

# AIR日本地震モデル

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震（東北地震）が日本を襲いました。それは、それまでに経験のない大規模な地震で、事前の想定を遥かに超えた地震でありました。この地震により、巨大地震のリスクを評価するには過去の地震記録を分析するだけでは不十分である事が明らかになりました。

AIRの日本地震モデルは、次の大災害の影響を効果的に低減するための貴社のリスクマネジメント戦略をサポートし、最新の情報を提供いたします。



マグニチュード9.0の東北地震とその後の津波により、約350億ドル（発生時約2.9兆円）の保険損失が発生しました。この壊滅的な大地震の結果、日本全体の地震活動の再研究と近辺で起こりうる大地震の発生確率の見直しが喫緊の課題となりました。AIRの日本地震モデルは、次の大災害の影響を効果的に低減するための貴社のリスクマネジメント戦略をサポートし、最新の情報を提供いたします。

本モデルは、確率論的手法を用いて地震動及び地震火災、地盤液状化、津波による地震災害の損失を算定します。本モデルは、AIRによる詳細な調査だけでなく政府機関や様々な専門機関による研究成果を取り入れ、地震活動だけでなく建物等の脆弱性についての最新の知見も反映しています。また本モデルの検証には、日本の保険業界から提供された詳細な損失データが用いられています。

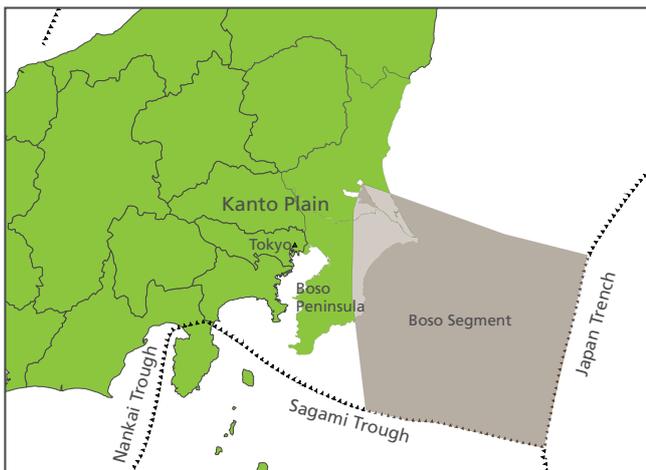
#### 地震災害に対する総合的見識

日本は世界で最も地震活動が活発な地域の一つであり、その複雑な地質構造プレートは最も研究されています。しかしそのように長い間地震活動を詳細に研究してきたにもかかわらず、マグニチュード9.0の東北地震は想定外の出来事でした。それは1900年以降初めて日本海溝で起こったマグニチュード8.5を越える海溝型地震であっただけではなく、最古の地震記録がある1600年以降に日本を襲った最も大きい地震でありました。

この地震がもたらした地震応力の変化は、周辺の手海溝と内陸断層が破断する確率に大きな影響を及ぼし、日本の地震リスクを変化させました。

東北地震後、AIRの地震学者、文部科学省地震調査研究推進本（HERP）、その他多くの専門家がこの地域の地殻変動を把握するため様々な分野での研究を始めました。AIRの地震学者も、東北地震の日本海溝の房総セグメントを含む近隣の地震源への影響について研究を行いました。房総セグメントは数百年間大きな破壊が起きていません。しかし過去に大地震が起きていない事が、将来大地震が起きないという証拠にならない事は東北地震により証明されたため、専門家の間では、関東及び東京を壊滅させるマグニチュード7.5～8.6の地震を起こすエネルギーが房総セグメントで蓄積されている可能性を除外できなくなっています。

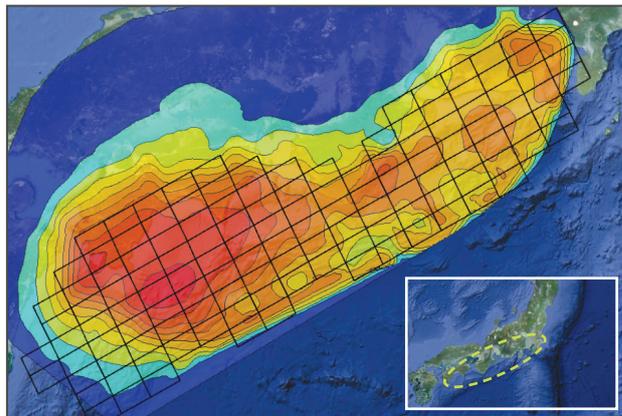
AIRの地震学者は房総セグメントでの地震発生の可能性を把握し評価するために、GPSデータを用いて房総セグメントを含む周辺地域の動態ブロックモデルを開発しました。この動態ブロックモデルは、海溝沈み込み部分の結合（もしくは固着）状態を説明する物理学に基いたモデルです。大地震の再発生率を定式化するための十分な地震履歴が無い場合、この運動学的モデルから得られる情報は大変有益なものとなります。



