



過去から学ぶ高潮災害への備え

2015年1月20日、国土交通省より「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」¹が公表された。この提言では、近年の降雨の激甚化やスーパー台風による甚大な高潮災害の発生を受けて、最大クラスの洪水・高潮を想定し、「少なくとも命を守り、社会経済に対して壊滅的な被害が発生しない」ことを目標とした対応の必要性が明記されている。

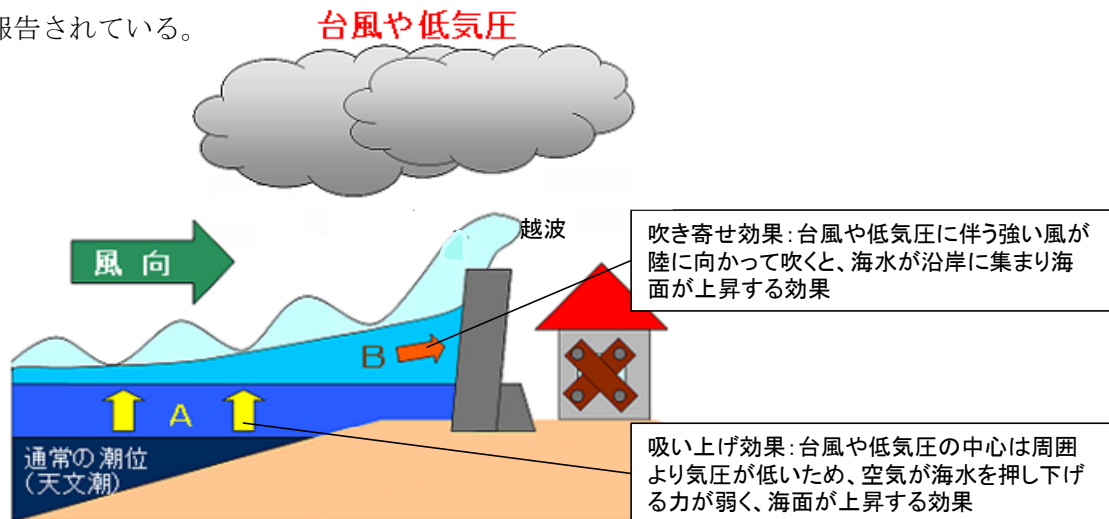
これまで日本は、人口集中や地下空間の拡大等の大幅な近代化を遂げた大都市において、大規模な高潮災害を経験していない。一方、米国では、2012年にハリケーン・サンディが大都市ニューヨークを直撃する等、南東部沿岸～東海岸ではたびたび高潮災害に見舞われている。

本稿では、実際に高潮災害に遭遇した企業の対応事例を紹介するとともに、高潮災害において企業に求められる対応を解説する。

1. 高潮のメカニズムと近年の主な被害

(1) 高潮のメカニズム

高潮は、台風や発達した低気圧の通過に伴って潮位が上昇し、海水が内陸に侵入することで発生する。潮位上昇の主な要因は、吸い上げ効果（図1中のA）と吹き寄せ効果（図1中のB）であり、遠浅で風が吹いてくる方向に開いている湾では、地形による効果から特に潮位が高くなる傾向がある。また、波の周期と湾の固有振動²の周期が一致することで共振現象が起こり³、潮位が増幅されるケースも報告されている。



■ 図1 高潮のメカニズム

出典：気象庁ホームページ記載の図⁴を加工して作成

¹国土交通省「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」(<http://www.mlit.go.jp/saigai/newstage.html>)

²湾の形状から決まる、波が振動しやすい湾固有の振動数

³「セイシュ」または「副振動」と呼ばれる。Mori et al.(2015)：“Local amplification of storm surge by Super Typhoon Haiyan in Leyte Gulf”, Geophysical Research Letters, Vol.41, Issue 14, pp5106-5113

⁴気象庁 (<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/takashio.html>)

なお、前述したメカニズムのうち、発達した低気圧によるものとして記憶に新しいところでは、2014年12月17日の北海道根室市における高潮があり、950hPaに発達した低気圧によって最大約1.5mの浸水被害が生じた（写真1）。



