

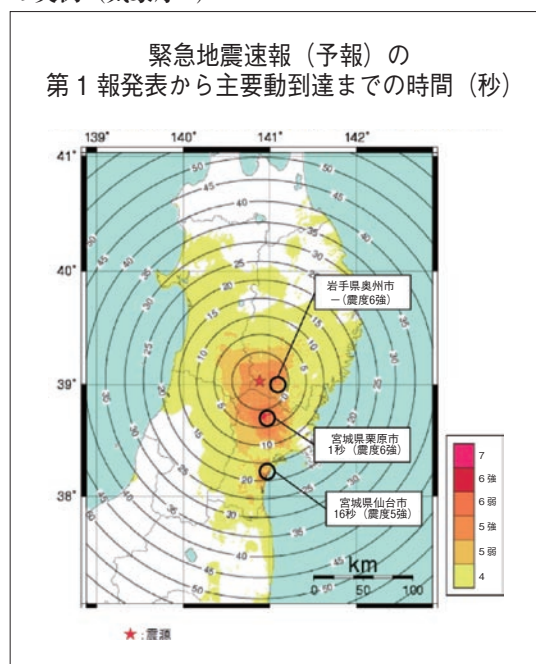
## 緊急地震速報の開発と効用

2007年10月、気象庁が一般運用に踏み切った「緊急地震速報」は、地震学の成果が直接、生活に役立てられた実例として好評を博している。「緊急地震速報」（以下、「速報」）とは、全国に配備した地震観測網を利用して、震源に最寄りの観測点で即時解析された地震情報から各地の震度を推定し、それらの地点に大きな揺れが到着する前に警報を送ろうとするものである。2010年3月までの2年半の間にテレビ等を通じて報道された「速報」は14回を数え、誤発信、予測震度誤差などによる多少の齟齬はあったものの、その性能はほぼ想定範囲内に収まった。しかしながら、「速報」が生み出す猶予時間は実用上ぎりぎりの範囲にあり、その現実的な効果がいかに発揮されるかは、今後の課題として残されたままである。

「速報」は、予測される震度の大きさによって「予報」と「警報」の2種類に区分される。前者は各分野の専門家向け、後者は一般向けとその配信先が区別され、両者における「速報」の利用形態は全く異なる。さらに、「速報」には、震度が大きいほど猶予時間が短くなるという逆進性があり、震源の近い内陸直下型地震の場合は震度6弱以上の揺れに対して「速報」はほぼ間に合わない。実際に起きたM7.2地震の際の状況を図に示すが、もっとも内側の円内では強い揺れに対して「速報」は間に合っていないという実態が読み取れる。一方、海溝型地震の場合は10秒を超える猶予時間が生まれる可能性があり、特に海底地震観測網の整備が進む次期東南海・南海地震に対しては、有効な減災効果が期待できる。

このように「速報」の性格と効用には、利用者側の状況によって、また発震状況によって大きな差異が存在する。2年半の実績ではまだ「速報」の本領が発揮されるべき場面が出現していない。今後の経験を重ねていく中で、それぞれの場における利用者が、「速報」の性格と限界を弁えた上で、もっとも効果的な利用方法を学習していく必要がある。

2008年岩手・宮城内陸地震（M7.2）の際の「速報」の実例（気象庁<sup>7)</sup>



# 緊急地震速報の開発と効用

松村 正三  
客員研究官

## 1 はじめに

地震の揺れは、雷鳴と似ている。夜空に映える稲光を見た人は、続いて起きる雷鳴を予期して心の中で身構える。この猶予時間は、光と音の速度差によって生じたものである。地震の場合は、P波(Primary wave)とS波(Secondary wave: 一般にP波よりも振幅が大きく、近い地震では、最大揺れ(主要動)はS波到着直後に来ることが多い)の波速の差が猶予時間を生み出すことになり、前触れとしてのP波を感知した時点で主要動を迎える準備をスタートすることができる。さらに、地震計を震源近傍に置いておけば、ここで感知したP波情報を解析することで、離れた場所ではP波の到着前に警報を出すことも可能となる。

揺れの事前警報がうまくいけば、建物の倒壊等による死傷者を減らすことができるかもしれない。それほど揺れでない場合でも機械を自動停止することで経済損失を軽減できるかもしれない。さらに、関連するシステム開発は新たなビジネスチャンスを創出するかも

れない。このようにさまざまな期待を担った地震動の直前警報は、アイデア自体は昔からあったものであるが、これを現実のものとするためには、観測網、解析システム、通信システムの3つが適切な形で出揃うことが必須要件であった。そして、1995年の阪神・淡路大震災をきっかけとして我が国の地震観測・研究の基盤が一新された結果、このアイデアが具現化される下地が整った。

2007年10月、気象庁はそれまで進めてきた研究開発の成果に基づいて、上記アイデアの実用化、すなわち「緊急地震速報」(以下では「速報」)の一般運用に踏み切った<sup>1)</sup>。その後、2010年3月までの2年半の間にテレビ等を通じて報道された「速報」は14回を数え、「速報」の存在は広く世間に知れ渡り、定着することとなった(ただしこれは「速報」の内、後述する「警報」に該当するものである)。この間、誤発信、予測震度誤差などによる多少の齟齬はあったものの、その性能はほぼ想定範囲内に収まり、

「速報」は、地震学の成果が直接、生活に役立てられた実例としてマスコミからも好評を博している。しかしながら、「速報」が生み出す猶予時間は、実用上ぎりぎりのきわどい範囲にあり、その現実的な効用がいかに発揮されるかは、今後の課題として残されたままである。

「速報」の実用化は技術開発としての側面からも注目を浴び、「科学技術動向」誌でもこれまで3度にわたってその内容が紹介されてきた<sup>2~4)</sup>。また、「速報」の仕組み<sup>5)</sup>、その利用心得<sup>6)</sup>などについては、気象庁のホームページ<sup>7)</sup>に詳しく解説されているので、そちらを参照されたい。本稿では、「速報」の仕組み、開発の経緯、運用の実態などを概説するかたわら、実際上の問題点として、震度が大きいほど猶予時間が短くなるという「逆進性」を取り上げ、筆者の所見を混じえつつ「速報」の限界を見据えた議論を展開したい。

## 2 「速報」の内容と位置づけ

### 2-1

#### 「速報」の仕組み

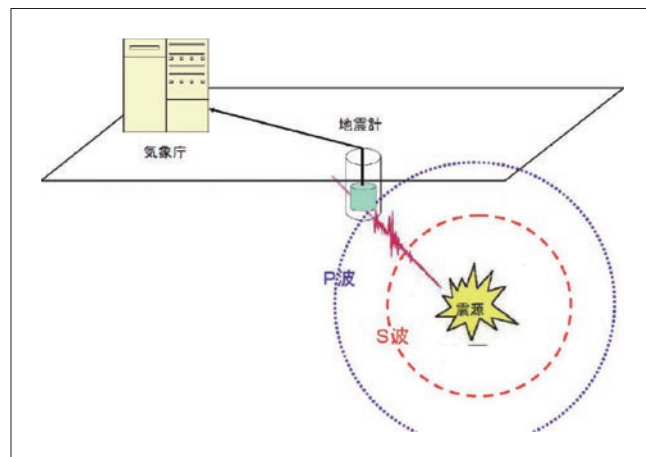
「速報」の原理は、図表1のように、全国に張り巡らせた地震観測網の中で震源に最寄りの観測点に到着したP波を使って震源情報(位置とマグニチュード)を推測し、この推測に基づいて各地の揺れを算出し、その結果を主要動の到着前に通知する、というものである。主要動は通常、S波の直後に来る場合が多いので、S波の到着前を「速報」発信の目標としている。気象庁では、最寄り観測点1個の情報だけからでも震源の位置およびマグニチュードを推測できる方法を開発しており、これから得た結果を第1報としている。ただし、第1報にはかなりの不確定要素があるので、2番目以降の観測点に到着する地震波をも使って第2報、第3報を発信する。

