

第21回 海岸シンポジウム

# 高潮災害に備える

## 報告書(講演録集)

日時 平成29年11月30日(木)

会場 発明会館地下ホール

主催：全国海岸事業促進連合協議会

後援：国土交通省・農林水産省

# 高潮災害に備える

## 目 次

開会挨拶	4
磯部 雅彦	全国海岸事業促進連合会協議会 会長・高知工科大学 学長
基調講演	5
高潮災害とその教訓	
田島 芳満	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
特別講演	15
近年の台風の傾向と高潮災害について	
岩谷 忠幸	NPO 法人 気象キャスターネットワーク 事務局長
講演①	27
伊勢湾・三河湾における高潮被害とその対策	
富田 孝史	名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 教授
講演②	33
現地取材から見た高潮災害の実像と将来リスク	
島川 英介	NHK 報道局社会部 記者
講演③	40
高潮の数値計算モデル	
河合 弘泰	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域長
閉会挨拶	48
磯部 雅彦	全国海岸事業促進連合会協議会 会長・高知工科大学 学長

## 基調講演

### 田島芳満 (たじま よしみつ)

東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

- 平成 8 年 3 月 東京大学工学部土木工学科卒業  
平成 8 年 4 月 五洋建設株式会社 (～平成 17 年 8 月)  
平成 13 年 6 月 マサチューセッツ工科大学大学院、土木・環境工学科、修士課程  
修了  
平成 16 年 6 月 マサチューセッツ工科大学大学院、土木・環境工学科、博士課程  
修了  
平成 13 年 7 月 マサチューセッツ工科大学大学院、土木・環境工学科、研究員  
(Research Assistant)  
平成 17 年 9 月 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 専任講師  
平成 19 年 4 月 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 准教授  
平成 25 年 4 月 現職



#### 社会活動および受賞等

土木学会海岸工学委員会幹事長、国際学術誌編集委員 (CEJ, Int.J. of Ced. Res.) など、  
海岸工学論文賞 (2008、2017)、JAMSTEC 中西賞 (2012、2017)、APAC2017 論文  
賞 (2017)、CEJ Citation Award (2016)

## 特別講演

### 岩谷忠幸 (いわや ただゆき)

NPO 法人気象キャスターネットワーク 副代表／事務局長  
日本テレビ 気象デスク  
気象予報士、防災士、地球温暖化防止コミュニケーター

東京都立大学 (現、首都大学東京) 理学部 地理学科 気候学専攻を卒業後、財団法人  
日本気象協会 気象情報部で、ラジオやテレビの気象解説を担当。気象予報士制度が  
スタートした年から、フジテレビや日本テレビの気象キャスターを約 15 年間経験し、  
その間にパリで開催された国際気象フェスティバルにて「アジア賞」を受賞。  
また、2004 年には NPO 法人気象キャスターネットワークを創設し、気象防災教育  
や地球環境教育を实践 (団体として、環境大臣表彰、気象庁長官賞などを受賞)。文  
部科学省「科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 地球観測推進部会」委員 (2015  
年～) のほか、全国の地球温暖化防止活動の取り組みを表彰する「低炭素杯」審査員、  
東京都地球温暖化防止活動推進センターの検討会の委員などを歴任。  
著書に「山岳気象入門」(山と溪谷社)。「プロが教える気象・天気図のすべてがわか  
る本」(ナツメ社) 監修。CEJ Citation Award (2016)



## 講演①

### 富田孝史 (とみた たかし)

名古屋大学大学院 環境学研究科 教授

平成 4 年 名古屋大学工学部助手  
平成 8 年 同大学講師  
平成 9 年 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官  
平成 13 年 独立行政法人港湾空港技術研究所 高潮・津波研究室長  
平成 26 年 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域長兼アジア・太平洋沿岸防災センター副センター長  
平成 28 年 名古屋大学大学院環境学研究科教授、現在に至る



#### 活動内容

港湾技術研究所及び港湾空港技術研究所では長周期波対策や越波対策に関する研究を主に実験を通じて実施した後、高潮・津波防災に関する研究を主に国内外の現地災害調査や数値計算から実施してきた。現在、名古屋大学において、これまでの高潮・津波防災等に関する知見や技術を生かして持続可能で強靱な国づくりや地域づくりのための国土デザインについての研究・教育を実施している。

## 講演②

### 島川英介 (しまかわ えいすけ)

NHK 報道局社会部 記者

平成 15 年 京都大学大学院法学研究科修了後、NHK に入局。  
盛岡放送局、長野放送局をへて  
平成 23 年 報道局社会部。  
主に災害担当として、緊急報道や減災報道に携わるほか、国土交通省など行政も担当。

#### 制作した番組

NHK スペシャル 「MEGAQUAKE III 巨大地震」  
「巨大災害 MEGA DISASTER I・II」  
「巨大危機 MEGA CRISIS I・II」 など

#### 主な著書

「大避難—何が生死を分けるのか—スーパー台風から南海トラフ地震まで」(NHK 出版)