房総セグメントは沖合から関東平野直下まで広がり、東京に大きな影響を及ぼす。（出典：AIR）

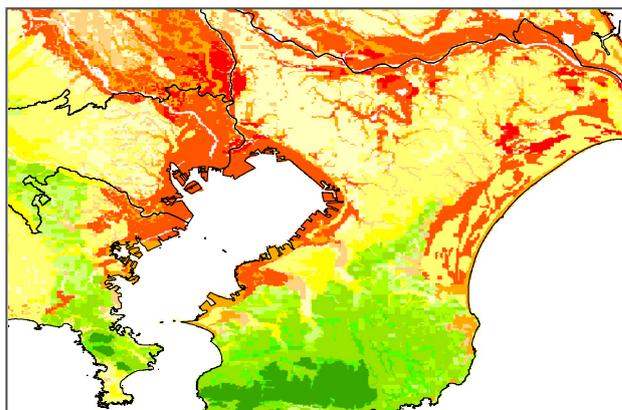
東北地震後、内閣府中央防災会議が一連のワーストケースシナリオの被害を推定するために行った研究結果を受けて、AIRの研究者も南海トラフの地震活動を再評価しました。（図参照）

高い地理的詳細度での地震動のモデル化  
 全国で地震動の強度を判定するために、東京、神戸、京都、大阪、名古屋、広島、福岡、横浜、仙台の都市部において50メートルメッシュ、その他の地域では200メートルメッシュの土壌マップを使用しています。



動態ブロックモデルにより示された南海トラフ内の固着領域。赤く示された領域は、地震エネルギーが最も蓄積された領域。（出典：AIR）

AIRの地震学者による綿密な分析と学界で発表された研究に基づいて、本モデルには日本の地震災害の最新の知見が反映されています。AIRによる分析の成果は地震研究推進本部の最新の地震発生確率を補い、本モデルにも組み入れられています。

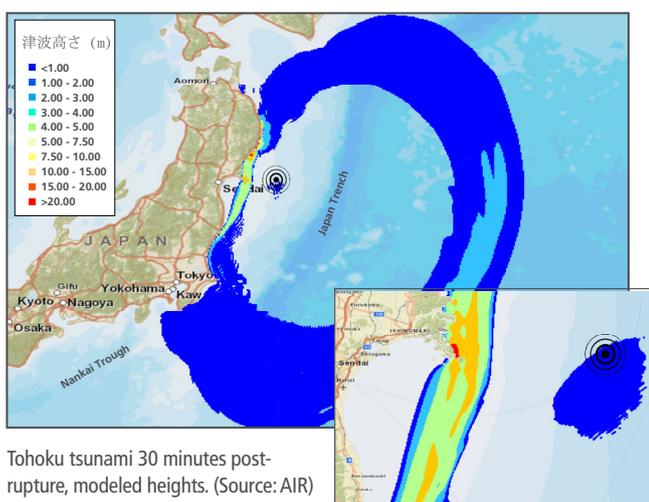


東京及び関東平野の50メートルメッシュ土壌図（出典：AIR）

## 業界発の津波の確率モデル化

本モデルでは、広く使用されているTSUNAMI1)モデルの要素を取り込み、確率論的数値モデルの手法を用いて津波の発生、強度と被害を明確に把握します。本モデルは、イベントカタログ内で発生した各津波について、地震断層での発生から、最初の水の隆起、外洋での高さの変化と進行速度、海岸への接近と干渉まで、浸水期間が終わる迄の津波の全行程を捉えています。これは他のシミュレーションモデルとは違うところです。

