

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震レポート

第 3 報（地震と津波のメカニズムについて）

松本 聡子 Satoko Matsumoto

リスクコンサルティング事業本部

ERM 部

主任コンサルタント

山口 友子 Tomoko Yamaguchi

リスクコンサルティング事業本部

ERM 部

主任コンサルタント

藤井 裕之 Hiroyuki Fujii

研究開発部

定量評価室

主任研究員

はじめに

今回の地震は宮城県で最大震度 7 を記録したばかりでなく、東北地方から東関東の湾岸を記録史上最大の津波にて破壊し尽くすという、まさに「想定外」の地震災害であり、未曾有の大被害を我が国にもたらしています。

第 3 報ではこの巨大地震と大津波のメカニズムに関する情報を提供すると共に、この地震同様に複数の震源域が連動すると想定されている東海・東南海・南海地震シナリオについて改めてお伝えします。

なお本レポートは、2011 年 3 月 31 日までに公表された情報を取りまとめたものです。今後発表される情報に基づき、順次続報を発信していく予定です。

1. 東北地方太平洋沖地震について

1.1. 地震の発生機構と地殻変動

発生日時：3 月 11 日（金） 14:46 頃

震源域：東北地方から関東地方の太平洋沖、

南北 510km 東西 210km

最大すべり：23m

マグニチュード：9.0（気象庁暫定値）

最大震度：震度 7（宮城県栗原市）

震度 6 強（宮城・福島・茨城・栃木の各県）

（出典：防災科学技術研究所発表資料）

東北地方太平洋沖地震の発震機構は、三陸沖において西北西—東南東方向に地盤が圧縮されたプレート間地震です。震源域は南北方向約 500km・東西方向約 200km に及び（図 1.1 破線部分）、従来は別々に起こると予測されていた「三陸沖中部」「宮城県沖」「三陸沖南部海溝寄り」「福島県沖」「茨城県沖」の 5



図 1.1 三陸沖北部から房総沖の評価対象領域
（出典：地震調査研究推進本部，平成 21 年 3 月 「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂について」 に加筆）

つの海域と「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」までを含む巨大な震源域がほぼ同時に連動したため、想定を超える規模の大地震となりました。

この広域な震源域とずれの量により、日本での観測史上最大と言われる地震の規模である M9.0 が記録され、宮城県栗原市の震度7をはじめ、極めて広範囲で強い地震動が観測されました（図1.2）。

表1.1 は今回の地震による「震度4以上の強い揺れが継続した時間」を示しています。強い揺れが長時間続いたのも、今回の地震の特徴のひとつです。これまでは強い揺れの継続時間は大規模地震でも60秒前後と考えられてきたことから、この地震のエネルギーの大きさが突出していたことが読み取れます。この長時間の揺れによって構造物により負荷がかかったと予想されます。

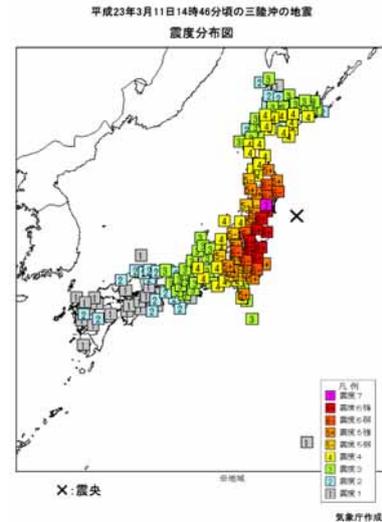


図1.2 東北地方太平洋沖地震震度分布

（出典：気象庁、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について）

表1.1 各地の揺れの状況について

調査した地点	震度4以上を観測した時間	最大震度
いわき市小名浜(小名浜特別地域気象観測所)	約190秒	6弱
五戸町古館	約180秒	5強
仙台市宮城野区五輪(仙台管区気象台)	約170秒	6弱
盛岡市山王町(盛岡地方気象台)	約160秒	5強
大船渡市大船渡町(大船渡特別地域気象観測所)	約160秒	6弱
石巻市泉町(石巻特別地域気象観測所)	約160秒	6弱
福島市松木町(福島地方気象台)	約150秒	5強
白河市郭内(白河特別地域気象観測所)	約140秒	5強
水戸市金町(水戸地方気象台)	約130秒	6弱
千葉市中央区中央港(千葉特別地域気象観測所)	約130秒	5強
東京千代田区大手町(気象庁)	約130秒	5強
横浜中区山手町(横浜地方気象台)	約130秒	5強
宇都宮市明保野町(宇都宮地方気象台)	約120秒	5強
久喜市下早見	約120秒	5強

（出典：気象庁、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震時に震度計で観測した各地の揺れの状況について」）

この地震は「震源域の広さ」「ずれの大きさ」「揺れの継続時間」の全てが大きく、日本列島の地殻変動までも引き起こしました。図1.3は水平方向および上下方向の地盤の変動を表しており、黒矢印の長さが変動量を示します。水平方向の変動は宮城県石巻市牡鹿で最大5.3m東に動いている他、太平洋側の広い範囲で変動が見られます。また上下方向では、同じく牡鹿で1.2mの沈下を記録しています。震度の大きかった地域では地盤が不安定になっているところもあり、また沈下した箇所では津波等の災害に対して脆弱になっているため、補強工事など早急な対策が望まれます。

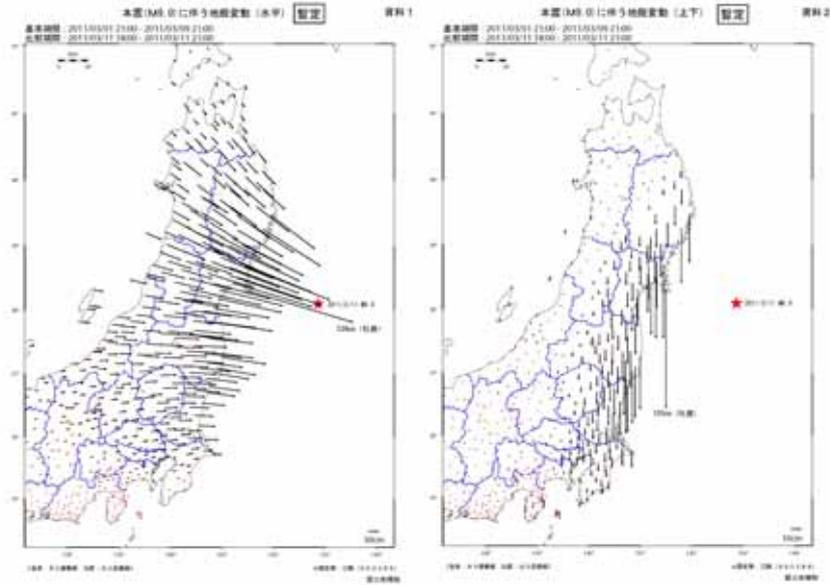


図 1.3 地殻変動 (左：水平方向、右：上下方向)

