

海底地震計データを利用し 巨大地震の発生を検知する



野田 俊太
Shunta Noda

鉄道地震工学研究センター
地震解析研究室
副主任研究員



岩田 直泰
Naoyasu Iwata

鉄道地震工学研究センター
地震解析研究室長

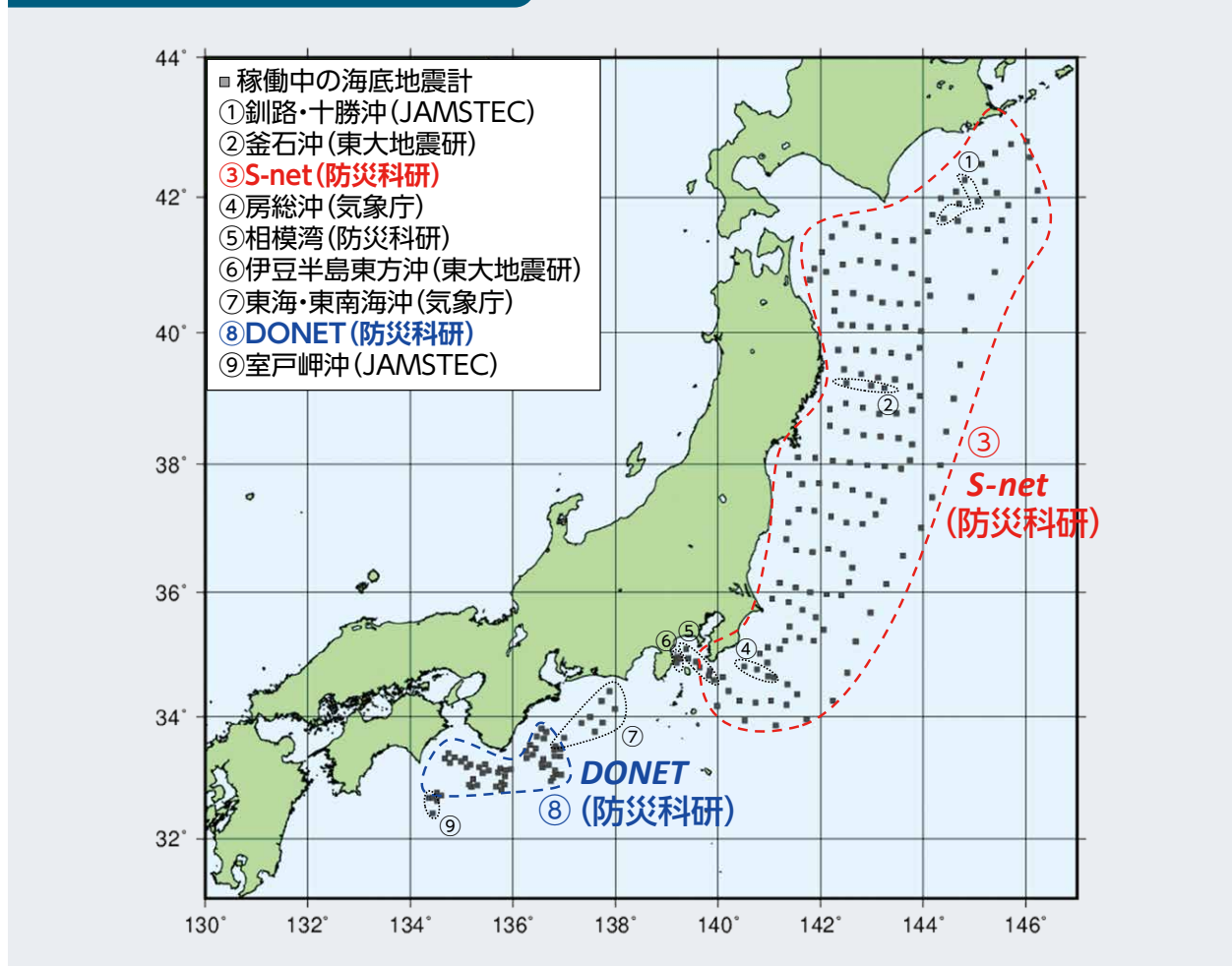
はじめに

新幹線の地震対策の一つとして、早期地震警報システムが用いられています。このシステムでは、各鉄道事業者が管理運用する陸上に設置された早期警報用地震計を用いて列車停止の判

