

緊急地震速報利活用の実際 —実利用の実態とその課題—

根岸 弘明

緊急地震速報は地面が揺れる前に警報を発するという全く新しいタイプの防災情報であるが、発表プロセスすべてが自動処理によることと、対処可能時間が秒単位であることから、効果を上げるには速報の持つ特性を理解した上での確かな用途に利用する必要がある。本論では、高度利用者向け緊急地震速報の利活用を念頭に置き、実際に自動制御による被害減少や人命保護に活用している例を紹介するとともに、地震という物理現象から来る独特の留意点と利活用に向けた課題について議論する。

キーワード：高度利用者向け緊急地震速報，破壊過程，自動制御，トリガー

1. はじめに

日本は世界でもっとも地震の多い国の1つであり、実に地球上の1割以上の地震が日本領域内で発生している。地震による被害には、発生の突発性や被災の広域性といった特徴があり、特に前者において他の自然災害とは一線を画しているといえる。

ここで地震という言葉について辞書を引くと、「地球内部の特定部分に蓄積されたひずみが、ある限界に達し、一時に解放されて弾性波（地震波）を生ずる現象。および、それによって起こる地表の揺れ」とある[1]。つまり、地震には地球内部の破壊現象とそれによる地面の揺れという、因果関係の主従両方の意味がある。本論では地震研究での一般解釈と同様に、前者の意味で地震という言葉を使用する。

地震が発生するとそこから地震波が発生し、ある速度（一般に大きな地震動を引き起こすS波が地中を伝わる速度は2~4 km/s）で伝播し地面に届き、揺れ（地震動）を発生させる。これは地震発生から地面が揺れ始めるまでは地震波が伝播する時間だけのタイムラグがあることを示している。緊急地震速報[2]は、このタイムラグを防災に活用しようというものである。地震発生直後にそれを感知し位置と規模を算出し、地震波よりも遙かに速い電気信号や電波で情報を伝達できれば、揺れが到達する前に地震動の到達時刻と大

きさを予測することができる。ちょうど、雷が発生したとき、まず稲妻（電気信号）が目に入り、その後雷鳴（地震波）を感じるのと同じであり、緊急地震速報は稲妻を見て雷鳴を予測して身構えるのと同じことである。なお、到達予測時間は震央（震源を地表に投影した場所）までの距離と震源の深さから、予測震度は距離減衰式[3]と地盤増幅率からほぼ瞬時に求めることができる。

実利用まで含めた緊急地震速報実現に向けた本格的な研究開発は、2003年から2007年に実施された文部科学省研究開発リーディングプロジェクト「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」によるところが大きい[4]。この中でデータ解析とデータ通信網の研究開発、利活用の実証実験などさまざまな研究開発が進められ、それを基に気象庁が業務的に配信を行うのに必要なシステムの構築と情報配信、各種企業等による利活用実用化への開発が行われた。

そして、企業等での自動制御などを対象とした高度利用者向け情報（最大予測震度3以上で発表）が2006年8月から、テレビや携帯などを通し一般の人に直接届けるための一般向け情報（最大予測震度5弱以上で発表）が2007年10月から、それぞれ提供が始められた。高度利用者向けと一般向けは、上記以外にも発表回数や情報の内容に違いがある[2]。本論では高度利用者向け緊急地震速報を念頭に置いて話を進める。

2. 緊急地震速報の持つ特性

緊急地震速報の算出には、全国に展開された気象庁

(約 220 点) および (独) 防災科学技術研究所 (約 800 点) の地震観測点によるデータが用いられる。各点に置かれた地震計から気象庁のサーバリアルタイムで地面の振動波形が集められ、地震の検知、波形解析、震源・マグニチュードの計算と結果の検証と発表が、すべて自動処理により行われる [4]。その他気象庁の観測点には単独で震源とマグニチュードを推定できる多機能型地震計が設置されており、より早く速報値を出すことができる。

