

地震発生時に高速道路を走行中の車両等の玉突き事故防止のための 基礎的考察

～緊急地震速報のためのより良い信号に関する基礎的考察～

Basic consideration against chain-reaction traffic accidents on an expressway
when an earthquake occurs

～For the better signal of the earthquake warning system～

中林 克己

Katsumi NAKABAYASHI

(平成21年10月7日受理)

要約

地震発生時の高速道路における“玉突き事故”を防止するために、地震の到来を被害が及びそうな地域にいち早く知らせるための、緊急地震速報用の新しい信号について考察する。この研究の必要性・背景は次のとおりである。

地震の被害がおよびそうな地域に地震発生を迅速に伝え被害を最小限に食い止めるための緊急地震速報が2007年10月から一般に提供された。特に高速道路を走行中の車両にとっては、地震による制御不能（ハンドルによる方向制御不能およびブレーキによる制動不能）に起因する被害を最小限に食い止めるためにはこの緊急地震速報は極めて有効である。

先に、高速道路における最高時速である100km/hで走行中の車両が緊急制動（急ブレーキ）をかけた時、条件にもよるが、約7秒で停止可能であることを示した。

しかし、このように地震到来を約7秒で停止可能であるにもかかわらず、現状の緊急地震速報のままでは、「チャイムとそれに続くアナウンス」だけで約7秒もかかり、まもなく「地震が到来」することをドライバーに認識させるには時間がかかりすぎて被害を最小に食い止める効果が見込めないと考えたからである。

ここでは、新しい信号に必要な要求条件を明らかにする。

1 はじめに

いつ起きてもおかしくないと言われ続けて来た東海沖地震は、幸いなことに平成21年8月30日現在発生していない。地震の被害を少しでも小さくするために、地震到来を予め1秒でも早く知って、いち早く避難などの対策を講ずることを目的とした緊急地震速報が2007年10月から一般向けに提供され現在に至っている。

しかし、現状の緊急地震速報に用いられている信号は、チャイムと、“緊急地震速報”というアナウンスで、すでに約7秒が経過する状況であり、これでは、1秒を争う緊急時には十分に活用されない恐れが大であると考えられる。

その理由は次のとおりである。例えば、高速道路を時速100kmで走行中の車両は、地震

到来に備えて緊急制動（急ブレーキ）をかければ、条件にもよるが、約7秒で停止することが可能である。しかし、この貴重な7秒間が、緊急地震速報のチャイム（2回繰り返し）と、「緊急地震速報…、緊急地震速報…」という耳慣れないアナウンスにより費やされてしまうのでは、緊急地震速報が有効に活用されるとは考えにくいからである。

地震による被災を最小限にいとめ、緊急避難等人命救助等にも役立てようという緊急地震速報において、緊急事態を知らせる“信号”の改良は焦眉の急であると言えよう。しかし、この種の信号の変更等は、その影響が大きいこともあり、十分な検討を経て行われるべきである。

また、地震発生時に高速道路等を走行中の車両に対して、「あわてて急ブレーキをかけたりしないで、ハザードランプを点灯させて後続車に知らせつつ落ち着いて穏やかにブレーキをかけて停車させる。」ことが推奨されている（資料6）現状とのすり合わせ・整合性について十分に留意するべきであることは言うまでもない。

ここでは、被害を少しでも小さくしたいという視点から、可能性緊急地震速報の新しい信号の条件について考察する。

2 緊急地震速報の概要

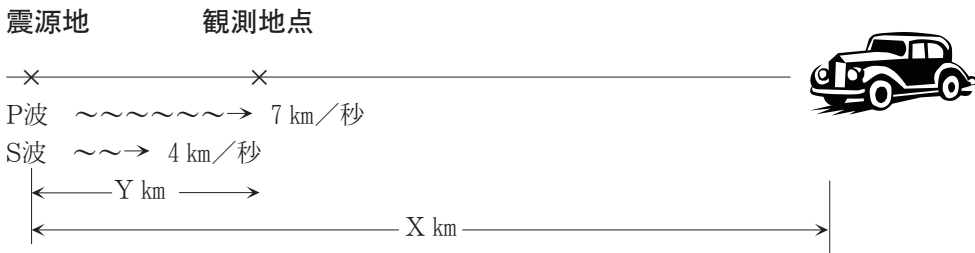
地震が発生すると、震源地からP波（Primary波 一次波）とS波（Secondary波 二次波）という2種類の地震波が伝播するといわれている。震源地は地表とは限らず地下数キロメートルから数百キロメートルに及ぶこともある。しかし、ここでは、簡単のため震源地は地表であると仮定して話を進める。

P波は秒速約7kmで伝播し、多大な被害を及ぼすことはないが、その伝播速度の速さから、地震の発生の検知に利用されることが多い。

S波は秒速約4kmで伝播し、多大な被害を及ぼすことが多いとされている。

緊急地震速報では、「複数の地点に設置したセンサーにより地震の発生を検知し、震源地、マグニチュード（地震のエネルギーの大きさ）を算出し、震度5以上の揺れをもたらす恐れがあると判断した場合に、地震発生を知らせる信号を発する」というものである。