## 講演③

### 河合弘泰 (かわい ひろやす)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域長

昭和 42 年 愛知県田原市に生まれる (両親から昭和 34 年の伊勢湾台風の話聞いたことがある)  
平成 4 年 3 年 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻修士課程を修了  
平成 4 年 4 月 運輸省に採用、港湾技術研究所に配属  
平成 4 年 4 月 波浪・潮位の観測・計算の研究に従事  
～ 26 年 3 月 (高潮の研究を本格的に始めるきっかけは平成 11 年の不知火海沿岸の災害)  
平成 26 年 4 月 国土交通省九州地方整備局鹿児島港湾・空港整備事務所長  
～ 28 年 12 月  
平成 29 年 1 月 現職に

#### 活動内容

研究所における高潮・波浪・津波研究  
国土交通省等の委員会や専門家～市民向けの講演を通じた、技術の指導や啓蒙。





## 磯部 雅彦

全国海岸事業促進連合会協議会 会長・高知工科大学 学長

ようこそ、第21回海岸シンポジウムに全国からご参加いただき、まことにありがとうございます。今回は「高潮災害に備える」というタイトルでシンポジウムをやらせていただきます。

2011年の東日本大震災を受けて、地震による津波からの復旧・復興もまだ十分にはできていないというところではありますけれども、一方で、同時に高潮も非常に深刻な問題になりつつあるということで、このシンポジウムのメインテーマを決めさせていただきました。ご承知のように、海外ですと2012年、13年と、アメリカあるいはフィリピン、特にフィリピンの台風「ハイヤン」による大きな高潮災害が出ました。日本でも2004年には台風が10個上陸するということがありました。

1960年代には日本に非常に多くの台風がやってきて、それが深刻な被害をもたらし、それを受けて海岸の保全事業も急激に進みました。70年代以降になりますと、整備が進んだこと、それから、70年代以降は比較的静穏な年月であったため被害が激減したということがあります。しかし、90年代あたりからは、また台風による高潮は相当大きなものが起こりつつある、だんだん大きくなりつつあるという傾向もみてとれます。そういうことを受けて高潮に備えようではないかということになりました。

さらに、3.11の津波で最大クラスの津波に備えるということが今やられているわけですが、それ以外のものについても、おとし水防法が改正されて、洪水、内水氾濫、そして、高潮についても最大クラスのハザードに対して浸水域を予測し、それに対する対策をこれから考えていくということになってきました。

今、まさに高潮で申し上げますと、三大湾からその予測をやっていくという作業が行われているところかと思えます。そういう背景をもって私たちがこの海岸をより安全なものにする、災害をできるだけ減らしていくということを実現するために、このシンポジウムのメインテーマを設定させていただきました。

今日は東京大学の田島芳満教授、それから、気象キャスターネットワークの岩谷忠幸事務局長のお二方に、基調講演、特別講演をさせていただきます。その後、ご講演として富田孝史名古屋大学教授、島川英介NHK報道局社会部記者、それから、河合弘泰港湾・航空技術研究所領域長のお三方に講演をしていただくということで、高潮に対する知識を広げていただき、まさに進んでいる高潮の予測、そして、対策にぜひ役立てていただきたいという思いであります。

これからちょっと長い時間になります。午後いっぱいになりますけれども、ぜひ何物かをそれぞれの自治体、地域、あるいはそれぞれの企業、組織にお持ち帰りいただきたいと願っております。

簡単でございますが、私の挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

## 高潮災害とその教訓

田島 芳満

東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

本日は、基調講演ということで40分お時間をいただきましたので、私からは「高潮災害とその教訓」というタイトルで話題提供をさせていただきたいと思います。

私は海岸工学の研究をしておりますけれども、土木学会海岸工学委員会を通じて海外での高潮災害の災害調査等にたくさん行かせていただく機会がありました。その中で、やはり今日のテーマであります高潮災害に備えるということについて、まず第一は、高潮災害とは一体どういった災害なのかということ、地域の管理者だけではなくて住んでいる住民の方々も含めて、実際に氾濫が起きるとどういったことが起きるのかということを中心にイメージして、それに対してと対策を考えることが非常に大事だと考えております。

そういった観点で、私のほうからは、私がこれまで行ってきました海外での災害調査の事例を通じて、得られた教訓、それから、日本ではどういったことが起こり得るのかといったことを中心にお話をさせていただきたいと思います。まず、先ほど磯部会長のほうからもお話がありましたように、ハイヤンにつきまして少しご紹介させていただきたいと思います。