(出典：国土地理院「本震(M9.0)に伴う地殻変動」平成 23 年 3 月 19 日)

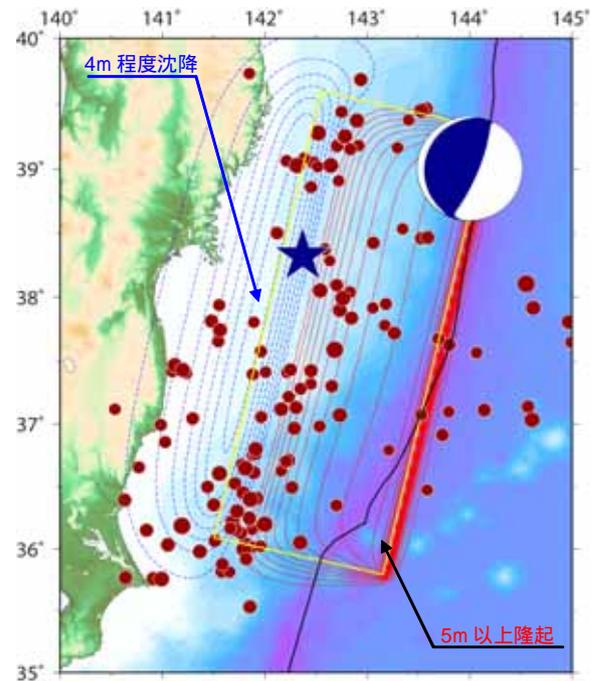
1.2. 津波の発生機構

津波は地震や火山活動、地すべりなどによって海面が大規模に変動することで発生することが知られています。津波の発生要因の多くは、今回の地震のような海溝型地震です。

海溝型の地震津波が発生する際には図 1.4 に示すように海底地盤が数 m の規模で隆起と沈降を始め、それに伴って海面も上下に変形します。このような海面の上下変動が津波の発生であり、海面の上下変動は津波として四方八方に伝播し始めます。

1.2.1. 津波の観測結果

海面の変動を観測するため、日本沿岸にはいくつもの潮位観測所が設置されています。今回の津波ではこれらの潮位観測所によって巨大津波来襲時の水位変化が観測されました。ただし津波によって大きな被害を受けた三陸沿岸では、潮位観測所自身も被害を受けたため、津波第一波の途中までしか観測ができていません。しかし気象庁のデータ解析の結果、図 1.5 に示すように津波による水位上昇が始まって



赤実線：地盤が隆起した範囲
 青破線：地盤が沈降した範囲（地盤の上下変化 50cm 毎）
 青星：本震の震源位置
 赤円：地震発生後 1 日の間に発生した余震位置

図 1.4 地震による海底地盤の上下変動

(出典：独立行政法人 建築研究所 に一部加筆)

から 10 分足らずの間に 8m 以上水位が上昇したことが確認できます。これは第一波の途中までを観測したものであるため、津波による最高水位は観測結果よりも大きかったことも想定されます。

福島県いわき市小名浜では 11 日 15 時 39 分に最大波 3.3m を観測しています。その後、津波は何度も来襲し、約 3 時間後の 19 時過ぎには第一波と同程度の津波が来襲していることが確認できます。一般的に津波は何度も来襲し、第一波が最大とは限らないと言われていることが観測の記録からも確認できます。

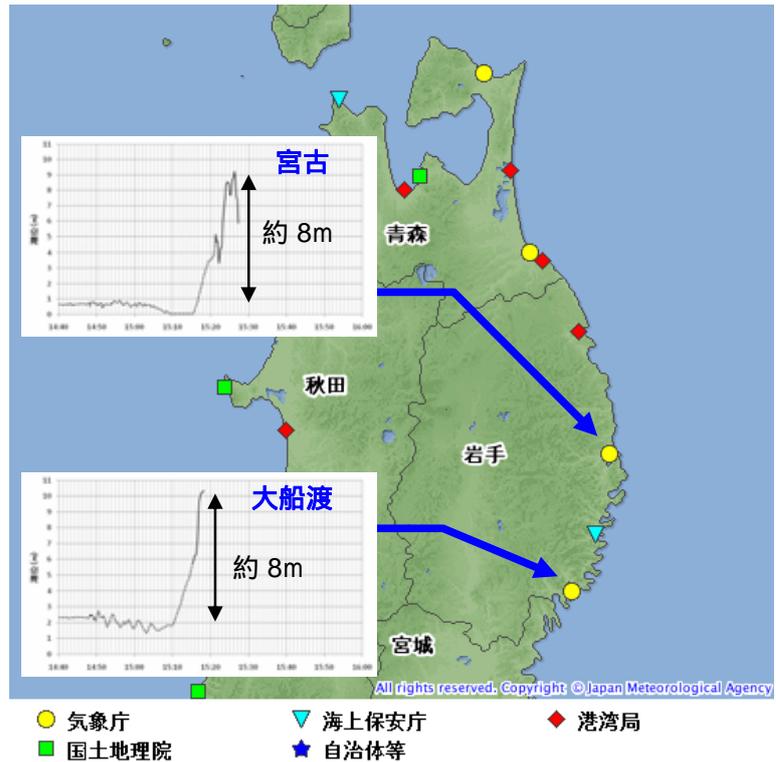


図 1.5 東北地方における潮位観測所と津波観測記録

(出典：気象庁 HP、報道発表資料平成 23 年 3 月 23 日 14 時 00 分 に一部加筆)

