

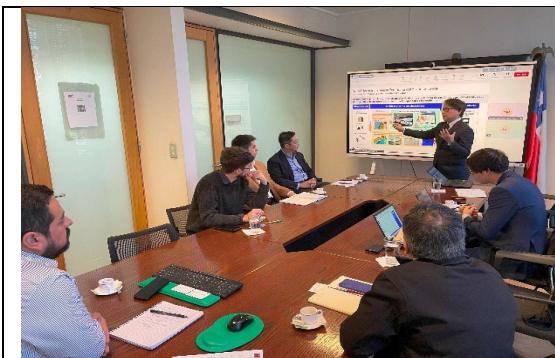
チリ共和国における
日本式地震早期警戒システム導入のための
マスタープラン策定等調査事業
報告書
【公開版】

2026年2月19日
日本電気株式会社

目次	
巻頭写真	3
地図	4
図表リスト	5
略語表	6
事業概要	8
1. 現状の評価及び課題特定	10
1.1. チリの地震発生履歴（地震課題の現状）と今後の予測	10
1.1.1 チリの気候・地形条件	10
1.1.2 チリにおける過去の主な地震発生状況	11
1.1.3 チリの地震発生における経済損失	13
1.1.4 チリの地震の特徴と被災地域の傾向	14
1.1.5 中南米・チリの潜在市場と日本との関係性	15
1.1.6 今後の予測：将来発生リスク評価	16
1.2. チリの既存の緊急地震速報の概要	18
1.2.1 緊急地震速報の整備にかかる背景	18
1.2.2 緊急地震速報の流れ	18
1.2.3 緊急警報システム（SAE）	20
1.2.4 地震警報および津波警報システムにおける主要機関の役割	21
1.3. チリの災害及び緊急地震速報にかかる関連制度及び法規制の状況	24
1.4. チリの緊急地震速報の活用状況と技術的課題	25
1.5. チリの緊急地震速報のニーズ及び需要	26
2. 今後のチリの計画及びその評価	28
2.1. チリの緊急地震速報の導入計画及び資金計画	28
2.2. 想定される解決策とその評価	30
2.3. 解決策に対する提案技術の概要と優位性	31
3. 解決策への案と具体的な戦略策定 【策定計画】	33
3.1. 目標設定	33
3.2. 想定されるMP概要	34
3.3. ステークホルダー分析	38
3.4. 導入のスケジュールおよびマイルストーンの検討	42
3.5. リソース/運用体制の計画	42
3.6. 課題とリスク対策	44
3.7. 波及効果の検討	46
4. 相手国政府・関係者への打ち込み	48
4.1. 早期地震検知・解析技術を本格導入するための課題の検証	48
4.2. 対象国その他中南米諸国における実導入に向けた実現可能性	50
5. 戦略実現のためのアクションプラン	53

< 卷頭資料 >

卷頭写真



国家防災対応局 (SENAPRED)
事業説明
2025年6月



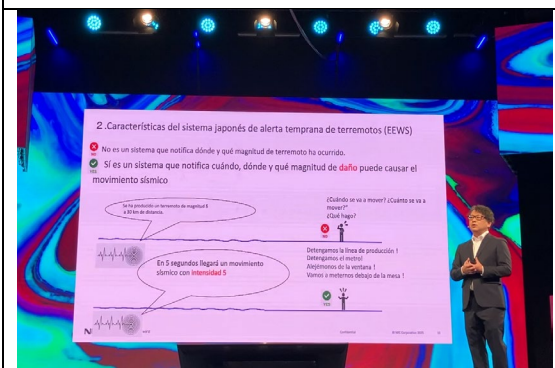
海軍水路海洋局(SHOA)
津波観測システムの視察
2025年10月



国家防災対応局 (SENAPRED)
SAE2.0 の説明
2025年10月



国家防災対応局 (SENAPRED)
マスタープラン (POC 実証) の説明
2025年10月

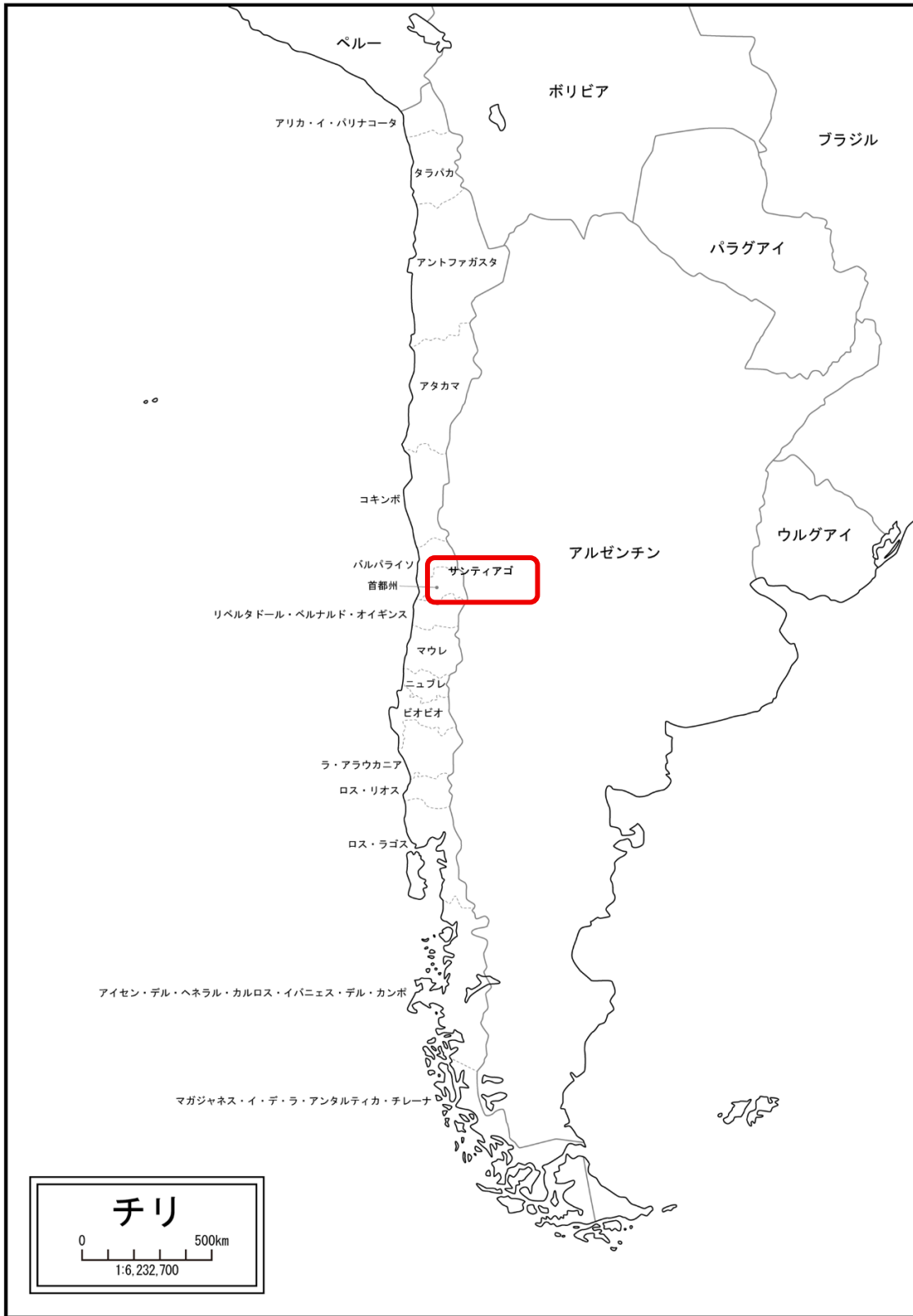


チリ未来会議
EWS の技術紹介
2026年1月



チリ保健省
EWS の展開可能性にかかる協議
2026年1月

地図



出典：【世界地図・sekaichizu】 sekaichizu.jp

図表リスト

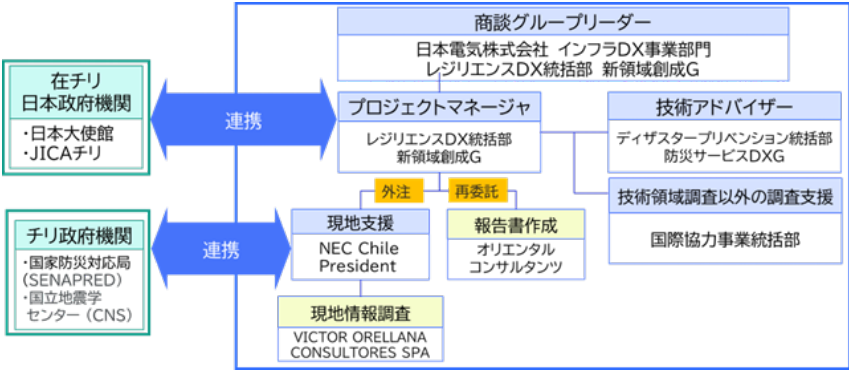
図 0-1	調査実施体制.....	8
図 1-1	チリの代表的地形区分（東西方向）.....	10
図 1-2	チリの気候区分と地形.....	11
図 1-3	災害統計データ（1900年～2011年の110年間）.....	12
図 1-4	災害種別平均年間損失.....	14
図 1-5	チリの震源地と被災都市の関係.....	15
図 1-6	チリの重大地震の発生場所（津波、死者、規模）.....	17
図 1-7	ONEMIによるプレゼンテーション.....	20
図 1-8	チリ防災関係機関.....	21
図 2-1	チリに適応した緊急地震速報のプロセス.....	28
図 2-2	EEWSの仕組み.....	32
図 2-3	EEWSにより期待できる防災ネットワーク.....	32
図 4-1	CSNの常設地震観測ネットワーク.....	48
図 4-2	環太平洋地震帯の展開国.....	50
図 4-3	地震計の位置と緊急地震速報を受けている9つの都市.....	52
図 5-1	SENAPRED・CSNと合意するPOC実証計画案.....	Error! Bookmark not defined.
表 1-1	チリで2010年以前に発生したM7.0以上の主な地震.....	12
表 1-2	チリの現状.....	27
表 2-1	チリに適応した緊急地震速報のプロセスと現状における課題.....	30
表 2-2	想定される解決策とその評価.....	30
表 3-1	マスタープランの基盤となる法律・規則.....	34
表 3-2	POC実証における実施事項.....	35
表 3-3	各アプローチの段階毎の流れ.....	38
表 3-4	POC実証及びEEWS採用に向けたステークホルダー.....	39
表 3-5	将来展開に向けたステークホルダー（民間を含む）.....	40
表 3-6	POC実証による実装計画.....	42
表 3-7	想定される主要なセクターと関心事項.....	44
表 3-8	想定される課題とリスク対策.....	45
表 4-1	EEWSがSAE2.0に適合するために満たされるべき技術要件.....	49
表 4-2	ペルー・コロンビアでのPOC実証.....	51
表 4-3	中南米での取組展開（例）.....	Error! Bookmark not defined.

略語表

略語	正式名称	日本語名称
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	東南アジア諸国連合
CDRI	Coalition for Disaster Resilient Infrastructure	災害強靱インフラ連合
CONAF	Corporación Nacional Forestal	国家森林公社
CSN	Centro Sismológico Nacional	国立地震学センター
DART	Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis	深海津波観測装置
DAS	Distributed Acoustic Sensing	分布型音響センシング
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil	民間航空局
DRR	Disaster Risk Reduction	国家災害リスク削減
EEW	Early Earthquake Warning	日本の早期地震警報
EM-DAT	Emergency Events Database	災害データベース
EWBS	Emergency Warning Broadcast System	緊急警報放送システム
FCFM	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas	チリ大学工学部
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球測位衛星システム
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
HFA	Hyogo Framework for Action	兵庫行動枠組
ISP	Internet Service Provider	インターネットサービスプロバイダー
ONEMI	Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior	国家緊急事態局
OVDAS	Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur	南アンデス火山観測所
POC	Proof of Concept	概念実証
PRV	Programa de Riesgo Volcánico	火山危険対策部局
PTWC	Pacific Tsunami Warning Center	太平洋津波警報センター
SAE	Sistema de Alerta de Emergencia	緊急警報システム
SENAPRED	El Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres	国家防災対応局
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería	鉱業省地質鉱山局
SHOA	Servicio Hidrografico y Oceanografico de la Armada	海軍水路海洋局
SMS	Short Message Service	ショートメッセージサービス
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction	国連国際防災戦略
USGS	United States Geological Survey	米国地質調査所

VHF	Very High Frequency	超短波
VPN	Virtual Private Network	仮想プライベートネットワーク

事業概要

1. 案件名	チリ共和国における日本式地震早期警戒システム導入のためのマスタープラン策定等調査事業
2. 対象国	チリ国
3. 本調査の目的	チリ共和国における日本式地震早期警戒システム導入のためのマスタープラン策定等調査事業（以下、本事業）は、中南米・チリ共和国（以下、チリ）において地震による社会的脆弱性の対策を推進するため、現地関係機関との連携強化および日本の先進的な地震対策技術の提案・導入可能性を調査・検討することを目的とする。最終的にはチリにおける地震防災マスタープラン策定と、効果的な防災システムの普及・実装を目指すとともに、同国での日本技術の展開を契機に、中南米全域への水平展開も視野に入れる。
4. 調査実施体制	<p>本事業の調査実施体制を図 0-1 に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現地調査のために NEC チリ S.A へ外注を行い、調査業務全般にわたり、現地での資料収集、関係機関とのアポイント補助および主要関係者との連絡調整、インタビュー実施等、本調査事業を円滑に実施する。 ・日本側関係機関として、本事業を行う経済産業省、在チリ日本大使館、JICA チリがあり、それぞれ調査の報告を行う。 ・チリ側関係機関として、内務省、財務省、国家防災対応局 (El Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres : 以下 SENAPRED と略す)、国立地震学センター (Centro Sismológico Nacional: 以下 CSN と略す) を中心に、必要関係機関への訪問、ヒアリングを行う。  <p style="text-align: center;">図 0-1 調査実施体制</p>
5. 調査内容	<p>本事業では、主に以下の事項について調査・検討を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・チリの地震災害リスク・防災対策状況の把握および課題整理 ・日本の早期地震警報（Early Earthquake Warning : 以下、EEW と略す）システムおよび関連技術の導入可能性の現状分析 ・チリ政府関係機関との連携構築による現地ニーズ調査 ・主要都市・リスク地域における現地視察とネットワーク構築 ・日本技術導入に向けた法的・技術的課題の特定と対応策検討

	<ul style="list-style-type: none">・防災関連機関の連携強化、観測網強化、防災情報ネットワークの整備アクションプラン・調査成果に基づく防災マスタープラン案の作成
--	---

1. 現状の評価及び課題特定

1.1. チリの地震発生履歴（地震課題の現状）と今後の予測

1.1.1 チリの気候・地形条件

チリは西を太平洋、東をアンデス山脈によって隔てられた極めて幅の狭く南北に 4,500km を超える細長い国土を持つ。ゆえに、チリは気候的、地形的には他国に無い特色がある。

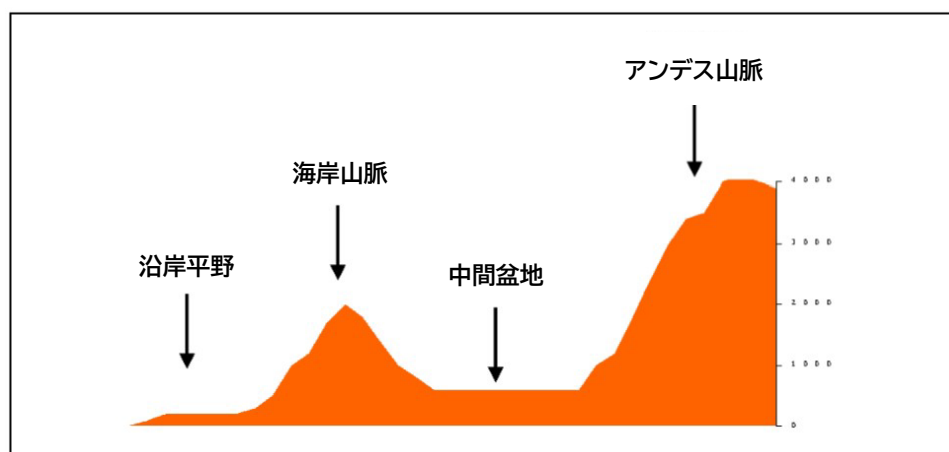
気候条件は、北端が南緯 18 度付近、南端が南緯 50 度を越え、細長い国土を有するため、様々な気候がその地域毎に存在する。北端は主に砂漠気候でありアタカマ砂漠に代表されるような雨が極めて少ない気候である。この地域で雨が降るのは”ボリビアの冬”と呼ばれる気象現象による主に冬季に降る降雨が数年周期である程度である。

