

メキシコ版緊急地震速報の現状と将来展望
—CIRES の Juan Manuel Espinosa Aranda 所長を招へいして—
Earthquake Early Warning System in Mexico: Current Status and Prospects
-Invitation of Juan Manuel Espinosa Aranda, General Director of CIRES-

干場充之¹

Mitsuyuki HOSHIBA¹

(Received December 28, 2010; Accepted January 21, 2011)

ABSTRACT: The Meteorological Research Institute of the Japan Meteorological Agency (JMA) invited Juan Manuel Espinosa Aranda, general director of Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. in Mexico, to Japan to discuss the current status and prospects of the Earthquake Early Warning (EEW) systems in Mexico and Japan. This article presents a summary of the invitation, and reviews the current status and prospects of the EEW system in Mexico, as compared with the JMA system.

1 はじめに

現在、地震動の直前予測が一般の人向けに発表されているのは、日本の緊急地震速報以外には、メキシコにおいてのみである。そこで、メキシコおよび日本における地震動の直前予測の現状や技術の紹介、さらには将来展望等について意見交換するために、メキシコの Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. (地震観測登録センター。以下、CIRES) の Juan Manuel Espinosa Aranda 所長を、2010 年 11 月 9 日～17 日に気象研究所に招へいする機会を得た。本稿では、この招へい、および、メキシコにおける地震動の直前予測の情報（以下、「メキシコ版緊急地震速報」と記す）の現状と将来展望についてまとめたものを報告する。

2 招へいについて

Espinosa Aranda 所長の招へいは、国土交通省の平成 22 年度開発途上国研究機関交流事業によった。滞在中の主な日程は、表 1 の通りである。気象研究所での滞在ばかりでなく、期間中 2 日間は気象庁本庁に出向き、見学、意見交換、議論、講演を行った。さらには、独立行政法人防災科学技術研究所（以下、防災科研）にも、見学や意見交換のため赴いた（気象庁の緊急地震速報では、防災科研の観測データや技術も用いている）。なお、招へいの対象は、Espinosa

Aranda 所長 1 名であったが、メキシコ側の予算により、CIRES の Armando Cuellar Martines 博士も同行したため、実際には、2 名での滞在となった。

3 CIRES

CIRES は、政府組織ではないが、一般的な民間企業でもない。Espinosa Aranda 所長によると、“Civil Organization” とのことである。日本でいえば、独立行政法人、あるいは、（税金を免除されているとすることで）NPO に相当するものと思われる。地震観測を請け負う組織とのことで、メキシコ版緊急地震速報に関しては、現在、メキシコシティ、および、オアハカ州と契約を結んで運営しているとのことである。職員数は、約 40 名である。

4 メキシコ版緊急地震速報の構築と実績について

メキシコ版緊急地震速報については、Espinosa Aranda et al.(2009)や Espinosa Aranda et al.(2010)に詳しく述べられている。ここでは、その歴史と概要について簡単に触れる。なお、表 2 には、メキシコ版緊急地震速報の現状と将来展望について、気象庁のものと比較して示す。

¹ 気象研究所地震火山研究部, Seismological and Volcanological Research Department, Meteorological Research Institute

表 1 Espinosa Aranda 氏の日本滞在中の行動.

年月日	行動	場所
2010 年 11 月 9 日 (火)	・成田空港に到着, つくば着.	
11 月 10 日 (水)	・気象研究所長表敬. ・緊急地震速報の技術に関する説明及び意見交換 (担当: 干場, 岩切).	気象研究所
11 月 11 日 (木)	・談話会. ・防災科研の地震観測システムの見学および意見 交換 (防災科研: 青井, 堀内).	気象研究所 防災科研
11 月 12 日 (金)	・気象庁総務部企画課国際室で事務手続き. ・第 3 回緊急地震速報評価・改善検討会の見学. ・地震火山部長および課長への表敬. ・皇居観測点見学 (菅井, 田利). ・地震火山現業室等見学 (吉川, 渡邊). ・説明および意見交換 (干場, 中村, 下山, 平野).	気象庁
(11 月 13 日 (土))	・週末.	日光東照宮)
(11 月 14 日 (日))	・週末.	銀座)
11 月 15 日 (月)	・説明及び意見交換 (干場).	気象研究所
11 月 16 日 (火)	・説明および意見交換 (干場, 大竹, 岩切, 内藤, 下山, 束田, 平野, 山田). ・Espinosa Aranda 氏による講演会.	気象庁
11 月 17 日 (水)	・つくば発, 成田空港より帰国.	