断を行います。具体的には、地震波のうち先に到達するP波の情報から警報判断を行う**P波警報手法**[※]、P波の後に来るS波で判断を行う**S波警報手法**の二種類の方法が用いられます。

一方、海域で発生する地震に対して警報の即

図1 日本周辺で稼働中の海底地震観測網



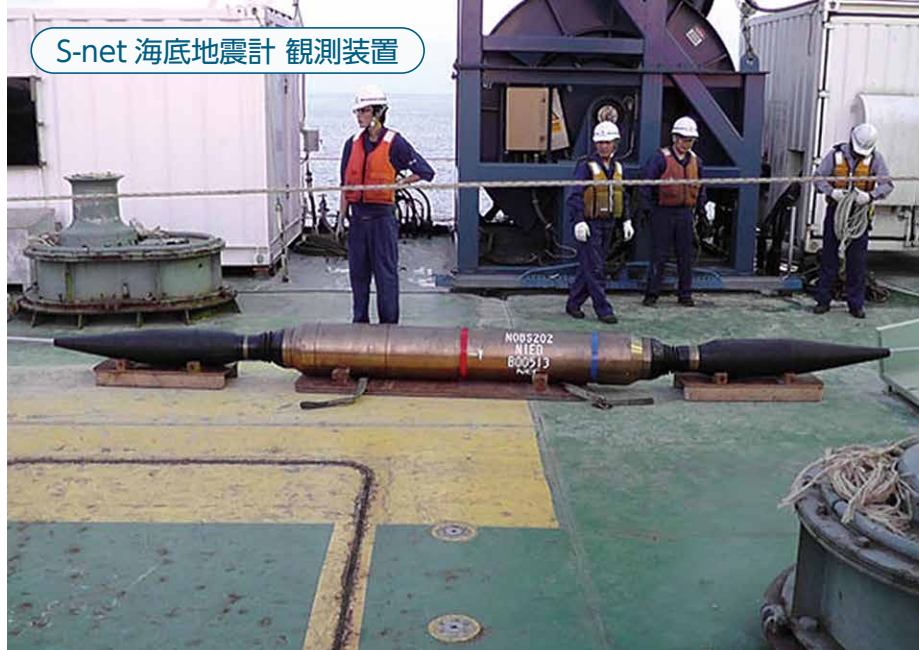
時性を高めるため、国立研究開発法人防災科学技術研究所（以下、防災科研）から、日本海溝海底地震津波観測網（以下、S-net[®]）および地震・津波観測監視システム（以下、DONET[®]）（図1）の情報を鉄道事業者が直接受信し、新幹線の列車停止判断に活用する取り組みが2017年より開始されています¹⁾。図2にS-netの地震計と、その設置の様子を示します。鉄道総研は鉄道事業者や防災科研と協力し、海底地震計データの送信ルールを定め、海底地震計データを用いたS波警報手法を開発しました。

しかしながら、後述するように、この現行の海底地震計データによるS波警報手法では、海域で発生する可能性が高いと考えられているマグニチュード (M) が8.0を上回るような巨大地震の検知に改善の余地がありました。そこで、巨大地震を速やかに検知し、広範囲への警報の即時性を高める警報手法を開発したので、ここで紹介します。

巨大地震に対する警報

現行の海底地震計データによるS波警報手法では、ある一箇所の海底地震計で大きな揺れが観測され、事前に定められたしきい値を上回った場合、その地震計に近い区間を走行する列車を停止させます（図3(a)）。