中部及び中南部地域は、主に地中海性気候が支配的な冬季に雨が降る平均気温が約 15~20 度の温帯に属する地域であり、農業等に適した気候である。

南部になると亜寒帯気候が広がり平均気温は低いが多量の雨が降る気候区分となる。最南端部はツンドラ気候となり冬季は全ての降雨が雪となる極めて寒い地域である。また、アルゼンチンやボリビアとの国境周辺はアンデス山脈の高山気候となる。

チリは、一般的に東西に下図に示すような地形区分を持っている。最も西にある地形は海岸平地部であり、太平洋と海岸山地によって挟まれている。この地形は、北はペルー国境から形成され、南端は Chiloe 島（Puerto Montt 周辺）まで非常に細長く存在し中部から南部にかけて幅が広がる。

海岸山地は Arica の南部から形成される南北に縦貫する山地であり、一旦中部でその標高を低くするが南部でまた標高を高くする（Nahuelbuta 山地と呼ばれる）。この山地は Punta Arenas 周辺で海岸線に合わせ標高を低くしていく。中央部低地帯は海岸山地とアンデス高地に囲まれた低地であり、最も人口が多く住む地域である。アンデス高地はアルゼンチンとの国境を成し南端までその高さを維持する。



出典：SALA DE HISTORICA を基に調査団作成

図 1-1 チリの代表的地形区分（東西方向）



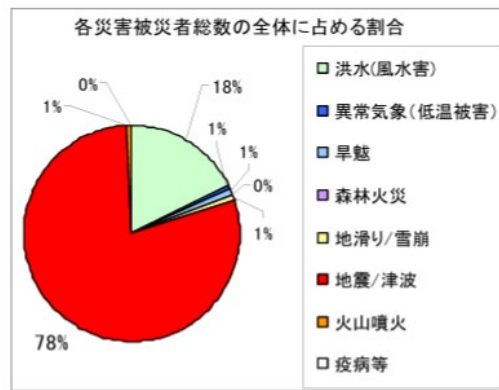
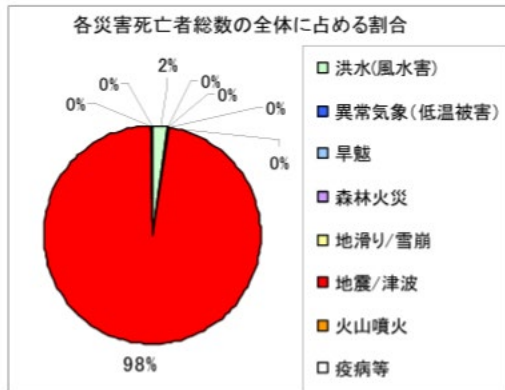
出典：<https://www.icarito.cl/2009/12/46-8709-9-climas-de-chile.shtml/>
<http://www.vidiani.com/large-detailed-topographical-map-of-chile/>

図 1-2 チリの気候区分と地形

1.1.2 チリにおける過去の主な地震発生状況

国連国際防災戦略（UNISDR）では、過去に兵庫行動枠組（HFA）に基づく 2015 年までの 5 つ優先課題（地震、津波、早魃、洪水、地滑り）に対するリスク評価のうち、地震において、被影響住民の割合が 21.39%（世界ランキング 5 位/153 か国中）、被影響 GDP の割合が 24.95%（世界ランキング 5 位/153 か国中）であった。チリの多くの住民と資産が地震による災害に対して、他の国々と比較して大きなリスクに晒されている。

世界の大規模災害に関するデータを集めたデータベースである EM-DAT 統計データによると、チリの災害は洪水、地震・津波の頻度が圧倒的に多く、ついで森林火災、火山災害、異常低温が続いている。死者数では地震・津波が全死者数の 98%と大部分を占め、残りの 2%が洪水被害によるものである。被災者数でも地震・津波が全被災者数の 78%と大半を占めている（下表参照）。



出典：JICA「包括的防災情報システムと早期警報システムに係る基礎情報収集・確認調査」
 図 1-3 災害統計データ（1900年～2011年の110年間）

チリにおける1730年以降のマグニチュード6.0以上の地震は、下表に示すように25回記録されている。チリで起こる地震は、完全に町が破壊されてしまう規模の巨大地震が繰り返し発生している。

表 1-1 チリで2010年以前に発生したM7.0以上の主な地震

日時	場所	マグニチュード*	地震による死者(*1)	地域区分
1730 07 08	Valparaiso	M 8.7	5	中部
1835 02 20	Concepcion	M 8.2	500	南部
1868 08 13	Arica	M 9.0	25,000	北部
1877 05 10	Offshore Tarapaca	M 8.3	34	北部
1906 08 17	Valparaiso	M 8.2	3,882	中部
1922 11 11	Chile-Argentina Border	M 8.5	-	-
1928 12 01	Talca	M 7.6	225	中部
1939 01 25	Chillan	M 7.8	28,000	中部
1943 04 06	Illapel - Salamanca	M 8.2	25	中部
1960 05 21	Arauco Peninsula	M 7.9	-	中部
1960 05 22	Valdivia	M 9.5	1,665	南部
1965 02 23	Taltal	M 7.0	1	北部
1965 03 28	La Ligua	M 7.4	400	中部
1971 07 09	Valparaiso region	M 7.5	90	中部
1985 03 03	Offshore Valparaiso	M 7.8	177	中部
1998 01 30	Near Coast of Northern Chile	M 7.1	-	北部
2005 06 13	Tarapaca	M 7.8	11	北部
2007 11 14	Antofagasta	M 7.7	2	北部
2010 02 27	Offshore Bio-Bio	M 8.8	577	中部

*1: USGRの資料には明記されていないが、津波による死者が含まれている。

出典：USGS http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_country.php
 Centro Sismológico Nacional

上記の記録のように、過去約 300 年間チリの付近で発生する大規模地震は、中部において多く発生しており、次いで北部での発生数が多く、南部での発生は少ない。また、最近の研究ではペルーとの国境に近い最北部において大きな地震発生の空白地帯があり、この付近での大きな地震の発生が危惧されている。例えば、上表には記載がないが、1877 年と 2014 年にチリ北部で発生したイキケ地震や、大規模な津波を引き起こし広範な沿岸地域に影響を及ぼした 1968 年のアリカ地震は、その代表例で歴史的にも有名である。

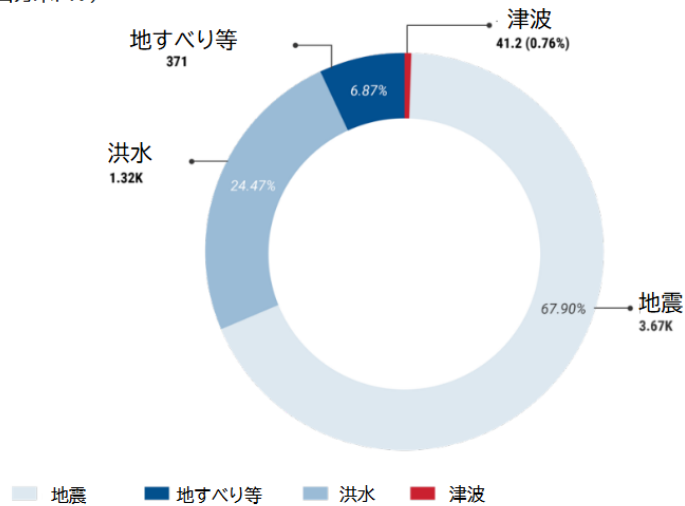
その他の歴史的に代表的な地震として、1960 年のバルディビア地震は、マグニチュード 9.5 を記録した。世界で観測されたなかでも最大級の地震であり、1,600 人以上の犠牲者を出した。2010 年のコブケクラ地震は、マグニチュード 8.8 を記録した。チリ中南部の広範囲に被害を及ぼし、緊急対応および津波警報体制の深刻な脆弱性が明らかとなった。1730 年と 1906 年に二度にわたり発生しているバルパライソ地震は、両地震を合わせて 6,800 人以上の死者が記録されている。

1.1.3 チリの地震発生における経済損失

特に、1960 年のバルディビア地震は、観測史上最大規模の地震とされ、5,700 人が死亡し、当時の推定で 5 億 5,000 万米ドルの経済損失をもたらした。また、2010 年に発生したマグニチュード 8.8 の大地震は、チリの海岸地域に大きな被害をもたらした。中南部の 6 州のサンティアゴ、バルパライソ、コンセプションを始め 50 都市、900 市町村が影響を受け、死者 524 名、行方不明 31 名、国の人口の 75%にあたる 1,280 万人が影響を受け、被災地域は面積 14.7 万 km² に及んだ。多数の施設被害も発生しており、22 万戸の住宅が破壊され、4,538 校の学校、57 の医療機関、多くの公共施設（道路・橋梁、港、灌漑施設等）が被災している。この地震でチリ国内全ての情報システムが影響を受け、緊急対応プロセスが機能しなかった。その結果、チリ第 2 の都市コンセプションでは、被災後 2 日間は全く情報が途絶え、最初の支援が到着したのは被災後 4 日目、周辺都市の支援は更に遅れ、多数の被災者が水・食料の支援が得られなかった。経済的損失額は 300 億ドル（GDP の 17%）に及んだ。

CDRI のデータによると、チリにおける災害による年間平均損失額は 45 億米ドル（国内総 GDP の約 1.5%に相当）で、中でも地震が最も大きな被害をもたらしており、早期警報のあり方が求められている。

複合災害による年間平均損失
(単位:百万米ドル)



出典：チリ共和国におけるインフラ強靱化のためのロードマップ
<https://www.undrr.org/media/105606/download?startDownload=20250623>

図 1-4 災害種別平均年間損失

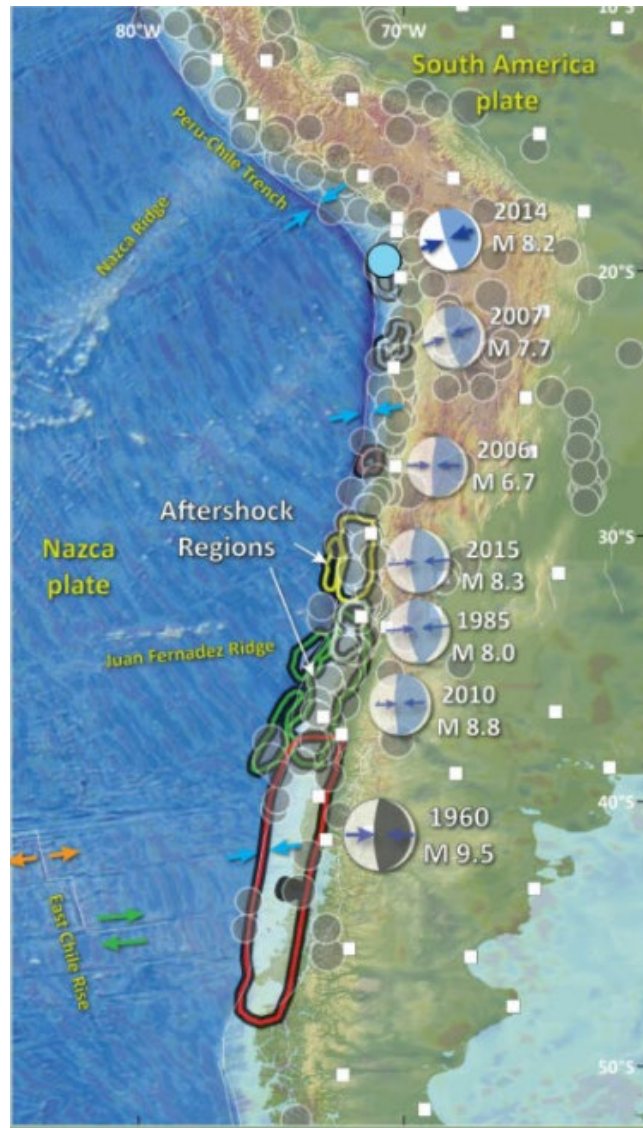
1.1.4 チリの地震の特徴と被災地域の傾向

南米の太平洋岸の国々には、南北にアンデス山脈が連なっている。同山脈は、この地域の下部に存在するプレートが南米大陸を押し上げ続けることで形成されたものである。現在でも太平洋側からのプレートの力が南米大陸に加わり続けており、アンデス山脈は成長を続けている。

ナスカ海洋プレートと南アメリカプレートの間に位置するチリは、大地震が発生しやすい。これらの地震は比較的頻度は低いものの、マグニチュード、深度、土壌特性などの要因により、甚大な被害をもたらす。チリの地図と過去の震源地の比較図の通り、震源地はアンデス山脈の周辺に集中している（下図参照）。

チリの大都市はアンデス山脈周辺に位置しており、日本と同様に地震が頻発する同国にとっては、地震による被害を最小限に抑える技術の導入は喫緊の課題である。

チリは、災害に対する新たな防災対策も確実に進めている。災害リスクを軽減し、強靱性を強化することで、「仙台防災枠組 2015-2030」の達成を目指している。



出典：M 8.2 earthquake in northern Chile - Jay Patton online

図 1-5 チリの震源地と被災都市の関係

1.1.5 中南米・チリの潜在市場と日本との関係性

中南米（ラテンアメリカ）は、市場規模が ASEAN の約 1.6 倍、GDP が ASEAN の約 2.5 倍と経済成長のポテンシャルがある地域である。豊富な重要鉱物や食料資源があるだけでなく、全世界で 500 万人いる日系人のうち約 6 割（310 万人）が中南米に居住している。

我が国は、中南米地域の各国との間で貿易・投資分野を含めた幅広い協力関係の強化を推進し、相手国とともにエネルギー転換・脱炭素化を軸とした新たなビジネスの創出を促進することで、我が国のプレゼンスを高めるとともに地域の安定、ひいては重要鉱物・食糧資源の安定供給の確保を図っている。

チリは、銅が世界第 1 位の埋蔵量及び生産量を誇る。チリ国内において銅は主要産業として位置づけられ、2023 年の GDP のうち鉱業は全体の 11.9%、銅は 8.7% と約 10% を占める。日系人は 3,000 人と中南米の他国と比較すると少なめだが、ブラジル・ペルーからの流入も多く、輸入規制も比較的少ないため、中南米進出の玄関口とされている。

「中南米の優等生」として、経済と政治においてラテンアメリカトップの安定性をもつ国とし

て、国際的に評価が高く、財政金融面の健全性は南米ナンバーワンである。チリは我が国と資源産出・資源輸入という観点から基本的な価値を共有する戦略的パートナーであり、同国は我が国にとり重要な資源供給国の1つである。我が国は、これまで20年以上にわたり、チリと連携して第三国への支援（三角協力）を推進し、その成果は中南米各国から高く評価されている。