このように原理は単純明快であるが、実際の状況はなかなか厳しいことを具体例で示そう。全国に配備された観測点は、気象庁の多機能型地震計約200点と(独)防災科学技術研究所の高感度地震計(Hinet)約800点をあわせて合計約1000点である。これらの平均間隔は約20kmとなるので、内陸直下型地震の場合、最寄り観測点までの平均水平距離は約10kmとなり、これを代表値とする。震源の深さを10kmと想定すると、最寄り観測点までの震源距離は約14kmである。図表2では、「速報」を受信する地点を、観測点の後方、震源距離30kmと設定してタイムチャー

トを描いた。地震波速度は深さによって異なるが、深度10kmにおけるP波速度6km/秒、S波速度3.5km/秒を用い、さらに浅層部通過時の遅延<sup>8)</sup>を加味して概算した。最寄り観測点には地震発生から数えて3.0秒でP波が到着する。現状では第1報発信までに平均5.5秒かかっているので、これが対象地点に届くのは8.5秒後となる。同じ地点にS波が到着するのは、10.7秒後なので、この場合、「速報」はかろうじて間に合うことになるが、現実には、伝達のための遅延も加わるので、図表2のケース、すなわち震源から半径30km以内では、実質的に間に合わないと思われる。阪神・淡路大震災(M7.3)の折に出現した「震災

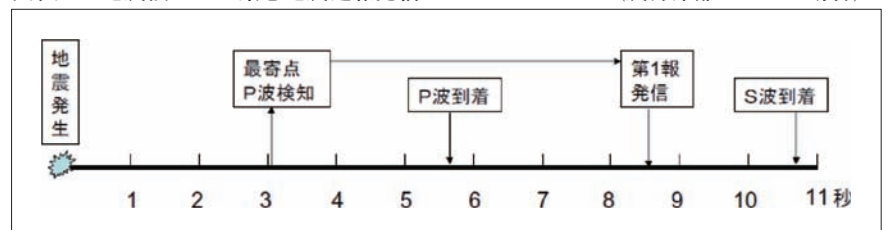
の帯<sup>注)</sup>は、ほぼこの30km圏内と一致し、仮にこの当時「速報」があったとしても、残念ながら間に合っていなかったことになる。こうした事情から、気象庁では、“震源に近いところでは、速報の発表が強い揺れの到達に間に合わない”との但し書きを付けている。勿論、距離が遠くなれば猶予時間は延びてゆき、この試算でも10km遠ざかるとともに猶予時間は約3秒ずつ増加する計算となる。なお、図表2の場合でも、P波が対象地点に到着するのは5.7秒後なので、前触れとしてのP波の揺れは「速報」が届く前にすでに始まっている。したがって、後述する地震動感知制御システムがP波で作動する場合には、S波到着まで5秒程度の

図表1 緊急地震速報の原理



科学技術動向研究センターにて作成

図表2 地震波および緊急地震速報発信のタイムチャート（震源距離30kmの場合）



科学技術動向研究センターにて作成

注：「震災の帯」…阪神・淡路大震災で出現した神戸市街地に沿う帯状の被害集中域のことを指す。断層と堆積盆地が織り成す独特の地下構造によって揺れが増幅されたと考えられている。

図表3 公的機関が発信する地震関連情報

項番	項目	時間幅	分類	内容	発信者	媒体
1	地震動予測	30年～50年前	30年確率	当該期間内に、震度5弱・5強・6弱・6強が発生する確率	文部科学省地震調査研究推進本部	冊子・新聞・防災科学技術研究所HP
			50年確率			
2	地震予知	数時間～数日前	東海地震観測情報	前兆とは即断できない現象の発生・東海地震と関連はないが想定震源域内での顕著な地震の発生	気象庁	テレビ・ラジオ・新聞・気象庁HP
			東海地震注意情報			
			東海地震予知情報	東海地震発生のおそれがあるという発表		
			警戒宣言	東海地震発生の警戒宣言	内閣総理大臣	
3	緊急地震速報	数秒～数十秒前	地震動予報	最大震度3以上、またはM3.5以上が予測される場合に発信	気象庁(許可事業者)	専用端末等
			地震動警報	最大震度5弱以上が予測される場合、予測震度4以上の地域への発信	気象庁	テレビ・ラジオ・携帯電話等
4	地震情報	数秒～数分後	震度情報	発生した地震動の地域情報	気象庁	テレビ・ラジオ・新聞・気象庁HP
			震源情報	発生した地震の震源・マグニチュード情報		

科学技術動向研究センターにて作成

猶予時間を確保することができる。

## 2-2

### 「速報」の位置づけ

現在、我が国の公的機関が発信する地震関連情報には、①地震動予測、②地震予知(現在、対象は東海地震のみ)、③緊急地震速報、④地震情報、の4種類がある(図表3)。項目の並びは地震発生からみた時間の順で、①、②は地震発生前、③、④は発生後の情報である。③の「速

報」は、一般的な地震予知が不可能であるという現状を前提とした保障措置であるとも言えるが、同時に、地震発生に伴う被害状況把握を目的とした④地震情報の先行情報と見ることもできる。

## 2-3

### 「速報」の区分

図表3でも示したように、「速報」には、「地震動予報(以下、予報)」と「地震動警報(以下、警報)」の2

種類がある。この区分は厳密に定義されているが、簡単に言えば、境目は震度5弱以上の揺れが予測されるか否かであり、これ未満では「予報」のみが、これを超えると「予報」に加えて「警報」が発信される。「予報」は、(財)気象業務支援センターを介して専用端末を有する専門ユーザーに向けて発信される。「警報」は、テレビ・ラジオ・携帯電話・防災無線を通じ、震度4以上の揺れが予測される地域の住民に向けて報道される。前者は2006年8月から、後者は2007年10月から運用が始まった。

## 3 「速報」開発の背景と経緯

### 3-1

#### 地震動感知制御

地震発生後いち早く地震動を感知してシステムの自動停止などを制御しようというアイデアは、「速報」以前からすでにいくつかのシステムで採用されてきた。例えば、どこの家庭にもあるマイコン

メーターでは、ガスメーター内に地震動感知器が取り付けられ、一定の揺れを感知した時点でガス供給が自動遮断される。1980年代に東京ガス(株)が導入して以来、今では、プロパンガス会社を含めた全国のガス供給会社が標準装備として提供している。

原子力発電所では、炉心地下に埋設した地震計が強震動(200ガル前後)を感知した場合に原子炉を自

動停止する、というシステムを取り入れている。最近では、2003年三陸南地震(M7.1)により女川発電所が、2007年中越沖地震(M6.8)により柏崎・刈羽発電所が、2009年駿河湾の地震(M6.5)により浜岡発電所が緊急停止した実例がある。いずれも自動停止システムは想定どおりの機能を発揮した。ただし、停止のための制御棒の挿入は強い揺れの最中に行われたことを意識