海底地震計が設置される海域は、2011年東北地方太平洋沖地震 ($M9.0$) や、南海トラフでの巨大地震 ($M8$ 級) など、大きな規模の被害を引き起こす地震の発生リスク



観測装置を海へ投入している様子



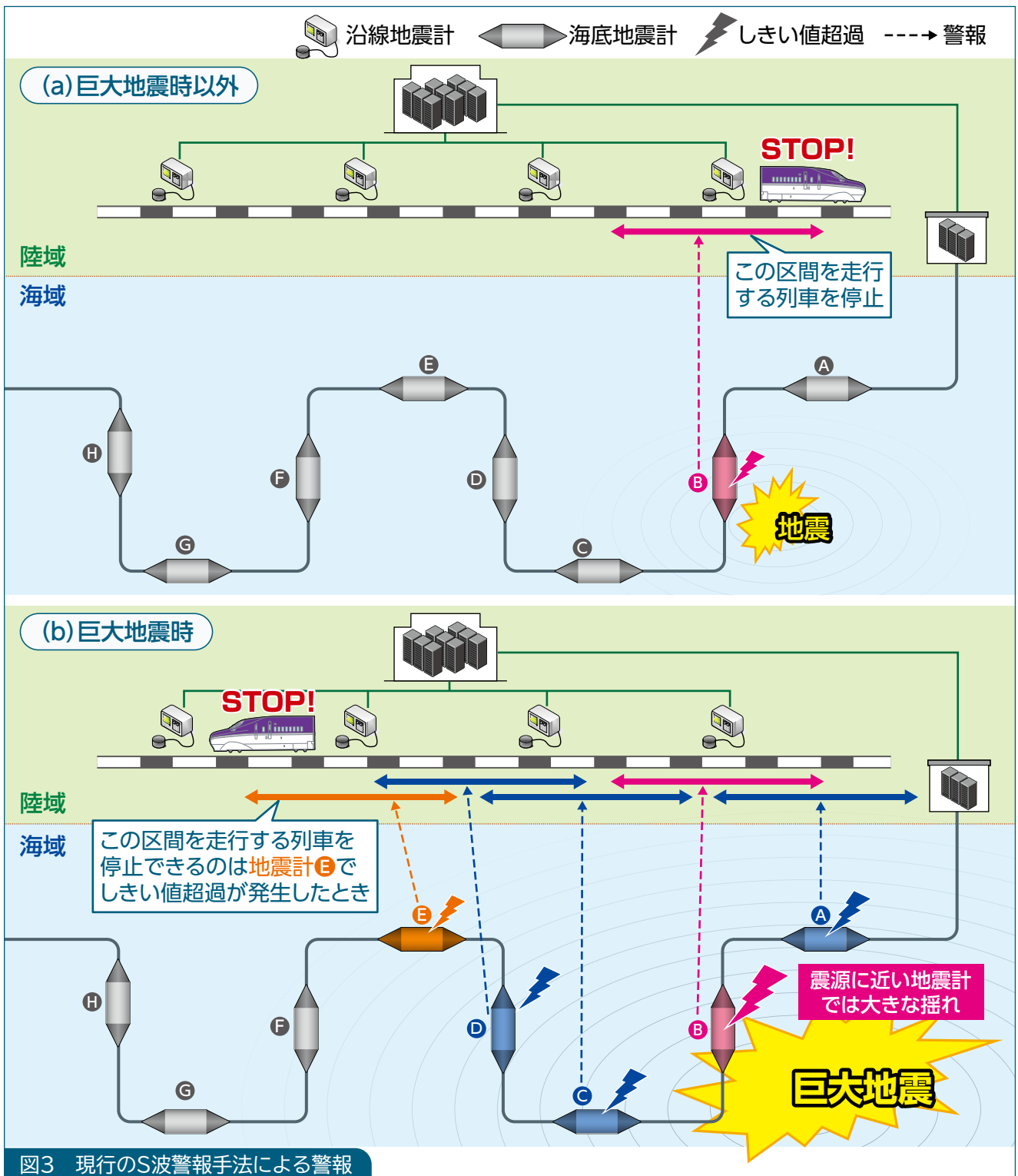
図2 S-netの地震計と設置の様子
(提供：防災科学技術研究所)