津波の高さと進行速度は、被害の大きさを決める2つの主因であり、海底面との摩擦が大きく影響します。津波が海岸に近づくにつれ、摩擦により波の前線の進行が遅くなり津波は高くなります。津波が海岸近くの浅瀬に達すると更に摩擦は増し、波の高さと被害の可能性が増します。陸上に到達すると摩擦により波の進行速度は更に遅くなり、場所によっては水が障害物や地形によって持ち上げられるため波の高さが増加し続けます。それ故、津波被害を把握するためには摩擦の特徴を捉えることが重要となります。本モデルでは、摩擦の特徴と津波の速度や浸水の影響を特定する為に土地被覆データを用いています。



Tohoku tsunami 30 minutes post-rupture, modeled heights. (Source: AIR)

## 日本の津波防災の把握

AIRモデルの津波コンポーネントでは、波の力により防潮堤が破壊される確率を含めることにより日本の広域防災システムを考慮しています。本モデルは防潮堤の決壊による損害の増加、更に瓦礫が漂流して引き起こす被害の影響も考慮しています。

## 専門家による評価を受けた地震火災モジュール

地震火災リスクには様々な要因があります。地震動の強度と建物密度が、電線やガス配管の損傷、家財の転倒等により起こる初期出火に影響します。地震による道路や水道の損傷が消火活動の大きな妨げになる可能性があります。また地震時の風の状況次第で比較的小さな火災が大火災に発展する場合があります。

日本で起きた過去の地震火災の記録から開発された出火率関数と地震動、建物密度、建物用途のデータを用いて初期出火のシミュレーションを行います。

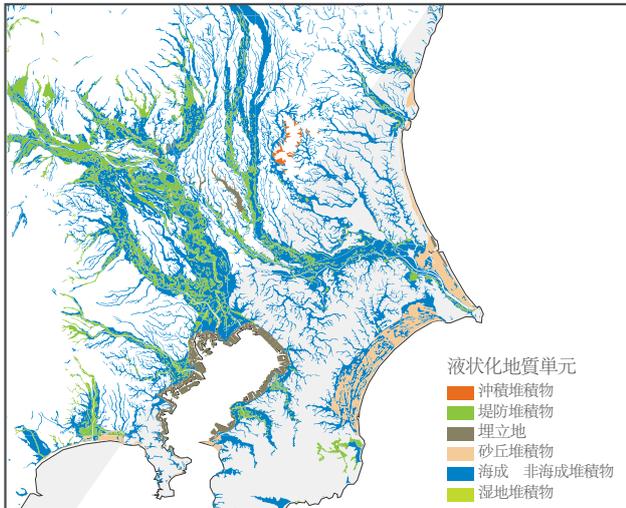
それに続く延焼をモデル化するために、AIRの研究者はマルチレベルアプローチを開発しました。建物間の間隔、耐火性、出火場所と風の状況の変数を考慮したモデル化技術を用いてブロックレベル(街区レベル)での延焼を解析します。その後、防火帯の幅、風速、風向次第で、あるブロックから隣のブロックへ火災が伝播していく街レベルの延焼を解析します。鎮火は、消防車の動きと消火用水の供給に依存します。

## 液状化の明確なモデル化

激しい地震動の結果、水が染み込んだ土壌が強度を失い液状化は起こります。液状化により地盤が建物を支えきれなくなるため、突然建物が傾き、倒壊することさえあります。地盤が液状化してしまうと、地中に埋められた配管が破壊され、配管とダクトは地表に浮かび上がることがあります。

本モデルで、日本の液状化リスクは明確にモデル化されています。液状化の被害の大きさは、土壌の液化状態と土壌条件に因る揺れの増幅に影響されます。AIRの液状化モジュール中の土壌断面の入力データには、表面土壌層の地図と岩盤までの距離など液状化傾向を決める地盤情報の地図が含まれます。

<sup>1</sup> Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-Field Tsunamis



東京及び関東平野における液状化地形区分（出典：AIR）

### 複数のベリルに対応する被害関数

被害関数は、ハザードと影響を受ける構造体の脆弱性の関係を表します。工学的研究や東北地震を含む災害の実地調査、膨大な保険のクレームデータの解析を基に、AIRの技術者は62の構造種別（そのうち15は火災構造級別）と117の建物用途別（そのうち64は工業用複合施設）の地震被害関数を開発しました。