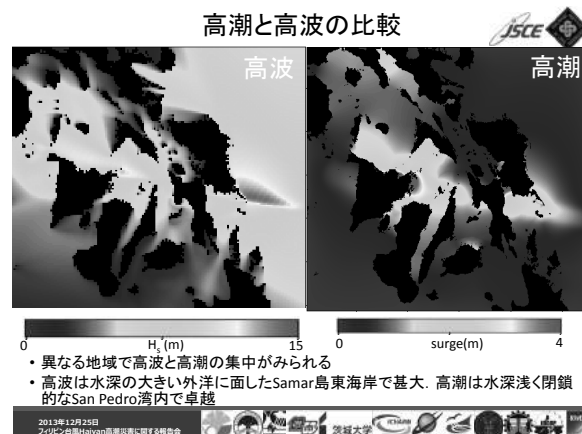
フィリピンは日本と少し特徴が異なると思われるのは、低緯度に位置しているということで、台風が南から北に上がってきて上陸するのではなく、東から西に向かう経路で台風が上陸するということが起こり得るのかといったことを中心にお話をさせていただきたいと思います。まず、先ほど磯部会長のほうからもお話がありましたように、ハイヤンにつきまして少しご紹介させていただきたいと思います。

災害調査に行く前に、簡単に高潮シミュレーション、それから、高波によるシミュレーションを行い

特徴をつかみました。シミュレーションにつきましては後ほどご講演いただければと思いますので、詳細は控えたいと思いますが、それぞれ高潮という潮位が上がっていく現象、それから、高波という水位が激しく変動する現象をそれぞれ計算することができます。

それを比較したものがこちらになります。左側が高波によるもの、右側が高潮によるもので、時々刻々と計算していく中で、それぞれの地点で最も値が高くなったものを記録して、それをプロットしたものがこちらの図になります。みていただきますとわかりますように、高潮は非常に水深の浅いところで風が吹くことによって大きく水位が上昇するというので、特に水深の浅いサン・ペドロ湾の中で非常に高い水位が計算されております。

一方で、高波につきましては、水面が表層付近で激しく運動する現象でありますので、海底の摩擦抵抗の影響を受けにくい水深がむしろ大きいところで波は大きくなりやすいという特徴があります。サマル島の東側はフィリピン海溝に面しておりますので前面は非常に水深が深く、そういったところで非常に大きな波が計算されています。今回のシンポジウムのテーマは高潮に備えるということですから



ども、同時に必ず高波も起こりますので、高波と高潮が同時に来たときに実際どんな氾濫が起こり得るのかといったことを知る事が非常に重要だと考えております。

こちらが実際に調査に行きまして、それぞれの海岸線で漂流物が漂着したところ、あるいはビルのどこまで水が来たかといったヒアリング等の結果から浸水した高さを計測して比較したものになります。こちらの赤い線あるいは青い線が実際に現地で計測した、水がここまで来たという高さの分布になります。それに対しまして、黒い丸が高潮によって水位がどこまで上昇したかというものをあらわしておりまして、白い丸が高波によってその変動がどこまで上がったかというものをあらわしております。

みていただいてわかりますように、サン・ペドロ湾の中につきましては黒い丸も白い丸も同程度高くなっています。要は、高波と高潮、両方の影響でこのように非常に高い浸水高が得られたのだらうということが考えられます。一方で、サマル島について見ますと、先ほど申しましたように、高潮の影響は比較的小さいので黒丸は小さいのですが、白丸が非常に大きな値になっているということで、実際に観測された浸水高は非常に高かったのですが、こちらは高波による影響が大きかったのだらうということが想定されます。

先にサン・ペドロ湾の中についてご紹介させていただきます。こちらは先ほど申しましたように、波と高潮の両方が非常に大きな影響をもっていたのだらうと思われまます。こちらの図は湾口部の東側になりますけれども、高潮は比較的小さかったのですが、波が非常に大きかったということで護岸が激しく被災しているという状況がわかりました。

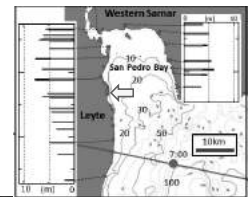
一方で、こちらは湾の中に少し入って東側のところになるのですが、こういった小規模な岬等がありまして遮蔽されているエリアでは、浸水高も低く、波もほとんどなかった、非常に穏やかな浸水状況だったということからも、逆にほかの地域では波の影響が非常に大きかったということが推察されます。

非常に被害が大きかったサン・ペドロ湾の西側になりますけれども、こちらはタナアンという地域です。これはココナツオイルの貯蔵タンクですが、堤防が十分に整備されていないところで高潮と高波がやってきて、恐らく波が当たったことによって大きく陥没したと考えられます。こういった形で貯蔵施設が被害を受けていますが、これは恐らく日本においても危険物貯蔵施設等が堤防の外にありますので、高潮・高波が襲った場合にこういったことが起こり得る可能性があるということは考えておいたほうが良いと思います。

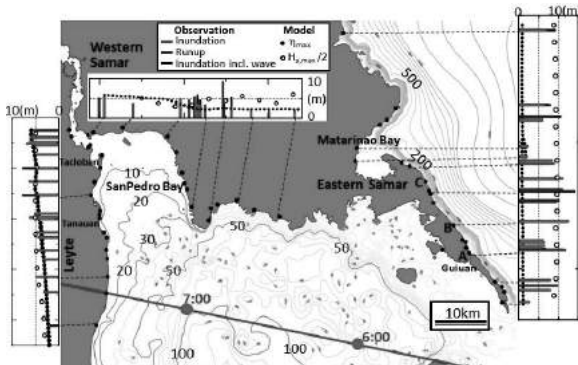
フィリピンの場合、現地のハイヤンのケースではなかなか避難せずに浸水が始まってから命からがら逃げたという人が非常に多くて、そういった観点で、逆に実際に浸水したときの状況が現地の話を通じて知ることができました。特徴的だったのは、水位がどんどん上がっていくというだけではなくて、非常に大きな変動をもって波がやってきたという証言を多く聞いたということです。