☞ P波警報手法

地震計で観測されたP波のデータを用いて、震央（震源の直上の点）の位置およびマグニチュード M を推定します。この情報を基に、地震被害の発生リスクがあると考えられる区間を走行する列車を停止させます。

☞ S-netとDONET

S-netは、日本海溝から千島海溝海域に至る東日本太平洋沖に設置され、地震計と水圧計が一体となった全長約5,500kmのケーブルによる海底観測網です。DONETは、熊野灘と紀伊水道沖に約50箇所に展開された海底観測網で、各観測点には地震計や水圧計以外にも温度計などの測定器が設置されています。両観測網とも、地震計で観測されたデータはリアルタイムで陸上へと送信されています。



がきわめて高いことが指摘されています。

このような巨大地震の際は、被害が発生する領域が広範囲におよぶため、地震の震源近傍のみならず、広い領域内を走行する列車を速やかに停止させることが求められます。上述のとおり、現行の海底地震計データによるS波警報手法では、震源近傍の地震計で大きな揺れが観測

されるため、震源に近い区間を走る列車を速やかに停止させることが可能です。しかしながら、震源からやや離れた区間を走行する列車に対しては、その区間に対応する地震計（つまり、震源からやや離れた地震計）に大きな揺れが到達するまで、列車停止のための警報は出力されません（図3(b)）。ここで重要な点は、震源から

やや離れた地震計においてしきい値を上回るような揺れが生じる巨大地震においては、震源近傍の地震計ではさらに強い揺れが観測されるため、揺れの強さをを用いることで現状よりも早い段階で巨大地震であることを判断できる可能性があるということです(図3(b))。このことに着目し、ここで紹介する新たな警報手法では、巨大地震に対して速やかにその検知を行います。