敬称略

4.1 メキシコシティを守る SAS

1985 年の Michoacan 地震(マグニチュード(以下, M) 8.1, 日本のマスメディアでは, “メキシコ大地震”と呼ばれることも多い)で, 震源から 400km も離れたメキシコシティで大被害が発生した. 大地震に伴う長周期地震動が, メキシコシティの軟弱地盤で増幅し, 大きな被害に結びついた. この Michoacan 地震の震源域の南側には, いわゆる地震空白域として, “Guerrero Gap”があり, 近い将来に, ここを震源域として海溝型大地震が発生することが予想されている.

そこで, この Guerrero Gap で発生する大地震によるメキシコシティでの人的被害を軽減する目的で, メキシコ版緊急地震速報の構築が始まった.

Guerrero Gap の直上に 12 か所の地震計を設置し, これらの地震計により, いち早く地震の発生を検知し伝達することで, メキシコシティに長周期地震動が到達する 60 秒以上前に警報を発することができることである (このシステムは, Seismic Alert System, SAS と呼ばれる). 地震計からの信号を現地で処理し, その解析結果は, 無線を中継してメキシコシティまで伝達している.

想定震源域の深さは, 25km 程度とのことから, おおよそ 25km 間隔に地震計を並べている. Guerrero Gap で発生する海溝型大地震を前提としていることもあり, 震源位置を決定するというロジックは含まれていない. 加速度の 2 乗を P 波のオンセットから

表 2 CIRES と気象庁の緊急地震速報の比較.

	CIRES	気象庁
対象地震	・特定の想定震源域での地震.	・全国の地震を対象.
速報の対象とする地域	・特定の都市 (メキシコシティ (SAS), オアハカ市 (SASO)).	・島しょ部を含めて全国の地域を対象.
基本的考え方	・想定震源域の直上の地震計で検知. 閾値を超えたら警報 (震源を決めるという考えはない).	・震源, M を迅速に決定. さらに震度を予測. その予測震度の大きさにより警報.
観測点数	・ SAS では 12 点. ・ SASO では 36 点.	・気象庁観測点約 200, 防災科研 Hi-net 約 800, の合計約 1000 点.
猶予時間	・ SAS では 60 秒以上. ・ SASO ではそれより短い場合も.	・震源距離による. 震源距離が短い場合は間に合わない場合も.
運営母体	・CIRES (“Civil Organization”, 政府組織でも民間でもない). 地方政府との契約により運営.	・気象庁 (国家行政組織). 法律により規定.
速報の種類	・M に応じて 2 種類. “Preventive Alert (5M6)” と “Public Alert (M≥6)”. 解析結果のみ CIRES のホームページに掲載する場合を含めると 3 種類の情報.	・予測震度と M に応じて 2 種類. 予測震度 3 以上, または, M≥3.5 で “予報”. また, 予測震度 5 弱以上で震度 4 以上の地域に “警報”.
情報伝達手段	・Preventive Alert は, ラジオ受信端末で受信. 2008 年からは自動的に電源の入るラジオ端末にも. Public Alert は, TV やラジオの放送により広く伝達.	・予報は特定ユーザに配信事業者を介して伝達. 警報は, テレビ, ラジオ, 携帯電話のメール等により広く伝達.
警報音	・放送事業者や受信端末によらず同一音. Preventive Alert と Public Alert でパターンを変えている.	・NHK のチャイム音, 携帯電話での音など複数ある. 2010 年秋現在, 気象庁は NHK の音を推奨している.
運用開始	・SAS は 1991 年から試験運用, 1993 年から一般向けに. SASO は 2003 年から.	・2006 年 8 月から高度利用者向けに, 2007 年 10 月から一般向けに.
実績	・SAS では, 2010 年 4 月までに 2000 回のイベントについて解析し. 54 回の Preventive Alert と 13 回の Public Alert. さらに, 1 回の誤報と 1 回の見逃し.	・2010 年 10 月 10 日までに, 1657 回の予報と, 16 回の警報. また, 警報基準 (震度 5 弱) に達しているものの警報を発しなかったのは 7 回 (過小予測), 警報を発したものの震度 1 以上が観測されなかったものは 1 回 (パラメータの設定ミス).
今後の主な予定	・SAS と SASO の運営が一体化され (SASMEX), さらに, 連邦政府の後押しにより全国展開へ. ・自動的に電源の入るラジオ端末をメキシコシティの全学級 (約 5 万) に配布する計画がある.	・気象庁観測点のデータと防災科研 Hi-net のデータの一体解析化へ. ・東南海地震想定震源域の文部科学省・海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の海底地震計 (DONET) のデータの取込. ・防災科研の首都圏の深井戸 (3500~500 m) の KiK-net データの取込.