### Tanauan

- 大きな波が数回来襲
- 第一波の後に避難、第二波(3.8m)、第三波(4.9m)はさらに増大
- 第三波のピーク後は比較的短時間で水位が低下
- ココナツオイルの貯蔵施設の被災とオイルの流出も見られた



浸水高・遡上高の実測値と  
高潮・高波の予測値との比較



この方も最初の波が来てから逃げ始めて、数百m逃げた後に第二波、第三波がやってきて、一番高い水位が第三波だったと言っております。ですので、数十mから100m程度逃げたということですが、それほど時間の間に二波、三波が来たということで、波とiiつつ少し周期の長い波が来

ていたのではないかとということが推察されます。それから、非常に興味深かったことの1つとして、このサンロケという地点では、高潮が基本的には南から北に向かって潮が上がってくるわけですが、現地の証言を聞くと、氾濫した水は逆に北から南に向かって流れてきたと聞きました。

後ほど計算の結果を少しおみせしますが、こういった形で、普通に考えると高潮で南から水位が上がってくるので、南からこういう氾濫水が来るだろうと思っているところが全く反対の北側から氾濫水が来たということで、日本についても、細かくみていきますと地域ごとに想定とは異なった、想像していたものとは異なったような氾濫が起こり得るのだろうということがハイヤンによる高潮災害の教訓として得られたと思います。

最も被害が大きかったバランガイ 87 という、空港の少し南側の地域ではコンクリートの構造物もたくさんあったのですが、みていただいでわかりますように、構造物の際での洗掘・侵食が非常に甚大で、さらに構造物が崩壊しているといったことで、こちらも高潮と高波が重なったことによって被害がさらに大きくなったのだろうということが推察されます。

### Barangay #87

- ・高波を伴う浸水で水面は大きく変動(7.7m)、(平均的な浸水高は4.6m)
- ・コンクリート構造物(護岸、家屋)の崩壊
- ・甚大な侵食・洗掘

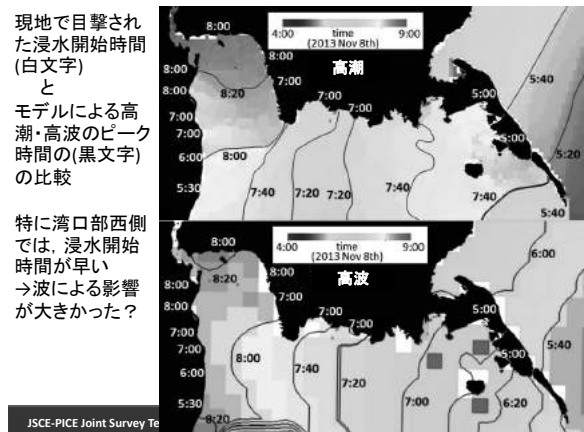


冒頭に申し上げましたように、高潮の状況を地域の皆さんと共有することが非常に大事だと思いましたが、今日、幾つか現地で得られた動画をもってまいりました。最近の災害ではこういった動画が撮られていることが非常に多く、我々も知らなかったような、なかなか想像していなかったような現象がみられるということで、こういったデータを集めて共有することは非常に大事なことだと思っております。

これはタクロバンの少し南側のアストロドームで多くの住民が避難したところでの浸水時の状況です。氾濫流の早い流れに加え、水面は大きく変動し、さらに強風も吹いています。この様な状況の中でどの程度避難することができるのか、また災害を軽減することができるのかということを想定しながら事前の対策をしっかりとっておくということが重要になると思います。

それから、少し内陸に入ったところです。内地に入ったシティーホールでもビデオが撮られておりました。これは建物の中で氾濫水の水位がどんどん上がってくるので、天井の上に逃げようとしているところですが、実際に氾濫している状況はこういう感じではなく非常に激しく水が動いているということがこういったビデオからもみてうかがえるかと思えます。

実際に現地でヒアリングをする中で、大体何時ごろ浸水が始まったかとかどれほどまで上がったかという情報が得られるのですけれども、そういったものと数値計算を比べることで、我々が予測できることと予測し切れなかったことはどういうことなのかということが明らかになってくるかと思えます。