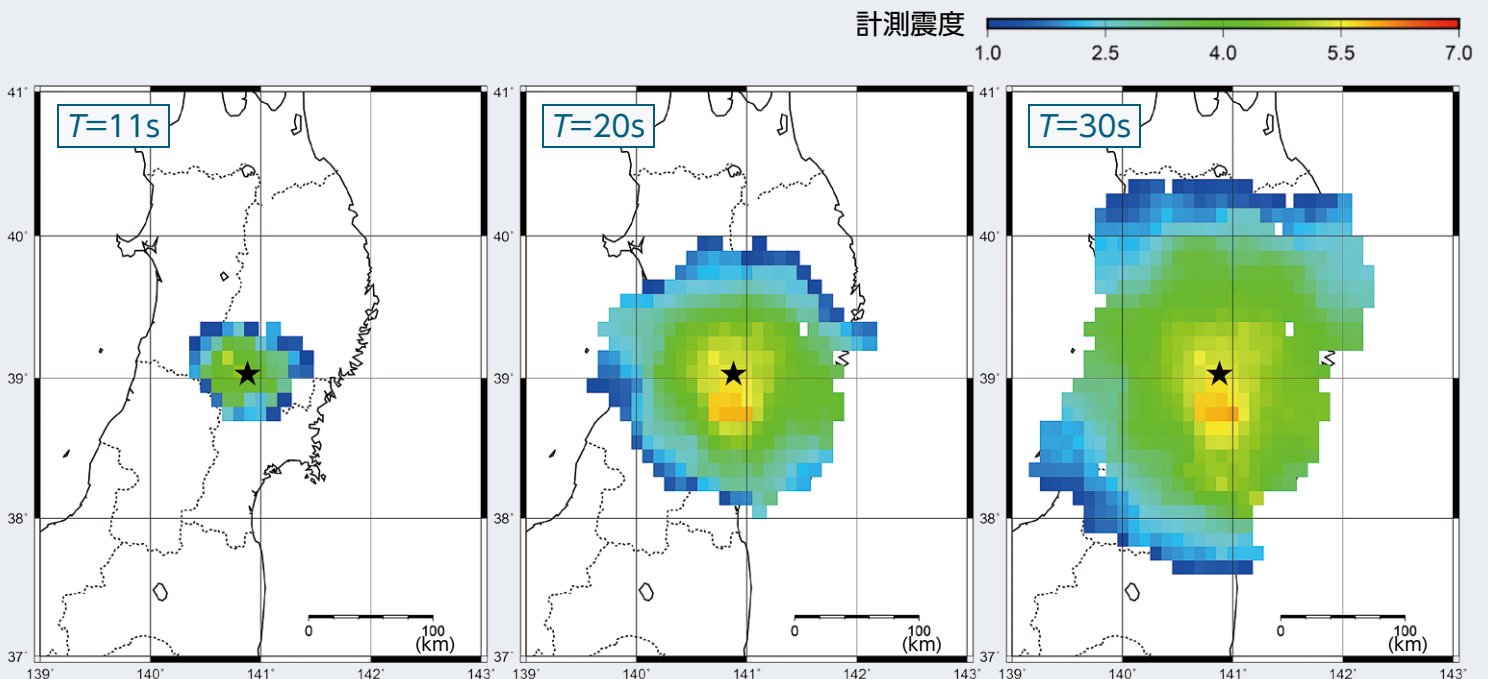
地震動の^{ひろ}拡がりの面積によるM推定

ここで紹介する巨大地震の検知手法では、地震動の拡がりの面積からマグニチュードMを推定します。地震動の拡がりは、とくに震源近傍の複数の地震計を用いてリアルタイムに計算します。図4では、2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)における地震動の拡がりの変化を、計測震度の大きさで示しています。時間の経過とともに、地震動が広がっていく様子を確認することができます。

既往の研究により、地震動の拡がりの面積はMに関係していることが知られています。そこで、本提案手法では、震源近傍の地震計データから計算された計測震度の分布を求め、この拡がりの面積からMを推定します。具体的には、過去の地震記録を用いて、地震動の拡がりの面積などとMの関係を表す統計式を作成し、この式からMを決定するという推定方法です。

図5では、気象庁発表のマグニチュード(M_j)と、本提案手法によるMの推定値(M_{est} ;過去の記録から求められたそれぞれの地震における最終値)との関係を示しています。本提案手法より求められたMの推定誤差は、陸上地震計の観測データを使用した場合は約0.324、海底地震計データを用いた場合は約0.330となります。つまり、海底地震計データを用いた場合でも、陸上地震計データの場合とほぼ同等の精度が得られることがわかります。また、Mの推定誤差は気象庁の緊急地震速報の場合で0.3~