しておく必要がある。

日常生活で利用する機会の多いエレベーターにも、地震動感知による最寄り階自動停止機能が組み込まれている。しかし現実には、地震時に停止し、かつ扉が開かないまま長時間エレベーター内に閉じ込められるという事故が絶えない。

以上、代表的な3例を挙げたが、このほかにもさまざまな場面で独自の制御機構が取り入れられているはずである。感知する地震動のレベルを低く設定している場合にはP波で制御がスタートし、主要動到達前にシステムを停止することも可能となる。これは、「速報」の機能と類似しているが、「速報」には、うまくいけばP波にも先んじて対処措置を始動できるという優位性がある。

## 3-2

### 先行事例：ユレダス・システムの開発と実績

ユレダス・システムは、JR新幹線沿線に配備された地震観測点からの情報に基づいて、地震時に列車を緊急停止させるためのシステムであり、「速報」の考え方を具現化した世界でも初めてのシステムと言える。その開発は1980年代に遡るが、2004年10月23日中越地震(M6.8)で最初の試練に遭遇した。開発者の中村豊によると<sup>9, 10)</sup>、震央から水平距離で10数km離れた場所を走行していた上越新幹線「とき325号」は、主要動到着2.5秒前に緊急停止信号を受け1600mを走行して停止、結果的に脱線はしたものの死傷者を出す惨事には至らなかった。初速195km/時から2.5秒間で減速できた分は8km/時程度と推測される。僅かな減速であるが、高速走行ではその効果が無視できない。いずれにせよ、「速

報」の考え方が現実の場で効を奏した世界で初めての事例と言うことができる。

## 3-3

### 「速報」開発への過程

阪神・淡路大震災をきっかけとして組織された文部科学省地震調査研究推進本部(以下、「推本」)は、地震対策に関わる研究開発の指針として「地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策」(1999年4月23日)<sup>11)</sup>を策定した。この中で掲げられた4つの基本施策のひとつに「リアルタイムによる地震情報の伝達の推進」が謳われており、「速報」の開発はこの施策の下で推進された。ただし、この施策における「リアルタイム地震情報」の概念は、「速報」よりもむしろ発災時の状況把握に重点が置かれていた。この当時、カリフォルニア工科大学の金森博雄によって「リアルタイム地震学」というキーワードが提唱されており、これは、すでに起きてしまった地震の実態をすばやく分析し、被害の程度や広がりリアルタイムで把握することで現実に即応した災害対策に役立てるという目的をもった研究を指す。上記施策で「リアルタイム」というキーワードが採り入れられた背景には、阪神・淡路大震災で実際の状況把握が遅れがあったという深刻な反省があり、これが推本立ち上げのそもそもの動機でもあった。その意味で、「速報」の開発は、施策策定の当初時点ではむしろ二義的な位置づけにあったと考えられる。しかし、全国に展開された基盤観測網の充実とともに「リアルタイム研究開発」の軸足は全体的に「速報」の実用化へと移っていった。

こうした流れと併行して、気象庁では、気象審議会第21号答申(2000

年5月)に定めるべく全国200箇所が多機能型地震計網をベースにした「ナウキャスト地震情報」の開発が進められていた。また、(独)防災科学技術研究所では、800箇所のHi-net観測網をベースにした「リアルタイム地震情報」の開発が進められていた。双方ともに、地震発生情報をいち早く発信するという「速報」の趣旨を目的とするプロジェクトであり、これらが独立に推進されていたわけである。その後、それぞれの開発が一段落した時点で両プロジェクトは統合され、新たに「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」(2003～2007年度)<sup>12)</sup>が設立され、ここから「緊急地震速報」が生み出されることとなった。このプロジェクトでは、「速報」の手法開発のみならず、その利活用が新たな研究分野として取り組まれた。

## 3-4

### 海外の動向

「速報」と同様の地震動直前警報システムの研究・開発・運用は、米国、メキシコ、台湾、ルーマニア、トルコなどの諸外国においても進められている。米国では<sup>13)</sup>、リアルタイム地震学を提唱した金森博雄らが、地震動直前警報の可能性について言及し、その普及を呼びかけているが、運用までには至っていない。

後述するように、「速報」と同様のシステムは、内陸直下型地震よりも海溝型地震に対して効果が高いという特徴から、日本と同じくプレート沈み込み帯に位置するメキシコや台湾において特に注目を浴びている。メキシコでは<sup>14)</sup>、1985年に起きたミシヨアカン地震(M8.0)の教訓に端を発し、CIRES (centro de instrumentacion y registro sismico: 地震観測センター)<sup>15)</sup>

が、SAS (SISTEMA DE ALERTA DE LA CIUDAD DE MEXICO) と呼ばれる地震動直前警報システムの運用を1991年に開始した。このシステムは、太平洋沿いに起きる海溝型地震の発生を、約300km離れたメキシコシティにいち早く通知するという役割を担ってきた。1991年8月から4年間の運用で292回の警報が出されており、1995年9月に起きたM7.3の地震に際しては、主要動の72秒前に通知がなされた。台湾でも<sup>16)</sup>、同様の目的をもつシステムVSN (Virtual Subnetwork)が運用され、

約150km離れた都市に20秒以上の猶予時間をもって警報が届けられる。このシステムは2000年12月からの1年半の間に54個の地震に対して警報を発したという実績を持つ。

ルーマニアでは<sup>17)</sup>、ブカレスト近郊で150kmの深さにM8の地震発生が予測されているが、これに備えて25秒の猶予時間が期待できるEWS (Early Warning System) というシステムの構築が提言されている。また、トルコでは<sup>18)</sup>、イスタンブール近郊のマルマラ断層に起きる地震を想定して、8秒の

猶予時間を創出するためのIERREWS (Istanbul Earthquake Rapid Response and Early Warning System) というシステムが提案されている。

このように同趣旨のシステムが各国で開発あるいは運用に供されているが、その性能や効果は地域性や国柄によってさまざまである。この中でも完備した全国観測網をベースにした緻密な解析に基づくという点で、日本の「速報」システムが抜きんできていると言える。

## 4 「速報」運用の実態

### 4-1

#### 「予報」と「警報」

前述したとおり、日本における「速報」の発信は、「予報」と「警報」に区分される。区分は、対象となる震度の大きさに基づいているが、伝達の仕方が異なる結果として発信先対象が異なる。この違いは、「予報」と「警報」の基本的な性格にも差異をもたらす。簡単に言えば、前者は専門ユーザー向け、後者は一般向け、であり、それぞれの発信の仕方は、図表4にまとめたとおりである。

「警報」は震度5弱以上が予測された場合に、テレビ・ラジオ・携帯電話などを通じて対象地域の住民に向けて発信される。2010年4月までの2年半に実際に出された「警報」は14回であり、この中には予測震度6弱以上の3回(2008年6月岩手・宮城内陸地震、2008年7月岩手県沿岸北部、2009年8月駿河湾の地震)が含まれる。一方、震度5弱を観測しながら「警報」が出なかったケースが5回あるが、こ