本モデルの脆弱性モジュールの特徴を以下に列挙します。

- 過去地震や東北地震の膨大なクレームデータを用いて行った被害関数の検証
- 地震動、地震火災、津波、液状化それぞれのベリルに対する被害関数の作成
- 建物、設備、業務中断、海上貨物、陸上貨物（倉庫）、鉄道、火力発電所、自動車、航空機等の特殊リスクに対して、4つのベリル別（地震動、地震火災、津波、液状化）の被害関数の作成
- 地域各地方の建物の脆弱性の違いを考慮した調整
- 木造建物についての詳細な建築年代区分
- 改定された日本の火災構造級別に適合する6種類の複合構造種別（住宅用途3種類、商業用途3種類）の被害関数の作成
- AIR Industry Exposure Database (IED)を活用した不特定対象建築物に対する被害関数の作成
- 木造と非木造建築物それぞれに5つの建築年代区分を設定（両者とも”年代不明”と”2000年以降の建築”という区分を含む。）

### コンポーネントベース手法を用いた複合工業施設のモデル化

人命と財産の損失に加え、東北地震は日本の原子力発電と火力発電に甚大な損害をもたらしました。日本にある55の原子力発電所の半数以上が地震を受けて停止し、その後の計画停電及び電力使用制限がグローバルサプライチェーンを分断させました。

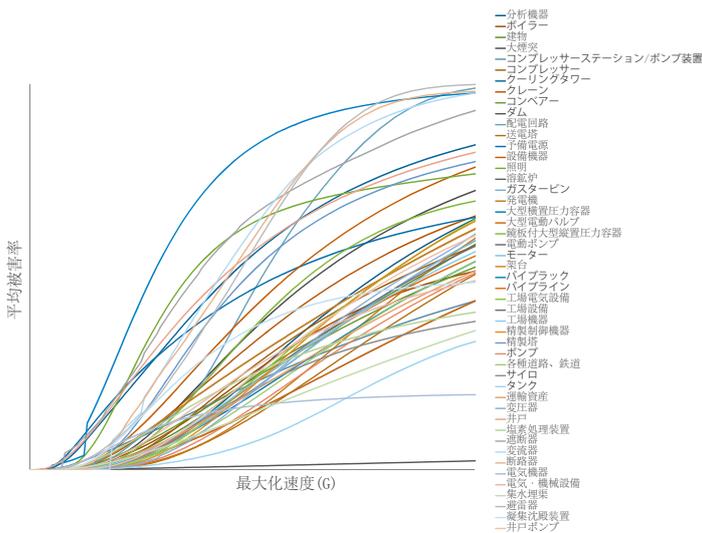
AIRモデルは工業複合施設の損失推定を行う為に、厳密なコンポーネントベース手法を用いています。冷却塔、パイプ棚、タンク、輸送中の貨物等、400種以上のコンポーネント毎に被害関数を作成し、それらを各コンポーネントの施設全体の再調達価格に対する割合に合わせて施設全体の被害関数に集約します。またこのコンポーネントベース手法は、施設内の様々なコンポーネント同士の関係が大きく影響する業務中断損失の評価に不可欠な手法です。

“AIRの[地震火災]モデルは土地利用データ、建物の位置分布データ、風向風速データ、消防車の待機位置や台数等の消防データ、地震動データなど全国規模の様々なデータを利用しています。本モデルの強みは、一つのリスク尺度を用いて全国の地震火災延焼リスクを推定できることです。”

—京都大学防災研究所 樋本圭佑 助教

### 様々な日本固有の保険条件を考慮した解析

日本の地震保険市場には、様々な保険約款が存在します。本モデルは、シングルロケーション、マルチロケーションそれぞれの支払限度額方式契約や縮小填補方式の契約、また共済で用いられる損害割合に応じた支払方式の契約も考慮した解析が可能です。また日本独自の契約である地震火災費用保険金についてもモデル化しています。



産業施設構成要素の被害関数例

### 詳細なINDUSTRY EXPOSURE DATABASEの利用

AIRのIndustry Exposure Database (IED)は建物数、特徴、建築コスト等の最新の情報に基づいて作成され、1kmメッシュの地理的詳細度を備えています。IEDには多くのメリットと使用用途があります。損保業界全体のモデル損失額を算定する際には、IEDはその基礎データとなります。また損保業界全体の損失額を指標として支払いが決定されるインダストリーロスワランティイのようなリスク移転手法もIEDに基づいて提供されています。AIRの詳細なモデリングアプリケーションと共にIEDを利用すれば、損保会社は保有ポートフォリオのエクスポージャーデータを地理的により細かなレベルに分散させる事が可能となり、より正確な損失推定を得る事が出来ます。