図4 2008年6月14日岩手・宮城内陸地震(M7.2)の観測データを用いて推定された地震発生からの経過時間Tにおける計測震度の分布



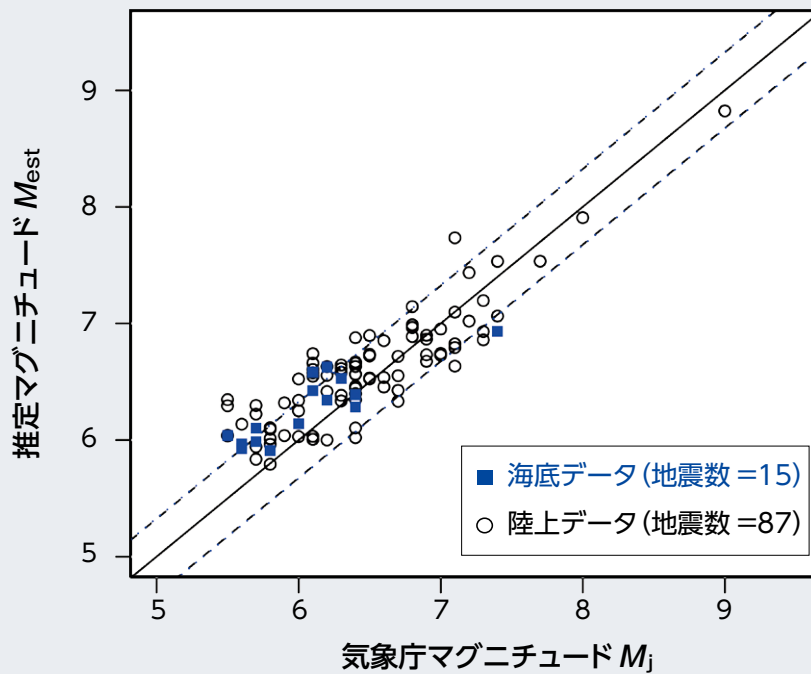


図5 気象庁マグニチュード M_j と提案手法による推定マグニチュード M_{est} の関係

0.4程度といわれていることから、本手法による M の推定精度は、警報判断に用いるものとして十分であることが確認できました。

広域への警報の即時性向上

ここで提案した手法による警報の即時性の向上効果をご紹介します。現状では、海底地震観測網にて記録された巨大地震のデータが存在しないため、ここではシミュレーションによりその効果を検証します。

本シミュレーションでは、2011年東北地方太平洋沖地震 ($M9.0$) の震源において巨大地震が発生し、S-netにてその揺れを観測したという状況を想定し、現行のS波警報手法およびここで提案した手法によって、それぞれのタイミングでどこに警報を出せるかということを検証します。なお、実際には2011年当時にはS-netは未整備でした。この警報シミュレーションの結果の概略を図6に示します。この図では、震央の位置を黒の星印、S-netの観測点位置を黒の三角形で示しています。

シミュレーション結果を時系列順に説明します。

- ①震源から拡がりはじめた地震波は、地震発生から数秒以内に震源最近傍の観測点 (図6内の緑色の丸印で示した観測点) に到着し、現行のS波警報手法によってしきい値を超過する揺れを検知します。これによって、震源に比較的近い区間 (岩手県～福島県) 内を走行する列車に対し、警報を出力することができます。
- ②地震発生から約40秒後の時点で、提案した手法により、関東地域に警報を出力することができます。つまり、地震発生直後より震源近傍の複数の海底地震計のデータにより地震動の拡がり (黄色などで示した領域) が計算され、これを基に M が推定されていきますが、その大きさは強い地震動の面積が広がっていくことにしたがって大きな値となっていきます。ここで、巨大地震の発生により関東地域を含む広範囲への警報を出力する M の基準値を8.0とすると、地震発生から約40秒後の時点で推定された M が8.0に到達し、関東地域にも警報が出力されるということになります。
- ③現行では地震発生から約60秒後に、図6内