れらはいずれも最大震度4と予測されたためである。「警報」では、震度分布や猶予時間の情報を省いて「震央地名と強い揺れの予測される地域名」のみが報道される。

一方、「予報」は、(財)気象業務支援センターと契約した事業者や個人に対して、専用端末を介して通知される。2010年4月までの2年半の発信数は1391件と多数にのぼるが、これは、M3.5以上、すなわち比較的小規模の地震と推測された場合も発信条件に含まれるからである。この中で震度4以上が観測されたケースは90件にのぼる。「予報」では、震源情報も通知されるため、この情報を用いて、よりきめ細かい震度情報へと内容をカスタマイズすることも可能である。ただし、現行では、こうした付加情報を提供するためには気象庁長官による許可が必要とされている。図表4で「許可事業者」と表示した事業者の数は2010年現在、50余社である。

### 4-2

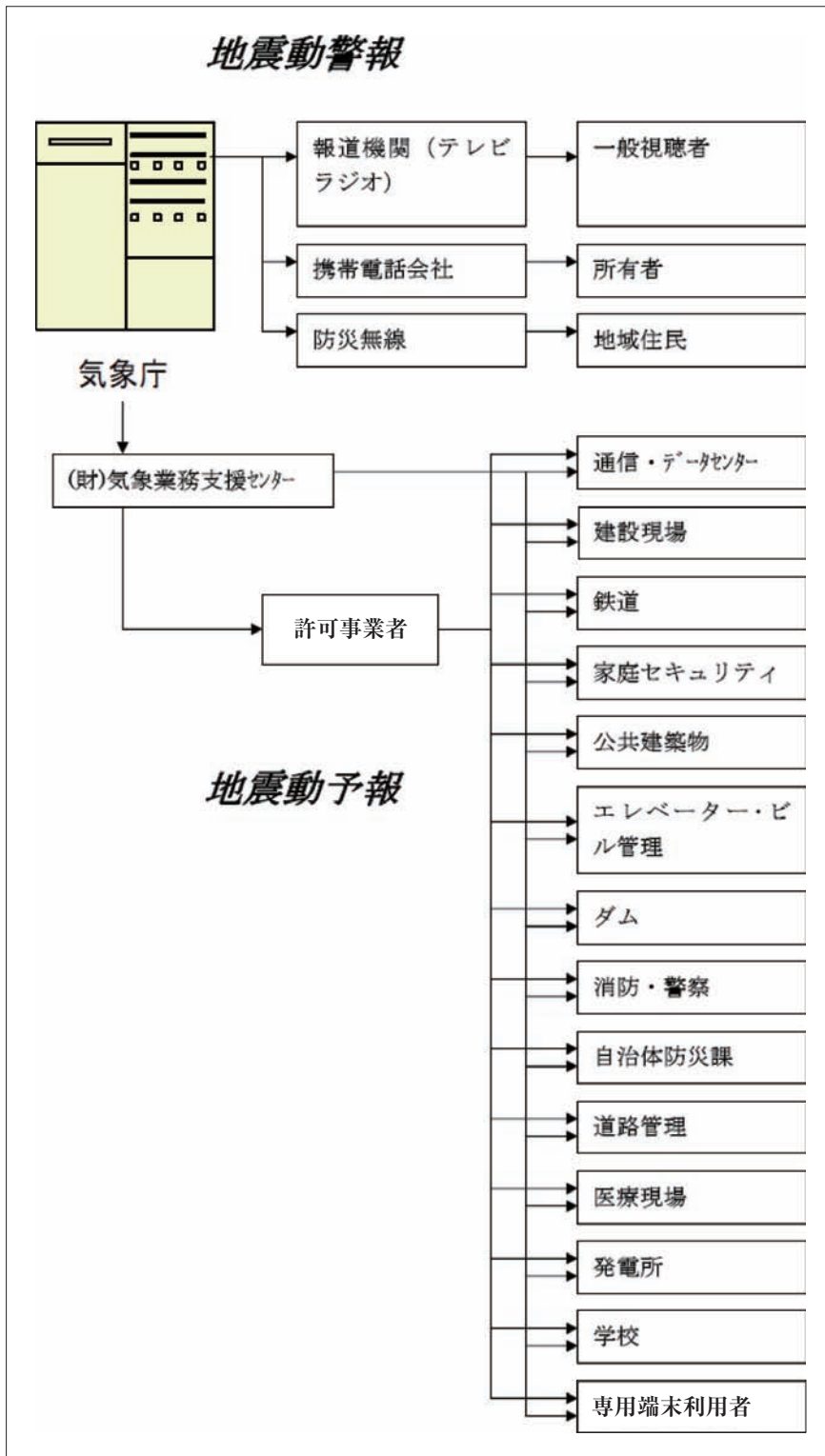
#### 「予報」の利用形態

「予報」の発信先として図表4には各種の利用分野も挙げた。これらの発信先ではいずれも、利用者がそれぞれの分野のプロフェッショナルとして地震情報を利用する場面を想定している。

3-3節で紹介した「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」では、「予報」の利活用が研究課題のひとつとされていた。この研究課題を遂行するため、REIC (NPO法人「リアルタイム地震情報利用協議会」)が設立された。REICは、消防防災・防災現場・医療・家庭内自動制御・発電所や工場・通信・学校・ダム・FM文字多重チューナー・LPG自動遮断・ビル設備、の14分野を取り上げ、それぞれの現場で防災事業に携わる技術者と連携して、「予報」の具体的な利活用方法の開発を進めてきた<sup>19)</sup>、<sup>20)</sup>。

「予報」の利用には、大きくわけて二通りの場面が考えられる。ひとつは、専用端末からの信号によ

図表4 緊急地震速報の発信形態



科学技術動向研究センターにて作成

る自動制御である。例えば、エレベーターの運転には地震動感知制御が取り入れられているが、それにもかかわらず、地震の揺れに起因する「閉じ込め事故」が一定の割合で現実には発生してきた。揺れる前に制御できる可能性のある「予報」を用いればこの事故件数を減らせるだろうという期待は、分かり

易い「予報」の効用のひとつである。「予報」は震度3からの揺れを通報対象としている。この程度の揺れは、通常の生活では問題とならないが、建設現場、特にクレーン作業では、事故を誘発する可能性がある。また、精密加工工場やデータセンターでは、小さな揺れでも位置のずれやデータ欠損を引き起

こすことで大きな経済損失に結びつく可能性がある。こうした意味で「予報」による自動停止などの制御が有用性を発揮する場面は決して少なくないだろう。

他方、自動制御がなじまないとしても、情報としての「予報」が意味をもつ場面もある。例えば、病院の手術現場に立ち会う医師らにとって、まもなく襲来する揺れに対して事前の通告があることは即応的な心構えを形成するうえできわめて有用であろう。このような場面は、図表4に掲げた分野以外にも数多く潜在すると想像される。ここで重要な点は、いずれの場面においても「予報」の通知対象者はそれぞれの場のプロフェッショナルであるということである。個人で受信することも可能であるが、基本的に「予報」では、通知を受けた側が適切な対応を取れるものと想定されており、したがって、受け手にはプロフェッショナルとしての意識と感覚が要請される。

## 4-3

### 「警報」の効用

「予報」がプロフェッショナルを対象としたものであるとすると、一方の「警報」の対象は一般人である。気象庁のホームページでは、「警報」を受信した場合の対応の仕方として、「家庭では」、「屋外では」…といった6つの場面に応じたそれぞれの心得を掲載している<sup>6)</sup>。しかし、咄嗟の状況で場面ごとに異なる対応を取ることは実際には難しいと思われる。訓練の成果を期待できるプロフェッショナルと一般人を同じに扱うことはできない。“突然の警報に驚いて、どうしてよいか分からず立ちすくんでしまう”、という状況が少なからず出現しそうである。解説書<sup>19)</sup>などによると、これは一般に望ましくない