1.1.6 今後の予測：将来発生リスク評価

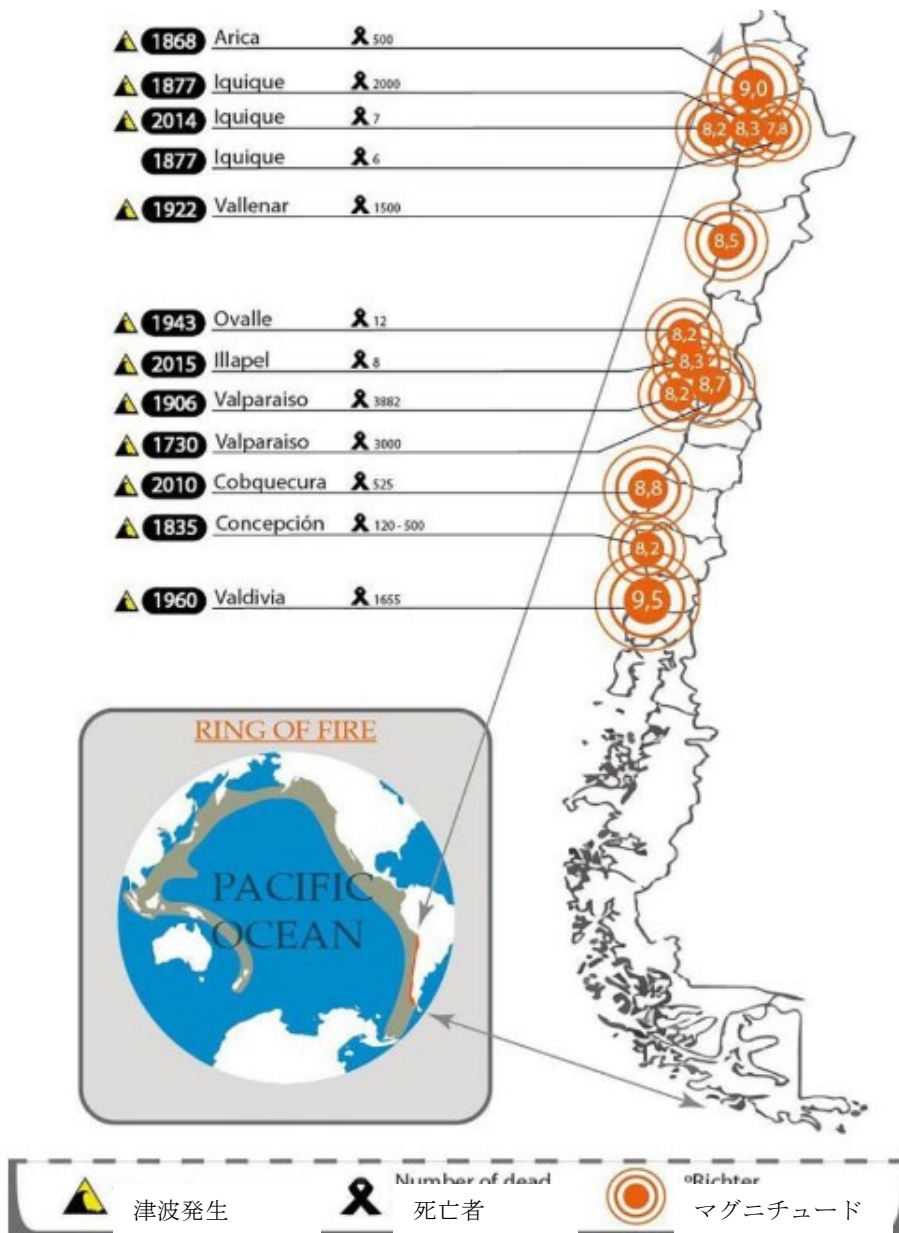
チリは、ナスカプレートの沈み込み帯に位置しているため、過去10年間でも顕著な地震活動が発生している。主な地震として、2014年4月1日に北部イキケで発生したマグニチュード8.2の地震と、同年4月3日のマグニチュード7.6の余震、2015年9月16日に中北部イヤペルで発生したマグニチュード8.4の地震、そして2016年12月25日にチロエ島沖（メリンカ）で発生したマグニチュード7.6の地震がある。

さらに近年では、2024年7月にアントファガスタ州サン・ペドロ・デ・アタカマ付近でマグニチュード7.4の地震が、2025年5月にはプエルト・ウィリアムスの南方218kmのドレーク海でマグニチュード7.5の地震が発生した。これらの地震は、物的損害や停電、沿岸地域での津波警報の発令を引き起こしたが、いずれの事例においても死者は報告されていない。また、チリ北部ではマグニチュード3以上の小規模な地震が日常的に数百回発生している。

下図は、チリの歴史上、特に規模の大きかった地震12件の地理的分布を示している。これらの地震の多くは、マグニチュード8以上であり、その発生場所は、地球上で特に地震活動が活発な「環太平洋火山帯」に位置するため、チリ沿岸全域にわたる長期的な地震のリスクにさらされている。また地質構造と密接に関連しているといえる。地震が特定の地域で繰り返し発生する構造的な背景があり、現在も活動的で将来的に破壊的な地震が発生する可能性のあるテクトニック微動によるスロー地震の蓄積地域をも示している。

ナスカプレートが南アメリカ大陸の下に沈み込んでおり、これまでの歴史的に繰り返し発生する地震の傾向に基づき、将来的な大規模地震の再発が予測されている。チリ大学の国立地震学センター（CSN）の直近の研究に基づく、マグニチュード8以上の地震は約12年ごとに発生する傾向があると言われている。CSNのセルヒオ・バリェントス所長は、最後の大規模なマグニチュード8以上の地震は2015年のイヤペル地震であったことから、時間の経過とともに新たなマグニチュード8以上の地震発生の確率が高まっており、2026年に同規模の地震が発生する確率を65%と見積もっている。地理学者や地震学者も、チリ北部のイキケとメヒジョネスの間など「特にひずみが蓄積している地域」にて、マグニチュード8を超える地震が発生する可能性が高いと警告している。

現在の研究においても、チリ及び沿岸諸国がそのプレート間のテクトニックな結合帯の地震再発の法則に基づき、今後数十年にわたり大規模地震の発生を続けると将来予測されている。中南米及びチリは、将来市場として潜在的なポテンシャルがありながらも、地震やそれに伴う津波等の被害による発展阻害となるリスクを常に抱えている。



出典：Research Gate

図 1-6 チリの重大地震の発生場所（津波、死者、規模）

1.2. チリの既存の緊急地震速報の概要

1.2.1 緊急地震速報の整備にかかる背景

チリでは年間約 5,000 回の地震が発生しており、国立地震学センター（CSN）が技術機関として、地震情報の検知、分析、報告を担っている。CSN には、高度な技術機器の整備とチリの地震観測ネットワークの強化と近代化を目的として、2013 年 3 月に技術更新のための投資がなされた。本取組は、2012 年 12 月にチリ大学工学部（FCFM）と国家緊急事態局（ONEMI）との間で、主に国家の利益のためにチリ大学が遂行すべき運用業務として、迅速かつ正確な地震情報の提供が明確に定められた戦略的協定の締結に基づくものであった。

この結果、CSN はより正確かつ迅速なデータの提供を可能とする技術拡充がなされ、学術研究への貢献及び地震に強い建築基準の最適化にも寄与することになった。

2013 年以前は、全国の地震観測ネットワークは 70 台の観測局と 40 台の GPS 機器しか保有していなかった。新たな投資により、400 台を超える機器が追加され、これらは以下の 3 つの規模で分布する地震観測システムの一部となっている。

- ・ 65 箇所にて、新設の地震観測局が設置され、それぞれに広帯域地震計、加速度計、GPS が装備された。
- ・ 297 台の独立した加速度計が追加で設置された。
- ・ 65 台の補助的な GPS 機器が導入された。

この整備されたネットワークは、アリカからプエルト・ウィリアムスまで、さらにファン・フェルナンデス諸島やチリ南極領土を含む海洋島嶼部までをカバーしている。この取組により、地震情報の処理の精度、正確性、速度が大幅に向上し、より早期で信頼性の高い警報発令能力が強化された。

1.2.2 緊急地震速報の流れ

現在のインフラおよび早期警報システムは、2013 年に CSN と SENAPRED（国家防災対応局）により導入されたものである。検知、警報、事後解析の 3 段階において機能している。

検知

地震観測局から検知されたデータは、リアルタイムで CSN の処理センターに送信される。通信の継続性を確保するために複数の冗長化された通信経路が使用されており、各観測局は複数のインターネットプロバイダーを通じて情報を送信するとともに、一部は衛星回線や代替ネットワーク（例：民間航空局（DGAC）のネットワーク）も利用している。

地震波が検出されると、CSN の自動処理システムが受信した波形を解析し、その信号が実際の地震に該当するかどうかを判定する。この過程では、局所的な雑音や非地震性振動と区別する作業が含まれる。確認が取れると、システムは地震の震源地（震央）、震源の深さ、マグニチュード、発生時刻、および各地域で予測される震度を推定する。

これらの計算は自動化されたアルゴリズムによって行われ、チリ大学にある CSN 中央事務所の高速計算インフラにより、発生から数秒以内に検証される。事象が事前に設定された閾値（例えば、マグニチュード、人口密集地への近接性、影響の大きさなど）を超えた場合、その情報は即座に SENAPRED に送信される。

警報

警報の伝達段階においては、CSN が潜在的に被害をもたらす地震の発生を確認すると、検証済みの地震データが直ちに SENAPRED に送信される。SENAPRED は緊急警報システム (SAE) を起動し、リスク地域の住民に迅速に情報を伝達する。

これと並行して、テレビやラジオの割り込み放送、津波多発地域を中心とした戦略的な場所での公共サイレン、さらには SENAPRED のアプリや公式ウェブサイト、ソーシャルメディアなどのデジタルプラットフォームでも警報が発信される。これら複数の手段により、包括的かつ冗長な情報伝達が実現され、悪条件下においても住民が迅速に警報を受け取れる可能性を高めている。

同時に、重要インフラおよび公共機関では、事前に定められた緊急プロトコルが発動されることになっている。例えば、サンティアゴ地下鉄 (Metro de Santiago) などの都市交通システムは、地震の閾値を超えた際に列車を停止させ、脱線や事故を防止する。緊急サービス、病院、消防は、推定される被害の程度や影響範囲に応じて待機態勢やトリアージ体制に入る。鉱業、エネルギー、製造業などの高リスク事業者は、自動または手動で設備を停止し、従業員の安全確保および危険事象の防止を図る。これらの対応はリアルタイムのデータ共有契約および標準作業手順に基づき、SENAPRED が民間および公共の関係者と連携しながら調整している。さらに、空港、港湾、交通の要所にも直接警報が送られ、運航停止、ターミナルの避難、緊急対応チームの準備が行われる。

事後解析

最後の段階として、事後解析がある。即時対応の後、CSN および SENAPRED は地震の詳細なパラメータ、被害報告、および連鎖的影響の可能性を評価する。震源が海底または沿岸近くにある場合、海軍水路海洋局 (SHOA) が潮位計、沿岸センサー、DART (深海津波観測装置) からのデータを用いて津波の発生可能性を評価する。津波の脅威が認められた場合、SHOA は公式な津波警報を発令し、その情報は同じく SAE システム、自治体のサイレン、沿岸の拡声器、そして地元自治体が管理する避難誘導標識を通じて住民に伝達される。同時に、地理空間データ、ソーシャルメディア解析、現地報告を活用して被害状況のマッピングと対応の優先順位付けが行われる。この段階では、必要に応じて各省庁、地方政府、国際支援機関との調整も実施される。これらの取り組みは即時の被害対応にとどまらず、今後の対応能力の向上やチリの国家リスク軽減枠組みの更新に資する教訓の抽出を目的としている。



出典：国家緊急事態局（ONEMI）による下院緊急事態・災害・消防委員会へのプレゼンテーション（2022年11月22日）

図 1-7 ONEMI によるプレゼンテーション

1.2.3 緊急警報システム（SAE）

SAE は、国内の携帯電話事業者（Entel、Movistar、WOM、Claro）を通じて、リスク地域にいる電源オンかつ電波のある携帯電話に警報メッセージを送信する仕組みである。2012 年から運用が開始され、2014 年以降は津波警報や山火事、予防的避難などでの活用が進んでいる。SENAPRED のプロトコルに連動し、国家早期警報センターから自動または手動で発動される。

同システムは、主にセルブロードキャスト技術を利用しており、ネットワークの混雑状況や端末の機種に関係なく、定められた地理的区域内のすべての携帯電話に同時にメッセージを送信できる（SAE 対応端末に限る）。同技術は、携帯電話などの移動体通信端末に対して、災害情報や公共安全に関する情報を、特定の地域にいるすべての端末に一斉に送信するシステムである。SMS（ショートメッセージサービス）とは異なり、特定の宛先を指定せずに、特定のエリア内のすべての端末にメッセージを送信することが可能なため、遅延がなく、従来の通信回線が混雑している場合でも利用者に届く特徴がある。

SAE は、対応する携帯電話に対して最大 90 文字のメッセージを少なくとも 3 分間送信できる仕組みとなっている。加えて、SHOA 及び自治体による可変情報表示板や津波警報用の沿岸サイレン、緊急警報放送システム（EWBS）を通じたラジオや（デジタル）テレビの信号、農村地域における VHF ラジオを用いた警報、Sismos Chile や SkyAlert といった市民向けの地震管理アプリも活用されている。SAE を基幹として、観測機器（地震計や GPS）による地震計測ネットワークと、インターネット、衛星、ラジオ、携帯電話信号などの伝統的な通信手段を組み合わせ、地震発生の際に迫った危険を迅速に国民へ伝えている。

自然現象による緊急事態や大規模な停電、または災害発生時においては、法律第 18,168 号により、電気通信の免許権者、許可権者、またはライセンス保持者は、その技術システムの範囲内で

かつ、免許や許可に基づく技術規則で定められたサービス品質に影響を与えない限り、同法でこの権限を付与された機関から委託された警報メッセージを無償で送信する義務がある。これは政府機能の遂行、特に調整、防止、および緊急事態における影響軽減を可能にすることを目的としている。SAE は、津波リスク、大規模地震、火山噴火、住宅に脅威を及ぼす森林火災などの際に発せられ、互換性が認められた SAE 対応の携帯端末への情報を送信する。この大規模警報は、地理的に特定された地域に自動的にテキストメッセージとして配信され、携帯ネットワークの混雑状況に左右されないよう、代替周波数チャネルを使用して安全に端末へ届けられる仕組みとなっている。

対応時間については、激しい揺れが影響地域に到達するまでに警報が出されるまで数秒程度しかない。警報時間の延長は震源からの距離に依存しており、震源近傍（20～30km）では警報時間が非常に短い一方で、200～300km 離れた場所では比較的長くなる可能性がある。たとえ数秒であっても、その時間は非常に貴重であり、病院の手術中断、教室の避難、列車の減速などの措置を可能にする。

海底光ファイバーケーブルを用いた振動検知（DAS: 分布型音響センシング）などの異例のセンサーも試験導入されており、これにより津波の初期波を検知して警報の時間を数秒延長できる可能性がある。

1.2.4 地震警報および津波警報システムにおける主要機関の役割

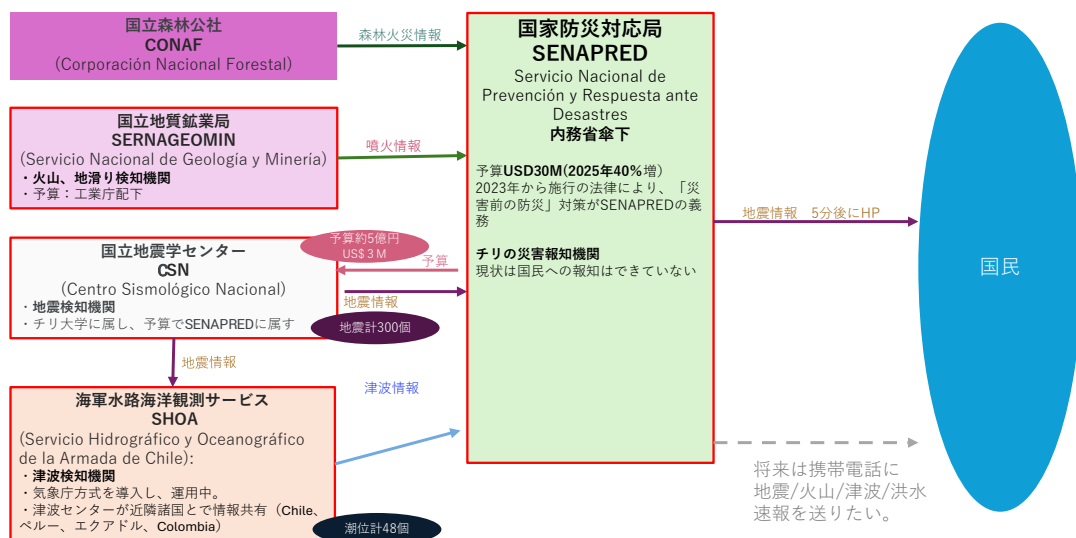


図 1-8 チリ防災関係機関

1. 国家防災対応局（SENAPRED）

災害予防・対応のための SENAPRED は、国家災害予防・対応システム（SINAPRED）を統括する機関である。SENAPRED の前身である ONEMI と同様に内務省の下部機関であり、防災に関する国家レベルの責任機関として、2021 年に SENAPRED となってからも、以下のミッション、ビジョンと戦略、活動内容が引き継がれている。

- ・ ミッション：自然現象及び人為的に発生する災害リスクが高くなった場合、緊急時、実際の

災害時及び大事故時等におけるそれらの復旧、緊急対応及び予防活動を計画、促進し、連動させること及び実際にそれらを実行することである。

・ビジョンと戦略：国家、州、県、市町村の各レベルにおける持続可能な開発計画におけるリスクの管理とマネジメントを適切に連携させ国民の生活向上に資することである。このため、「国民の安全を保障し彼らとその家族の保護を提供する」というチリ国憲法第一条第一項に示される国家の行動規範によって行われる。これは「市民保護」と言う言葉が”共助や高い雇用機会等を考慮すべきよく整理された計画を通し、自然現象及び人為的等あらゆる災害から国民の生命と資産及び環境を守る”と言う世界的に定義されていることと一致する。この「市民保護」を国家的に提供する中央管轄所管は内務省であり、このために省内に組織されている。