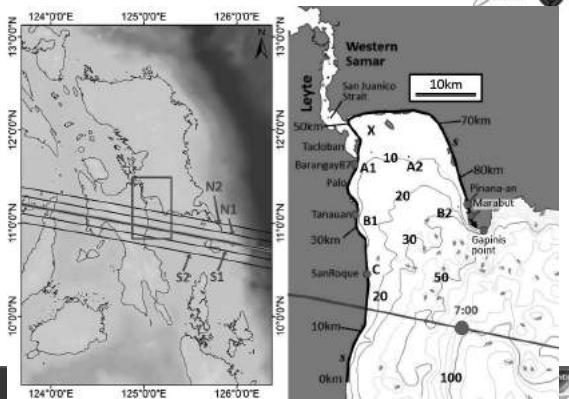


今日は細かいことはやめようと思えますけれども、特にサン・ペドロ湾では白い数字が現地のヒアリングで聞いた浸水が開始した時間になりまして、黒い数字が計算で予測しました高潮と高波のピークになった時間、必ずしも浸水開始とピークは一致しないのですけれども、このように浸水開始時間が現地では湾口部は非常に早い段階で浸水が始まったのに対して、計算のほうではなかなかその時間差が説明し切れていないということが分かりました。



こういったハイヤンによる高潮の特徴を検証するために、経路を少しずつ北と南にずらして平行移動させて、その台風が来た場合に高潮の特徴がどう変わるかという計算を行いました。また、高潮の進行するスピードがハイヤンの場合は速かったといわれていますけれども、その進行速度が速かった場合、遅かった場合にどうなったかといったものも同時に比較しました。

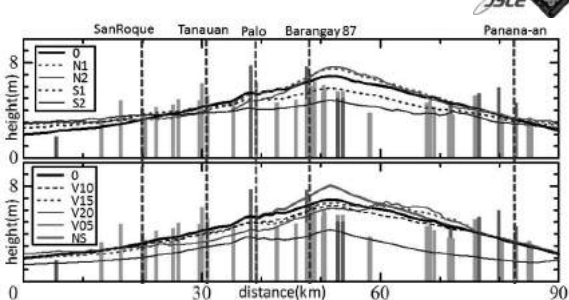
台風経路と浸水高との比較



こちらはちょっとわかりにくいのですが、横軸はサン・ペドロ湾に沿った沿岸方向の距離を指しておりまして、一番高いのは湾奥のこのあたりになります。最初1つ目の図がN1、N2、S1、S2とありますけれども、0がハイヤンの実際のコースで、N1、N2、S1、S2はそれぞれ北方向、南方向に経路をずらしたことになります。

みていただいてわかりますように、特に湾中央部につきましては、少し経路がずれるだけで高潮による水位の上昇量は大きく変わってきます。また、速度0というのがハイヤンの実際のケースですが、それに対して2倍にした場合、あるいは半分にした場合で大きく高潮の偏差が変わってくるのがわか

Sensitivity of surge heights



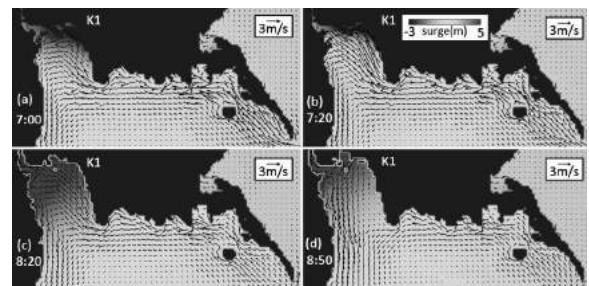
- ・高潮水位は台風の経路や進行速度により大きく変化
- ・HaiyanはSanPedro湾奥部にとって最悪の経路だった
- ・同規模の台風でも浸水被害がなかった過去の経験が避難を遅らせる要因のひとつ

りました。

こういった観点から、特にフィリピンの場合特徴的であったのは、南側に向けた湾で、日本とは違って被害が大きくなるのは台風が東から西にやってくる場合であることです。北半球ですので、台風は半時計回りに風を吹かせておりますから、ハイヤンが通り過ぎた直後に南から北に非常に強い風が吹いて高潮が起きることになります。

ハイヤンは、ちょっとコースがずれるだけで大分被害が違ったということで、現地でも話を聞いていまして、ハイヤンほどではないにしても非常に強い風を吹かせる台風が来襲してもこれまでこの様な大規模な高潮の経験がなかったことから避難が遅れたというような声もたくさん聞かれました。

それから、少し細かくみていきますと、高潮の場合は水位の上昇を気にしますが、先ほどのサンロケで北から南に流れがあったということがありまして、実際の高潮の計算の中で流れの場にも注目してみたいです。このような形でサン・ペドロ湾の中で半時計回りに循環するような流れが計算されておりましたので、緻密に細かくみていけばそれぞれの地域で氾濫が起きたときにどういう氾濫が起こり得るのかということも、例えばサンロケのケースにつきましては今の数値計算でも十分に再現できるということですので、それぞれの地域ごとで氾濫の特徴を把握することが重要かと思えます。



・SanPedro湾内では、反時計まわりの強い循環流が発生していた？→San Roqueでの証言と整合

特にハイヤンの場合は、先ほど申しましたように台風が東から西に通過しますので、最初は風が北から南に吹いて、湾の中の水がなくなります。その中で、次に南から北向きに急に風向きが変わりますので、出ていった水が戻ってくるようになります。風が吹いていなくてもこういった水がない状況から水