対応とみなされているが、筆者は必ずしもそうとは思わない。冒頭で例示した稲光のように、たとえ立ちすくんでしまうとしても、その瞬間、ある種の心構えが形成されるだろうからである。

「警報」は、どこか1箇所でも震度5弱以上が予測される場合、震度4以上が出るすべての地域に対して通告される。結果的に、通告を受ける側の多くの揺れはせいぜい震度4ということになる。震度

4では現実的な被害はほとんど発生しないが、筆者の経験によれば、その場に出くわした時の心理的な不安には相当なものがある。不意に始まった揺れがどこまで大きくなるかが分からないからである。このような場面で、もしも地域ごとの最大震度が事前通告されるならば、それが心理面に及ぼす効果は十分に高いと思われる。現在の「警報」には予測震度に関する情報が含まれていないが、これを通知

するかどうかは今後の検討課題のひとつではないだろうか。

「警報」を受信する場面の中で最大の問題となりそうなのは、自動車の運転時である。これは、一般人でありながらプロフェッショナルとしての対応が求められる場面でもある。気象庁は“あわててスピードを落とさない”に始まる3つの心得を提示しているが、遭遇する状況は千差万別であり、今後とも悩ましい問題のひとつである。

## 5 「速報」の問題点と改善の方向性

### 5-1

#### 震度と猶予時間の逆進性

序節で述べたように、「速報」には震度が大きいほど猶予時間が短くなるという逆進性がある。このことをグラフを使って解説してみよう。図表2では、震源距離30kmの地点に届く第1報のタイムチャートを表示したが、ここではさらに震度も検討に入れて試算を行う。図表5では、地震のマグニ

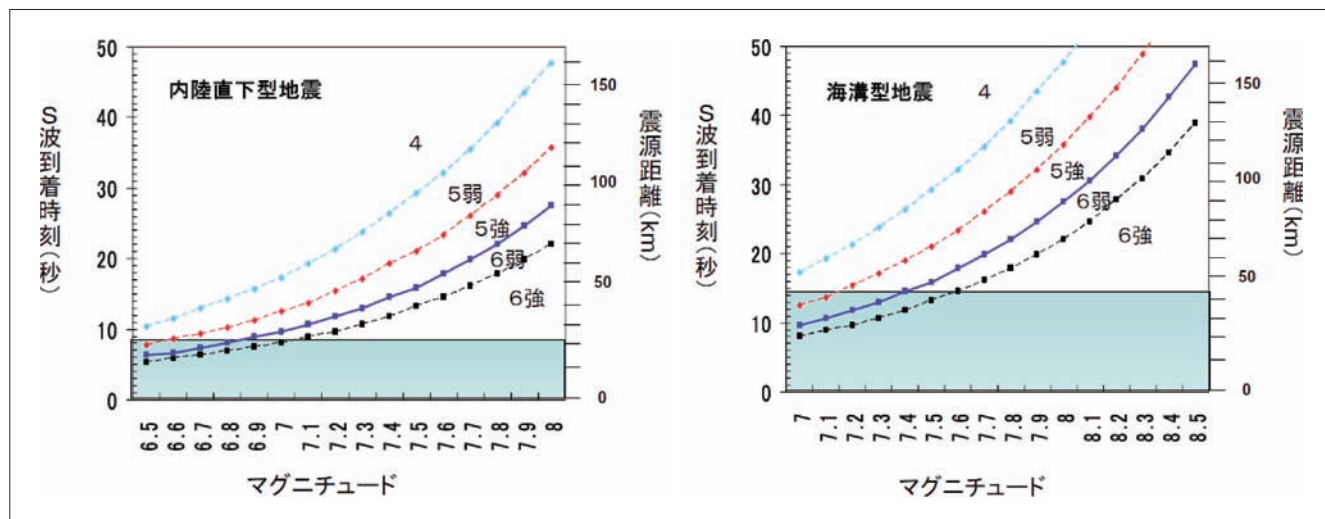
チュードに応じ、震度4・5弱・5強・6弱・6強となる範囲に対して、S波到着時刻と第1報発信(グラフ下部のマスキした部分)との時間関係を描いた。両者の時間差が猶予時間である。この計算には、気象庁が用いる揺れの距離減衰式や震源域の評価方法などをそのまま使っている。左図は内陸直下型地震の場合、右図は海溝型地震の場合で、震源の深さは10km、最寄り観測点までの水平距離をそれぞれ10km、50kmとした。なお、地盤増幅率は1.0、気象庁の報告に基づ

いて第1報発信までに5.5秒かかると仮定した。

このグラフから、同じ震度に対しては、マグニチュードが大きくなるにつれ、すなわち大きい地震になるほど猶予時間が延びることが分かる。一方、マグニチュードを固定したとき、すなわち発生した1個の地震に注目すると、震度が大きい地点ほど猶予時間は短いという逆進性がある。

気象庁資料「計測震度と被害等との関係」<sup>21)</sup>によれば、建物損壊などの深刻な被害が出るのは計測震

図表5 震度別のS波到着時刻。左図：内陸直下型地震（震源深さ10km、最寄り点までの水平距離10km、地盤増幅率1.0を仮定）、右図：海溝型地震（同、水平距離50kmを仮定）。マスキした部分は、第1報発信までの経過時間を示し、これよりも上方が猶予時間となる。



科学技術動向研究センターにて作成



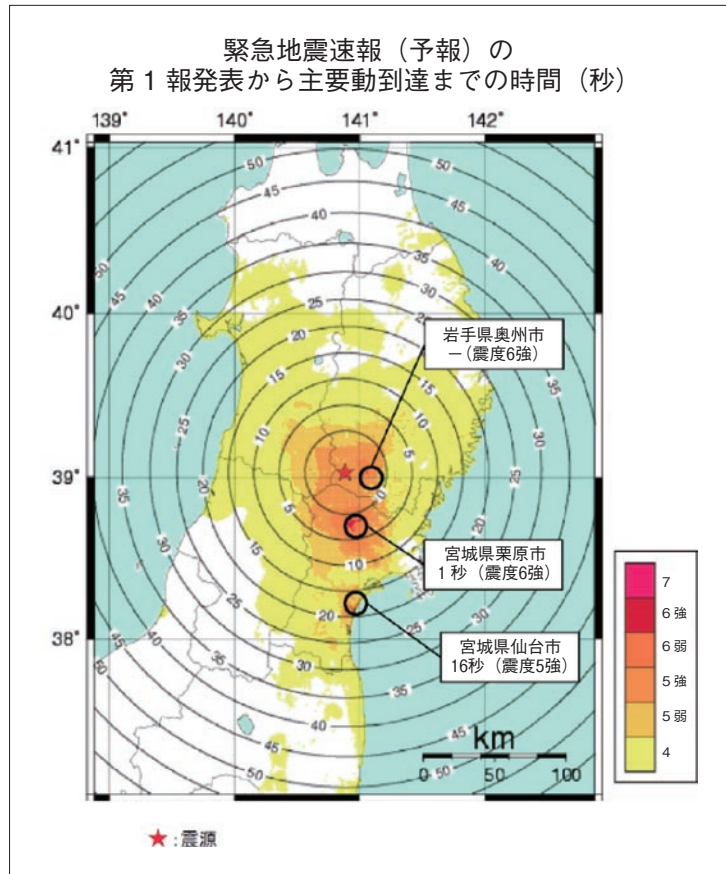
度5.5程度、すなわち震度6弱からである。これは、建築基準法が改正された1981年以前の建物に対してもあてはまる。例えば、図表5の左図でM7.2の場合、震度6弱で揺れる地域の最外縁にS波が到着するのは発震後11.6秒、第1報発信は8.5秒後であり、3秒程度の猶予時間が生まれることになる。同じ地震でも震度4の地域については21.3秒以後に揺れがくるため、12秒以上の猶予時間がある。図表6に、2008年6月14日に起きた岩手・宮城内陸地震(M7.2)の実例における猶予時間と震度分布を示すが、ほぼ図表5の計算どおりとなっていることが分かる。