### 包括的な検証方法

AIR日本地震モデルによる推定損失額は、東北地震の約4百万件のクレームデータだけでなく、その他の過去地震のクレームデータを用いて検証されています。包括的な検証方法を採用し、モデルの推定損失額の合計が適正なレベルである事、対象となる地震の物理的な期待値とモデル結果との間に一貫性がある事、また過去や現在の知見に照合してモデル結果に矛盾がない事が確認されています。

本モデルが科学的に厳密で正確である事をできるだけ保証するため、モデル結果以外にも検証が行われています。東北地震を含む過去地震の情報やデータに対し、モデルのコンポーネントが個別に検証されています。例えば5千を越える東北地震の観測記録や東北地震津波合同調査グループによる記録とモデル内の津波イベントを比較して、津波コンポーネントの検証は行われました。モデル化された地震動は実際記録された地震動と良く一致しています。モデル化された被害率は、実際の観測値や公表されている報告書論文と比較し検証されました。

## モデル概要

モデル化された災害	地震動、地震火災、液状化、津波
対象地理の詳細度	県、地方公共団体コード（JISコード）、任意の緯度経度、郵便番号、損保コード
確率解析カタログ	時間依存1万年カタログと非時間依存1万年カタログ それぞれ10万件以上の損失を発生させる模擬地震を含む
対象構造種、建物用途種、特殊リスク	<ul style="list-style-type: none"><li>- 地震動、地震火災、液状化、津波それぞれについて、22の構造種別と15の火災構造級別に対する被害関数</li><li>- 64の複合工業施設を含む117の建物用途種</li><li>- 鉄道、海上貨物、船舶、物流倉庫、傷害を含む様々な特殊リスク</li><li>- 特定不可建築物用被害関数： 構造種別や階数など詳細なエクスポージャーデータが入手できない場合、日本固有の構造特性を考慮した特定不可建築物に対する被害関数を適用</li></ul>
対象保険条件	AIRの詳細なソフトウェアは、様々な対象地、保険契約、再保険条件だけでなく縮小填補方式と支払限度額方式も対象としています。 拡張担保やステップ支払方式のような日本で一般的に使われている複雑な契約も対象としています。

## モデルハイライト

- 日本の地震リスクの2つの概論を採用： AIRにより開発された標準（デフォルト）時間依存カタログ（デフォルト）と非時間依存カタログ。 2つのカタログを提供することにより、クライアントがリスク管理の基礎である偏差と不確実性の評価を行うことをサポートします。
- 地震動の揺れの増幅と液状化の可能性を把握するため、AIRで開発したの高地理的詳細度の地盤情報図を活用
- 業界初の確率論的津波モデルコンポーネントにより、津波の発生から浸水までの津波の状態を把握
- 出火、延焼、鎮火までのシミュレーションした地震火災モデルのマルチレベルな手法
- 全国をカバーする液状化コンポーネント
- 鉄道、海上貨物、船舶、物流倉庫、人身傷害を含む様々な特殊リスクを対象化
- 約4百万件の東北地震のクレームデータとその他の過去地震のクレームデータを用いた包括的なモデル結果の検証

## ABOUT AIR WORLDWIDE

AIR Worldwide (AIR)は、個人、企業、社会が災害に対してより強靱になるために、大規模災害モデルによるソリューションを提供しています。AIRは大規模災害モデル業界を1987年に創立し、現在は世界中の自然災害からテロリズム等のリスクをモデル化しています。保険、再保険、金融、事業法人、政府関連のお客様が、AIRの先進的な科学、ソフトウェア及びコンサルティングサービスを、災害リスク管理、保険関連証券、特定施設の工学的分析、農業リスクの管理に利用しています。

AIRはVerisk Analytics (Nasdaq:VRSK)傘下の一員であり、ボストンに本社を置き、その他北アメリカ、ヨーロッパ、アジアに拠点を置いています。ホームページにて詳細情報を御覧ください。[www.air-worldwide.com](http://www.air-worldwide.com)



AIR is a Verisk Analytics business.  
AIR Worldwide is a registered trademark.

Cover image courtesy of NASA Earth Observatory

©2017 AIR WORLDWIDE