■写真1 根室港（北海道根室市）付近の被災当日の様子
弊社撮影（2014年12月17日）

(2)近年の主な高潮災害

表1は、2000年以降の主な高潮災害についてまとめたものである。なお、被害規模の比較のため、日本において過去最悪の高潮災害をもたらした伊勢湾台風を併記した。

■表1 2000年以降の主な高潮災害

年	要因	主な高潮被害地域	死者・行方不明者(人)	直接損害額(億円)
2005	ハリケーン・カトリーナ	米国(ルイジアナ州)	約3,400	約130,000
2007	サイクロン・シドル	バングラデシュ	約4,400	約1,300
2008	ハリケーン・アイク	米国(テキサス州、ルイジアナ州)	約100	約36,000
2008	サイクロン・ナルギス	ミャンマー	約146,000	約2,700
2012	ハリケーン・サンディ	米国(ニューヨーク州)	約150	約60,000
2013	台風・ハイエン	フィリピン	約7,200	約2,400
1959	伊勢湾台風	日本(愛知県、三重県)	約5,100	約5,100 ⁵

出典：各種公表資料⁶より弊社作成（被害額：1ドル118円として換算）

⁵ 1959年当時の国民総生産（GNP: Gross National Product）の約4割にあたる金額。

⁶ NOAA「Technical Memorandum」(<http://www.nhc.noaa.gov/pdf/nws-nhc-6.pdf>)
 中央防災会議「災害教訓の継承に関する専門調査会報告書」(http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1959--isewanTYPHOON/pdf/06_chap2.pdf)
 NOAA「Tropical Cyclone Report Hurricane Sandy」(http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL182012_Sandy.pdf)
 NOAA「Tropical Cyclone Report Hurricane Ike」(http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL092008_Ike_3May10.pdf)
 フィリピン政府 (<http://www.gov.ph/crisis-response/updates-typhoon-yolanda/>)
 Burma Center Prague (<http://www.burma-center.org/en/burma/history/cyclone-nargis/>)
 世界銀行防災グローバルファシリティ (<https://www.gfdr.org/cyclone-nargis-myanmar-2008>)
 同上 (https://www.gfdr.org/sites/gfdr.org/files/Bangladesh_PDNA_GLANCE_0.pdf)

米国における高潮災害をみると、ハリケーン・カトリーナはルイジアナ州沿岸で最大9mの高潮を引き起こし、ニューオリンズ市街地の約8割で最大1カ月の浸水、石油・天然ガス施設の損傷等の甚大な被害をもたらした。なお、この時の堤防決壊に十分対応できなかった政府や市の措置が問題視された。一方、ハリケーン・サンディでは、政府の災害対策が大きな減災効果を上げたと言われている⁷。ハリケーン・サンディは経済の中核であるニューヨークを直撃し、インフラや金融機関等の都市機能を麻痺させたが、関係機関が実施すべき対策をあらかじめ時系列でプログラム化した計画（「タイムライン」）に基づいた行動が功を奏し、被害を抑えることが出来たと考えられている。

また、2007年にバングラデシュで甚大な被害を発生させたサイクロン・シドルは、1970年に同国で約30万人の死者・行方不明者を出したサイクロン・ボーラを超える強さであったが、人的被害は相対的に小さかった。これは、サイクロン常襲地帯であるバングラデシュにおいては、日本を含む諸外国による援助のもと、避難シェルターの建設などの対策が取られてきたためである。その一方、2008年にミャンマーに上陸したサイクロン・ナルギスによる犠牲者は14万人にも上った。これは、サイクロン・ナルギスが襲ったミャンマー南部では、それまで高潮被害の経験がなく、対策がほぼ皆無であったためとの指摘⁸がある。

さらに、2013年にフィリピンに上陸した台風・ハイエンは、同国史上最大級の台風であり大規模な高潮を発生させ、主にレイテ島の農漁村部に深刻な被害をもたらした。この被害については、住民に高潮についての理解と備えがあれば、被害者数を大幅に減らすことができたのではないかとされている⁹。

2. 温暖化に伴い高まる高潮災害リスク

IPCC 第5次評価報告書第一次作業部会報告書¹⁰では、「極端な高潮位現象の大きさは1970年以降増大している可能性が高い。極端な潮位現象の増加の大部分は平均海面水位の上昇によって説明できる」としている。また、熱帯低気圧の平均的な強度に関して、「最大風速および降水量は増加する可能性が高い」としている。自然災害による経済被害は、新興国沿岸部での脆弱な都市形成と人口および資産の集中が一因となって過去数十年の間に増加している¹¹。今後もこの傾向が続けば、温暖化による海面上昇および勢力の強い熱帯低気圧の増加と相まって、高潮災害のリスクは急激に増加する。