近年大規模災害をもたらした1995年阪神・淡路大震災(M7.3)を含め、1900年以降、我が国で10人以上の死者を出した地震災害は36回を数える。図表7は、これを内陸直下型地震(左図)と海溝型地震(右図)に分類したときのマグニチュード分布を示す(日本海東縁に起きた地震は海溝型に含めた)。内陸直下型地震23個の平均マグニチュードは $M7.0 \pm 0.2$ であり、図表5を見ると、伝達のための遅延をも考慮した場合、これらの地震による震度6弱以上の揺れに対する猶予時間はほとんど無いということになる。したがって、仮にこれらの地震で「警報」が出ていたとしても死者数を減ずるまでの効果

があったかどうかは疑問である。一方、海溝型地震13個の平均マグニチュードは $M7.8 \pm 0.3$ であり、同じ震度6弱以上に対しても場所によっては10秒を超える猶予時間が生まれる。図表5の右図では、最寄り観測点の震源までの水平距離を50kmとして計算したが、震源に近い海底に地震計が設置されていれば猶予時間はさらに延びる。

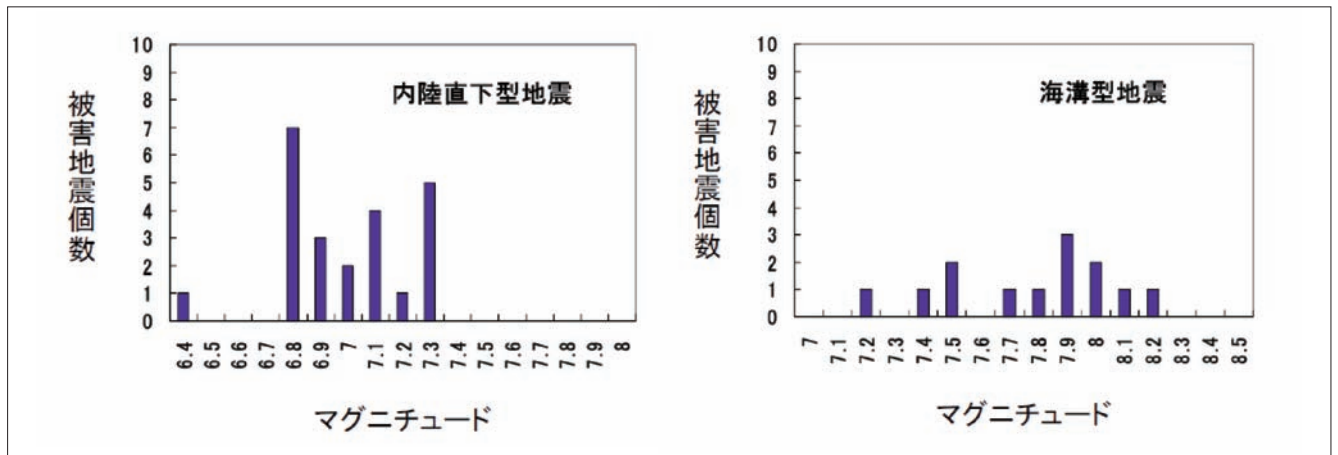
図表8には、すでに観測が実施されているケーブル式海底地震観測点の位置を示した。釧路沖、三陸沖、相模湾、遠州灘、室戸岬沖と全て太平洋沿岸であり、中でも特に注目されるのは紀伊半島沖である。この場所は、近い将来の東南海・南海地震の震源になると目されており、同図表内の挿入図が示すように、ここには現在、(独)海洋研究

図表6 2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)の際の「速報」の実例



出典: 気象庁<sup>7)</sup>

図表7 1900年以降、10人以上の死者を出し被害地震の個数。左図は内陸直下型地震。右図は海溝型地震(日本海東縁を含む)。



科学技術動向研究センターにて作成

図表8 想定される海溝型地震とケーブル式海底地震計(◎)。右下図は、南海トラフ地震に向け、(独)海洋研究開発機構が熊野灘に整備中の海底地震・津波観測網。



地震調査研究推進本部<sup>22)</sup> および (独) 海洋研究開発機構<sup>23)</sup> の資料を基に、科学技術動向研究センターにて作成

開発機構によって大規模な海底地震観測網が整備されつつある<sup>23)</sup>。したがって、このような海溝型地震に際しては、「警報」の本領が発揮されるものと期待できる。

## 5-2

### 予測手法の課題と改善

すでに実運用されている「速報」では、現在もなお改善の努力が続けられている。改善のポイントは、予測の精度を上げることである。

第1報は、最寄り観測点で受けたP波信号だけを使って解析した情報であるが、現行手法では震源を推定するために、レベル法<sup>5)</sup>とB-Δ法<sup>5)</sup>という方法が用いられている。レベル法とは、100ガル以上の強い揺れを検知した時点で

情報を出すもので、ほとんど処理時間を要さないが、震源解析を行うためには複数観測点の情報が必要となる。一方、B-Δ法では1観測点情報だけから震源解析を行う。震源解析では、位置、発震時、マグニチュードと合計5個の未知数があり、1観測点だけの情報でこれら全てを決めることには基本的に無理がある。しかし、B-Δ法では、3成分の信号から波の到来方向を定めると同時に、遠い地震ほど散乱波成分が多くなるという波形の特徴から距離を推測して震源の位置を決めるといった巧妙なやり方で不足する情報を補いつつ、迅速な震源情報の提供を実現する。さらに、周りの観測点に未だ地震波が到着していないという情報をも活用するテリトリ法<sup>5)</sup>、グリッド・サーチ法<sup>5)</sup>、着未着法<sup>24)</sup>などと呼ぶ手法を用いることで、

震源位置に関しては、現時点でもきわめて短時間に相当の確度をもった結果を得ることができている。

これに対して、難しいのはマグニチュードの推定である。通常、マグニチュード決定には地震波全体の情報が使われるが、第1報ではP波の立ち上がり部分だけで推測しなければならない。この結果、予測震度にある程度の誤差、あるいは不確定さの含まれることが避け難い。本来のマグニチュードは地震波全相の最大振幅から決定されるが、「速報」第1報のマグニチュードの値は、P波立ち上がりから3秒分の波形のみで算出される。断層面のずれ速度を1m/秒として単純に考えれば、最大3mのずれ量、すなわちM7.5までの地震が評価できる対象となる。また、破壊の伝播、すなわち断層面の成長がS波速度で進むとすると、最大20kmの断層長すなわちM7.0までが正しい評価の範囲となる。このような制約からM7クラス以上の大きい地震の速報では、マグニチュードの正確な評価が行えない。第2報、第3報と地震波の成長にあわせてマグニチュードの推定値は更新されていくが、大きい地震に対して第1報のマグニチュードが過少評価に偏りがちという問題からは免れ得ない。過去2年半の実績をみても、実際に震度5弱以上が出現した19件のうち5件で予測震度が「警報」基準に達しなかった。この問題は「速報」改良において特に重要な課題とみなされている。さまざまな新手法も提案されているが、即時性と精度の相反性という問題は最後まで残る。