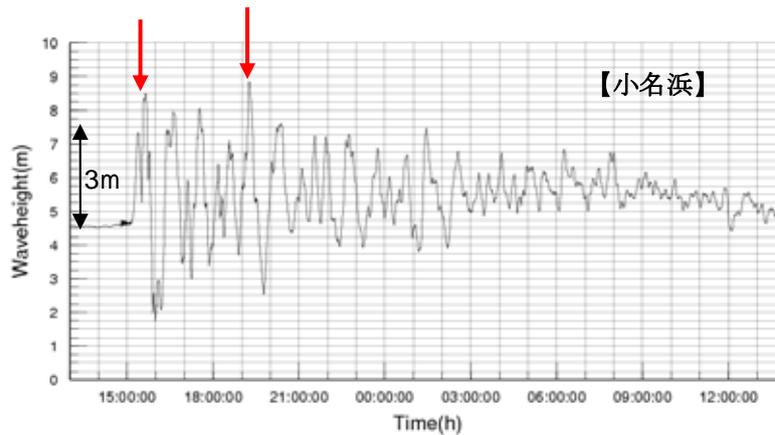


図 1.6 東北地方における潮位観測所

(出典：気象庁 報道発表資料 平成 23 年 3 月 14 日 19 時 00 分 に一部加筆)

1.2.2. 陸上の津波

今回の地震では、仙台平野を遡上してくる津波の映像が上空や高地、近隣の建物など様々な角度から撮影され、テレビ、新聞等で報道されています。津波は多くの家屋を倒壊させ、倒壊した家屋などを瓦礫として押し流しながら内陸まで遡上していきました。独立行政法人港湾空港技術研究所の調査によると、宮城県女川漁港で計測された津波の痕跡高さは 14.8m に達していることが確認されています。また、その周辺の平野部では木造家屋のほとんどが全壊しており、鉄筋コンクリート構造物は残っているものの、横転している鉄骨造ビルも確認されたとのことです。

1.3. 余震活動

今回の地震の余震回数は、近年発生した地震のケースと比較して非常に多く発生しており（図 1.7）、既にこれまで最多の余震回数であった北海道東方沖地震の4倍に迫る勢いです。これは前述の通り、震源域が非常に広域だったためと考えられます。3月30日時点で、気象庁は震度5強以上の余震が発生する可能性を「10%以上」と予測しており、引き続き余震及び津波に対する警戒が必要です。

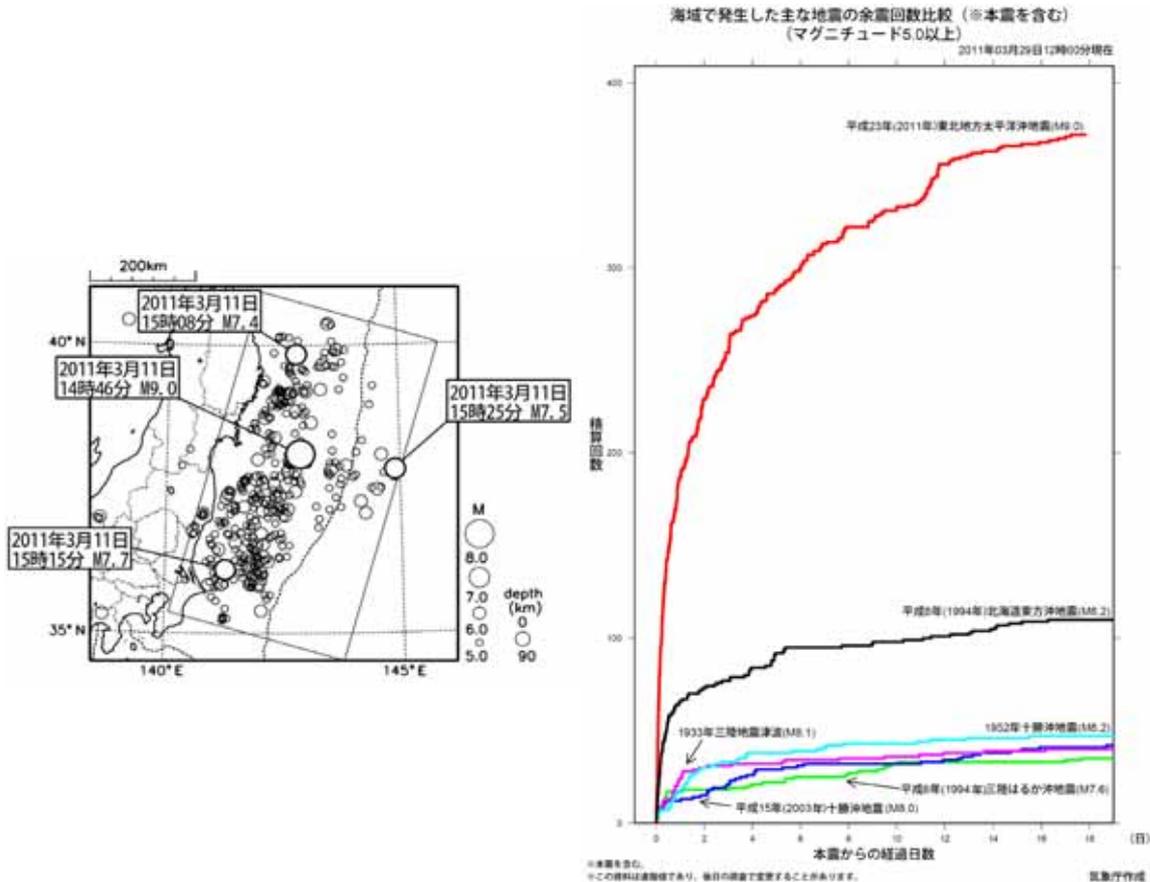


図 1.7 余震分布図 (2011/3/30) と地震の余震発生回数比較 (累積)

(出典：気象庁、「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」について)

1.4. 卓越周期

建物はその構造や高さによって、固有の振動周期（固有周期）を持っており、一般にそれは木造家屋や低層建築物で 1.0～1.5 秒、高層ビルで 2.0 秒以上です。一方、地震波はいろいろな周期の波が混ざり合っていており、その中でも揺れの大きな地震波の周期（卓越周期）と建物の固有周期が一致すると、共振により建物の倒壊など大きな被害を引き起こします。

図 1.8 は筑波大学地震防災・構造動力学研究室の境有紀教授が、今回の地震で計測された強震計データを解析した結果の一部です。縦軸は「地震の揺れの強さ（加速度）」を、横軸は「周期」を表し、各観測点においてどの周期の揺れが強かったかを示しています。左図の赤太線 MYG004 は、今回の震災で最大震度 7 を計測した宮城県栗原市にある築館観測点の観測結果であり、0～0.5 秒の周期帯で 5 G を超える強い揺れを測定しています。震動とは異なるため単純に比較はできませんが、一般的なジェットコースターの最