・活動内容：防災担当機関の技術的支援と県・市町村への物資提供を通し自然現象や人為的な災害時に国家と地方自治体の防災リソース管理を強化し、連携させ、調整することである。また、市民の安全と保護のより良い提供のため、リスク管理、適切な警報と危機管理活動において国家レベルや市民レベルと言った各機関や人材に対し、助言、教育及びそれらの市民保護に係わる形成を行うことも活動内容の1つである。

その使命は、緊急時における公的および民間の関係者を調整することである。地震に関してはCSN および SHOA から技術的情報を受け取り、SAE などの手段を通じて迅速に国民へ情報を伝達する責任を負う。また、避難や緊急サービスの介入が必要な場合には、関係機関の対応を起動させるための連絡窓口としての役割も果たす。

一方、本法第 39 条によれば、SENAPRED はリスクサイクルのすべての段階において、国、地域、省、地方のすべての機関から取得した関連情報を統合することを目指す。このシステムは以下を満たさなければならない。

- ・法律により秘密保持が定められている情報を除き、災害リスク管理に関連するすべての情報への無制限のアクセスを許可すること
- ・国、地域、省、自治体レベルでの災害リスク管理に関する情報の管理のための基準、プロトコル、技術的解決策、およびプロセスを適応、採用、促進すること
- ・国内の脅威、脆弱性およびリスクの監視のための情報および相互作用要素の生成に寄与すること
- ・法律に基づく秘密保持または機密保持の理由がない限り、災害リスクサイクルのすべての段階にて、国、地域、省、自治体レベルであらゆる種類の情報を公開すること
- ・被害統計や使用された能力、行動、資源に関する情報に対応すること
- ・情報の作成、共有、利用に関し、共同かつ部門間の連携作業を優先すること

2. 国家森林公社 (CONAF)

国家森林公社 (CONAF) は、農業省の下にある独立行政法人で産業森林のサポート環境保護、

国立公園の維持管理、災害（火災など）対策を実施している。森林火災が発生した場合に対応しなければならない責任機関であり、1982年のCONAFの責任について記述する内務省省令(D.S.No.733)の第2条によってその森林火災時の責任が規定されている。一方、2002年3月12日に内務省省令(D.S.156)によって、ONEMIの防災上における森林火災時の早期予警報等に関する責任が明記されている。

森林火災時におけるCONAFとSENAPRED（旧：ONEMI）の役割と連携は、定期的に更新される両者で交わす覚書によって詳細に規定されている。覚書によると、CONAFは、チリ国内の森林資産を守るために森林火災を防ぎ、消火活動を行う事となっており、住民の土地と安全及び資産の確保に貢献することになっている。民間の土地に関しては、大規模経営されている企業と個人は彼ら自身である程度の防災システムが整備されていることから特に小規模から中規模経営の農業と森林についてその責任を持っている。

3. 鉱業省地質鉱山局（SERNAGEOMIN）

SERNAGEOMINは、鉱業省の地質・地層分析を担当している。1980年11月26日に公布された法律（Decree-Law No.3525）によって、火山の観察・モニタリング活動（24時間体制）を実施する同省所属の南アンデス火山観測所（OVDAS）を通して、火山噴火の予警報に対する責任を有する。また、火山危険対策部局（PRV）を設立し、火山危険マップの作成、活火山における地質学的研究と危険性評価を行う。火山噴火時及びその可能性がある場合に、SERNAGEOMINとSENAPRED（旧：ONEMI）の役割と連携は、定期的に更新される両者で交わす覚書によって詳細に規定されている。覚書では、SERNAGEOMINはOVDASをその主専門機関とし、1年間を通し365日24時間、チリ国民の安全を脅かす火山活動の変化を察知して関連機関に警戒・警報を発信できるように火山噴火活動のモニタリングを行い、永久的な予警報システムを維持することが定められている。PRVは火山危険度マップの作成、活火山における地質学的研究と危険性評価を行う機能を有する。

他の防災に関する活動として、SERNAGEOMINは、チリ主要7都市（サンティアゴ、テムコ、アントファガスタ、プエルトモンテ、オソルノ、バルディビア、コンセプション）の地すべり、洪水危険地域、津波浸水区域、地盤・土質、地下水汚染、液状化危険度についてリスク・マップを作成している。

4. 国家地震学センター（CSN）

CSNは地震情報の検知、解析、報告を担う技術機関である。2013年に開始された技術革新により、重要な地震に関しては5分以内にマグニチュード、震央、震源深さの速報値を報告できる体制が整っている。これらの情報はSHOAやSENAPREDへ提供され、迅速な意思決定に利用される。

5. 海軍水路海洋局（SHOA）

SHOAはチリにおける津波警報の発信機関である。CSNおよびハワイの太平洋津波警報センター（PTWC）と連携して運用されている。地震発生後数分以内に、震源位置、マグニチュード、

深さなどのパラメータと、米国地質調査所（USGS）が開発した W フェーズモデルを用いて、大規模地震の迅速なマグニチュード推定を行い、津波発生の可能性を評価し警報を発する機能を担う。

1.3. チリの災害及び緊急地震速報にかかる関連制度及び法規制の状況

近年、チリは災害管理の法的枠組みを強化している。2021年8月に法令第21,364号が施行され、これにより旧 ONEMI は廃止され、新たに SENAPRED が創設された。本法は早期警報システムを、地震等のリスクがある個人や地域社会に対して、適時に情報を生成して伝達するために必要な能力の集合体として定義している。また、SENAPRED は全国に国家早期警報ユニットを設置し、さらに各地域にも最低1つずつユニットを設置して、技術機関のデータに基づきリスクを継続的に監視し、適切な警戒状態を宣言する責任を負うことを規定している。

同法令第21,364号は、緊急管理システムのすべての機関間で情報が常に流通させることも定められ、統合的かつ強固な国家通信システムの構築を求めている。このシステムには、SENAPRED の指揮のもと、法律にて組織されたアマチュア無線ネットワークの利用調整が含まれており、主要通信網が障害を起こした場合にも代替の通信経路が確立されることを保証されるものとなっている。

機関間のプロトコルにおいては、SENAPRED、SHOA、CSN が共同協定を締結している。2023年10月31日には、法令第21,364号の適用範囲および最近の技術的進歩を盛り込んだ更新版の三者間プロトコルが署名された。本プロトコルでは、地震および津波警報の発信調整に関する役割と手続きを定めており、SHOA による情報公表までの最短時間や、SENAPRED による住民への地震リスクにかかる情報の伝達タイミングなどを明確化している。例えば、SENAPRED は津波脅威に関する技術情報を CSN に随時要求できることが規定されている。

チリは、2015年から2030年の仙台防災枠組みなどの国際的なリスク管理枠組みに整合させ、包括的な公共政策を実施している。これらの政策には、ハザードマップの義務化、計画策定、および地域の能力強化を強調する「国家災害リスク削減（DRR）政策2020-2030」が含まれている。

法令第21,364号および関連規則に基づく現行のチリの規制枠組みは、複数の技術機関や関係メディアの情報を取り入れた国家早期警報システムの法的基盤を提供している。

1.4. チリの緊急地震速報の活用状況と技術的課題

チリの通信プラットフォームは、従来のネットワークと専門的な緊急システムの両方が利用されている。遠隔観測所からの信号はインターネット経由、場合によっては衛星通信を介してデータセンターに送信される。公共放送には早期警報システムが使用され、対応可能な携帯電話へ緊急メッセージを送信するほか、津波警報用の沿岸サイレン、AM/FM ラジオ、地上波テレビ、SENAPRED および SHOA の公式ソーシャルネットワークなどの従来型の大量伝達チャンネルも活用されている。2024 年には、特定地域における携帯電話を通じた警報送信の試験およびシミュレーションが実施されており、大規模緊急事態発生時における堅牢かつ冗長性の高い通信インフラの必要性があらためて確認されている。

早期警報システムを効果的に機能させるためにも、通信は極めて重要な役割を果たしている。一秒が生死を分ける可能性もあるため、迅速で信頼性が高く、かつ冗長性を備えた通信ネットワークが求められる。

早期警報システムのプロセスは、国内各地に分散配置された CSN による観測局からの地震データの送信から始まる。観測局が地盤の動きを検知すると、即座に波形データをリアルタイムでチリ大学内の CSN 中央処理センターに送信される。データが途絶することがないように、各地震観測局には複数の通信経路が設けられている。主な通信手段は商用インターネットサービスプロバイダー (ISP) による専用のインターネット接続であるが、一つの経路に依存した場合のリスクも考慮して、衛星通信リンク、マイクロ波中継、さらに DGAC (チリ民間航空局) が運用する代替のネットワークなどを用いた冗長化も図られている。この多層的通信インフラにより、地震発生時に一部のネットワークが機能しなくなった場合でも、地震データは確実に CSN に届き、処理される体制が構築されている。

データを受信すると、CSN の自動化システムが信号を処理し、主要な地震パラメータを推定する。もし地震があらかじめ設定された脅威基準を満たす場合、CSN はこの情報を SENAPRED に送信する。この内部データ転送は、安全な高速通信の回線を用いて行われ、プライベート VPN、専用の光ファイバー回線、暗号化された通信プロトコルによって行われる。これらの通信チャンネルは構造化された地震発生データの迅速な配信を目的として設計されており、SENAPRED は受信した情報をもとに状況を評価し、公共警報の発令の可否を判断する。

SENAPRED が警報発令の必要性を判断した場合、同機関は SAE を起動し、セルブロードキャスト技術を用いて、特定の地理的範囲内の対応端末に対して直接警報メッセージを送信する。SMS とは異なり、セルブロードキャストはネットワーク混雑時にも遅延や送信失敗が起きにくく、携帯ネットワーク内の専用チャンネルを通じてほぼ瞬時に配信される。チリの主要携帯キャリアである ENTEL、Movistar、WOM、Claro はこのシステムに統合されており、その運用準備に直接関与している。これらの警報は、ラジオやテレビの割り込み放送、デジタルサイネージ、公式アプリのメッセージ送信などと連動しており、通信技術に依存して効果的に機能する。

海底地震や沿岸近くで発生した地震は、SHOA による潮位計や海洋センサーが活用される。津

波の可能性が確認されると、SHOA は正式な警報を発し、その情報は SENAPRED を経由して同じ通信インフラを通じて広く伝達される。沿岸地域では、地方自治体や緊急対応機関がサイレンや拡声器、避難誘導標識を起動することがあり、これらの装置はインターネットや VHF/UHF 無線チャンネルと接続されて遠隔操作されている。

1.5. チリの緊急地震速報のニーズ及び需要

チリの緊急地震速報のニーズ及び需要としては、リアルタイムでの地震警報の伝達を実現することにある。現状の早期警報システムは、高速処理を目的として設計されているものの、実際には地震検知から警報が住民に届くまでに、数秒から場合によっては 1 分以上の遅延が発生している。具体的には、CSN が地震を検知し処理するのに数秒（主要な地震の場合は通常 5～15 秒程度）を要する。続いて、そのデータが SENAPRED に送られ、SENAPRED が警報発令の是非を検証・判断する。本プロセスは半自動化されているとはいえ人間による確認があるため、重要な処理に追加の時間を要している。SENAPRED が SAE を起動すると、セルブロードキャストによるメッセージ送信はほぼ即時に行われるが、それは起動後の対応である。

技術的なシステムはほぼリアルタイムの警報を可能にしているものの、運用フローは完全に自動化されておらず、各機関間の連携により重要な数秒の遅延が生じている。そのため、震源に近い地域では、警報が届く前に揺れを感じる場合がある。

チリは、ラテンアメリカのなかでも最も優れた地震の早期警報システムを有している国のひとつである。しかしながら、地震の検知から一般市民への警報発信までの速度は依然として重要な課題であり、とくに人口密集地域における早期警報を最大化して伝達することは、列車の停止、工場の稼働停止、避難行動の開始といった防護措置の迅速な実施のためのボトルネックとなっている。

もう一つの大きな課題として、北部地域やパタゴニアの諸島部などの遠隔地における地震観測局の密度を高める必要がある。GNSS（Global Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）や光ファイバー、携帯型加速度計を含む新しいセンサーと問題なく統合することも求められている。運用面においては、放送プラットフォームの相互運用性を強化し、アマチュア無線の利用拡大やバックアップ用衛星回線の導入など、いかなる状況下でも警報が確実に伝達されるよう代替の通信チャンネルを確立することが必要である。規範面として、法令第 21,364 号の実施に関する規則を完成させることが求められており、例えば携帯電話による警報の全国基準の策定や、政府のあらゆるレベルでの緊急プロトコルの整備が必要である。

主要機関である SENAPRED、SHOA、CSN は、社会的なニーズの高まりに応える形でこれらの監視・通信システムの統合を目指している。一方、市民は、SAE やその他の手段で届けられる警報メッセージが分かりやすく、具体的に行動できる内容であることを求めている。そのため、技術的な対応に加え、学校、病院、沿岸地域コミュニティにおいて防災教育の強化や定期的な訓練の実施が求められている。これにより、早期警報システムによって確保された数秒が、避難等の行動に確実につながることが期待されている。これら期待は、システムの有用性や技術による対応範囲だけではなく、市民による準備度や信頼度にも大きく依存していることを示している。

チリの現状として、現行の EEWS については、誤警報の低減が課題として指摘されており、改善に向けた取り組みが求められている。これらは、下表の通り整理する。

表 1-2 チリの現状

市場環境・規模・将来予測	<ul style="list-style-type: none"> ・チリは世界有数の地震多発国であり、過去 10 年でも M8 級の大地震が複数発生し、今後も続くと予測される ・地震リスクは国民生活・経済活動に大きな影響を与えており、チリ共和国の経済強靱化に、日本式の EEWS を導入することで貢献できる
未解決課題・ニーズ 政策動向	<ul style="list-style-type: none"> ・全国を網羅する地震観測網が未整備。緊急時の自動制御に即時対応プロトコルが未整備。 ・現チリ政府の EEWS は誤警報の低減が課題として指摘されており、改善が必要不可欠 ・SAE2.0 との連携や民間向けサービスの対応化
政策動向	<ul style="list-style-type: none"> ・2021 年に新防災法 (Law 21,364) が施行され、SENAPRED が発足。 ・全国的な早期警報システム「SAE2.0」の整備が進行中、公共インフラの耐震化や、災害リスク低減政策 (DRR 2020-2030) も推進されている。
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートフォン(Android)や民間企業 (Xancura 社) が独自の EEWS を展開しているが、政府 (CSN) の公式承認を受けていない。政府はこれを取り締まる法整備を検討 ・日本の高度な EEWS 技術 (高密度観測網、自動化、公共警報連携等) 導入が期待されている

2. 今後のチリの計画及びその評価

2.1. チリの緊急地震速報の導入計画及び資金計画

チリに緊急地震速報を導入するためには、下図の通りプロセスが連続的もしくは並行して短時間で実施されることが必要である。具体的には、①モニタリングによる地震イベントの検知、②地震の特性評価がなされたのちに、プロトコルに基づく③自動的または④人的な意思決定のための伝達、そして⑤メディアを通じた早期の警報報知がある。

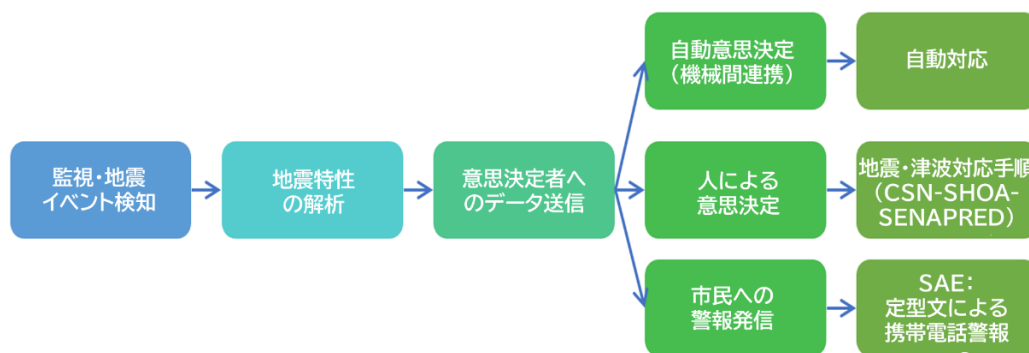


図 2-1 チリに適応した緊急地震速報のプロセス

①モニタリングによる地震イベントの検知

地震イベントを検知するためには、対象とされる地域全体にわたって配置された地震計、加速度計、測地機器のネットワークが整備される必要がある。密なネットワークがあれば、複数のセンサーによって地震波を検知することが可能となる。その結果、地震の発生を迅速に特定することになる。

地震は、いつどこで発生するか予測できないため、より広範なかつ高密度なネットワークによる領域内の常時モニタリング・監視が重要である。特に、チリの場合は、大陸領土が細長い地形であるため、地震波を最速で検出するには、海岸に沿ってネットワークを整備することが最適であると考えられる。