が入ってきますので、そこで風がやんだとしても、津波のように水、波が押し寄せるといことになりま。そういったこともあって、実際に現地でも完全に湾の中が干上がってしまったような状況の写真も撮られておられて、そのことからこういった急激な風向きの変化も高潮による水位の上昇をさらに助長したということが推察されます。



また、こちらについては、実際に水位の変動をみますと、どういう周期で水位が変動していたかがわかります。その周波数の特性をみると、ある条件の周期の変動成分が卓越していることがわかりまして、こういったことで湾内での振動、共振現象等も実は湾奥での水位の上昇に影響していたのではないかと推察されます。

サン・ペドロ湾だけを見ても、さまざまな現象が起きていて、それぞれの地域で大分状況の異なる氾濫があったということがわかりました。一方で、東海岸では、主に高波による甚大な浸水被害が見られました。我が国の湾内、特に三大湾ではこういったことは余りないかもしれませんが、島嶼国、それから、日本の島嶼においてもこういった災害が起り得るといこと、少しご紹介させていただきたいと思ひます。

東サマルでは、前面の海岸は水深が非常に深いといこと、高潮が起きにくいという特徴があります。それに加えて、海岸の前にサンゴ礁が発達しておられて、例えばギワンという地域の東側では海岸の前に750mほどの非常に広いリーフが広がっているといことになります。実際、平常時のリーフの上はこんな形で、特に干潮時になりますとほぼ干上がってしまうような状態で、非常に静穏な場所になります。

このリーフのエッジで波が砕けることによつて、波も小さくなるのですけれども、砕ける波が水を押し上げるという効果がありますので、ハイヤンが来襲した際にはリーフ上で水位が急に上昇して氾濫が起きたといこと、波による災害ではあるのですけれども、高潮と同じように、非常に高いところまで水がやってくる長い間浸かった状態になったと海岸から2km離れた地点で木につかまって助かったとい少年から聞きました。



ヘルナニでは海岸堤防が破堤して、さらに非常に大きな災害が起きていたのですけれども、少し離れたタグラドというところでは、逆に、浸水はしたのですが、土砂の堆積が顕著で家の中まで砂がたまったとい証言がありました。この様に、状況の似た近い地点でも氾濫時の状況は大きく異なっていたといことがわかります。

ヘルナニで撮られたユーチューブの画像はこちらです。これは海岸から数百m陸に入ったところで撮られたビデオです。高波で浸水したので、もう少し10秒とか十何秒の周期で変動するような波が来るといふう想像するわけですが、こういった形で津波のように非常に長い流れが押し寄せてくるといことがよく分ります。

このようリーフ状の高波の来襲によつて津波のようなものができて、それが氾濫するといことは、ハイヤンだけではなくていろいろな地点、島嶼でもみられておられて、その例の1つが、これもフィリピンですけれども、このスーパー台風メランティによるバタン島での災害でした。

このようリーフが発達したところで、少し凸状にリーフの地形が変わっているところで、浸水分布をみてみますと、その少し離れたところのリーフ幅

が少し狭いところに比べまして、この凸状の部分では局所的に非常に大きな浸水高がみられました。被害状況も大きく異なっていたということから、リーフとそれが砕ける波によって浸水の状況は大きく変わるということがこういったことからわかるかと思えます。



続きまして、サイクロン・シドルにつきましても調査に行く機会をいただきましたので、ご紹介させていただきます。こちらの特徴は、何といたしましてベンガル湾ということで非常に水深が浅いので、高潮による被害が出やすい地域ということです。

また、デルタ地帯が広がっていて標高が非常に低いので、広範囲にわたって浸水域が広がるということです。もう1つ、特徴的であったのは、こういったデルタ地帯で多くの川、支流が流れているのですけれども、海岸だけでなく、河川に沿って浸水高が非常に高くなっていたことがわかりました。



東京湾あるいは三大湾にとっても、荒川の放水路とか比較的川幅の広い河川や水路がありますので、そういったところに非常に勢いをもって川の中で高

潮が伝播をして川の中でも非常に水位が大きくなるということがバングラデシュの例などからもみとることができるかと思えます。

一方で、クワカタというデルタ地帯最南端の海岸に行ってきたのですけれども、行ってみるとこちらは海岸堤防がしっかりとできており高い減災効果があったことがわかりました。ふだんはこの堤防の上を通路として使っており、地元の人が土のうを使って補修をしながら堤防を維持しているということがわかりました。

そういったこともあってだと思えますけれども、高潮が実際にこの堤防を越えて越流したと聞きました。破堤することなくその背後の家屋を守ったと、現地で聞きました。こういったふだん使いながら堤防を補修して補強することによって、局所的ではありますが、減災に大きく貢献したという例もみられました。



一方で、河岸堤防については、サイクロンによる高潮ではなく、もっと頻度の高い洪水による河岸浸食等によってほぼ堤防がないような状態であったため、サイクロンシドルによる高潮に対しては減災機能を発揮せず、特に河岸近くに住んでいる方々は非常に大きな被害を受けたとのことでした。ただ、こちらでは1991年に非常に大きなサイクロンがありましたけれども、その後建てられたシェルターにかなり多くの人逃げたということで、サイクロン・シドルの規模は非常に大きかったのですけれども、死者数は1991年のものに比べると非常に大きく減ったということで、シェルターの効果があったと思えます。