大加速度が3G程度とされていますので、かなり強い震動であったと想像できます。今回の地震では岩手県・宮城県・福島県・茨城県などで長くても1.0秒未満の周期が卓越していたため、建物の固有周期とは一致せず、地震の揺れが非常に大きかった割に地震動による建物の倒壊などは少なくなっています。

また2008年の十勝沖地震の際に見られたような、超高層ビルや大規模構造物を大きく揺らす3.0~5.0秒の長周期が卓越していたということもありません。地震の揺れの大きさに対し、高層・大規模建築物の構造体の破損は限定的でした。

同右図は、同じく境教授が今回の地震と他の地震とを比較したもので、赤線で示される兵庫県南部地震（JR鷹取）は周期1.0~1.5秒が卓越しています。前述のように、木造家屋や低層建築物の固有周期はこの帯に該当し、兵庫県南部地震での建物の倒壊被害が多かった事実と適合しています。

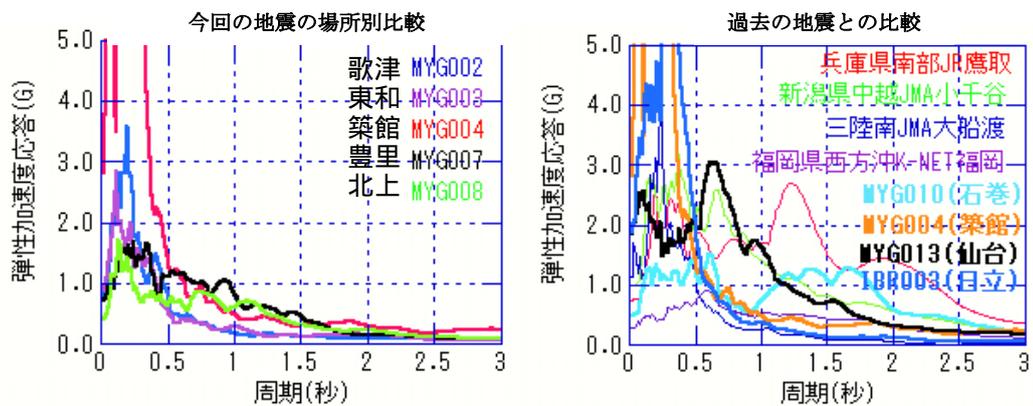


図 1.8 今回の地震の卓越周期（宮城県）と他の地震の卓越周期との比較

(出典：境有紀「2011年東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と被害調査速報 発生した地震動の性質」)

1.5. 液状化被害

震源から離れているため、首都圏では地震の揺れによる構造物の被害は限定的でしたが、舞浜などの湾岸部には液状化の被害が発生しています。

液状化現象は、湾岸部の埋め立て地・河川や海岸に近い場所などの地下水位の高い柔らかい砂質地盤で起こります。そのような地盤が強い揺れに見舞われると、砂粒同士を支えていた摩擦力が減少し、地中の杭や地上の構造物を支える支持力が減少し、地盤沈下や構造物の破損を引き起こします。

各自治体で発表している液状化ハザードマップ等を参照し、液状化発生地域に施設等がある場合は、その被害も加えて地震対策を検討することが重要です。



図 1.9 液状化による地盤沈下

(出典：当社撮影、浦安鉄鋼団地付近)

1.6. 東北地方の過去の地震・津波

今回の地震の震源域となった海域では、過去にも多くの地震が発生しており、特に規模・被害の大きかったものを下表にまとめました。

表 1.2 東北地方太平洋沖地震の震源域となった海域で発生した過去の地震・津波

発生日	名称	発生場所	地震規模／津波	被害・備考
869年 (日時不明)	貞観地震	仙台市 北東沖	-	「日本三代実録」に記録有 産業技術総合研究所のシミュレーションにて断層モデルは幅100km・長さ200km・すべり量7mと推測
1896年 6月15日	明治三陸津波	三陸海岸 東方沖 200km	M8.4※ 津波高さ10m 最高38m(綾里) ※津波被害から推測	死者行方不明者2.2万人、流失・倒壊家屋1.2万戸 震度は小さいが長さ250km・幅80kmの広域な震源域が巨大津波を発生
1933年 3月3日	昭和三陸津波	釜石市 東方沖 約200km	M8.1 津波高さ10m 最高29m(綾里)	死者3000人、流出・倒壊家屋7000戸 三陸海岸の最大震度は4～5、太平洋プレート内部で起きた正断層型のプレート内地震
1960年 5月23日	チリ地震による津波	南米チリ 中部パル ディピア 近海	M8.1 津波高さ8m (三陸海岸)	死者139人、流出・倒壊家屋2830棟(日本) 津波が太平洋を横断し22時間半後に三陸海岸に到達
1978年 6月12日	1978年 宮城県沖地震	宮城県沖	M7.4	死者28人、住宅全壊1183棟 新興開発地に被害が集中
1994年 12月28日	平成6年三陸 はるか沖地震	三陸沖	M7.6 弱い津波あり	死者3人、住宅全壊72棟 八戸の震度6を中心に、各地で被害
2008年 7月24日	岩手県沿岸 北部	岩手県 沿岸北部	M6.8	死者1人、住宅全壊1棟 岩手県洋野町で震度6強を観測

(出典：(防災科学技術研究所 自然災害情報室「東日本太平洋岸における津波災害」、地震調査研究推進本部「地震がわかる！防災担当者参考資料」を基に当社作成)

今回の地震は、1000年に1度の大地震であるとの報道がなされていますが、これは次のような研究結果に基づいています。「日本三代実録」という史料には、貞観11年5月26日(西暦869年7月13日)の記録に大規模な津波が仙台平野に來襲したことが記録されています。また近年、仙台平野の地層調査などから厚さ数cmの砂層が3層確認されており、最も上の層に位置する砂層は貞観津波の津波によって海から運ばれた砂であると考えられています。さらに、その下に位置する2層の砂層について年代を測定したところ、仙台平野では800年から1100年に一度津波によって海水が遡上していたことが推定されています。つまり仙台平野は過去3000年の間に3回、津波によって大規模に浸水したものと考えられ、最後に発生した貞観津波から1142年経過した現在、今回のような津波が発生したことが1000年に1度の地震であるとの報道に至っています。