S-P時間の2倍までの区間で積分した値、及び、S-P時間の2倍の時点での加速度の増加率、の2つの値からMを経験的に推定する方法を用いている。S波着信の判定は、以前は振幅の増加率のみを用いていたが、現在は水平動/上下動の比も考慮しているとのこと。12点のうち2点以上で検知した場合に処理を開始するようになっている。1991年から試験運用が始まり、1993年から一般向けにも警報を発するようになった。警報には、Mに応じて“Preventive Alert ($5 \leq M < 6$)”と“Public Alert ($M \geq 6$)”の2種類があり、 $M < 5$ で処理結果だけをCIRESのホームページに掲載する場合を含めると3種類のカテゴリがある。2010年6月までに、2120のイベントについて処理を行い、このうち13回のPublic Alertと54回のPreventive Alertを発している。なお、1回の見逃し($M \geq 6$ の地震で警報を発しなかったもの)と1回の誤報(地震でない時に発したもの)がある。見逃しは観測点ネットワークの端で起こったため検知が難しかったため、また、誤報は、観測点での機器不調によるとのことである。

なお、これまでに当該地域で発生した最大の地震は、1995年9月のM7.3であり、この時は、72秒前にPublic Alertを発している。

4.2 オアハカ州のSASO

1999年のオアハカ州で発生したM6.7の地震をきっかけに、オアハカ市に警報を発する目的で、オアハカ州に36観測点を設け、2003年から運用している(このシステムは、SASOと呼ばれる)。オアハカ州では、内陸の地震も多く発生することから、より早く警報を出す必要があり、M推定には、P波着信からの3秒間の卓越周期を利用する方法も加えているとのことである。2010年6月までに、230イベントに対して、6回のPublic Alertと5回のPreventive Alertを発している。

5 メキシコ版緊急地震速報の利用状況

SASでは、TVやラジオ放送を通じてPublic Alertは広く放送され、また、ラジオ受信端末を用いてPublic AlertとPreventive Alertとが受信できるとのことである。さらに、2008年からは自動的に電源が入るラジオ(日本でいえば、緊急警報放送に相当する)に向けて、Public AlertとPreventive Alertが放

送されている(なお、この自動的に電源の入るラジオには、メキシコ版緊急地震速報だけでなく、洪水や大雨等の他の災害の警報も放送されているとのこと)。

学校での利用については、1992年にメキシコシティ内の26の小学校にて利用が開始され、現在では、80を超える小中高校において利用されている。鉄道においては、1992年から開始されているが、今のところ、運転士に伝えるのみで、乗客にまでは伝えていない。さらに、240か所の建物において、ラジオ受信端末が利用されており、中には、館内放送するところもあるとのことである。

しかし、例えば、メキシコシティでの学校数がおよそ5500であることを考えると、メキシコ版緊急地震速報の利用が広く行われているとは言い難いと思われる。普及の促進が大きな課題であろう。

なお、メキシコ版緊急地震速報を伝える効果音は、放送局や端末に寄らず統一音を用いているが、Public AlertとPreventive Alertとでは若干異なる放送になるとのことである。