地震波の成分のうち、もっとも地中を伝わる速度が大きく最初に到達する P 波（縦波：地震波の進行方向に振動する波）により地震を認識して素早く解析して、P 波の次に到達し地面を大きく揺らす S 波（横波：地震波の進行方向に垂直に振動する波）がくる前に地震の揺れに関する情報を伝えることが緊急地震速報となる。ネットワークの整備による地震イベントの正確かつ迅速な P 波の検知により、S 波到達前に伝達することが求められる。

②地震の特性評価

地震の特性評価では、地震の位置とマグニチュードを把握し、関連する情報と共に警報を発信できるようにする。

地震の検出・位置特定のアプローチでは、複数の観測点での P 波と S 波の到達時間差を利用して、震源までの距離を求める。この位置特定の精度は、到達時間差をすばやく検出できる観測点が多いほど高くなる。

マグニチュードの計算は、現在、CSN においては、ElarmS-3 を検知アルゴリズムとして使用

しており、わずか3~4秒の地震波形情報のみで処理が可能である。P波の初期情報だけで検出を行い、S波の到達を待たずに済むため、検出時間も短縮される。マグニチュードはネットワーク上で動作する自動アルゴリズムにより算出される。

③④⑤意思決定及び報知のための伝達・報知

特性評価された地震は、その情報（位置、発生時刻、マグニチュード等）を専用の情報チャンネルを通じて伝達する。検知機関から、③自動的な意思決定プロセスが起動されるための伝達、④人による意思決定のための伝達、⑤国民への警報のための伝達に大別される。

③自動的な意思決定のための伝達

あらかじめ定められたプロトコルに基づき、自動的な意思決定プロセスが起動される。即座に対応が取られるため、重要インフラの保護や人命の安全確保、経済的影響の緩和が可能となる。

④人による意思決定

チリの法律に基づくと、警報が出された際に取りべき行動の決定権は、災害対策を担うSENAPREDにあり、様々な意思決定プロトコルに基づいて、国民に警報を発信する責任を負っている。地震および津波の可能性がある場合には、CSN、SHOA、SENAPRED間で、危険地域にいる国民に警報を出すための行動プロトコルが確立されている。本プロトコルは、観測データに基づいて起動され、アナリストによる津波の危険性評価が10分以内に行われる。その後、サイレン、SAE、初動対応機関などを通じて、国民への警報が伝達される。

⑤国民への警報の伝達

緊急地震速報としての伝達そのものになる。現在、SAEが機能しているものの、指摘されている課題を改善して、最新の技術に基づいた情報伝達手段の更新により、効果性・効率性の向上が期待されている。脅威を受ける可能性のある住民への警報メッセージを確実かつ迅速に届けるための、新たな検知と伝達が連携された新たなシステムの構築が必要とされている。検知から警報までの意思決定と伝達の連携をいかに実現するが重要となる。

上述の①~⑤の内容と現状の課題は、下表の通り。現状、全プロセスを完了するまでに時間を要するため、その時間を最小限に抑える必要がある。①検知と②地震特性評価は、地震計設置によるネットワークが十分に高密度で、かつアルゴリズムが適切に作動すれば、5~10秒程度で完了することが可能である。③~⑤については、合理的な運用プロトコルと強固で冗長性のある通信ネットワークにより、できるだけ短時間にすることが可能である。

表 2-1 チリに適応した緊急地震速報のプロセスと現状における課題

プロセス	詳細	現状における課題
①モニタリングによる地震イベントの検知	高密度のネットワークが、地震によって生じた初期の動きを捉え、それを識別する	・全国規模での高密度なネットワークが不足している
②地震の特性評価	データ解析システムが、受信したデータを地震によるものと識別し、その発生時刻、震源地、マグニチュードを推定する	・震源位置とマグニチュードを同一ネットワーク内で推定できる統合アルゴリズムの導入 ・誤警報を出さない信頼性の高いアルゴリズムの必要性
③自動的な意思決定のための伝達	地震の特性評価の結果が、明確なプロトコルに基づいて、意思決定者に伝達される	・2010年のコブケクラ地震後に発生した通信障害を防ぐための内部通信ネットワークの冗長性を強化する必要性
④人による意思決定	意思決定者が警報を検討し、それに基づいた一連の対応行動を開始する	・検知機関と伝達機関との間での統合と調整による連携の必要性
⑤国民への警報の伝達	S波が到達する前に、一般市民へ警報が発信される	・通信システムの冗長性の確保 ・意思決定プロセスと情報伝達の仕組みの連携・統合 ・警報メッセージの「受信確認」機能の導入

2.2. 想定される解決策とその評価

上述表 2-1 で示した課題に対して、想定される解決策と評価は下表の通り。

表 2-2 想定される解決策とその評価

プロセス	解決策	評価
①モニタリングによる地震イベントの検知	・全国規模での高密度なネットワーク強化	・全国規模ではなく優先順位を決めて段階的な取組が必要
②地震の特性評価	・震源位置とマグニチュードを同一ネットワーク内で推定できる統合アルゴリズムの導入 ・誤警報を出さない信頼性の高いアルゴリズムの必要性	・EEWS 導入により、震源地の特定を改善し、同時に地震規模を推計できる
③自動的な意思決定のための伝達	・2010年のコブケクラ地震後に発生した通信障害を防ぐための内部通信ネットワークの冗長性を強化する必要性	・EEWS 導入により、冗長性を確保できる
④人による意思決定	・検知機関と伝達機関の間での統合と調整による連携が可能となる	・EEWS 導入により、検知機関である CSN と伝達機関である SENAPRED の連携が強化される
⑤国民への警報の伝達	・通信システムの冗長性の確保 ・意思決定プロセスと情報伝達の仕組みの連携・統合 ・警報メッセージの「受信確認」機能の導入	・EEWS 導入により、冗長性の確保が可能となる ・SAE2.0 と適合することで、情報伝達の仕組みの連携・統合が図られる ・EEWS と共に伝達サーバー（震前大使）を提案することで受信機能を強化できる

上述のうち、②から⑤については、EEWSの実装が進めば、防災・リスク管理における意思決定ネットワークの機能が向上して、課題に対する解決策になり得る。地震・測地ネットワークの強化により、地震イベントの特性把握がより正確になり、意思決定プロセスの質が向上されることが期待される。その過程のなかで、強力な通信ネットワークが改善され、大地震の発生中および発生後も稼働し続ける「冗長性を備えたネットワーク」の開発がなされる。この冗長ネットワークにより、電力障害や通信障害が発生しても、チリの防災システムが機能し続けることが期待される。

現在、チリには、さまざまな目的のための複数のセンサーネットワークが存在しており、火山活動や津波など、特定の自然災害の監視のみに特化されていることも課題である。EEWSの実装が進めば、特にCSNによる地震・測地ネットワークと連携した対応が可能となり、ネットワーク間のデータ共有や連携も可能となる。

①の地震イベントの検知のためのネットワークの高密度化について、日本と比較すると、チリの地震・測地ネットワークは、ステーション間の距離が日本のように短くない。日本のNIED（防災科学技術研究所）の観測点は、20～30km間隔で配置されている。したがって、より多くの観測点の設置が必要であり、特に海底センサーの配備が有用となり得る。

チリは縦に長い国であるため、全国一斉のネットワーク密度強化は現実的ではなく、段階的な強化のためには優先順位の設定が必要である。現在の大地震の発生シナリオに基づき、短期的に注目すべき主な地域は以下の4つが想定される。

- ・ペルー南部～アリカ間
- ・イキケ～メヒジョネス間
- ・チャンヤラル～ラ・セレナ間
- ・バルパライソ～サンアントニオ周辺

上述のうち、チャンヤラル～ラ・セレナ間がもっとも大地震の発生が近い可能性があるが、バルパライソ～サンアントニオのチリ中部は、地震によって甚大な影響を受けうる人口が最大の地域である。従って、優先すべき地域はこの2つであり、中部チリからネットワーク強化を開始し、その後チャンヤラル～ラ・セレナ間に移行するのが最善と考えられる。

2.3. 解決策に対する提案技術の概要と優位性

現在チリでは、ある程度稼働している3つの主要な地震警報ソリューションがある。そのうち2つは民間企業（Xancura社とAndroid）によるものであり、チリ政府による公式な認定はされていない。Xancura社は自社顧客に限定した警報サービスのみである。Androidの警報機能は通信事業者の4G・5Gカバレッジに依存しており、警報時間に制限がある。

一方、最も進展し、かつ今後の発展可能性が高いのはCSNによる現行システムである。このシステムの利点は、低コストの地震計ネットワークであり、ポータブルかつ低価格な地震計を多数配置し、それらを常設ネットワークと連携させる形で構成されている。使用される検知アルゴリズムも、多国間での実証と学術論文による検証がなされて信頼性もある。さらに、海底光ファイバーケーブル（GTDケーブル）をセンサーとしてネットワークに組み込む可能性もあり、将来的な拡張可能性がある。

しかしながら、CSNの現行システムにも多くの課題がある。目指すべきネットワーク範囲は網羅しておらず、海底センサーの統合も5年以上先の話である。警報の通信方法にも課題があり、現時点では広範な実証がなされておらず、SAEにも非対応である。さらに、地震イベントの特性抽出アルゴリズムは高速であるが、CSNの全体ネットワーク（常設+臨時）との連携が不十分のため誤警報の報告もある。

日本のEEWSは、2007年から正式に運用が開始され、長期にわたる実績に基づく性能の高さがあり、地震多発国としての経験値・信頼性がある。過去には、2011年に発生した東日本大震災において、EEWSは主要動が来る数十秒前に人々への報知がなされ、現在も改善による精度が向上されて、世界的にも評価されている。

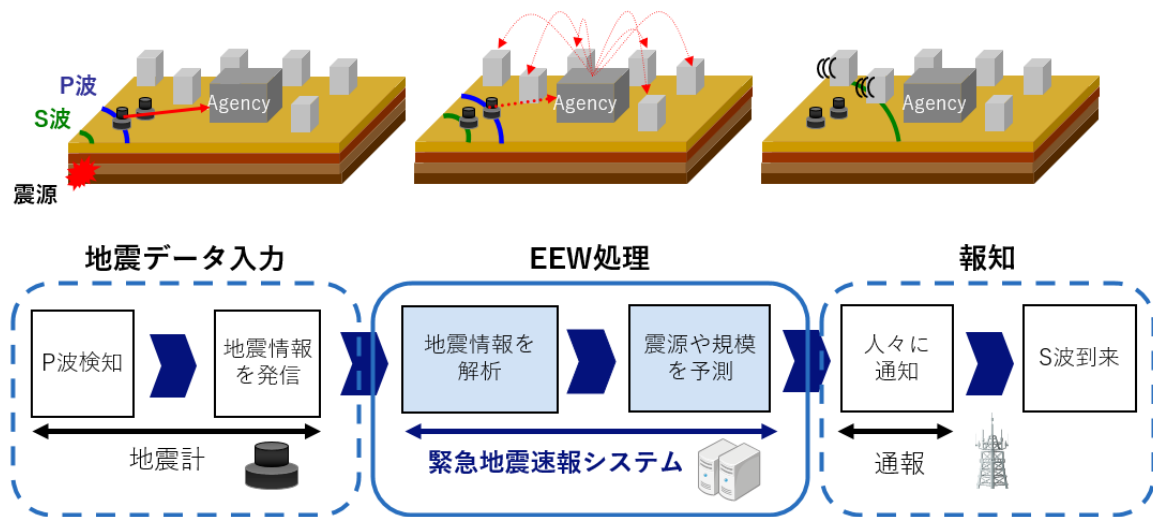


図 2-2 EEWS の仕組み

また、EEWS 導入により緊急地震速報の精度向上は、震度予測による被害状況の推定も可能にして、下表に示すような防災ネットワークの増強も期待できる。



図 2-3 EEWS により期待できる防災ネットワーク

3. 解決策への案と具体的な戦略策定 【策定計画】

3.1. 目標設定

EEWS が提供するものには、主に以下の3つがある。

- ・**公共警報**：全国への地震発生警報であり、基本情報（マグニチュード、震源地、発生時刻など）に該当する。主要な地震波（例：遠地の表面波）が利用者に到達するまでの時間情報も含まれる。
- ・**人的意思決定支援**：地震源から得られるより詳細なパラメータの迅速な情報に基づく意思決定である。地震の位置、マグニチュード、発生時刻等が含まれる。緊急時に意思決定を行う人間にとって、できるだけ短時間で可能な限り多くの情報を得ることが重要である。
- ・**自動意思決定**：特定のステークホルダーの運用に関して自動的に意思決定を行うシステムであり、即時の変更を可能にする。自動意思決定の例として、特定の重要な電力変電所での電力送電の停止等があげられる。

上述のうち、チリ政府機関として CSN が EEWS に求める主なニーズは、公共警報にあたる。現在、CSN には、ElarmS-3 を検出アルゴリズムとして使用し、波形の最初の 4 秒で地震を検知する実験的システムがある。検出には中央チリにある CSN の常設ネットワークと低コスト地震計による密な一時的ネットワークを組み合わせた複合ネットワークを使用している。検出は複合ネットワーク全体のデータを用いて行われるが、マグニチュードの計算は常設ネットワークのデータのみを使用して行われるため、特性評価に時間がかかり、誤差が生じやすい。その理由として、常設ネットワークが複合ネットワークより密度が低いため、迅速かつ正確にマグニチュードを推定することが難しいためである。

このことから、異なるネットワークの統合は課題となっており、統合されたシステムは検出時間の短縮および地震パラメータの推定精度の向上につながる可能性がある。本マスタープランとして、POC 実証を提案して実施することで、EEW として提供し得る自動意思決定、人的意思決定、公共警報における CSN 及び SENAPRED における適合性を確認するものである。POC 実証を通して、共通プロトコルを確立し、人的意思決定のためには迅速で明確かつ信頼性の高いメッセージングを行い、公共警報については SAE 2.0 と互換性のある明確な通信チャネルを確立する。そのための目標設定は以下の通りである。

目標 1：オフライン POC の実施

チリ政府による EEWS 運用の初期目標は、過去のチリ地震のデータを用いた POC 実証の実施をすることである。本実証により、ソフトウェアのテストをして動作確認をする。将来的にシステム全体を導入するための初期段階のデモンストレーションとなる。

目標 2：オンライン POC の実施

前段階のオフライン POC 実証にて動作確認がされたのち、CSN の地震ネットワークを使用し、実際に送信される地震データを処理するものである。本実証では、警報メッセージの伝達手段として SAE2.0 を使用し、SENAPRED と CSN による協力のもと、SAE2.0 との連携可能なデータ伝送プロトコルを開発する。本目標を実現するために、SENAPRED が中心となった共同資

金スキームの確立が必要となる。

目標3：チリにおける EEWS の採用、ステークホルダー向けプロトコルの作成

POC 実証の結果に基づき有用性が確認されたのち、チリ政府に対するソリューションが提示され、予算化され採用されるものである。EEWS によるステークホルダー向け運用設計がなされ、データ伝送の方法や、特定ステークホルダーの所在地で警報が発生した際に取りべき行動について、ステークホルダー毎に明確な行動プロトコルを確立される。

3.2. 想定される MP 概要

チリには、地震警報にかかるマスタープランの基盤となる法律や規則が下表のとおりある。

表 3-1 マスタープランの基盤となる法律・規則

年次	法律・規則	概要
2012 年	法令第 60 号 「警報メッセージの相互運用および配信、重要通信インフラの宣言および保護、通信システムにおける重大障害情報に関する規則」	チリにおける緊急警報 (SAE) の運用、重要通信インフラの保護、障害報告を定め、災害時の通信継続性確保のため、通信事業者の対応義務と SUBTEL・ONEMI 中心の体制を制度化する。
2021 年	法律第 21.364 号 「災害の予防および対応に関する国家制度を定め、国家緊急事態局を災害予防・対応国家サービスに置き換え、所定の規定を適合させる法律」	チリの災害予防・対応制度を再編し、ONEMI を SENAPRED に改組する。災害リスク管理を予防から回復まで一体化し、国から自治体までの指揮・調整、計画、早期警報、資金支援を制度化して、予防重視の防災体制確立を図る。
2023 年	法令第 234 号 「災害リスク管理委員会および国家防災対応システムの他の調整機関の運営に関する規則」(法律第 21.364 号に基づく)	国家防災対応システムにおける災害リスク管理委員会の構成・権限・運営を定め、災害段階ごとの指揮系統、資源動員、緊急事態宣言や安全区域設定を規定し、統合的な防災体制の確立を目的とする。
2023 年	法令第 338 号 「災害リスク管理プログラム規則の承認」	災害リスク管理プログラムの運営規則を定め、SENAPRED を管理主体として、公開コンペによる資金配分手続を規定し、災害リスク低減等への資金の適正活用を目的とする。
2023 年	法令第 86 号 「脅威のモニタリングを行う技術機関、セクター別モニタリングを行う技術機関、災害リスク管理のための各種手段、並びに脅威地図および	チリの災害リスク管理における脅威・リスク把握、機関間の役割分担や情報共有を定め、国・地方レベルの災害監視と対応体制強化を目的とする。