同様に、巨大地震の震源域の把握も重要な課題のひとつである。地震の破壊は震源近傍にとどまるわけではなく、例えばM8地震の場合は100kmを超えるスケールの震源域が破壊されることになり、震源から遠く離れた地点であって

も震源域近傍となって震度6クラスの揺れに見舞われる可能性が出てくる。現在の解析手法では、震源距離の代わりに、マグニチュードに応じた大きさの球面からの距離を使って近似計算を行っているが、このやり方では、大きな地震になるほど実態からのずれが大きくなる。そこで、震源域を即時把握するためのいくつかの手法も考案されている。「速報」の精度向上の努力は休みなく続けられているが、地震が大きいほど扱いが難しく、また、実際の検証の機会が少ないという研究上の壁が立ちはだかっている<sup>25)</sup>。

前述したように、「速報」の真価が期待されるのは海溝型地震に対してである。その中でも最大規模の地震として、次期東南海・南海地震が主要なターゲットとなるだろう。現在の「速報」は、あらゆる地震をターゲットとした「汎用速報」であるが、これとは別に東南海・南海地震に的を絞った特別な解析手法や特別な通報形式を前提とした「特別速報」といった形を検討する必要があるのではないだろうか。

## 5-3

### 利用者側から見た考え方

前述したように、「予報」は専門的利用者に向けてのサービスである。気象庁長官からの認定を受けた許可事業者は、気象庁が提供する情報を基にして、独自に解析した情報を付加することができる。特に重要な付加情報は、きめ細かい地盤情報に基づいた予測震度の精密化である。気象庁提供の予測震度は、約10km角で平均した粗い地盤情報に基づいているが、実際の地盤状況は細かい区画ごとに異なり、場所によっては一軒ごとに異なるといっても過言でない。高層ビルの場合は、階層ごとにも

異なるだろう。そこで、「予報」を配信する会社は、顧客の固有条件を加味した情報を提供することで、他社との差別化を図ることが可能となる。このように、「予報」提供ビジネスでは、利用者ごとに微妙に異なる「予報」へのニーズを的確に汲み取ることが鍵となろう。

「警報」の発信頻度は、「予報」のたかだか1%にすぎない。しかし、緊急地震速報がこれだけ人口に膾炙することとなった所以は、「警報」の発信によるところが大きい。逆に言えば、「警報」に対する評価がそのまま「速報」への評価となりがちである。そういった意味で運用開始後の2年半の報道をみると、マスメディアを始め、「速報」開発の関係者も含めて、“主要動に間に合ったかどうか”の一点にこだわりすぎるとの印象を抱かされる。直前通知が「警報」の最大の売りとされる以上、世評の注目がこの点にばかり向いてしまうことにはやむを得ない面もある。もちろん、解析手法やシステムの改良を図ることで猶予時間を引き延ばすことへの挑戦は続ける必要がある。しかし、それも原理的な限界を超えることはできない。「警報」発足当初の物珍しさが落ち着いた今、「警報」利用への現実的な対処を考える時期ではないだろうか。例えば、猶予時間を見込めない直下型地震に対しては、「警報」が間に合うかどうかへのこだわりを捨て、むしろ「警報」のリアルタイム性に目を向けるべきであろう。これは、「警報」を地震動感知制御の一環として扱うことを意味する。地震動感知制御は「警報」が生まれる以前からさまざまな分野で利用されてきたわけであるが、「警報」が社会に浸透しつつある今、「警報による制御」という新たな利用形態があり得るのではないだろうか。例えば、テレビのデジタル化を利用して、「警報」に伴う制御信号を各家庭に配給するといったことも考えられる。

一方、「予報」や「警報」の汎用的利用にはなじまない分野も存在する。その極端な一例が原子炉である。原子炉にはすでに地震動感知制御が導入されているが、ここに「予報あるいは警報による制御」を組み込むことは、少なくとも現時点では問題が多すぎる。この場合はむしろ、「速報」の考え方に基づいて原子炉側が自前の制御システムを構築することが望まれる。すなわち、現在の地震動感知制御のための地震計を炉の遠隔地に設置することである。実際に、炉を取り囲む地震計網を敷設し、さらには数千mの深さを持つ井戸底に地震計を設置して、制御棒を挿入するための2秒前後の猶予時間を稼ごうという構想が、すでに具体化されつつある。

## 5-4

### 津波警報改良という波及効果

「速報」開発の波及効果として、津波警報の改良が進むことが期待される。1952年の気象業務法に基づいて発足した津波警報は、1980年のコンピューター化によって実質的な警報のレベルに到達した。しかしその後起きた1983年日本海中部地震(M7.7)、1993年北海道南西沖地震(M7.8)では、いずれも沿岸部住民への警報が間に合わず、死者・行方不明者がそれぞれ100名と259名に達した。日本海側では震源位置が海岸に近いと、地震発生後津波の襲来までの時間が短く、日本海中部で最速7分、北海道南西沖では同3分であった<sup>26)</sup>。しかし短いとはいえ分のオーダーであり、「速報」が秒単位の猶予時間を問題にしていることに比較すれば、技術課題のしきいは低い。データ受信・解析・通信の確実性も含め、「速報」の迅速化に関わる改良の効果は、津波警報の迅速化

を促すものであり、その方向での改良が進んでいる。

## 6 まとめ

「速報」が世に出た時点では、これをひとつのビジネスチャンスととらえる動きがあった。ところが今では、「緊急地震速報提供サービス事業から撤退する企業が多く…防災に手を出すとリスクが大きいということが教訓として残ってしまっています」という分析さえなされている<sup>27)</sup>。一方で、「速報」は、地震研究が直接、生活に関わって“役に立つ”成果を示し得た数少ない事例のひとつとして社会から歓迎され、日常生活の中に浸透しつつあることも事実である。「速報」ビジネスが、ビジネスとして成り立つかどうかの分かれ目は、「速報」の実態が少しずつ明らかになってきたこれからが正念場と言えよう。実際、直下の地震に対しては間に合わないという「速報」の弱点を逆手にとって、専用端末に地震計を組み込んだシステムなども開発され、市販化されている。

同じ意味で、「速報」には今後の地震防災対策の本命といわんばかりの期待がかけられているが<sup>28)</sup>、期待ばかりが先行してしまうことが懸念される。こうした期待はややもすれば過大に陥り易く、実態との間に大きな隔たりが生じてしまう、ということがこれまでの防災対策の常でもあったからである。開発当初の期待が膨らむのはある意味当然であるが、運用がある程度進展した時点では、実績を踏まえ、「速報」の持つ意味とその限界を弁えた上での現実的な対応へと進化していく必要がある。以下には、「速報」の現実的な位置付けをどこに見るべきかという趣意のもとに、本稿に掲げた筆者の主な論点と提言をまとめた。