さて、緊急地震速報の利用で留意しなければならないのは、その確度である。観測や解析アルゴリズムの改良により改善できる部分もあるが、実際には地震の持つ物理的特性により原理的に解決できない部分もあり、そこに確度の限界がある。例えば震源位置は通常複数観測点での地震波到達時刻から最小自乗的に決定されるので、データ数 (観測点数) が増えるほど精度が向上する。しかし地震波が多くの観測点に届くにはそれだけ時間がかかるわけで、精度を上げようとすると速報性が低くなる。

また地震とは地球内部の破壊現象であり、破壊領域という空間的広がり (断層面) と破壊進展という時間的広がりを持つ。そのため、次のような特性に留意する必要がある。

- (1) 震源は破壊開始点なので破壊開始直後に決定し得るが、断層運動の総エネルギーに相当するマグニチュードは原理的には破壊が完了するまで決定できない。
- (2) 大きな地震ほど断層面が大きく破壊過程も長く、マグニチュード算出まで時間がかかる。破壊の継続時間はマグニチュード 6 で 3~5 秒、7 で 10~15 秒、8 で 30~50 秒程度であり、マグニチュード 9 となった 2011 年東北地方太平洋沖地震では 150 秒以上にもなった [5]。
- (3) 放射されるエネルギーは面的領域 (断層面) から出るので、震源位置から求める予測震度と実際の震度のずれが大きくなる場合がある。

これらは地震の持つ物理的性質に起因するものであり、根本的な解決は不可能である。しかし、緊急地震速報は防災のための情報であり、運用の仕方にさまざまな工夫を凝らすことで、有用性向上に結びつけることができる。例えば、前述の性質は「時間とともに計算結果の精度が上がる」と捉えることができる。これを利用し、高度利用者向け緊急地震速報では、第 1 報、第 2 報と時間とともに確度の上がる情報を逐次発表して

いる。また (3) の関連では、各予測地点に対し最も断層面が近くなるケースを仮定して震度を計算することで、可能性のある最大の震度を発表している [6]。この方法では大きな地震ほど実態からのずれが大きくなる可能性があるが、防災情報に求められる有用性を優先しているわけである。このように、迅速さと正確さの逆進性を考慮した上で、それぞれの使い方に合わせ、トレードオフの適した部分をうまく使うことが重要である。

3. 活用事例

3.1 自動制御での活用例

地震災害という人的被害にばかり目が行きがちであるが、工場など生産施設の被害も社会に与える影響は小さくない。現に 2011 年の東日本大震災においても、職場が被災することで生活の維持が困難になったり、社会で必要となる生産物が確保できなくなったりする問題が発生している。そのような事業継続性の観点からも、生産性低下を最小限に抑え、地震後に早期に生産能力を回復することは重要である。半導体メーカーである OKI セミコンダクタ宮城株式会社では、早くから緊急地震速報利活用の実証実験が行われ、現在成果が実用化されている [7]。

システム開発に当たり、まず何を制御し、どのような情報を工場内に配信するかが検討された。半導体の生産では非常に細かい精度での加工を行うため、人的被害の発生しない震度 4 以下の地震であっても損害が出る。そのため緊急地震速報の精度・誤差および対策を実施したときの効果などを勘案し、以下の項目に対する対策実施が検討された [4] [8]。

- (1) 作業員への通知：安全姿勢の確保、安全地域への一時避難など
- (2) 建屋内設備：各種危険特殊ガス、薬品の事前遮断 (感震後では転倒・破損等で遮断が間に合わない場合がある)
- (3) クリーンルーム：精密機器、真空ポンプなど高速回転物の事前ソフトランディング

これらは、それぞれに必要な猶予時間と確度を考慮して行われる。例えば (1) は作業員の情報認知や避難行動にかかる時間を考慮し早い段階で情報配信するが、(2) については 1 秒程度で遮断が可能のため、主要動到達前という条件でより精度の高い後発の情報を待つようになっている。その他、従業員への通知について情報を受けたときの具体的な行動の取り決めおよび周知・