	リスク地図の作成手続を規制する規則」	
--	--------------------	--

マスタープランは、POC 実証を実施するもので、オフライン・オンラインの実証を二段階で実施して、制度・コスト・人材面も含めた導入・運用計画を策定する。POC 実証を上述するチリにおけるマスタープランの基盤となる法律や規則に準ずるように、SENAPRED の基本計画にと入れられることを目指す。

マスタープランとなる POC 実証概要と具体的な実施事項は下表の通り。

表 3-2 POC 実証における実施事項

事業名	チリにおける日本の EEWS の評価および適応に関する POC 実証
背景	<p>チリは世界でも有数の地震多発国であり、SENAPRED 及び CSN といった国家機関を通じて、地震観測に関する強固な科学的・運用的基盤を有している。チリでは地震観測や実験的な早期警報システムに関する取組が進められているものの、現在のところ、全国規模で本格運用されている EEWS は存在していない。</p> <p>日本は、鉄道、重要インフラ、一般向け警報などのリアルタイム用途を含め、高信頼性の EEWS の開発・導入・運用において数十年にわたる経験がある。日本とチリはいずれも、沈み込み帯に沿った細長い国土を持つという地理的共通点があり、日本の EEW に関する経験はチリの状況に対して高い関連性がある。</p> <p>本 POC 実証の目的は、将来的なチリ国内での導入の可能性に向けた第一段階として、チリの地震データを用い、日本の EEWS の適用可能性、性能、および付加価値を、技術的かつ協働的に評価することである。</p>
目的	<p>本 POC 実証の主な目的は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・技術的評価：チリの地震データを用いて、日本の EEWS の性能（検知速度、震央距離、マグニチュード推定精度、警報のリードタイム）を評価する ・比較分析：現在チリ国内で開発が進められている既存または実験的な EEW 手法と、日本の EEW システムの結果を比較する ・能力強化および協力関係の構築：透明性の高いデータ主導の評価を通じて、日本側関係者、CSN、および SENAPRED 間の技術的協力および信頼関係を強化する ・意思決定支援：将来の EEWS 導入フェーズに関する判断を支援するための、客観的な技術的根拠を提供する

<p>実施範囲・ 実施概要</p>	<p>1：オフライン POC 実証（主対象）</p> <p>【概要】 オフライン POC 実証では、CSN から提供される過去の地震波形データを使用する。日本の EEW ソフトウェア評価環境においてシミュレーションを実施する。</p> <p>【主な実施内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去の地震データの安全な受領および管理 ・地震波形データの内容および品質の確認 ・日本の EEW ソフトウェア評価環境を用いた過去地震の再現シミュレーション ・検知時間、精度、警報リードタイムの定量的評価 ・共同技術報告書の作成 <p>【期待される成果物】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EEW システムの客観的な性能指標 ・チリ国内の実験的システムとの比較に基づく知見 ・強み、制約、適応上の課題の明確化 <p>【実施期間】：約 3～6 か月</p> <p>2：オンライン（リアルタイム）POC 実証（将来検討）</p> <p>【概要】 オフライン POC 実証の結果および関係者間の合意を踏まえ、次段階としてオンライン POC 実証の実施を検討する可能性がある。本フェーズでは、リアルタイムデータ連携および継続的なシステム運用を想定する。</p> <p>【主な実施内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CSN の選定観測点とのリアルタイムデータ接続 ・システムの継続的監視および性能検証 ・運用試験および警報ワークフローの検証 ・チリ向けのソフトウェア最適化 <p>【実施期間】：約 8～12 か月</p>
<p>役割分担</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・日本側（システム提供者／技術チーム） <ul style="list-style-type: none"> - EEW システムの運用、分析、報告 - 技術知見の共有 ・チリ側（CSN／SENAPRED） <ul style="list-style-type: none"> - 地震データおよび関連メタデータの提供 - 技術的レビューおよび検証 - 機関間調整 <p>※本 POC 実証は、一方的な評価ではなく共同による技術的取組として実施する。</p>

アクション プラン	<p>1. 関心表明の正式確認 オフライン POC 実証を進めることについて、CSN および SENAPRED の技術的関心を確認する。</p> <p>2. データおよび法的整理 データ共有手続きおよび機密保持に関する取り決めに明確化する。</p> <p>3. 共同技術ワークショップ 手法、評価指標、期待事項をすり合わせるための初期技術会合を開催する。</p> <p>4. POC 実証開始 オフライン POC 実証から順次開始する。</p> <p>5. レビューおよび判断 結果を共同で評価し、リアルタイム POC 実証へ進むことの実現可能性および妥当性を判断する。</p>
--------------	--

上述の POC 実証を実施するなかで、技術面及び制度面やコスト面・導入計画として以下の項目も確認する。

【技術面】

- ・ オフライン検証にて、調査対象地震の選別、データ入手、実証計画の策定・簡易検証
- ・ オンライン検証にて、システム全体の応答性や通信の安定性、観測データの品質等の確認
- ・ 緊急地震速報表示ソフトウェアの導入として、表示ソフトウェアの設置（対象利用者とその環境要件の整理）
- ・ 現地実証への準備として、測点接続、観測点ネットワーク関連、処理関連/配信関連の確認
- ・ 通信状況、観測点等の現地適合性
- ・ チリ国内向けソフトウェアの最適化検討
- ・ EEWS の精度向上に向けた検討

【制度面/コスト面・導入計画】

- ・ システム実用化に向けた必要項目の整理として、既存システムとの連携検討や BCP（事業継続計画）対策を含めた継続運用の検討
- ・ 本格稼働のための技術的・運用的条件の整理
- ・ 概算コスト試算
- ・ 実用化に向けた制度面・運用面の確認
- ・ 関係機関の役割、運用体制、人材育成研修
- ・ 本格導入に向けた提案検討





POC 実証によって EEWS が社会実装するためには、マスタープランにおいて、政治レベル、技術レベル、商業レベルの 3 軸によるアプローチが必要となる。

政治レベルでは、POC 実証が実施されるための予算確保と共に、実証後のチリにおける EEWS が採用されるよう働きかけをすることが求められる。技術レベルでは、POC 実証による EEWS の技術的な現地適合性を第三者の専門技術機関である CSN によって認められること、特に

SAE2.0 を通した報知までの確認が必要になる。商業レベルでは、EEWS の特定の成果物に対して支払いの意志のある可能性のある様々なステークホルダーに対して、新たなソリューションによるビジネス機会につなげることである。初期段階では、チリ政府や公共機関等を含む公共ステークホルダーが対象の中心となるが、将来的な展開においては、EEWS によってリスク対策をし得る民間ステークホルダー等も対象として想定する。

政治・技術・商業レベルのアプローチの段階毎の取組の流れは下表の通り。

表 3-3 各アプローチの段階毎の流れ

	フェーズ 1	フェーズ 2	フェーズ 3	フェーズ 4
政治アプローチ	 POC 予算の確保			
技術アプローチ		 POC 実証による 適合性確認	CSN による技術 的な承認	
商業アプローチ				
	公共ステークホルダーへの展開		公共・民間による 共同出資による 事業検討	民間ステークホルダーへの展開

3.3. ステークホルダー分析

想定するステークホルダーについて、POC 実証及び EEWS 採用にかかる関係者と民間を含む将来展開に向けたステークホルダーを下表の通り整理する。

表 3-4 POC 実証及び EEWS 採用に向けたステークホルダー

想定する ステークホルダー	概要	マスタープラン（POC 実証）の 実施における想定役割	予算状況
チリ国立災害予 防・対応庁 (SENAPRED)	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急事態および自然災害や人為災害への対応システムを統括する分散型の公共機関である ・国内の各当局、地域社会、機関を調整し、災害リスクを低減し、人命を保護する使命がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・POC 実証に対する全体支援 ・POC 実証の資金確保のためのコミットメント・レターの発行 ・チリ財務省と日本政府と（経済産業省）との間の協定締結の円滑化 ・CSN の新規予算項目作成の円滑化 ・POC 実証への参加・資金提供可能な他のステークホルダーの招集および関与 	<ul style="list-style-type: none"> ・主に公共部門予算法（Public Sector Budget Law）を通じて資金が供給されており、内務省下位事務局（Undersecretariat of the Interior）に割り当てられた資源を特定の決議を通じて移転される ・国立災害リスク管理基金（FEMER）を用いて、災害リスク管理の競争的基金などのプロジェクトやプログラムを資金提供する（オンライン申請に対して公共機関に付与する）
チリ国立地震学セ ンター (CSN)	<ul style="list-style-type: none"> ・国の地震活動を監視し、地震の記録と研究を行い、正確かつタイムリーな情報を当局および一般市民に提供する公式機関である ・地震の発生地点や規模を含め迅速に特定し、緊急管理に役立てる 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震監視を担当する技術機関が方法論を検証し、EEWS の実行に同意し、協力する意思を示す ・CSN の地震計ネットワークを提供し、NEC の技術チームが施設内で作業できるようにする ・POC 実証のため、SENAPRED から予算として移管された資金を管理する ・POC 実証後、チリでの EEWS のクライアントとして機能する可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・SENAPRED からの資金によって運営されており、ネットワークの機器および運用に必要な資金が配分される。 ・さまざまな公的・民間機関や国際的な協力からの支援も受けている。 ・SENAPRED からの資金は、最先端の地震観測・データ処理機器の取得や、24 時間体制での運用スタッフの維持に使用される。
チリ公共財政省	<ul style="list-style-type: none"> ・道路、橋、港、空港、政府庁舎、水道および下水道システムなどの公共インフラを計画、設計、建設、維持管理する ・持続可能かつ効率的なインフラプロジェクトを通じて、国の発展を促進し、国民の生活の質を向上させる 	<ul style="list-style-type: none"> ・チリ政府として日本政府との間で協力協定を締結し、チリでの POC 実証の資金提供 	<ul style="list-style-type: none"> ・主に税収を通じて資金が供給されている ・チリ政府の歳入の大部分を占める

チリ公共財政省 予算局	<ul style="list-style-type: none"> 国家予算の作成、国の財源の配分、公共支出の執行監督を担当する技術的機関である 年間予算の策定、予算上限の設定、策定プロセスの規制、ならびに資源が財政政策および国家目標に沿った使用の監視をする 	<ul style="list-style-type: none"> CSN の予算に新しい項目を設け、POC の資金調達を可能にする さまざまな政府機関や公的サービスから CSN の口座への予算移転を許可する POC の実行のために資金を利用可能にする 	<ul style="list-style-type: none"> 毎年の国家予算法（National Budget Law）によって定められる
----------------	--	--	--

表 3-5 将来展開に向けたステークホルダー（民間を含む）

ステークホルダー	概要	各ニーズに合わせたプロトコルの生成における想定役割	予算状況
チリ公共事業省	<ul style="list-style-type: none"> 道路、橋、ダム、衛生施設などの国の公共インフラの計画、建設、維持、運営を担当する 国の水資源を管理し、公共事業やコンサルタント契約の効率性と透明性を確保するための規制も行う 	<ul style="list-style-type: none"> 開発するインフラの性質を踏まえ、事業に対して政策的および財政的支援を提供する EEWS を活用した事業開発に関与する POC 実証のために、CSN に資金を移転する 	<ul style="list-style-type: none"> 税金によって資金が賄われており、中央政府の歳入の大部分を占める 毎年の国家予算法により定められる 公共部門内で最も高い予算が配分されており、2025 年度の投資予算は 3.8 兆ペソである
チリ保健省	<ul style="list-style-type: none"> 国の公衆衛生政策の策定、実施、および調整を担当する 規制の策定、健康の促進、疾病の予防、医療サービスが法律に準拠して提供されることを確保する 公衆衛生サービスの提供および医療サービスネットワークの管理を担う 	<ul style="list-style-type: none"> 保健システムの運用継続性およびその中で働き、医療を受ける人々の生命確保を目的として、EEWS の開発に関心を持つ 運用計画の実行および地震早期警報システムの導入に対する政策的および財政的支援を行う POC 実証のために、CSN に資金を移転する 	<ul style="list-style-type: none"> 付加価値税（VAT）、所得税、燃料税やたばこ税などの特定税を含む国税により資金が賄われる 上記税金は国家予算法を通じて省庁に配分される 資金は、国民健康基金（FONASA）を通じて徴収される労働者課税所得の 7% の強制拠出金からも供給される

<p>チリ運輸・電気通信省 (MTT)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・国の交通および電気通信に関連する公共政策の提案、策定、監督を担当する ・安全で効率的かつ持続可能な交通システムを確保し、情報通信技術への公平なアクセスを促進する 	<ul style="list-style-type: none"> ・交通および電気通信ネットワークの運用継続を担当する ・EEWS の開発に関心を持ち、国内全域でインフラとサービスを保護できるようにする ・運用計画の実行および EEWS の導入に対する政策的および財政的支援を行う ・POC 実証の実施を可能にするために、CSN に資金を移転する 	<ul style="list-style-type: none"> ・国の財政予算によって資金が賄われており、一般的な政策やプロジェクトに充てられる ・公共交通の運営に関しては、利用者運賃および運営・インフラコストを補う国からの補助金から資金が引き出される ・遠隔地の接続など電気通信プロジェクトのための特定資金は、電気通信開発基金のような機関から供給される ・上述資金は、毎年の国家予算法によって定められている
<p>チリ旅客輸送企業メトロ株式会社</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・サンティアゴ地下鉄を運営・管理する国営企業。 ・各路線における旅客輸送サービスの提供、インフラ管理、駅内商業スペースの賃貸、広告の取り扱い、そして公共交通用電子マネーカードの管理をする 	<ul style="list-style-type: none"> - POC 実証および地震早期警報システム (EEWS) の導入に対する財政的貢献 	<ul style="list-style-type: none"> ・サンティアゴ地下鉄は、主にチリ政府からの出資、長期債務、および運賃収入やその他の非運賃関連事業からの収入によって資金を賄っている ・同社を所有するチリ政府は資本を提供し、同社はインフラの拡張や維持管理のために債務（グリーンボンドを含む）を発行して投資資金を調達している ・広告、スペース賃貸、電気通信などの輸送以外の商業活動からも収益を得ている
<p>チリ国有鉄道会社</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・貨物および旅客の鉄道輸送をする国営企業 ・安全で信頼性が高く効率的な鉄道サービスにより、国内の連結性を向上させる 	<ul style="list-style-type: none"> ・POC 実証および EEWS の導入に対する財政的支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・主に国家予算からの税収、国が保証する債務、および物品・サービスの販売による自らの収入によって資金を賄っている ・国は三か年計画を通じて資金を提供するとともに、EFE がプロジェクト資金を調達する際の融資をしばしば保証している

3.4. 導入のスケジュールおよびマイルストーンの検討

チリで EEWS を実装する最も実行可能かつ戦略的な方法は、全国規模での地震観測網の最新プログラムに統合することである。チリにおける現状の地震観測網は、中央チリ以外の地域における設備の老朽化、空間密度の不均衡、通信遅延といった制約に直面している。

チリで計画されているネットワークの近代化は、新しい観測点による高密度化、改善された通信（光ファイバー、冗長リンク）、更新されたデータセンターにより、通常地震監視が強化されるとともに、早期警報機能の向上が期待される。SAE2.0 とともに EEWS によるリアルタイム処理等の機能が統合されると、将来的には地震予測による大規模警報の実施も可能になり、段階的な地域展開として、高リスクの地震空白地域や人口密集地、重要インフラを優先的に対象とした取組も考えられる。

そのためにも、EEWS の POC 実証をマスタープランとして実行することで、実際のチリの地震データを用いた、現在の実験的システムよりも検知速度、精度、信頼性の面で優れていることの検証が求められる。その検証結果をもって、公的機関や民間ステークホルダーによる投資促進、公共資金の予算化、国際協力資金、各省庁や国営業による共同出資の促進にもつながるものである。

POC 実証による実装計画は、具体的に下表の4つのフェーズにより示される。

フェーズ1では、CSN、SENAPRED との正式な合意形成、POC 実証の対象範囲の整理と POC 実証の予算化のための準備を行い、資金提供に関する合意が得られることである。