6 メキシコにおける今後の展望

SASとSASOは、それぞれ別の契約(それぞれ、メキシコシティとオアハカ州)で運営されていたが、両地方政府の理解により、運営を統合することが決まったとのことである(統合されたシステムをSASMEXと呼ぶ)。さらに、連邦政府の後押しにより、全国的に観測網を展開し、また情報も全国の多くの主要都市に配信する計画が進んでいるとのことである。

現在、観測点からの解析結果の伝達は、無線により行われているが、政府が防災用に整備したネットワーク回線に切り替える予定とのことである。これにより、観測点からの伝達の確実性が増すものと期待される。

メキシコシティでは、2011年に、ラジオ受信端末(50US\$程度)を市内の全学級、およそ5万学級に配る予定である。背景には、若い世代には1985年のMichoacan地震の記憶がなく地震に対する意識が低いこと、普及を促進するためには子供たちへの普及が効果的と思われること、があるとのことである。

7 さいごに

メキシコ版緊急地震速報については、90%以上のユーザが「効果的である」との認識である (Suarez et al., 2009). その一方で、精度が悪いとの指摘もある (Iglesias et al., 2008). もちろん、技術的な改善を続けていく必要があるものの、Espinosa Aranda 所長の認識は、「メキシコ版緊急地震速報の最大の課題は、技術的なこともさることながら、如何に普及を促進するかである」とのことであった。メキシコ版緊急地震速報の推進は、その時の政府の意向が大きく反映されるとのことで、必ずしも、順調に進展してきたわけではないとのことである。その意味で、メキシコシティにおける5万学級へのラジオ受信端末の配布は大きな転機になる可能性もある。普及を促進することにおいては、わが国でも大きな課題であり、技術的な内容ばかりでなく、普及面における現状と方策についても議論できたのは有益であった。また、メキシコ版緊急地震速報の運用責任者を招へいすることで、気象庁をはじめ我が国の防災技術立国としてのプレゼンス向上に貢献することができたことも、大きな成果であったと思われる。

なお、Espinosa Aranda 所長にとっても英語は母国語でないため、意思疎通においてややもどかしさを感じる場面が多かった。せめて講演時には、スペイン語の通訳をつけたほうが良かったかもしれず、ここは反省点である。

謝辞

査読者からのコメントは原稿を修正する上で有益であった。Espinosa Aranda 所長の招へいにあたっては、下山利浩調査官をはじめ地震火山部の関係各位や、気象研究所の関係各位には見学の引率や、議論、討論に加わって頂いた。また、防災科研の青井真博士、堀内茂木博士、気象庁総務部企画課国際室の勝山健一係長、原田智史外事官、気象研究所企画室の手島大地氏にはたいへんお世話になった。記して感謝申し上げます。

この報告をまとめるにあたっては、地震火山部の関係者と気象研究所地震火山研究部第4研究室とで行ってきた「世界の緊急地震速報」に関する勉強会（メキシコの担当は岩切一宏研究官）でのレビューが役に立った。

なお、この報文の文責は、誤訳、勘違いを含めて

著者にあることを申し添えます。

文献

- Espinosa Aranda, J.M., A.Cuellar, G. Ibarrola, A. Garcia, S. Maldonado, F.H. Rodriguez (2009), Evolution of the Mexican seismic alert system (SASMEX), *Seismological Research Letters*, 80, 694-706.
- Espinosa Aranda, J.M., A.Cuellar, F.H. Rodriguez, B. Frontana, G. Ibarrola, R.Islas, A. Garcia (2010), The seismic alert system of Mexico (SASMEX), progress and its current applications, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (in press)
- Iglesias, A., S.K. Singh, M. Ordaz, M.A. Santoyo, J. Pacheco (2007), The Seismic Alert system for Mexico City: An Evaluation of its performance and a strategy for its improvement, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 97, 1718-1729.
- Suarez G., D. Novelo, E. Mansilla (2009), Performance evaluation of the seismic alert system (SAS) in Mexico City: A seismological and Social Perspective, *Seismological Research Letters*, 80, 707-716.