

地震動早期検知システム

早期検知システムはさまざまな地震対策のひとつであり、地震に遭遇したときに生じるかもしれない災害をできるだけ軽減することを目的としている。新幹線の場合、大きな地震動に襲われる前にできるだけ減速して被災箇所へ突入する危険を少なくするとともに、災害発生時の衝撃を緩和する効果を期待している。新潟県中越地震で指摘された脱線列車と対向列車の衝突防止効果は、被災箇所への突入防止効果のひとつとして考慮されている。

地震の予知（場所、時間、大きさ）が確実にできるのならば、その時間安全な場所で地震をやり過ごせば安全性は確保できる。実際には、予知もできないし、絶対的な耐震構造物も存在しない。経年劣化という現象もあり、不測の事態の発生に備える必要がある。

地震予知に代わるものとして地震の早期警報が発案されたのは、今から 140 年近く前、明治維新の年のことである。サンフランシスコを襲った地震を契機に地元の医師により、震央地域で危険地震の発生を検知し、電信で遠く離れた都市に伝える前線検知のアイデアが公表されている（Cooper : San Francisco Daily Evening Bulletin, 3rd November 1868）。それからほぼ 100 年が経過した 1972 年、日本の地震学者と地震工学者のグループが協力して東京圏を対象にした「10 秒前検知システム」構想を発表した。日本ではこれに興味を示したいくつかの機関により開発研究が進められたが、国鉄以外は実用的なシステム構築までには到らなかった。当時の国鉄では、新幹線の地震発生時対策のひとつとして前線検知の採用を模索し、1982 年の東北新幹線開業時から海岸線検知システムとして実用化した（中村・斎藤：地震の早期検知・警報システムの開発, 6JEES, 1982.12）。

さらに地震検知を早めるため、1979 年から P

波初動で地震を検知して警報する新しい「一点検知システム」の開発研究を開始し、1984 年には実用可能な P 波警報システム「ユレダス」として完成した。これは、単一の観測点の初動情報を基に地震の全体像をいちやく推定して被害発生地域を予測し、地震動到達前に警報するというものである。地震の規模 M 、地震発生位置・深さを推定し、既往の被害分析から M - Δ 図上で地震規模 M に対して被害が発生するかも知れない地域の震央距離を割り出す、いわゆる M - Δ 法によって警報を発信している（中村・富田：地震動と被害の予測, JREA, Vol. 27, No. 9, 1984.9）。以上のいわゆるユレダス処理は、波形データを蓄積することなく逐次リアルタイムに実行される。

ユレダス処理では地震規模を初動周期から推定するが、断層破壊時間に相当する時間以上の時間が必要になるものと考え、当初、概ねマグニチュード (M) 6 の断層破壊時間に相当する 3 秒という処理時間を設定した。警報には $M6$ 以上であることがわかれば十分と考えたのである。その後、P 波後 1 秒までの情報で少なくとも $M7$ 超まで推測できるという観測事実が明らかになり（Nakamura : UrEDAS, Urgent earthquake Detection and Alarm System—Now and Future, 13WCEE, 2004.8）、ユレダス処理で得られるマグニチュードは断層破壊時間よりもかなり短い時間で確定するという研究成果（Olson and Allen : The deterministic nature of earthquake rupture, Nature 438, 10th November 2005）も発表された。こうして、現在、最新の P 波警報システム「フレックル」のユレダスロジックでは、警報に必要な地震諸元の推定は P 波検知後 1 秒までに短縮されている。

一方、まだ、ユレダス処理時間が 3 秒であっ

た頃、阪神大震災が発生した。神戸市内のコンビニエンスストアの防犯ビデオ映像は、地震発生直後のすさまじい揺れの様子を記録している。これらの映像によればP波到来後数秒で大きな震動に襲われている。これでは3秒で警報を出しても、大きく揺れ出してから警報となる。もともとユレダスは大きな地震の震央付近で地震を検知し、離れてはいるが被害が発生しそうな地域に対して、地震波動より早く警報しようとするものである。その意味では想定通りなのであるが、もしP波後1秒で警報が出せれば、直下の地震であっても大きく揺れ出す前に1~2秒のリードタイムが稼ぎ出せる可能性があることをこれらの映像は示している。

そこで、直下地震にもある程度有効なP波後1秒で警報できるシステムの開発に着手した。このシステムがコンパクトユレダスであり、検知した地震の危険性をP波部分の地震動の大きさで直接的に判断する。「コンパクトユレダス」ではP波識別の信頼性を確保するため1秒を費やしていたが、機能を複合させ高度化した新世代システム「フレックル」ではP波識別機能を向上させた結果、最短0.2秒で警報可能になっている。

このフレックルは、センサーを含めたほぼすべての機能が12 cmの立方体に収納され簡単に持ち運ぶことができる。極めて迅速で信頼性の高い警報を実現しており、持ち運びできる地震動早期検知警報システムとしての用途も広がっている。すでに2005年のパキスタン地震で活躍するなど、頻発する余震の中で活動しなければならないことが多いレスキュー部隊の信頼を得ている。フレックルは、小型で世界最速のP波機能をもつという特長を活かし、今後、

鉄道分野のみならず、様々な分野に浸透していくものと期待している。

また、カリフォルニア大学バークレー地震研究所やカリフォルニア工科大学地震研究所などのユレダス共同観測結果によれば、通常使用範囲の半径200 km内のみならず、10,000 kmを超える遠地大地震についても大まかな震源諸元が推定できる可能性が見出され、ユレダス処理も採用しているフレックルは地震を感じない地域に対する津波警報システムとしても利用できるのではないかと期待している。

なお、早期検知システムには、以上説明した新幹線などで15年以上の稼働実績のあるユレダス系列のほか、緊急地震速報のために稼働しているふたつのシステムがある。ひとつはユレダスと同じように単一の観測点の情報を用いるシステム（いわゆる気象庁システム）であり、もうひとつは稠密に配置された多数の観測点の情報を用いるシステム（いわゆる防災科研システム）である。気象庁システムは、観測点から200 kmまでの地震を対象に、地震検知後2秒間の蓄積波形を処理して地震諸元の推定を試み、これで確定できなかった場合、1秒ずつデータを足して推定を行うというものである。気象庁による試験観測の結果では、地震諸元の推定には実用上5秒程度を要することである。防災科研システムは、稠密に配置された観測点への波動の到達情報を用いて震央位置をいち早く特定するものであるが、データ伝送時間も考慮すれば規模を含めた全体像を確定して警報を出すまでの時間は概ね気象庁システムと同じ5秒程度とのことである。

（中村 豊：(株)システムアンドデータリサーチ、
東京工業大学大学院連携教授）