フェーズ2では、フェーズ1完了直後に開始し、選定地域の地震データをもとにオフライン実証を実施したのち、リアルタイムデータを用いた実証、SAE2.0 との統合、必要に応じた対象範囲を絞り込んだネットワーク密度の向上のうえ、数か月にわたる運用と地震イベントのデータをもとに実証を実施する。

フェーズ3では、フェーズ2の結果をふまえて、CSN による正式な技術認証、SENAPRED による運用評価を行うが、チリ政府による実装モデルの展開計画とその予算化（公的資金スキーム、民間投資、共同検討等）を決定するため、時間を要することが想定される。

フェーズ4では、全国地震観測網の更新と並行して EEWS を順次拡張し、高リスク地域から段階的に全国規模への拡大を目指す。上述した展開の想定される公的及び民間のステークホルダー向けにカスタマイズされたサービス提供も視野に入れる。

表 3-6 POC 実証による実装計画

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目以降
フェーズ1：準備段階	■				
フェーズ2：POC 実証		■			
フェーズ3：検証と展開計画			■		
フェーズ4：段階的な全国展開				■	

3.5. リソース/運用体制の計画

チリにおける EEWS の実装には、法律としての適用性、技術適用性、予算措置をするために各政府機関が連携して対応するものである。既存の災害リスク管理システムを運用する SENAPRED によって実装されるために、チリ政府によるリーダーシップ、資金メカニズム、技術管理体制が必要となる。

国立地震学センター (CSN)

CSN は、地震監視の中核的な技術当局として、国内の地震観測ネットワークおよび加速度計ネットワークを運用し、地震の公式な検知および特性評価を提供する。EEWS を導入する場合、CSN はその基盤となる組織であり、公的な地震監視機関として以下の役割が想定される。

- EEWS アルゴリズム、検知閾値、特性評価手法の技術的検証を主導する
- EEWS を自らの運用環境（地震ネットワーク、データセンター、24 時間体制の監視ワークフロー）に統合する
- センサー密度、テレメトリー遅延、データ品質、冗長性、システム信頼性の技術基準を定義する
- オフラインおよびオンラインの POC 実証の各フェーズの設計・実装に参加する

CSN の検証によって、EEWS はチリ国内で制度的正当性や運用上の信頼性を確立することができる。CSN により技術的に運用可能であることが認められると、チリ政府として SENAPRED や関連省庁を支援し、資金手当でも含めた優先的な対応が可能となる。具体的には、EEWS を導入するための予算を管理する専用予算項目の新設や拡大、国際協力機関からの予算移転の受領・管理、EEWS 稼働後の長期的な運用・保守のための予算確保が期待される。

国立災害予防・対応庁 (SENAPRED)

SENAPRED は、災害リスク管理を統括しており、緊急時の意思決定、及び SAE を通じて公共警報を発信する責任を負っている。EEWS を導入する場合、公的なステークホルダーとして、省庁、国有企業、規制当局を招集して、政府のアジェンダに従い国家的優先事項として対応して、以下の役割が期待される。

- EEWS の出力を自動（半自動）の警報に変換する方法を定義する
- SAE 2.0 との互換性および統合を確保する
- EEWS によるトリガーに基づく行動を組み込むために緊急プロトコルを更新し、人による意思決定の遅延を最小化する。
- EEWS の起動に関連する訓練、シミュレーション、機関内トレーニングを調整する

加えて、POC 実証段階における予算手当の支援とその管理、EEWS による裨益が想定される他の公的機関（省庁）との共同資金スキームの調整も期待される。

マスタープランとなる POC 実証は、CSN 及び SENAPRED を中心に進められるが、その後の展開においては、以下の関係機関の関与も想定される。

海軍水路海洋局 (SHOA)

SHOA は津波の評価を担当しており、EEWS の結果を利用する重要な機関となり得る。津波の特性評価をそのワークフローに統合して、特に、沿岸域および近距離地震の場合、EEWS と津波警報システムの連動による、津波の検知・報知にかかる意思決定の迅速化が期待される。

省庁および国有企業

運輸通信省、保健省、公共事業省のほか、地下鉄、鉄道、その他の国有事業者によって、チリとして重要な公共サービスおよびインフラを保護するために EEWS の横断的な運用が想定される。内部の運用プロトコルを適応させることで、自動停止や避難プロトコル、サービスの継続性といっ

た効果も期待される。

そのために、チリ政府が EEWS を導入するための予算確保や長期的な持続可能性について閣僚レベルや議会での議論を支援し、SENAPRED が提案する共同資金スキームの資金提供者にもなり得る。自らの運用にとって重要な地域におけるネットワークの密度向上や通信設備の改善への共同出資も考えられ、中央政府予算による依存を減らした複合的な資金スキームの支援も可能である。

上述の機関の関与により、チリ財務省による EEWS 関連投資のための新規予算手段や予算項目が承認され、各機関間での資金移転や国際協力資金の活用による共同資金スキームの調整も可能にする。EEWS 用の資金が財政ルールやチリの中期計画と整合することで、EEWS 運用はパイロット事業から持続可能な国家支援の公共投資に発展させることが可能となる。

EEWS が、CSN および SENAPRED によって公式に検証されることで、運用面を含む信頼性、法的確実性が保証され、持続可能な取組となる。その結果、EEWS の将来的な需要として民間ステークホルダーも想定されるため、聞き取り調査を実施したところ、以下のニーズが確認された。

表 3-7 想定される主要なセクターと関心事項

主なセクター	関心事項
鉱業	大規模鉱山事業では、従業員の避難、有害プロセスの安全確保、鉱滓ダムや地下作業の保護のために早期警報が必要である わずか 10~20 秒の警報でも、人的被害や経済的損失を大幅に減らす
エネルギー	電力の発電・送電会社、ガス供給業者、燃料事業者などは、自動停止や保護措置により、強震後の連鎖的な故障、火災、長期にわたる復旧作業を防ぐ
輸送	鉄道、地下鉄、港湾、空港などは、EEWS により自動ブレーキ、電力遮断、乗客保護プロトコルを活用でき、脱線やインフラ損傷、二次災害の発生を防ぐ
医療	早期警報により非緊急の処置を一時に中止し、患者や職員の安全を確保し、緊急プロトコルを発動できる
その他	建設・不動産や保険業界や重要産業オペレーターによる、EEWS を活用したリスク低減、規制遵守、レジリエンス戦略が可能となる

3.6. 課題とリスク対策

チリにおける EEWS の導入および運用には、プロジェクトの各フェーズにおいて異なるリスクが存在する。実施段階毎の課題とリスク対策は下表の通り。

表 3-8 想定される課題とリスク対策

想定される課題	リスク対策
準備段階	
<ul style="list-style-type: none"> ・ POC 実証の初期資金の確保 ・ 関係者間での技術面・制度面での信頼構築 ・ POC 実証の資金遅延による事業進行の中止がならないような明確な戦略 ・ 公共投資の優先事項としての理解や認識の不足 	<ul style="list-style-type: none"> a. 当初から専門技術機関と協働し、その認証により正当性を確保するとともに、国家地震観測網のニーズを EEWS 設計に組み込む b. POC 検証を公共・民間の資金を呼び込む手段として活用し、特に共同スキームにおいて活用する c. POC 実証が将来の運用構造を反映する段階的な実装モデルを開発し、後の段階での再設計を避ける
POC 実証段階	
<ul style="list-style-type: none"> ・ EEWS が国家のレジリエンスや公共の安全への投資ではなく、追加経費として認識される ・ 輸送、医療、教育、公共サービス、通信などの重要インフラを保護する上での EEWS の重要性が十分に示されない 	<ul style="list-style-type: none"> a. EEWS が生命、重要インフラ、サービスの継続性を保護する明確な公共価値のストーリーを構築する b. 公共企業および戦略的サービス運営者を早期に関与させ、具体的な運用上の利益を示す c. 技術的証拠（影響評価、シナリオシミュレーション、国際比較、損失削減予測）を作成し、意思決定当局への提案の信頼性を強化する
地域への展開段階	
<ul style="list-style-type: none"> a. ロジスティクス：特殊機器の輸入、輸送、設置に関する課題 b. 技術：遠隔地でのステーション、通信、電源供給の設置の難しさ c. 制度間調整：複数の関係者が補完的責任をもって参加する必要がある d. 社会的受容：地域コミュニティが外部インフラプロジェクトに抵抗や不信を示す可能性 	<ul style="list-style-type: none"> a. 関係当局と調整しつつ、輸入、設置、展開の堅牢な計画を策定し、プロセスを円滑化するとともに技術互換性を確保する b. 特に早期検知に重要な地域において、現地別の技術的実現可能性調査を実施する c. 早期参加、明確な情報伝達、地域コミュニティとの協定に基づくコミュニティ関与計画を策定する d. システム運用、解析、警報伝達を担当する機関間で恒常的な技術調整メカニズムを確立する
運用・維持段階	
<ul style="list-style-type: none"> a. 現場機器やステーションの故障 b. 通信チャンネルの中断 c. 遠隔地での修理アクセスの困難 d. 地域コミュニティとの摩擦により、重要インフラへのアクセスが制限される可能性 	<ul style="list-style-type: none"> a. サービス品質を保証する予防・是正保守プロトコルを確立する b. 部分的な故障時でもシステムの継続性を確保する技術的冗長性を導入する c. 地域コミュニティとの継続的対話を維持し、受容性を高めアクセス関連の紛争を防止する d. リアルタイムでシステムの健全性を評価し、運用上の逸脱を修正する継続的監視システムを構築する e. 地震観測および緊急管理を担当する機関と技術更新および技術支援を調整する

POC 実証により CSN からの検証が得られなければ、EEWS がチリ政府に採用される可能性が低くなる。実証の結果によっては、EEWS を購入するステークホルダーの判断にも影響を及ぼす。ステークホルダーは POC 実証によって検証済みのシステムに価値を置くため、ソリューションは、チリ政府の承認を得ることが前提となる。

3.7. 波及効果の検討

チリには全国規模の地震観測ネットワークが整備されており、CSN は国内全域で発生する地震を 5 分以内に検知・特性評価することが可能である。国内には火山観測所である OVDAS-Sernageomin も存在し、火山性地震についても 45 の火山を常時監視している。これにより、国内全域における地震監視が概ね整備され、大規模地震や火山活動に起因する地震を適切に特性評価することが可能となっている。

しかしながら、国内の地震観測に関しては、依然として多くの課題が残されている。まず、CSN と OVDAS-Sernageomin 2 つのネットワークの統合の不十分さが挙げられる。統合により、アンデス山脈に存在する浅い地殻断層に起因する地震の特性評価の可能性が高まる。

さらに、地理的なカバーギャップも多数存在し、CSN による観測局が設置されていない地域がある。特に、アタカマ地域、緯度 -38° 以南の地域、およびアンデス山脈付近の地域が該当する。アタカマ地域においては、ナスカプレートと南米プレート間の強いロッキングにより、将来的に大規模地震が発生する可能性が高く、前回の大地震（1922 年の M8.5）から長い年月が経過している。

加えて、地震観測局の老朽化も進行している。ネットワークへの最後の大規模な設備導入は 2017 年に行われ、それ以降 CSN による設備追加は限られている。その後の 10 年間で地震計の構築技術は大きく進歩しており、現在の観測局はより小型で軽量かつ信頼性の高いものとなっている。さらに、データストリーミング技術も進化しており、これにより CSN で現在も発生している毎日の観測局オフライン問題を大幅に軽減できる。チリは自国の地震観測ネットワークのセンサーを更新し、CSN へのデータ伝送方法も改善する必要がある。

以上より、チリ国では全国規模での EEWS を運用するための課題はあるが、CSN に導入されている既存システムよりも優れた EEWS を統合することで、チリ国のニーズに対応した地震を自動検知して評価する新たなソフトウェアの開発に EEWS が貢献し、その波及効果が期待される。

さらに、EEWS の導入や地震観測ネットワークの更新といった構造的な意思決定は、実際の運用条件下での事前技術検証なしには進められない。POC 実証は、公共政策におけるリスク低減の手段として機能し、公的資金の配分の根拠、国際協力協定の正式化、EEWS を重要な国家インフラとして組み込むことを支援する客観的証拠を提供する。POC 実証により、政策対応可能な事業となり、国家予算編成サイクルへの組み込みや長期的な公共投資計画の対象として適格になる。

チリにおいて地震観測システムを法的・技術的に検証できる唯一の機関は CSN である。POC 実証では、EEWS を CSN による運用環境下に組み込み、既存の実験システムと比較評価し、検知速度、信頼性、運用上の安全性といった観点での付加価値を確認するものである。

チリでは現在、SAE 2.0 導入による制度的移行期にあり、2026~2027 年の運用開始が予定されている。提案する POC 実証は、地震の早期検知と大規模警報配信との技術的・制度的統合を確認するものとなる。自動および半自動の意思決定チェーンの評価や、全国展開前の運用プロトコルの精緻化が可能となる。

POC 実証が、共同資金調達スキームに基づき実施されることで、チリ・日本両政府間の資金提供を活用した、実現可能な制度的前例を作り出すことができる。CSN 内で専用の子算制度を創設し、複数の公共機関による財政的貢献を調整するとともに、将来的な拡大に向けた持続可能な資金調達モデルの構築を可能にする。パイロット事業としての POC 実証が、財政的に持続可能な公共事業に展開されることで、波及効果が期待される。

さらには、POC 実証によって、EEWS が技術面・制度面で認められ、各分野における制御されたパイロット導入を可能にする。EEWS を提供するための基盤が形成されることで、POC 実証が多部門での採用や長期的な政策成功つながるものとして、波及することが期待される。

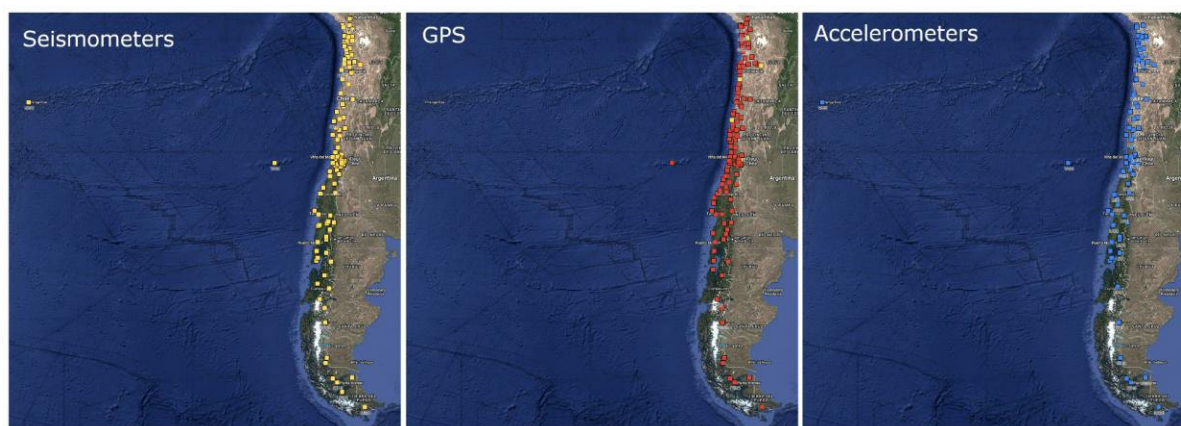
POC 実証は、国家基準に基づく早期警報技術の検証、地震観測ネットワークの近代化の開始、そして防災リスク管理体制全体の強化に必要な条件を提供するものである。POC 実証による証拠に基づいた意思決定、制度間の調整、長期的なレジリエンス投資を可能にする戦略的な公共政策行動となり、持続可能な地震早期警報能力を実現するためのステップとして波及効果が期待される。

4. 相手国政府・関係者への打ち込み

4.1. 早期地震検知・解析技術を本格導入するための課題の検証

CSN による地震観測技術による認証

CSN は、チリ国内で地震活動を監視する主要な機関である。下図の通り、チリ本土及びイースター島の両域を網羅しており、左パネルは地震計、中央パネルは GPS 観測局、右パネルは加速度計の位置を示している。



出典：CSN

図 4-1 CSN の常設地震観測ネットワーク

現在、ネットワークはチリ中部および北部で比較的密に配置されているが、アラウカニア地域（緯度約 -38° ）以南や緯度 -23.5° から -29.5° の間も網羅されていない。そのため全国規模のEEWS実装には適していない。一方、法律第 21,364 号により、CSN は国内で地震観測を行う権限を持つ機関として指定されているため、数年間にわたり EEWS の開発・実装を模索している。現在は実験的なシステムを有しており、CSN の常設ネットワークに加え、Smart-SOLO 地震計ノードで構成された一時的な低コストネットワークを用いて中央チリのデータを取得している。地震が検知されると、CSN はカリフォルニア（米国）で開発された ElarmS-3 システムのカスタマイズ版を用いて地震パラメータを自動で推定する。このシステムにより、信号の最初の 3~4 秒から地震の発生場所を迅速に特定することが可能であり、先に述べた一時的ネットワークの情報を活用している。他方、マグニチュードの計算は CSN の常設ネットワークで行われるため、システム全体としては完全に統合されているわけではない。

