) 今後の緊急地震速報の方向性について