さて1図において、震源地と車両との間の距離をXkm、震源地と観測地点との距離をYkmとする。震源地からYkm離れた観測地点にP波が到達するために要する時間は、 $Y/7$ （秒）である。



第1図 震源地からの地震波の伝播
車両より震源地に近い地点に観測地点がある場合

一方、観測地点にP波が到達した時、S波は、すでに震源地から $4Y/7$ kmの地点まで到達している。つまり次式のとおりである。

$$4 \text{ (km/秒)} \times Y/7 \text{ (秒)} = 4Y/7 \text{ (km)} \quad \dots\dots(1)$$

したがって、このS波が、被災の恐れがある車両等の地点に到達する時間 T_A は、(2)式の右辺ようになる。見方を変えると、被災の恐れがある車両等の運転者が、地震到来予告情報を受信してから、S波到達までに車両等の制動等に活用できる時間 T_A に相当すると考えられる。この関係を数式で表すと(1)式となる。

$$\begin{aligned} T_A &= (X - 4Y/7) / 4 \\ &= X/4 - Y/7 \end{aligned} \quad \dots\dots(2)$$

この(2)式は次のようにも考えられる。つまり、1区において、S波が震源地から車両の位置に到達するまでに要する時間は $X/4$ であるが、この $X/4$ すべてが、地震対策のために活用される訳ではなく、この時点で、震源地から観測点までにP波が到達するために、すでに $Y/7$ が経過しているため、車両側で被災軽減に使える時間 T_A は $X/4$ から $Y/7$ を差し引いた残りとなり、(3)式で表される。(3)式はこれは、当然のことながら(2)式と一致する。

$$T_A = X/4 - Y/7 \quad \dots\dots(3)$$

(2)式、(3)式から分かるように、被災地側で被災軽減に使える時間 T_A をなるべく大きくするには、 X を可能な限り大きくし、震源地と観測点との距離 Y を可能な限り小さくする必要がある。震源地と被災地との距離 X は、地震がどこで起こるか現時点では知ることが出来ないので、制御は不可能であろう。これに対し、震源地と観測点との距離 Y を小さくすることは、必ずしも不可能ではない。その対策とは、観測点を増やすことである。観測点の数を限りなく増やせば、理論上は Y をゼロに近く出来るが、実際にはコストなど種々の制約条件を勘案して現実的な数に設定されている。因みに平成19年10月現在、気象庁が発表する震度情報に活用している観測点は約4,200地点となっているそうである。(資料1)(資料2)

3 震源地と被災地の距離と被害の関係に関する考察

時速200km以上で走行中の上越新幹線を脱線させた中越地震の震源地と被災地との距離は約9.6kmであったと報道されている。(資料3)

仮に震源地にセンサーを設置し、地震発生情報を被災地に直ちに伝達出来たとしても、地震発生から、被災地への地震到来までの時間は次のようになる。

$$9.6 \text{ (km)} / 4 \text{ (km/秒)} = 2.4 \text{ 秒}$$

被災軽減対策のための時間という点では、この2.4秒は十分とは言えない。緊急地震速報も震源地と被災地が近すぎれば、“速報”が伝達されても、被災軽減のための時間が少

なすぎて、役に立たない。

また、ある地震から蒙る被害は、一般には震源に近いほど大きく、しかも皮肉なことには、震源に近いほど対策を講ずるための時間は少ないという関係にある。

緊急地震速報がうまく役に立つためには、ある程度の距離の範囲（または、地震到来までの時間の最小値）があると考えられる。例えば、先に述べた、高速道路で時速100kmで走行中の車両にとっては、停止するまでに約7秒が必要であり、これは震源地までの距離Lに換算すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} L &= 4 \text{ (km/秒)} \times 7 \text{ (秒)} \\ &= 28 \text{ km} \end{aligned} \quad \dots\dots(4)$$

過去の事例によれば、大きな被害を及ぼす地震の場合は、震源地から被災地までの距離が10～20km程度であることが多く、この程度の距離では、上記の車両は停止することは出来ず、スピードの大小の差こそあれ、走行中に地震の“攻撃”を受けることになる。一般には、被災時のスピードが小さいほど被害も少ないことは言うまでもない。

だからこそ緊急地震速報を有効に活用して、「これから地震が到来する。」という情報をいかに迅速に被災地の人々に伝達し、認識させるかが重要な意味をもつのである。緊急地震速報の活用法等については、研究会、協会等で検討がなされている。(資料4)(資料5)

4 緊急地震速報の信号に関する考察

4. 1 緊急地震速報の信号の現状と問題点

緊急地震速報は、地震の揺れを予め複数の場所に設置したセンサーにより検知し、その規模、震源、震度、到達時間を瞬時に計算し、予測される震度が5弱以上である場合に、この情報を、震度4以上の恐れのある地域に各種の連絡回線、ラジオ、テレビ等により瞬時に配信し、被害軽減をはかるといふものである。ラジオ、テレビにより一般に周知される信号は次のようになっている。