2. 東海・東南海・南海地震連動シナリオについて

今回の地震は近年には観測されていない複数の震源域が連動して発生した地震でした。このような「複数地震連動シナリオ」としては、内閣府の中央防災会議において東海地震、東南海地震、南海地震の同時発生が想定されています。ここでは、その内容について紹介します。

2.1. 東海地震、東南海地震、南海地震とは

日本列島付近では、4つのプレートが相互に接し、それらの境界で日本海溝、相模トラフ、南海トラフが形成されています(図4.1)。太平洋プレートは毎年西に約10cm、フィリピン海プレートは毎年北西に3から5cm程度の速さでそれぞれ動き、ユーラシアプレートなどの陸のプレートの下に潜り込んでいます。陸のプレートは潜り込むプレートに引きずり込まれ、歪みのエネルギーが徐々に蓄積されています。この歪みが限界に達し、元に戻ろうとすると破壊が起こり、地震が発生します。

駿河湾から土佐湾にかけての太平洋沿岸の南海トラフ沿いでは、過去に巨大なプレート間地震が概ね一定の間隔で発生しており、これらが震源域によって東海地震、東南海地震、南海地震に区別されます。これらの地震は今後も発生する可能性が高いと考えられており、中央防災会議の「東海地震に関する専門調査会」および「東南海、南海地震等に関する専門調査会」において、防災対策が検討されています。

専門調査会では防災対策を検討するにあたり、将来発生すると想定される東海地震、東南海地震、南海地震について想定震源域を設定しています(図 2.1)。想定東海地震は駿河湾から浜名湖にかけての領域、想定東南海地震は浜名湖から潮岬にかけての領域、想定南海地震は潮岬から四国西縁にかけての領域で、これらの震源域は互いに端部で接続し、互いに重なり合わないとされています。



図 2.1 東海地震、東南海地震、南海地震の想定震源域

(出典：内閣府 防災情報ページ 東南海・南海地震対策、東南海・南海地震対策の概要)

2.2. 過去に発生した東海地震、東南海地震、南海地震

駿河湾から土佐湾までの南海トラフのプレート境界では、歴史的に見て、概ね 100~150 年の間隔で巨大な地震が発生しています(図 2.2 参照)。遠州灘西部から土佐湾沖までの南海トラフのプレート境界においては、1854 年の安政東海地震と安政南海地震の後、1944 年に昭和東南海地震、1946 年に昭和南海地震が発生しています。昭和東南海地震では東海地震の想定震源域が未破壊のまま残り、また、昭和南海地震の規模は、それ以前に同地域で発生した地震に比べやや小さいとされています。巨大地震の発生間隔が約 100~150 年であることから考えると、今世紀前半にも当該地域で巨大な地震が発生する状況にあることが懸念されています。

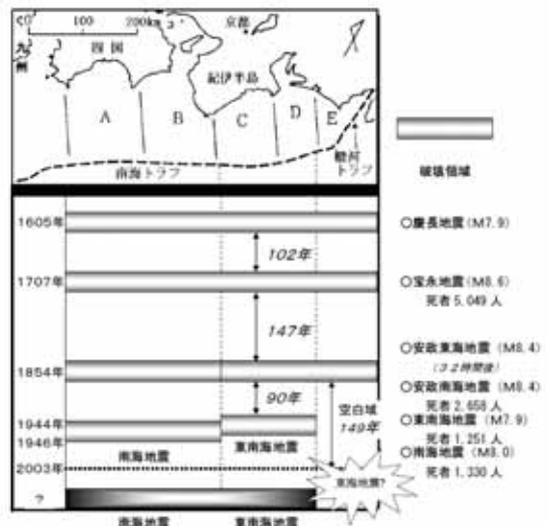


図 2.2 過去に発生した東海地震、東南海地震、南海地震

(出典：中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第 16 回)資料 2)

2.3. 東海地震、東南海地震、南海地震の発生可能性

地震調査研究推進本部では、主要な活断層や海溝型地震（プレートの沈み込みに伴う地震）の活動間隔、次の地震の発生可能性〔場所、規模（マグニチュード）及び発生確率〕等々を評価し、随時公表しています。

2011年2月18日に公表された長期評価結果（表2.1）によると、東海地震、東南海地震、南海地震については30年以内の地震発生確率はそれぞれ87%、70%程度、60%程度もしくはそれ以上とされています。

表 2.1 東海地震、東南海地震、南海地震の地震発生確率

地震	長期評価で予想した地震規模 (マグニチュード)		30年以内の 地震発生確率
東海地震	8程度		87% (参考値)
東南海地震	8.1前後	同時	70%程度
南海地震	8.4前後	8.5前後	60%程度もしくはそれ以上

(出典：地震調査研究推進本部 活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧（2011年1月1日での算定）から一部抜粋)

東海地震については中央防災会議が国としての評価を「東海地震に関する専門調査会報告」（2001年）として公表しており、中央防災会議はこの報告の中で、東海地震がいつ発生してもおかしくないとしています。過去に東海地震の震源域が単独で破壊した事例は知られておらず、過去の事例に基づいて発生間隔を推定するこれまでの長期評価の手法では発生確率を求めることはできないため、地震調査研究推進本部ではいくつかの仮定を行った上で上記の発生確率を求めています。したがって、東南海、南海地震の発生確率と同程度の信頼度はないことに留意する必要があります。

このように、東海地震、東南海地震、南海地震は極めて切迫性が高く、また過去の記録や研究成果などからこれらの地震が将来連動して発生する可能性が高いと考えられています。東南海・南海地震を対象とした調査研究としては、2007年度に終了した「東南海・南海地震に関する調査研究」が、紀伊半島潮岬沖の東南海・南海地震の想定震源域境界において連動発生の要因となり得る構造の存在が確認される等の成果を得ています。3つの地震が連動して発生する可能性に直接着目した調査研究としては文部科学省にて2008年度より5ヵ年の委託事業として「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究」が始まっています。

2.4. 東海地震、東南海地震、南海地震が同時に発生した場合の被害想定

中央防災会議の東南海、南海地震等に関する専門調査会では、東南海、東海地震の防災対策を検討するにあたり、その対象となる地震像とそれによる被害の状況を検討しています。東南海、南海地震は過去にさまざまなケースで発生していることから、それぞれの地震が単独で発生する場合や同時に発生する場合などの5つのケースについて被害想定を行っています。そのうちの1つが東海地震、東南海地震、南海地震が同時に発生するケースです。東海地震が相当期間発生しなかった場合には、東海地震と東南海地震等との同時発生の可能性も生じてくると考えられるため、東海地震が単独で発生せず、将来、東南海地震等との同時に発生した場合についての参考として被害を想定しています。