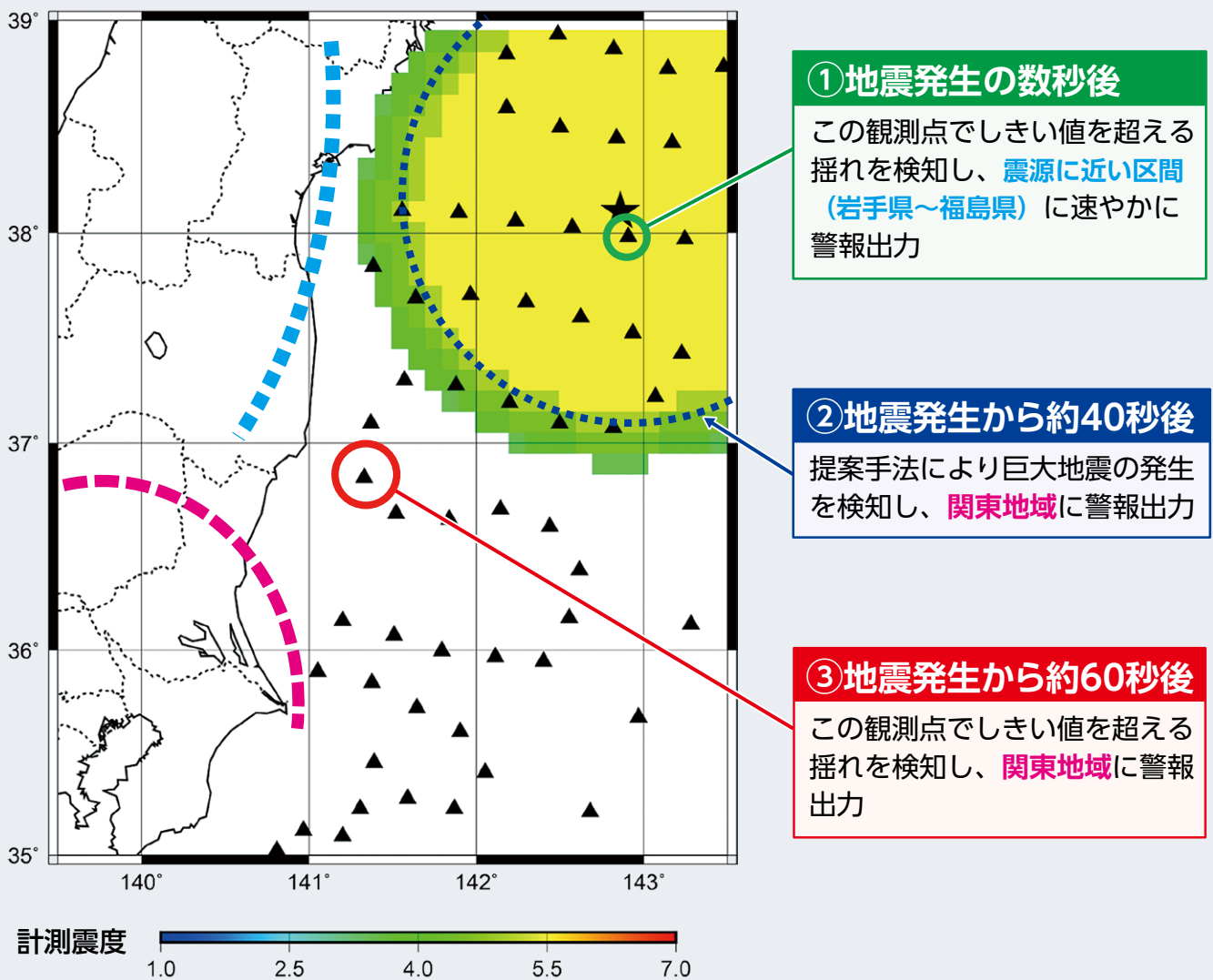


図6 2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の震源を仮定したシミュレーション概要図

の赤丸で示した観測点に大きな揺れが到着し、その大きさがしきい値を上回ります。現行のS波警報手法では、これが関東地域にもっとも早く警報が出力されるタイミングとなります。

このように、本シミュレーションにより震源近傍の複数の海底地震計のデータを提案手法に適用することにより、現行のS波警報手法と比較して関東地域へ約20秒早く警報を発することが可能であることがわかりました。実際の2011年東北地方太平洋沖地震においても関東地域は大きな揺れに見舞われ、さまざまな被害が発生しましたが、提案手法を用いることで、早期に備えることが可能になると考えられます。以上、ここで示した提案した手法により、巨

大地震の発生時において、広範囲への警報の即時性を高めることが期待されます。

おわりに

ここでは、海域において巨大地震の発生リスクが高いと指摘されている点を踏まえ、海底地震計データによる警報のパフォーマンスを向上させる手法を紹介しました。具体的には、広範囲への警報の即時性を向上させ、巨大地震に対する強靱化に資することが期待されます。RRR

文献

1) 是永将宏, 山本俊六, 青井真: 海底地震計データを早期地震警報に使う, RRR, Vol.76, No.3, pp.8-11, 2019