日本では、海面上昇により三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）に面するゼロメートル地帯が拡大することが懸念されている。なお、今後日本において発生する可能性のある高潮災害については、

⁷平成25年度 国土交通白書 (<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h25/hakusho/h26/html/n1124c00.html>)

⁸海洋政策研究財団 (https://www.sof.or.jp/jp/news/201-250/247_1.php)

⁹ Global Risks 2014 Report, WORLD ECONOMIC FORUM
(http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalRisks_Report_2014.pdf)

¹⁰気象庁「IPCC 第5次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約」
(http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_es_jpn.pdf)

¹¹SwissRe sigma2014年第1号 (http://media.swissre.com/documents/sigma1_2014_jp.pdf)

弊社発行のリスクマネジメント最前線「フィリピンにおける台風 30 号ハイエンの被害と忍び寄る高潮リスク」（2013 年 11 月 15 日）¹²を参照されたい。

3. 過去の高潮災害から学ぶべきこと

(1) 高潮災害の発生時における企業の対応事例

過去の高潮災害の発生時に、企業が被害を軽減するために取った事前対応と事後対応について、以下に 2 つの事例を紹介する。

a. 米国 電力会社 Southern Company 社：2005 年ハリケーン・カトリーナへの対応

米国の大手電力会社である Southern Company 社は、米国南東部の 440 万件以上の顧客に電力を供給している。同社の子会社である Mississippi 社と Alabama 社は、2005 年のハリケーン・カトリーナによる高潮で甚大な被害を被った¹³が、12 日間で復旧を果たした。これにより Southern Company 社は、危機対応の成功例として、米上院国土安全保障・政府問題委員会の聴講会において、平時の備えや当時の対応についての証言を求められた。表 2 は、同社の証言の中から窺える危機対応のポイントである。

■表 2 Southern Company 社のハリケーン・カトリーナ対応のポイント

フェーズ	対応のポイント
平時	<ul style="list-style-type: none"> ・毎年、ハリケーンシーズンの前に災害シミュレーションを行っていた。また、被災を経験する度に復旧プランの見直しを行っていた。 ・復旧プランはハリケーンの強度カテゴリー¹⁴ごとにあり、災害指揮者の役割や責任が明確であった。 ・復旧プランの基本方針として、①自助（外部の応援がない場合のバックアッププランを持つ等）、②現場に決定権を与えること、③過去の教訓に基づいた準備と実践 の 3 点が挙げられる。
事前対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ハリケーン・カトリーナ上陸の 2 週間前から行動を開始し、経路や強度に応じた意思決定を毎日行った。 ・州外から約 2400 人を動員して、被災が予想される地域外に配置し、緊急対応に備えた。 ・ハリケーン・カトリーナ上陸前までに、作業員のための仮設住居、食糧やガソリン等の確保に大規模な投資を行った。
事後対応	<ul style="list-style-type: none"> ・あらかじめ確保しておいた人員や契約しておいて航空機により、被災後 24 時間以内に、全システムの 75% の状況を地上および上空から確認した。 ・復旧プランに沿って、病院や水道事業者等の優先度の高い顧客から電気設備を復旧した。 ・被災 5 日後に復旧予定日を公表、その後は進捗状況を毎日公表し、復旧予定日の 1 日前に完全復旧を果たした。

出典：米上院国土安全保障・政府問題委員会の聴講会資料¹⁵より弊社作成

¹²東京海上日動リスクコンサルティング(株) リスクマネジメント最前線「フィリピンにおける台風 30 号ハイエンの被害と忍び寄る高潮リスク」（http://www.tokiorisk.co.jp/risk_info/up_file/201311182.pdf）

¹³Mississippi 社と Alabama 社の合計で約 80 万軒の停電が発生し、Mississippi 社では全送配電線の 2/3 が損傷した。

¹⁴ハリケーンの 1 分間平均の最大風速によって強度を識別する。カテゴリー 5 が最大の強さを表す。

¹⁵米国上院議会（<http://www.hsgac.senate.gov/download/111605ratcliffe>）

b. 米国 交通機関:Metropolitan Transportation Authority(MTA)社:2012年ハリケーン・サンディへの対応

米国最大の公共交通機関である MTA 社は、ニューヨーク市を中心に鉄道・バスを運行している。2012年のハリケーン・サンディによる高潮では、同社の7本の地下鉄トンネル、複数の地下鉄の駅および2本の道路トンネルが浸水した。なお、これだけの物的被害があったにもかかわらず、交通施設内の人的被害は皆無であり、さらに地下鉄は9日間でほぼ復旧を果たした。表3は、MTA社が取った対応のポイントである。