CSN はすべてのデータを Earthscope-IRIS にアップロードしており、これによりデータは公開されている。それらのデータより、毎日いくつかの観測局が停止していることが確認でき、観測局から CSN データセンターへの通信に問題があることがわかる。チリのような縦長の国で、アクセス困難な地域が多数ある場合、通信技術の改善により改善可能な課題であると考えられる。

SAE 2.0 による EEWS の警報送信

チリでは、SENAPRED を通じて、SAE 2.0 の制御プラットフォームの実装および運用に関する入札プロセスが開始されている。SAE 2.0 は、全国に広くカバーする必要のある、継続的で信頼性の高い警報システムである。その主な目的は、緊急時に国民に警告を発し、人々が適切な行動を取れるようにメッセージを送信することであり、これは法律第 21,364 号および SENAPRED 承認の「緊急警報システムマニュアル」に定められている。

SAE 2.0 は、既存の緊急警報システム（SAE）の第 2 版にあたり、従来は携帯通信事業者に警報メッセージを送信していた。通信事業者は警報メッセージを受け取り、避難命令などの情報を含むメッセージを顧客に伝達する。しかしながら、通信事業者ごとのネットワークカバレッジに制限があり、カバー範囲外にいる人には避難メッセージが届かない可能性がある。また、特定の携帯端末との互換性の問題、古いネットワークに接続されている場合や電源がオフの端末への警報伝達の困難さ、SMS の文字数制限による情報の質の制約などもある。

チリは、SAE の新バージョンを 2026 年末までに運用可能にすることを目指している。入札プロセスの技術要件によると、新システムは以下の要件を満たす必要がある。

表 4-1 EEWS が SAE2.0 に適合するために満たされるべき技術要件

項目	必要事項
情報伝達方法	携帯電話、SMS、電子メール、ソーシャルメディア（Facebook、X、Instagram、WhatsApp のチャンネル、または統合予定の他のチャンネル）。さらに、テレビ、ラジオ、アプリを通じて緊急メッセージを放送できる
携帯カバレッジ	GIS システムを用いて、国土の任意の地域を選択してメッセージを送信できる
警報作成	権限を持つユーザーが事前定義されたメッセージとパラメータを用いて効率的なインターフェース上で警報を作成・スケジュールできること。手順を最小化し、異なる伝達媒体を単一のインターフェースに統合する
警報監視とセキュリティ	全ての伝達チャンネルでメッセージの送信および受信を確認する機能（受信確認など）を含む
警報履歴	送信済み警報のデータベースを保持し、各警報の特性を記録。日付、伝達媒体、脅威の種類、地域などで検索可能である
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ SAE メッセージを受信する機器や要素の検証・テストのためのテストメッセージ送信 ・ 専用の現地サポートおよび 24 時間 365 日の支援 ・ インシデント報告・管理システム

EEWS は、SENAPRED との協力下で採用に向けた取組をするため、上記の技術要件を満たすことを想定して POC 実証される必要がある。

チリの地震観測ネットワーク改善における課題

チリの地震観測ネットワークの課題として、観測機器の老朽化、地理的網羅する範囲の制約、そして全国規模の EEWS の欠如がある。

CSN の予算は SENAPRED に依存しているため、地震観測ネットワークの更新に十分な資金が確保できていない。最新の大規模な観測ネットワーク拡充は 2017 年に行われたものであり、センターに多数の観測局が追加された。その後、地震観測局の構築に使用される技術は大幅に改善され、現在の観測局はより小型で設置が容易かつ信頼性が高くなっている。したがって、ネットワークを新しい観測局やより優れたデータ伝送システムで更新することにより、地震観測ネットワークは向上するが、更なる資金の投入を伴うため対応ができていない。

地理的なネットワークの網羅範囲の制約においては、特に緯度-38°以南やアンデス山脈では浅い断層系が多く存在し、これらも危険な地震を引き起こす可能性がある。ネットワークの改善のために観測局の設置が必要であるが、物流面では、アンデス山脈やチリ南北部の地域へのアクセスが困難という課題がある。機器面では、アクセス可能な地域（特にチリ南部のフィヨルド北部など）

であっても、多数の観測局を設置する必要があり、それに伴い追加の資金が必要とされる。

全国規模の EEWS 構築運用には、十分な資金と、優れたデータ伝送技術、そしてより密な地震観測ネットワークが必要である。さらに、地震検知・特性評価に使用されるソフトウェアが高い信頼性をもって機能することで、公的・民間のステークホルダーや一般市民からのシステムへの信頼につながり、新しいビジネスアイデアを通じたシステム拡張が期待される。

4.2. 対象国その他中南米諸国における実導入に向けた実現可能性

EEWS は、中南米を中心に環太平洋地震帯やアルプス・ヒマラヤ地震帯に属する地震多発国への導入が見込まれる。中南米諸国は共通した歴史的・文化的背景により、周辺国の実績を参考に同様の技術を採用する事が多い。チリにおける POC 実証で有効性が示され、EEWS が実証・実用化されると、同じ環太平洋地震帯で中南米地域に属するペルーやコロンビア等などの関心が高い周辺国が同様の技術を採用する可能性が高まる。

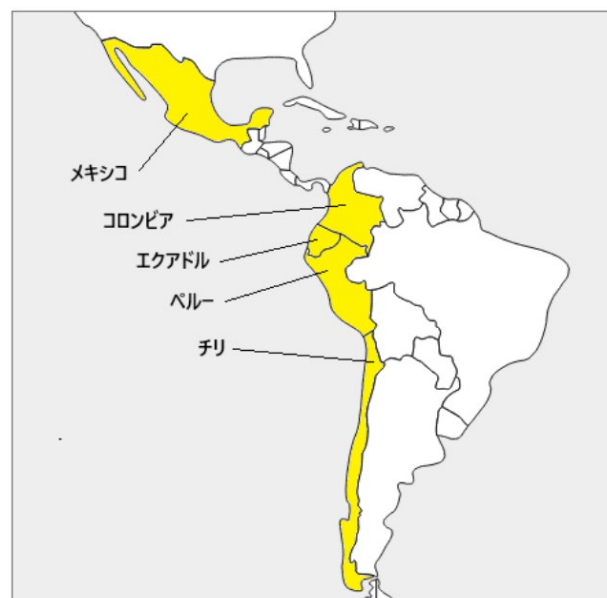


図 4-2 環太平洋地震帯の展開国

周辺諸国を含めた中南米の国々への提案を図るなかで、ペルーやコロンビア等は同じ環太平洋地震帯として同様の特徴があること、地震データ等の共有がされていることが確認された。周辺諸国と類似した環境や法制度もあることから、チリで事業展開を検討する際には、周辺諸国の取組みも参考にすることができる。

これまで、ペルーやコロンビアでは、下表の通り、FS 調査及び POC 実証等の取組を実施してきている。

表 4-2 ペルー・コロンビアでの POC 実証

国	ペルー	コロンビア
時期・ 実施事項	2018年～2020年 ・ オフライン稼働確認 2022～2024 ・ 観測点増設（4か所） ・ オンライン稼働確認 ・ 日本の防災システム視察・技術研修のための本邦受入実施	2024年～2025年 ・ オフライン稼働確認 2025年～2026年 ・ オンライン稼働確認（実施中） ・ ワークショップ実施（予定） ・ パッケージプラン提案（予定）
課題	通信速度の問題（データ滞留）等の課題が確認された	マグニチュードから警報を出すため、誤報が多いことが確認された（日本は震度測定より警報を出すため、誤報の防止が可能）

チリでは、これまでのペルーにおける先行実施や、現在、コロンビアで実施中の POC 実証により得られた知見にて、効率的・効果的な POC 実証が可能となる。

例えば、ペルーにおいては、予算化されて導入が進んでいる SASPe（Sistema de Alerta Sísmica Peruano:ペルー地震警報システム）がある。地震検知と地震報知のシステム強化及び統合化により、地震規模に応じて発する警報システムを導入するものである。

SASPe は、将来的に揺れ到達の 5 秒前に情報を提供することを目標としているものの、未だ整備されておらず、これまでの地震情報の提供実績より、情報発表までに数分の時間を要している。速報レベルの技術は情報発表までに 10～60 秒かかる EEWS とまだかなりの差があるものと推測する。SASPe は当初デンマークの支援で整備される予定であったが、現在は中国との契約に基づき支援を受け、いまもなお整備が継続中である。

EEWS と SASPe との大きな違いは、SASPe は一カ所の観測結果のみで判断して周辺のみ情報を伝えるシステムであり予測精度が低く、地震を検知した際、実際にどの地域（地点）がどの程度の揺れに遭遇するかを予測できていない。仮に 5 秒前に情報を出せるようになったとしても、実際には揺れが発生しない地域に警報を出したり、深い地震で地上がほとんど揺れない地震でも全国レベルで警報を出してしまったりする弊害が想定される。

SASPe に対し EEWS は、地震を検知した際、即時にどの地域がどの程度の揺れ（震度 5 強や震度 7 等）になるのかを、揺れが伝わる前に計算、報知する事ができる。災害を被る地域・程度を瞬時に揺れの強度ごとに色分けして、被災予測を地図上に図示できるため、警報を出すべき地域の明確化、被害が大きい地域、重点対応が必要な地域を瞬時に把握し災害対処に活用できる点が、EEWS による利点である。

このようなペルーで得られた知見を活かして、チリにおける POC 実証では、同国の SAE2.0 に対して EEWS の違いや特徴を明確にしなが、適合の道筋を検討していくことが考えられる。

さらに、中米で使用されている地震計データは、過去記録・リアルタイム共に日本の EEWS に活用できる見込みがあり、南米諸国の各システムに合わせて、チューニングにより最適な運用が可能と考えられる。南米諸国では類似の地震速報システムを使用しており、地震データも相互に活用している。そのため、中南米諸国への展開可能性が考えられる。

メキシコでは、EEWS が国家統一精度ではなく、州ごとに、緊急地震速報の主要な発信主体であ

る CIRES (Centro de Instrumentación y Registro Sísmico : 地震計測・記録センター) から情報を買う「購買モデル」で成立している特徴がある。CIRES は独自の地震計網を運用し、メキシコ国内で広く知られる緊急地震速報システム「SASMEX」を提供している。現在、複数の州政府や自治体は CIRES から地震情報を「購入」し、自州の防災システムに取り入れて警報を発している。

しかしながら、CIRES の EEW は、歴史的にメキシコシティの防災ニーズを中心に構築されてきた。このため、オアハカ州・プエブラ州など地震活動の活発な地域を含め、メキシコシティ以外の州では十分に網羅されていない。例えば、オアハカ州では州全域に警報が届かず、都市部の中心だけに限定される状況が続いている。

また、CIRES の EEW はマグニチュードに基づき警報の発報有無を判断している。この仕組みのため、震源に近いが揺れが小さい地域でも警報が鳴るケースがあり、実際には揺れない地域で警報が鳴る誤報が多いという問題が発生している。州政府により、住民の混乱を招くという課題が指摘されている。

オアハカ州は、地震頻発エリアであるが、管轄の州内に 1 点しか地震警報をされていない。ゆえに、CIRES に依存せず独自の地震監視センターを持ち、より高品質な EEW を導入したいという要望がある。現在、同州の災害対策担当機関であるオアハカ市民防衛局の予算化及び地震計も含めた新たな EEWS 導入に向けた提案中である。



図 4-3 地震計の位置と緊急地震速報を受けている 9 つの都市

エクアドルは、地震発生国であるが、地震の早期警戒システムが存在せず、地震の被害に対して脆弱であり、整備が急務である。現在、SNGR (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos : エクアドル災害対策担当機関) 及び IG (Instituto Geofísico : 地球物理庁) と協議を重ねて、我が国外務省による経済開発協力計画による提案をしており、同国内で優先対応とするための EEWS の理解促進をおこなっている。

5. 戦略実現のためのアクションプラン

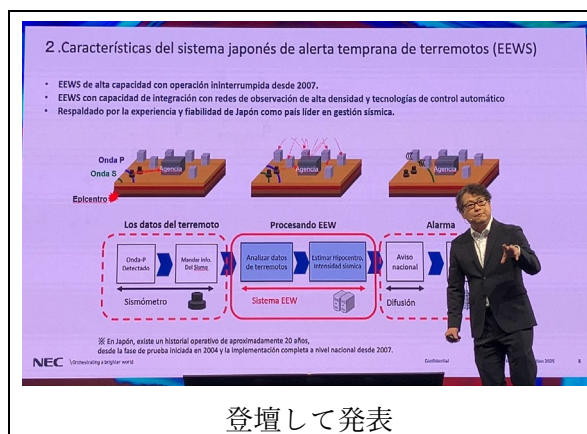
マスタープランとなる POC 実証が、チリ政府に受け入れられ、具体的な実施につなげるためには、関係機関間で実施条件を整理するとともに、必要な資金の確保およびチリ政府側の受け入れ体制の整備を進めることが重要である。チリ政府側では主に SENAPRED が中心となるため、関係機関と協議の上、予算制度等を踏まえた整理を進める。

また、チリ側のニーズとして、CSN を中心に地震観測ネットワークの更新に強い要望がある。POC 実証による EEWS の導入も、チリの地震観測ネットワーク更新の枠組みのなかで運用されるのが現実的な可能性もあるため、EEWS を組み込んだ地震ネットワーク更新という大規模なパッケージ事業を展開の可能性もある。

日本とチリが共創して EEWS の POC 実証を実施することで、SAE2.0 との連携プロトコルが可能となる。さらにパッケージ事業とすることで、地震観測ネットワークの強化も伴い、将来的な上位目標である、チリの地震リスク低減・国民保護、将来的な産業インフラの安全確保に寄与し、日本の先端技術による共創が実現される。

上述のアクションを具体的にするため、チリ政府からの招待に基づき、チリ未来会議にて EEWS を紹介する機会を得た。同会議は、チリ上院主導で、大統領府、省庁、大学、企業等が協力の上、2011 年から開催されている。毎年 100 を超える国内外の専門家がチリを訪問する大規模な科学・未来に関するイベントであり、最新の科学技術、社会課題、未来の展望について議論する国際会議である。AI、宇宙、環境、環境など多様な分野について語られ、当日は YouTube にて生配信された。現在はアーカイブにて視聴可能となっている。

本会議にて、日本の技術として提案する EEWS とその実績を紹介した。その結果、ラジオやメディアからのインタビューを受け、チリにおける EEWS を広く認知してもらう機会となり、SENAPRED との関係強化にもつながった。





ラジオ (Radio Cooperativa) による
インタビュー

MENU Buscar

Deportes El Día Política Dónde Vivir Solo Auto Sociedad Economía Empleo y Educación Internacional Tiempo Libre Pulpería

LunMás

Sistema de alerta temprana de terremotos que usa Japón detiene el tren bala

EL DÍA

Autor: Mauricio Ruiz | Fecha: 19 de enero de 2026

Takito Toeda, líder de la empresa que provee la tecnología, explica cómo funciona el mecanismo

Funciona con ciencia, sensores y cálculo en tiempo real para advertir que un sismo ya comenzó y que lo más intenso está por venir, asegura.

Chile tiene terremotos como parte de su historia, pero aún no cuenta con un sistema de alerta sísmica temprana capaz de avisar a la población -por celular, radio o televisión- con segundos de anticipación antes de que llegue el golpe más fuerte del movimiento. En Japón, en cambio, es realidad hace dos décadas y forma parte del modelo de emergencias para reducir el impacto en vidas y mayores consecuencias económicas.

«La alerta temprana no predice terremotos. Funciona con ciencia, sensores y cálculo en tiempo real para advertir que un sismo ya comenzó y que lo más intenso está por venir. Esos segundos permiten hacer lo que en una emergencia se vuelve oro: protegerse, abrir puertas antes de que se traben, detener ascensores, frenar trenes del Metro, pausar líneas industriales y cortar gas o electricidad para evitar incendios o explosiones. A veces, la diferencia entre tragedia y susto cabe en una decisión tomada en cinco o diez segundos», dice Takito Toeda, manager de Infrastructure DX Business División en NEC, quien

COMPARTIR:

Hoy en lun.com

Las Últimas Noticias

Fiebre de Joe 04

LUN 紙に掲載されたインタビュー記事

チリ未来会議後、SENAPRED および CSN との意見交換の機会を設け、POC 実証の概要について確認・整理を進める予定である。