♪ チャイム ♪……♪ チャイム ♪ ……「緊急地震速報……緊急地震速報……」
○○地方で地震が発生しました。

先に述べたように、“チャイムおよび緊急地震速報というアナウンス”までの間に約7秒経過してしまい、この間は被災地側では緊急性を感じて直ちに必要の行動を起こす人は少ないであろう。

その他にも緊急地震速報のユーザーという視点からは、少なくとも次の項目について改良することが望ましいと考える。

4. 2 改良することが望ましい項目

改良することが望ましい項目を以下に述べる。当面ドライバーへは、カーラジオにより伝達されることを想定する。

- ① 最短時間でドライバーに危険（地震到来）を認識させること

- ② 緊急地震速報についての知識が全くないドライバーに対しても迅速に認識されること
- ③ 幅広い年代のドライバーに対して認識されること
- ④ 通常のラジオ放送番組の内容と混同されないこと
- ⑤ 乗用車の中での背景音＋マスキングを考慮
- ⑥ 音量に左右されないこと

ここに述べたのは緊急地震速報の信号に対する要求条件の一部に過ぎない。次章で緊急地震速報のための新しい信号の要求条件について提案する。

5 提案する新しい緊急地震速報信号案

4. 2 で述べた各項目について要求条件という視点から考察し提案する。

5. 1 最短時間でドライバーに危険（地震到来）を認識させること

危険を知らせる信号としては、非常ベルの音、火災報知機の音などに類する音（または、新規に作成した音）を警報音として採用する。また、地震の到来をなるべく早い段階で具体的なアナウンスにより知らせる。

信号の作成方法としては、次の方法を考える。

- A 警報音・アナウンスの順に提示する方法
- B アナウンス・警報音の順に提示する方法
- C アナウンスと警報音をミックス（重ね合わせ）して提示する方法

A、Bに示した方法では、警報音とアナウンスの継続時間、時間の割合などに研究開発要素がある。今後、信号を試作し、試聴実験により最適な条件を特定することとなる。

Cに示した方法では、警報音とアナウンスとの重ね合わせの割合（ミクシング量）に研究開発要素がある。

5. 2 緊急地震速報についての知識が全くないドライバーに対しても迅速に認識されること

先に述べた、緊急地震速報は、「地震の揺れを予め複数の場所に設置したセンサーにより検知し、その規模、震源、震度、到達時間を瞬時に計算し、予測される震度が5弱以上である場合に、この情報を、震度4以上の恐れのある地域に各種の連絡回線、ラジオ、テレビ等により瞬時に配信し、被害軽減をはかるといふものである。」こと、を知っているドライバーはどれくらいいるであろうか？

また、現行の緊急地震速報に用いられているチャイム音とアナウンスを正しく認識し得るドライバーは何%ぐらいであろうか？

このような状況に鑑み、5. 2に示すような信号を検討することとする。

5. 3 幅広い年代のドライバーに対して認識されること

人間の聴覚機能は、20才ごろをピークとして、その後は加齢とともに低下する。特に周波数特性は、加齢とともに劣化し、会話の中の子音の聞き違いなどにその傾向が表れる。従って、5. 2で述べた警報音、アナウンスにはこの点を十分に考慮した設計を行う必要がある。

5. 4 通常のラジオ放送番組の内容と混同されないこと

1秒を争う緊急時に、迅速に“緊急事態”を伝えるために送った信号が、通常の放送番組内容であると誤認されたり、緊急事態の認識が遅れるようでは、本来の緊急地震速報の使命を果せない恐れが大きい。従って、通常のラジオ放送番組とは明らかに異なる形式・内容の信号を受け手に送る必要がある。これは、警報音およびアナウンスについて言えることである。設計にあたってはこれらの点も十分に考慮する必要があることは言うまでもない。

5. 5 その他

乗用車の中での走行雑音、窓の開閉状況、マスキング（周囲の雑音が希望する信号音をかき消したり、聞こえにくくする現象）、聴取レベル、ラジオの受信特性などに対しても十分な目配りが必要である。

6 おわりに

緊急地震速報をより一層の活用を目指して、被災地に緊急事態を知らせるための新しい信号について考察を加え、その信号に必要な条件（要求条件 requirement）を提案した。

今後 警報音、アナウンスを含めた試験信号を設計し、試聴試験を行う予定である。

<資料等>

- 1) 正確な震度観測を行うために 気象庁
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/leaflet/shindo/index1-3.html>
- 2) 緊急地震速報 一揺れる前にできること― 東京法令出版 2007年9月1日発行
- 3) 静岡新聞 2007年11月30日 夕刊 第1面
- 4) 特定非営利活動法人 リアルタイム地震情報利用協議会他
<http://www.real-time.jp/research/thesis.html>
- 5) 日本災害情報学会
<http://www.jaadis.gr.jp> 学会大会予稿集2007. 11～1999. 10他
- 6) 交通の教則 平成20年8月改定版 編集・発行 財全日本交通安全協会