■表3 MTA社のハリケーン・サンディ対応のポイント

フェーズ	対応のポイント
平時	<ul style="list-style-type: none"> ・2007年8月の集中豪雨による内水氾濫の経験から、浸水時の要員確保、代替輸送、排気口や地下鉄出入口の防御等の計画を策定していた。 ・2008年に、コロンビア大学の協力を得てハリケーンの強度カテゴリー別および海水位別の地下鉄浸水シミュレーションを実施。さらに、自社内でシミュレーションを実施できる環境を整備した。
事前対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ハリケーン・サンディ上陸の1週間前から、カテゴリー1のハリケーンを想定した対応を開始した。土嚢や機材の配備を検討し、被災2日前には予備資機材の8割を投入して、浸水の恐れがある出入り口や換気口への土嚢積み、操車場への浸水防止のための水嚢設置等の作業を完了させた。 ・低地に保管している地下鉄車両やバスを標高が高い場所へ移動させ、重要機材である地下鉄のポイント等のモーターの取り外し等を実施し、早期復旧に備えた。 ・州や市と連携して、被災1日前に同社の鉄道を運休させ、管理・運営を行っている橋やトンネルを通行止めとした。
事後対応	<ul style="list-style-type: none"> ・バスによる代替運行を実施した。 ・被災翌日には、あらかじめ浸水域の近くに配備していたポンプ車に加え、陸軍工兵隊や海軍からの協力を得て排水活動を行い、被災9日後には停止区間の97%を復旧した。

出典：国土交通省「米国ハリケーン・サンディに関する現地調査報告書」¹⁶より弊社作成

これら2社の事例から高潮災害における対策のポイントをまとめると、以下の3点となる。

- ①ハリケーンの強度カテゴリーごとの災害シミュレーションに基づいた具体的なプランの策定
- ②被害が生じた場合に必要となる人員・資機材の事前確保・配備、代替手段の事前構築
- ③被災経験の度に見直されてきた復旧計画の実施

(2)大都市圏でのハリケーン・サンディによる浸水と被害状況

ハリケーン・サンディは、大都市圏における災害として米国史上に残る被害をもたらした。大都市の高層ビルでは多くの企業が経済活動を営んでいるが、ハリケーン・サンディの上陸時に、高層ビルではどのような被害が生じたのだろうか。先物業界の団体である Futures Industry Association (以下、FIA) による会員 (証券会社等) へのアンケート調査結果 (表4) および、不動産業界の団体で

¹⁶国土交通省「米国ハリケーン・サンディに関する現地調査報告書」

(http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/disaster/america/america_hurricane_201307.pdf)

ある Building Owners and Managers Association（以下、BOMA）によるビルオーナーへのアンケート調査結果（表 5）をみてみたい。

ハリケーン・サンディにより、高層ビルでは最大 1 週間程度の浸水や停電が続き、インフラおよびシステム停止によって一部の企業は事業中断を余儀なくされた。しかし、米国では 2001 年 9 月 11 日に発生した同時多発テロ事件を契機に事業継続計画（BCP）が普及した背景があり、すでに多くの企業が BCP を策定し、バックアップ施設等を保有していた。これらのことからアンケートでは、多くの企業が、BCP 策定・訓練・代替手段の構築がハリケーン・サンディによる被害からの事業復旧に有効であった、と回答している。

■表 4 FIA アンケート結果（回答数 36）

質問内容	アンケート結果（カッコ内は%）
DR ¹⁷ （復旧専用のシステム、設備等）があるか	ある(91)、ない(9)
最大の障害は何だったか（複数回答）	公共交通機関の停止(86) ビルの停電(62) プロバイダーの障害(59)
事業継続に最も有効だったことは何か（複数回答）	実行性のある計画策定(85) 従業員の訓練(77) システム障害迂回機能(54)
商品や DR の保管場所を再検討するつもりか	するつもりである(66) しない(25)