以下に、東南海、南海地震等に関する専門調査会が公表した、東海地震、東南海地震、南海地震の震源域が同時に破壊される場合を想定した被害想定（朝5時に発生）を示します。図2.3は被害想定に用いた

震度分布、図 2.4 は津波高さにと到達時間、また表 2.2 は被害想定および経済的被害を表しています。

東海地震、東南海地震、南海地震が同時に発生した場合（朝 5 時に発生）には、揺れによる被害、津波による被害とも我が国最大級となり、建物全壊が約 55 万棟、死者約 2 万 5 千人に及びます。このうち津波については、高知県沿岸で 10m 以上の津波が来襲し、大阪や名古屋でも 2~3m 程度の津波が来襲すると想定されており、津波による建物被害は 42,000 棟、津波による死者数は 3,500~9,100 人と推定されています。

また経済的被害も、直接被害と間接被害を合わせて最大 81 兆円に上ることが想定されています。これらの被害に対応するためには、特別な広域防災体制の確立、救援に頼らなくてもある程度耐えうるような地域防災力の向上等一が必要です。

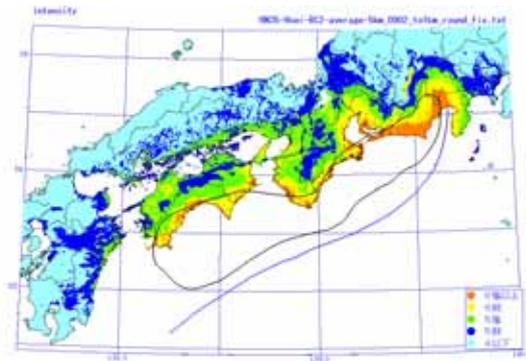


図 2.3 東海地震、東南海地震、南海地震が同時に発生した場合の震度分布
(出典：中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第 14 回))

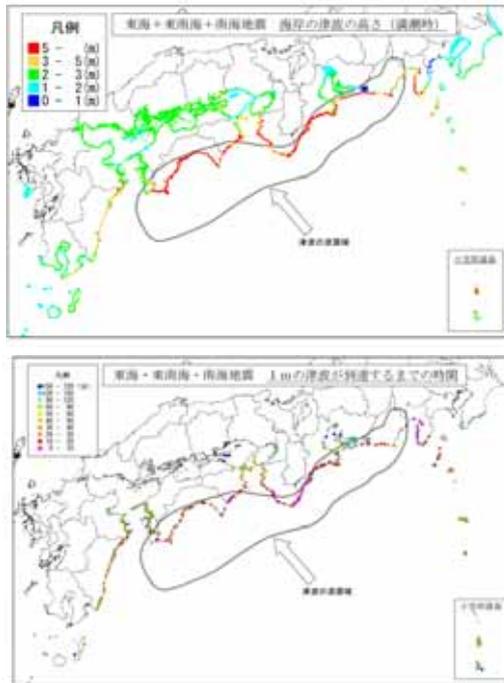


図 2.4 東海・東南海・南海地震津波の高さと到達時間
(出典：中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第 16 回))
東南海、南海地震の強震動と津波の高さ(案)図表集

表 2.2 東海地震、東南海地震、南海地震が同時に発生した場合の被害想定

人的・物的被害			経済的被害(※)	
	死者数	全壊棟数		
揺れによる 建物の全壊	約12,200人	約309,000棟	直接被害 (個人住宅、企業施設、 ライフライン等)	約40~60兆円
津波	約9,100人	約42,000棟	間接被害	約13~21兆円
火災	約900人	約81,000棟	生産停止による被害	約5~8兆円
崖崩れ	約2,600人	約90,000棟	東西間幹線交通寸断による被害	約0.5~2兆円
合計	約2万5千人	約55万棟	地域外等への波及	約7~11兆円
			合計	約53~81兆円

※発生時間や火災棟の状況により幅がある
※過去の地震災害の実態を踏まえて推計
※人的被害および公共土木被害は含まれていない

(出典：中央防災会議議事次第「平成 22 年度総合防災訓練大綱」について より、当社にて集約)

3. 企業における対策例（津波）

3.1. 具体的な津波対策

今回の地震では各種映像で確認されているとおり、津波が遡上してきて社屋や工場などまで達した場合には、土嚢などによる防護方法では浸水被害を防ぐことは困難です。津波が来襲した場合には社員の安全な避難が最重要課題であり、次いで社内や工場内の資機材、重要文書・データをどのように保護するかが重要であると考えられます。

このような観点から津波に対して必要な対策として以下の4点が重要です。

- ①津波発生時の社員避難体制の確立
- ②機材、重要文書などの保管場所の再検討
- ③特殊施設に対する対津波施設の設置
- ④関連企業、顧客の被災状況確認

①津波発生時の社員避難体制の確立

これまで様々な津波対策資料では津波が発生した場合には鉄筋コンクリート造の建物のうち3階以上に避難するように記載されていました。しかし今回は津波が3階以上まで達している地域が多く確認され、前述のように女川町などでは鉄骨造のビルが津波によって倒壊した事例も報告されています。ただし、できるだけ堅牢な建物のより上層階、もしくは少しでも高い高台に避難すべきであるという考えは今後も同じです。その観点で、企業の立地条件および想定される避難時間から社員の避難場所や避難体制を事前に確立することが重要な対策となります。さらに、被害発生から時間が経つにつれて避難体制などが風化していく傾向があるため、避難体制を将来的に継続させる社内の仕組みが必要です。

なお、現時点で多くの企業が応援要員として社員を被災地に派遣しています。被災地では依然余震が続いており、3月28日には津波注意報も発令されました。津波の被害を受けた地域では海岸の堤防や護岸が被災しており、地震発生以前よりも津波に対して脆弱な状況にあります。よって被災地に社員を派遣する際には余震による津波から適切に避難できる社員教育を施し、常に避難可能な体制を整える必要があります。

②機材設置場所、重要文書保管場所の再検討

街づくりの観点から最も効果的な津波対策は住宅の高地移転や地盤の嵩上げです。この考え方と同様に海水に浸かることで津波後の事業継続に支障をきたすような資機材や重要文書については、その設置場所や保管場所を再検討することも重要な対策です。