訓練が行われており、取るべき行動を冊子として配布するなど、速報から実際の行動までがスムーズに行われる体制が確保されている。

一方、誤報により動作してしまう事象の減少、予測震度の精度向上などへの対応を目的とし、独自の工夫も進められた。まず、工場の立地地盤情報から独自の地盤増幅率を求め、より正確な予測震度を独自に算出することを行っている。気象庁から配信される予測震度は地域を代表するものなので、より実際に近い予測震度を得ることができる。

その他にも、工場内にP波（S波の前に届く最初の地震波）検出用地震計を設置することで、緊急地震速報と組み合わせることで誤警報による影響を排除したり、敷地内地震計の処理結果と緊急地震速報の情報の組み合わせから実施内容をマトリクス判断により決定する仕組みを整備するなど、緊急地震速報の持つ精度を自前の観測・解析と合わせることで確度と有用性を向上させている。

2008年6月14日に岩手・宮城内陸地震（M7.2）が発生し、この工場は震度5強という揺れに見舞われたが、このシステムにより大きな揺れが到達する4秒前に緊急アラーム放送を行い、3秒前にはガス・薬品の緊急遮断など必要な制御を終え、二次災害の防止に成功している[7]。また2011年3月の東北地方太平洋沖地震においてもシステムが正常に作動し、主要動到達前に警報出力や設備の緊急停止などに成功したことが公表されている[9]。同様のシステムは他の会社でも開発・運用されており[10]、緊急地震速報の生産現場への投入は社会的な広がりを見せている。

3.2 人向けの活用例

一般向け緊急地震速報は最大震度5弱以上が予測されると発表され、テレビや携帯電話などを通して通知され、それを受けて我々は自らの意志で安全行動を取ることになる。しかし、自分の意志で非常に短い時間で判断と行動を起こさなければならない上に、情報の伝わり方によってはパニックや凍り付き症候群などの不適合行動による負の影響が現れる危険性もある。したがって、人向けについても利活用に関するさまざまな実証的研究開発が行われた[4]。

2004年から東北大学工学研究科附属災害制御研究センターが中心となり、宮城県内の5つの小中学校を対象とした実証研究が始められた[4][11]。県教育研修センターで受信された高度利用者向け情報は、県の学校用イントラネット（みやぎSWAN）を通し各学

校に配信され、学校内（一般には職員室）の端末パソコンで情報確認されるとともに、校内放送や各教室に設置された警報表示やテレビとの連動により、児童に直接情報が伝達される仕組みとなっている。

学校の実証実験においては、さまざまな防災教育・訓練による効果が検証されている。もっとも早く実証実験を始めている仙台市立長町小学校では、あるモデルクラスについて、速報の仕組みを理解させた上、時間を予告しないで訓練用警報を流し、それにより机の下に入るという訓練を年に数回実施した。その結果、1年半程度でクラス全員が3秒以内で行動を終えるようになった[12]。この結果を受けて他の実証実験校でも同様の訓練を行い、平日ではないものの、2008年岩手・宮城内陸地震発生するとき（土曜日）に、仙台市立白石中学校において、ちょうど中体連の準備で集まっていた生徒や教師の全員が揺れの到達前に避難行動を終えることに成功している[11]。

これには、しっかりとした事前教育の効果が大きい。学校用のシステムには、緊急地震速報の仕組みや概念、基礎的な防災知識と取るべき避難行動などを学ぶことができる学習機能が装備されており、児童・生徒は内容を理解した上で速報を利用する。また、速報を聞いたときの行動を整理し、繰り返し訓練することにより、ほぼ反射的に避難行動を起こすことができるようになっていく。その他、マグニチュードから破壊過程の継続時間を予測して（第2章）揺れの継続時間を見積り、「もうすぐ揺れが収まります」といった安心情報を提供することで、児童・生徒の動揺と不安を軽減させる試みも行っている。