出典：FIA アンケート調査結果¹⁸より弊社作成

■表 5 BOMA アンケート結果（回答数 60）

内容	アンケート結果
ビルの物的損害について	全体の約 4 割で損害が生じ、うち約 5 割が洪水によるもの。
停電について	全体の約 5 割が停電し、うち約 7 割が 4-7 日間の停電。
浸水期間について	浸水したビルのうち、約半数が 1-3 日、残りの半数は 4-7 日排水に要した。
システム障害について	メール、サーバー、セキュリティーシステム、テナント管理システムに障害が生じた。障害が全く生じなかったのは全体の約 2 割。

出典：BOMA アンケート調査結果¹⁹より弊社作成

¹⁷ DR: Dedicated Recovery Sites

¹⁸ FIA 「Industry Impact and lessons learned from hurricane sandy」
(http://www.futuresindustry.org/downloads/Industry-Impact-and-Lessons-Learned-From-Hurricane-Sandy_Summary-Report.pdf)

¹⁹ BOMA 「Hurricane Sandy lessons learned study」
([http://cfa.aiany.org/BOMA-NY%20Hurricane%20Sandy%20Task%20Force%20Lessons%20Learned%20Report%20-%20January%202013%20\(2\).pdf](http://cfa.aiany.org/BOMA-NY%20Hurricane%20Sandy%20Task%20Force%20Lessons%20Learned%20Report%20-%20January%202013%20(2).pdf))

4. 企業に求められる対応

日本国内における降雨の局地化・激甚化や、2013年にフィリピンに甚大な被害をもたらしたハイエンのようなスーパー台風による高潮災害等を受けて、国土交通省は2015年1月20日、「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」を公表した。この提言では、激甚化する気象災害に対して「最悪の事態を想定して、個人、企業、地方公共団体、国等が、主体的に、かつ連携して対応する」必要性が謳われており、今後の検討の方向性についてまとめられている。

すでに欧米では、危機管理のために最大クラスの洪水の被害想定がなされている。しかし日本では、津波については東日本大震災を教訓として最大クラスの被害想定や対策が推進されているものの、高潮や洪水については最大クラスの想定がなされておらず（表6参照）、「地震・津波災害と比べても社会全体として危機感が希薄であり災害への備えも不十分」との問題提起がなされている。

■表6 高潮・津波の最大クラスの想定規模

想定規模	目標	津波想定	高潮想定
比較的発生頻度の高い現象 (防波堤等の海岸保全施設の建設を行う上で想定)	防災 ・人命を守る ・資産/経済活動を守る	数十年～百数年に一度	既往最高潮位等
最大クラス (住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定)	減災 ・なんとしても人命を守る ・資産/経済活動への被害を軽減し早期復旧する	数百年～千年に一度	未想定

出典：国土交通省「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」より弊社作成

さらに本提言では、各事業体に対して下記のような対策の促進が求められている。

- 大規模浸水時の事業の弱点の把握
- 早期復旧のための代替機能の確保
- サプライチェーンの多重化を定めたBCP作成の促進
- 多くの施設や建築物等が複雑に接続する地下街における対策
- 多くのステークホルダーの連携が前提となる港湾等に対する、一体的な対策・継続マネジメントの促進

前章で示したように、Southern Company社およびMTA社では、被害発生を前提とした計画を策定し実行していた。日本においては過去に伊勢湾台風により甚大な被害が発生したが、その後、人口の集中や都市化が進んでおり、大規模な高潮発生時にどのような被害が生じるのか今日的に評価を行うことが喫緊の課題といえる。また、企業においては、高潮・洪水について最大クラスの想定を行うとともに減災を考えていくことが求められている。なお、高潮は上陸までにある程度予測が可能な現象であり、タイムラインの導入が減災のためには非常に有効である。タイムラインにつ

いての詳細解説は、弊社発行のリスクマネジメント最前線「災害時における事前対応計画（タイムライン）の導入」（2014年8月18日）²⁰を参照されたい。

本稿が、企業における災害レジリエンス（復元力）の強化の一助となれば幸いである。

[2015年2月6日発行]

²⁰東京海上日動リスクコンサルティング(株)リスクマネジメント最前線「災害時におけるタイムライン（事前対応計画）の導入」（http://www.tokiorisk.co.jp/risk_info/up_file/201408181.pdf）