資機材の中には高いフロアに設置することが困難なものもありますので、そのような資機材についてはあらかじめ堅牢な防護壁などを設置しておくことも考えられます。

③特殊施設に対する対津波施設の設置

対津波施設として防波堤や堤防といった対策も考えられます。防波堤などの施設は膨大な費用を要しますが、沿岸域に重要な拠点を持しており津波後の事業継続に大きな影響を及ぼす施設については行政と連携して防波堤などにより施設を防護する対策も検討すべきだと考えられます。

④関連企業、顧客の被災状況確認

地震発生から既に3週間が経過しているため、多くの企業では自社の被害状況などが集約されつつある状況です。一方、関連企業や顧客の被害状況については、まだ十分に把握できていない場合もあります。

今回の地震では地震発生直後から衛星や飛行機を利用した空中写真がインターネットを通じて広く公表されています。たとえば国土地理院のHPや、GoogleのHPまたはGoogle Earth等を活用することで関連企業や顧客が津波によって被災したか確認することも可能です。依然被害状況の把握ができない関連企業や顧客についてはこのような空中写真によって被害の状況を把握することが重要だと考えられます。

国土地理院 HP : <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-hr/index.html>

Google : <http://www.google.co.jp/intl/ja/crisisresponse/japanquake2011.html>



図 3.1 陸前高田市の震災前後の航空写真（左：震災前、右：現在）（出典：国土地理院 HP）

3.2. 津波対策に関して

今回の地震の被害地域においては、これまで多くの津波被害を受けていたため津波ハザードマップの作成や津波避難訓練も定期的に行われていました。このような地区は他の地区に比べると津波に対する意識が高く、避難率は高かったものと考えられますが、それにも拘わらず今回の津波によって多くの犠牲者が発生しました。

多くの犠牲者が発生した理由は、今回の津波が「想定外」の大津波であったためと考えられます。たとえば一部報道にあるように、津波避難所に避難したにもかかわらず津波の被害にあった方もいます。津波の避難所は事前に想定した地震に対して津波のシミュレーションを実施し、津波に対して安全と思われる場所に設定されています。しかし「想定外」の地震によって発生した津波は、浸水するはずのなかった避難所も巻き込んで被害を引き起こしました。よって、2章で紹介した東海・東南海・南海地震連動シナリオに対しても、内閣府が想定する以上の大津波が発生する危険性を十分考慮して対策を講じるべきだと考えられます。

三陸沿岸では今回のような巨大津波に備えて津波防波堤や大規模な堤防が整備されていました。岩手県

宮古市田老では大規模な堤防が整備されているため、津波が自宅までは来襲しないと考えて避難せず、被災した方々がいたとの報道もありました。また、大船渡に設置されていた全長 500m 以上の防波堤も津波によって大きな被害を受けています。すなわち結果として皮肉にも、このような巨大防護施設が逆に避難意識を低下させる要因になることも確認されてしまいました。東海、東南海、南海津波の影響を受ける沿岸地区においては、大規模な津波対策が進められている地区もあります。しかし、このような施設が常に想定どおりの機能を発揮するとは限りません。防護水準が高いと考えられる地区においても「想定外」に備えて対策を検討する必要があると考えられます。



図 3.2 大船渡港口防波堤空中写真(津波前)(出典：国土交通省 釜石港湾事務所 HP

http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/bousai/b01_04.html

4. 参考資料

4.1. 地震の発生メカニズム

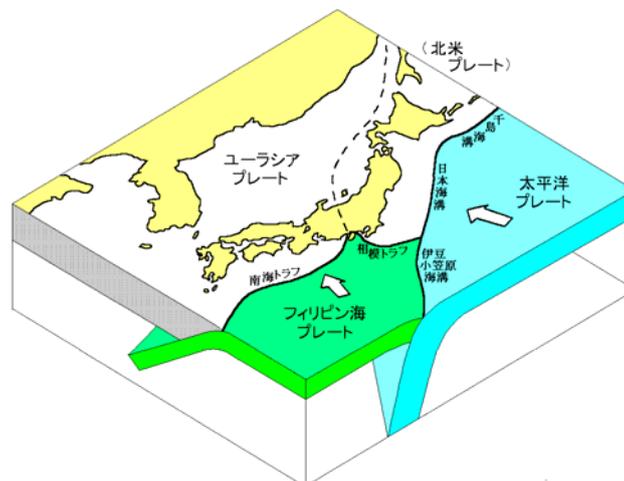


図 4.1 日本列島周辺のプレート構造 (出典:防災科学技術研究所, 地震の基礎知識)

日本列島は、海側に太平洋プレートとフィリピン海プレート、陸側に北米プレートとユーラシアプレートの4つのプレートがせめぎ合う場所に位置しています。図4-1のように、海側のプレートが陸側のプレートに潜り込むように、年に数センチずつ動いています。この運動によって、岩盤（プレート）にはひずみが蓄積されてゆき、ひずみが岩盤の強さを越えた時に岩盤が破壊される現象が、地震です。この破壊の仕方によって、地震は3つのタイプに分けられます。

4.1.1. プレート間（境界）地震

図4-1にあるように、日本列島の太平洋側の日本海溝や相模・南海トラフなどでは、右図のように海のプレートが陸のプレートを引きずり込むようにして、陸のプレートの下に沈みこんでいます。

引きずり込む力に耐えられなくなると、右図の黒矢印のように陸のプレートは元に戻ろうと跳ね上がります。この「跳ね上がり運動」が、プレート間地震です。

この地震には、以下の特徴があります。

- ① （プレート内地震と比べ）地震の規模が大きくなる傾向がある
- ② 跳ね上がった陸のプレートが海底を持ち上げ、津波を引き起こす
- ③ 発生周期は数十年～数百年

今回の「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（最大M：9.0）」、「大正12年（1923年）関東大震災（M7.9）」、発生が近いと危惧されている「東海地震」などが代表例です。