4. 緊急地震速報の今後と利活用に向けて

実際に緊急地震速報を利用する側面において、情報の持つ性質、限界などを踏まえ、利用時に留意することが望ましい内容を以下にまとめる。

- ・ 情報による対策が成功したときのベネフィットと失敗（空振りおよび誤警報）したときのリスクを比較検討する。成功したときの被害減少効果が失敗したときの損害よりも大きければ導入する価値はある。
- ・ 時間とともに確度が増す情報なので、必ずしも第1報で制御などを行う必要はない。実施プロセスにかかる時間を把握し、主要動到達予測時刻よりも前に対策が終了する範囲内で、なるべく後の（確度が高い）情報を利用すると確度が

上がる。

- ・そのまま利用するだけではなく、地盤情報による予測震度の精度向上や加速度・卓越周期などの震度以外の情報算出、オンサイトセンサーを組み合わせた誤情報検出など、独自の処理を併用することにより、より自分にとって使いやすい、精度の良い情報とすることができる。
- ・人間に使う場合、情報を受けたときにする行動をなるべく具体的に決めておき、機械制御と同じく「あらかじめ決めてあった避難行動をスタートさせるトリガー」として情報を利用するのが望ましい。人の情報認知と行動決定には時間がかかる。
- ・アナウンスについては、地震発生を知らせるのではなく、そのときの具体的な行動を知らせるのも有効である。例えば「身の安全を確保してください」とする場合と「ライン外に退避してください」とする場合とでは、行動までの時間が異なってくるのは容易に想像できる。

また、もう1つ重要な点として、仮に緊急地震速報が完璧に発表され、それによる対策もまたきちんと実行されたとしても、それだけでは防災として不完全であるということである。速報により揺れる前に机の下に入るなど身の安全を確保したとして、建物の耐震性が不十分で倒壊してしまえば結局命は助からない。緊急地震速報による災害対策は、耐震補強や家具の転倒防止策の実施など、事前対策をできる限り行った上での補助的なものである。緊急地震速報だけではなく、他の防災情報も同様である。例えば、もし仮に将来地震予知ができるようになったとして、何の対策もせずただ発生前に逃げるだけでは、家や職場など、その後生活に必要なものを失い、「地震で死なない」だけで「地震後に生きていけない」という状況に陥る可能性が高い。情報そのもので直接人命や社会を救い、被害を軽減することはできない。その情報をいかに対策の実行に結びつけるかということと、その対策が実際に効果を発揮するような事前対策を行っておくことが大

事である。それがあって初めて緊急地震速報は防災の道具となり得るのである。

参考文献

- [1] 松村明編：大辞林第三版，三省堂，2006。
- [2] 気象庁：緊急地震速報について，<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>，2008。
- [3] 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，523，63-70，1999。
- [4] 防災科学技術研究所：高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト総括成果報告書，<http://www.bosai.go.jp/kenkyu/sokuji/index.htm>，2008。
- [5] 八木勇治，深畑幸俊：遠地実体波から求めた2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程，日本地球惑星科学連合2011年度連合大会予稿集，MIS036-P31，2011。
- [6] 気象庁：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，http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats_EEW/reference.pdf，2008。
- [7] 沖エンジニアリング株式会社：高精度地震予測装置(KXA)，http://www.oeg.co.jp/env_sys/Earthquake.html
- [8] 本間文孝，細谷正男，吉岡献太郎：緊急地震速報を応用した防災システムの開発と実用化，OKIテクニカルレビュー，第209号 Vol. 74，No. 1，10-13，2007。
- [9] 沖エンジニアリング株式会社：OEG ニュースメール，Vol. 9，2011。
- [10] 糸井達哉，内山泰生，高木政美，末田隆敏，長島一郎：緊急地震速報と現地地震計の初期微動情報を併用した地震防災システムの開発と性能評価，日本建築学会技術報告集，Vol. 16，No. 33，827-832，2010。
- [11] 本間誠，源栄正人：学校における利活用についての紹介，第8回国土セイフティネットシンポジウム，67-72，2009。
- [12] 文部科学省研究開発局，防災科学技術研究所：学校及び学校職員のためのリアルタイム地震情報を用いた防災教育支援システムの開発・研究，高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト平成15年成果報告書，395-432，2004。