もう1つ、1991年の災害を受けて堤防を強くしようということで、河岸堤防やさまざまな堤防上に

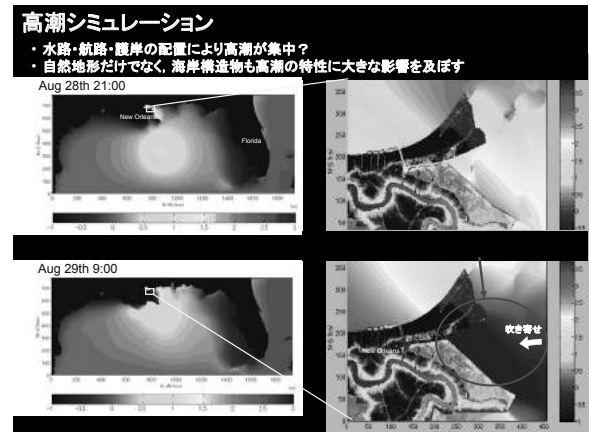
ヤシの木を植えて補強しようということもされていたようですが、サイクロン・シドルに関してはこういった根がまだ伸び切る前に災害が来たということで、逆に木が倒れて堤防を根こそぎ、根と一緒に堤防の土も削る形でもって行ってしまって、それが破堤を助長したというケースも幾つかみられました。ですので、植生等を補強ということで非常に効果もあるとは思いますが、こういったわからないこと、実際には堤防の破堤を助長する可能性もあるということは十分に認識しておく必要があるだろうと思います。

次はカトリーナになりますけれども、カトリーナにつきましても調査をさせていただきまして、こちらで特にフォーカスすべきはこのニューオーリンズです。一番被害が大きかったのがニューオーリンズの東側の地域です。水路が東に伸びていて、水路網を伝って高潮がやってきて氾濫したというところになります。こういった写真が残っていますので、非常に高い高潮が来たことがわかります。それに加えて、その背後域をみますと、家屋等がほぼ全壊で何もないような状態になっておりました。

これは非常に高潮が高かったことももちろんですが、堤防をみますと、日本の0m地帯と同じように地面の高さよりも大分高いところに堤防があって、それを越えて高潮がやってきました。大きな高低差の水が流れますので、背後域で非常に速い流速で氾濫流が起きたということになります。こういったことを、日本の0m地帯で鑑みますと、もし堤防を越えるようなことがあったら、これよりもさらに大きな高低差で水が氾濫するということになりますので、その周辺の氾濫は、ただ水につかるだけではなくて非常に強い流速をもって水が流れるということを認識する必要があると思います。

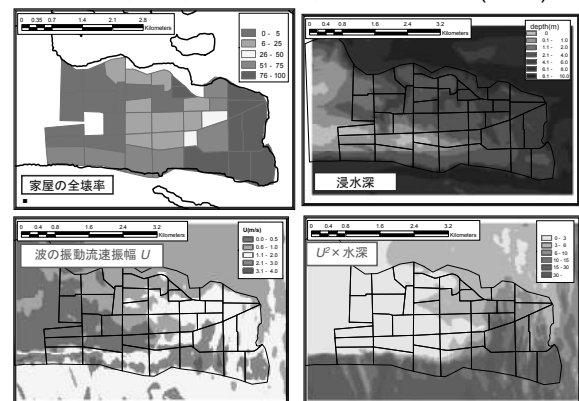
なぜこういった非常に高い高潮が起きたかということですが、カトリーナ台風自体の規模が大きかったのはもちろんですが、東側の地形をみますと、航路を掘ってさらに護岸を整備したということで、東側にV字型に広がるような、ラップ状に口を広げたような地形ができていました。そこに吹き寄せによって高潮が流れ込んでここに一気に集中したということで、ある程度人工的につくられた地形が高潮を助長することが十分に起こり得るということもこの災害から得られた教訓の1つだろうと

思います。



カトリーナでは、ニューオーリンズだけでなく、ハリケーンの経路の東側で最も海から陸向きの風が強かったことが想定メキシコ湾岸でも甚大な被害が見られました。ビロキシという半島で全壊した家屋がどの程度あったかというものを航空写真からカウントしまして、それと実際の被害の状況を比べたものがこちらになります。

家屋の全壊率と浸水深・波の振動流速との関係(Biloxi)