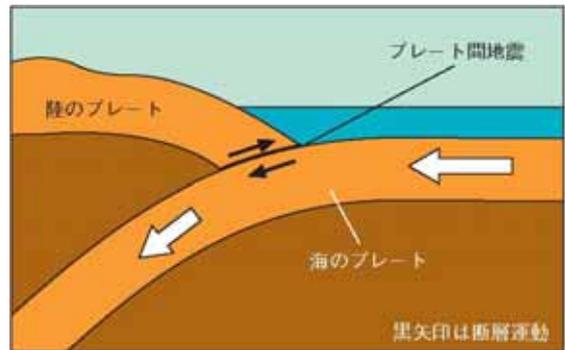


図4.2 プレート間（境界）地震

（出典：地震調査研究推進本部，防災担当者参考資料）

4.1.2. プレート内地震（海溝型）

沈み込む海のプレートの内部で、圧縮されてひずみの生じた岩盤が、破壊されて起こる地震です。

この地震には、以下の特徴があります。

- ④ （プレート間地震と比べ）地震の規模はあまり大きくならない傾向がある
- ⑤ 陸のプレートの下ではなく、海底で起こった場合（右図で1番右の黒矢印）、津波を引き起こす

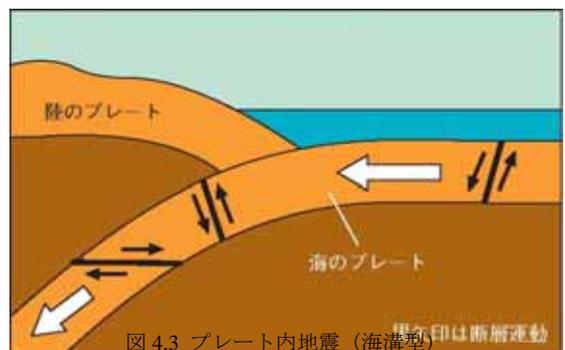


図4.3 プレート内地震（海溝型）

（出典：地震調査研究推進本部，防災担当者参考資料）

津波を引き起こした例として昭和8年（1933年）3月の三陸沖地震（M8.1）が、また最近の例では平成20年（2008年）7月の岩手県沿岸北部地震（M6.8）などが代表例です。

4.1.3. 陸域の浅い地震

海のプレートが陸のプレートの下に沈みこむ運動により、陸のプレート内部にひずみが蓄積され、これが陸のプレートの地下数km～20kmという比較的浅い部分で（断層の）破壊を起こすことで発生する地震です。内陸型地震と呼称することもあります。

一度このような断層が生じた場所は、それが「くせ」となって、繰り返し同じ場所で地震を発生させるようになります。このような断層は「活断層」と呼ばれています。

この地震には、以下の特徴があります。

- ⑥ 人の生活圏の直下などで発生すると、甚大な被害をもたらす
- ⑦ 津波は発生しない。また、断層面が地上まで露出する場合がある
- ⑧ 発生周期は数千年～数万年（過去の文献や地質調査などから推測）

平成7年（1995年）1月の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）（M7.3）、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（M7.2）などが代表例です。

4.2. 簡単な津波の発生のメカニズム(気象庁 HP より)

4.2.1. 津波の発生

海底下で大きな地震が発生すると、断層運動により海底が隆起もしくは沈降します。これに伴って海面が変動し、大きな波となって四方八方に伝播するものが津波です。

津波は引き波で始まるとは限らず、地震が発生させた地下の断層の傾きや方向、あるいは津波が発生した場所と海岸との位置関係によっては、潮が引くことなく最初に大きな波が海岸に押し寄せる場合もあります。

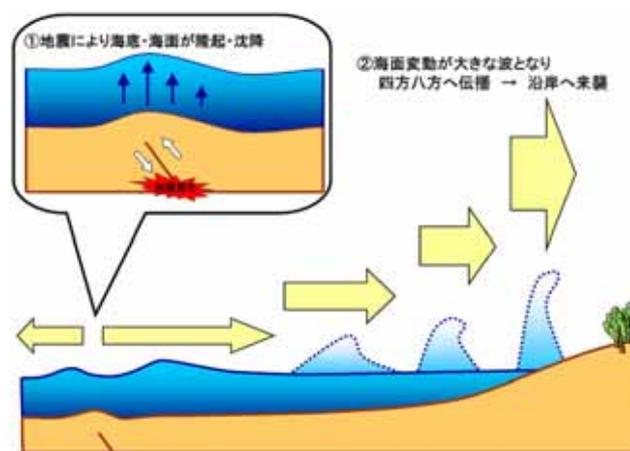


図 4.4 津波発生の仕組み（出典：気象庁 HP）

4.2.2. 津波の伝わる速さ

津波は、海が深いほど速く伝わる性質があり、沖合いではジェット機に匹敵するほどの速さで伝わります。逆に、水深が浅くなるほど速度が遅くなるため、津波が陸地に近づくにつれ後から来る波が前の津波に追いつき、波高が高くなります。

4.2.3. 地形による津波の増幅

津波の高さは海岸付近の地形によって大きく変化します。さらに、津波が陸地を駆け上がる（遡上する）こともあります。岬の先端やV字型の湾の奥などの特殊な地形の場所では、波が集中するので、特に注意が必要です。津波は反射を繰り返すことで何回も押し寄せたり、複数の波が重なって著しく高い波となることもあります。このため、最初の波が一番大きいとは限らず、後で来襲する津波のほうが高くなることもあります。

執筆者紹介

松本 聡子 Satoko Matsumoto

リスクコンサルティング事業本部 ERM 部
主任コンサルタント
専門は自然災害リスク評価、ERM

山口 友子 Tomoko Yamaguchi

リスクコンサルティング事業本部 ERM 部
主任コンサルタント
専門は自然災害リスク評価、ERM

藤井 裕之 Hiroyuki Fujii

研究開発部 定量評価室
主任研究員
専門は自然災害リスク評価

NKSJ リスクマネジメントについて

NKSJ リスクマネジメント株式会社は、損保ジャパンと日本興亜損保を中核とする NKSJ グループのリスクコンサルティング会社です。全社的リスクマネジメント(ERM)、事業継続(BCM・BCP)、火災・爆発事故、自然災害、CSR・環境、セキュリティ、製造物責任(PL)、労働災害、医療・介護安全及び自動車事故防止などに関するコンサルティング・サービスを提供しています。詳しくは、NKSJ リスクマネジメントのウェブサイト (<http://www.nksj-rm.co.jp/>) をご覧ください。

本レポートに関するお問い合わせ先

NKSJ リスクマネジメント株式会社
リスクコンサルティング事業本部
〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-24-1 エステック情報ビル
TEL : 03-3349-5984 (直通)