①「警報」と「予報」は、対象となる予測震度の範囲が異なるだけであるが、一般人か専門ユーザーかという発信先の違いがそれぞれの情報の性格、効果、利用形態に大きな差を生み出す。「速報」を論じる際には、両者を分けて考える必要がある。

②「速報」には揺れが大きいほど猶予時間が短くなるという逆進性がある。実際の場面では、「警報」によって震度4の揺れに対し余裕をもって対処できた、という経験が大部分となり、これが確実に約束された効果という印象となって定着してしまうことに懸念を感じる。

③2年半の実績ではまだ「速報」の本領が発揮されるべき場面が出現していない。今後の経験を重ねていく中で、それぞれの場における利用者が、「速報」の性格と限界を弁えた上で、もっとも効果的な利用方法を学習していく必要がある。また、「速報」の受信者が経験を積んで学習を深めていく上で震度情報をもたらす意義は大きい。現在の「警報」では震度情報が省かれているが、伝え方の工夫も含め、予測震度分布情報を発信することが望まれる。

④死傷者を出すといった深刻な被害は、概ね震度6弱以上で発生する。例外はあるものの、内陸直下型地震の場合、この大きさの揺れに対して「速報」は間に合わない。他方、海溝型地震の場合は、10数秒以上の猶予時間を生む可能性がある。特に期待されるのは、海底地震観測網が整備されつつある次期東南海・南

海地震に対してである。これらに特化した特別速報を開発する意義があるのではないだろうか。

⑤海溝型巨大地震の場合は、近辺だけではなく遠方の沖積平野や堆積盆地、特に関東平野における長周期地震動が問題となる。長周期地震動をもたらす災害の研究はまだ緒に就いたばかりであるが、この場合、数十秒の猶予時間をもたらす「速報」には大きな減災効果が期待できる。

⑥マスメディアや速報開発関係者は、「警報」が揺れの到着前に間に合ったかどうかということにこだわりすぎる。たとえ間に合わない場合でも、地震とほぼ同時に発信するという「警報」のリアルタイム性に注目すべきである。現在の「警報」には自動制御という考え方はないが、内陸直下型地震の強い揺れに間に合わないという「警報」の弱点を補完する意味で、将来的には「警報による制御」という考え方を取り入れることも必要ではないだろうか。

### 謝辞

この原稿をまとめるにあたって、NPO法人リアルタイム地震情報利用協議会の藤縄幸雄専務理事、東京大学地震研究所の東田進也准教授、(独)防災科学技術研究所の堀内茂木研究参事の御三方にお話いただいた貴重な情報を参考とさせていただきます。ここに記してお礼を申し述べます。

## 参考文献

- 1) 東田進也、地震情報の現状と課題、地震2、第61巻特集号、S575-S589、2009
- 2) 「リアルタイム地震情報ネットワーク」の整備に向けて、科学技術動向、2002年3月号、p10
- 3) 菅沼克敏、わが国における地震防災の最近の動向、科学技術動向、2005年10月号
- 4) 地震波（S波）の到達寸前の緊急地震速報を提供開始、科学技術動向、2006年8月号、p10
- 5) 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、気象庁地震火山部、2008、[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats\\_EEW/reference.pdf](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats_EEW/reference.pdf)
- 6) 緊急地震速報の利活用の手引き、気象庁、2007、<http://www.jma.go.jp/jma/press/0708/03a/rikatsuyou.pdf>
- 7) 緊急地震速報について、気象庁、<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>
- 8) Yamamizu, F., Down-Hole Measurements of Seismic Wave Velocities in Deep Soil Deposits beneath the Tokyo Metropolitan Area, Rep. Nat. Res. Inst. Earth Sci. Disast. Prev., 56, 1-32, 1996
- 9) 中村豊、新潟県中越地震の早期検知と脱線、地震ジャーナル、41、25-37、2006
- 10) 中村豊、早期警報が災害軽減に役立った事例と今後の展開、2006年6月、[http://www.sdr.co.jp/papers/20060622\\_kyoto.html](http://www.sdr.co.jp/papers/20060622_kyoto.html)
- 11) 地震調査研究推進本部、地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策一、1999年4月23日、<http://www.jishin.go.jp/main/suihon/honbu99a/h9s3b.htm#2-1>
- 12) 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、独立行政法人防災科学技術研究所、pp.222、2008
- 13) Allen, R. M. and H. Kanamori, The potential for earthquake early warning in southern California, Science, 300, 786-789 ; 2003
- 14) Espinosa-Aranda, J. M., A. Jimenez, G. Ibarrola, F. Alcantar, A. Aguilar, M. Inostroza, and S. Maldonado, Mexico City seismic alert system, Seim. Res. Lett, 66, No.6, 42-53, 1995
- 15) メキシコ地震警報システム、[http://www.cires.org.mx/sas\\_es.php](http://www.cires.org.mx/sas_es.php)
- 16) Wu, Y. M., and T. L. Teng, A virtual subnetwork approach to earthquake early warning, Bull. Seism. Soc. Am., 92, 2008-2018, 2002
- 17) Wenzel, F., M. C. Oncescu, M. Baur, F. Fiedrich, and C. Ionescu, An early warning system for Bucharest, Seism. Res. Lett., 70, No.2, 161-169, 1999
- 18) Erdik, M., Y. Fahjan, O. Ozel, H. Alcik, A. Mert, and M. Gul, Istanbul earthquake rapid response and the early warning system, Bull. Earthq. Eng., 1, 157-163, 2003
- 19) 緊急地震速報、東京法令出版、pp.277, 2007
- 20) 分野別緊急地震速報利活用システムの普及促進に関する調査・検討、25pp. [http://www.bosai.go.jp/kenkyu/sokuji/h17/H17LP-22\\_NPO3.5.1.3.0.pdf](http://www.bosai.go.jp/kenkyu/sokuji/h17/H17LP-22_NPO3.5.1.3.0.pdf)
- 21) 計測震度と被害との関係について、[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo\\_kentokai/kentokai\\_houkoku/chapter1.pdf](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_kentokai/kentokai_houkoku/chapter1.pdf)
- 22) 地震調査研究推進本部、[http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02\\_kaiko.htm](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_kaiko.htm)
- 23) 海洋研究開発機構、<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/maritec/donet/>
- 24) 第9回国土セイフティネットシンポジウム～災害軽減：震度の一歩先を目指して～、リアルタイム地震情報協議会、pp.40、2010
- 25) 巨大地震に対応した高精度リアルタイム地震動情報の伝達システムの構築、科学研究費（基盤研究B）、pp.130、2010
- 26) 今村文彦・阿部郁男、津波対策における緊急地震速報の活用、緊急地震速報、東京法令出版、239-255、2007
- 27) 地震本部ニュース、地震調査研究推進本部、2009、8月号
- 28) 朝日新聞、2010年5月28日朝刊

---

執筆者プロフィール

---



**松村 正三**

科学技術動向研究センター 客員研究官  
(独) 防災科学技術研究所 研究参事  
<http://www.bosai.go.jp/>

専門は地震学。微小地震観測を通じて大地震の前兆現象検知を目指している。特に東海地震を対象にして、地震活動パタンの変化からスロースリップや準静的滑りにもなる応力再配分の状況を把握したいと考えている。地震調査研究推進本部専門委員。理学博士。