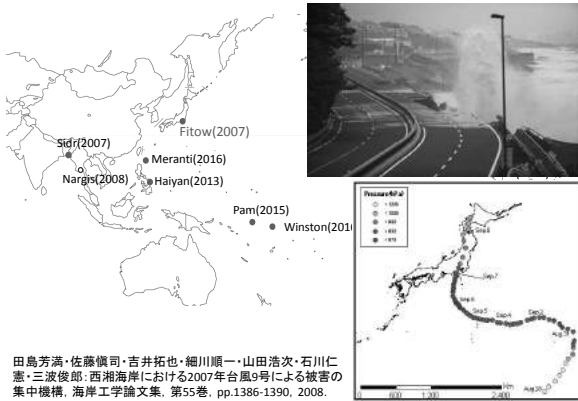


これをみていただいて、半島の東側あるいは南側で非常に大きな全壊率となっていることがわかるかと思えます。このような被害の特徴は浸水深だけでは説明できませんでした。一方で高潮と一緒に生じた高波による流速の大きさを勘案しますと、全壊率をうまく説明できることが分かりました。浸水域での被害を考える際には、浸水深やどこまで水が来るかということではなく、その際にどういった流速をもって氾濫水がやってくるのかといったことをしっかり把握しておくことが大事になるのではないかと思います。

それから、少し規模は変わりますが、西湘海岸です。2007年、台風9号が来襲した際発生し

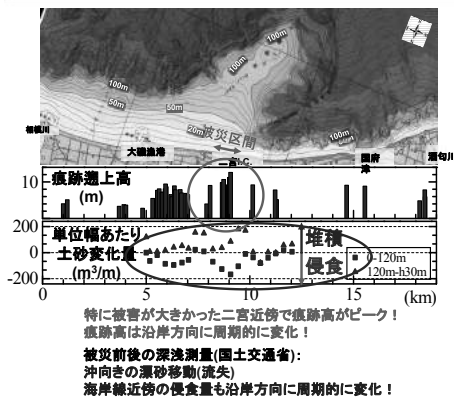
た西湘バイパスの崩落災害につきましても災害の調査を行う機会がありました。このような形で南から北に向かって台風が北上して、ちょうど伊豆半島を縦断するような形で台風が通ったというのがこの2007年台風9号の特徴です。

2007年台風9号(Fitow)による西湘海岸における高波災害



それによってこのような形で西湘バイパスが崩壊したわけですが、海岸線だけを見ますと非常に真っすぐな海岸をしています。しかし、被害の状況は大分異なっていました。そこで、海岸に沿って実際にどこまで遡上したのかといったものをハイヤンのときと同じように計測しまして、その分布を出したのがこちらになります。

相模川～酒匂川における被災調査結果



一番大きく被災した地点がここになるのですが、実際に計測した浸水高も痕跡高も最も高かった区域になります。これに加えて、この前後に深浅測量がされていたので、その結果をみて実際に土砂がどれほど浸食されたかを計測してみても、この分布と同じような形で浸食量が分布していることがわかります。

ここからここまで15kmですので、これは比較的長い、広い区間にわたってこのような大きな分布を

もっているということで、通常みるような10秒とか12秒の波で起きるような周期的な現象ではなくて、もう少し周期の長いものによって起きた現象ではないかと考えられます。

2007年の被災箇所は、1997年の台風20号の際にも被災しており、その区域を重ねると同じようなところで被害が起きていることがわかりました。2017年の台風21号でも西湘海岸の一部で護岸が崩壊したと聞いておりますが、そちらもこの地域になりますので、ほぼ同じようなところで災害が起きていることがわかります。

海岸は一見真っすぐに見えるのですが、もう少し深いところ、例えばこちらの100mのコンター線ですが、100mの地点をみると、被災したところの前面は大磯海脚という、少し浅い領域が広がっていて、西側には非常に急勾配な斜面があるということで、海岸線は一見真っすぐですが、水の中をみると分布がついているということがわかります。

2007年の台風9号と1997年の台風20号は比較的状况が似ており、特に周期の長い波がどちらも出ているというのが観測結果などからわかりました。こういった災害は最近起きておりまして、周期がちょっと長い波がやってきて護岸が壊れたり防波堤が壊れたりということが実際に起きています。この後、台風についてご講演があると思いますけれども、もし台風が大型化した場合にこういったことが起こり得るかということも、こういったことから考えられるのではないかと思います。

まずは風速が大きくなるということ、それから、もし台風の大きさそのものが大きくなるということを考えますと、風が吹いているエリアが広がる。そうすると、波高だけではなくて波の周期も長くなることが想定されます。そういった波が重なり合うことによってさらに長い波を引き起こすことがわかっております。こういった周期の長い波がさらにもっと長い1分とか2分という非常に長い波を伴うことによって沿岸部ではより高い氾濫が起これることが想定されます。

そういった非常に周期の長い波が来るとどうなるかということですが、波の伝播する速度は周期の長さによりますので、非常に長い波にとってはこの100mという水深も相対的に浅くなり、水深によ

て波の伝播方向が変わってくるという特徴があります。

そういったことが起きることによって、大磯海脚、水深の浅い部分による影響を受けて波が屈折して、さらに浅いところでは波がトラップされるような現象も起きることが想定され、それによって特に浅い部分において被害が大きくなることが想定されます。

細かい話にはなってしまいますが、高潮だけではなくて高波の干渉によって生じるような周期の長い波による影響も全て考慮できるようなモデルを適用しますと計算ができます。このように、それぞれの地域における被災状況と特徴を把握し、そのメカニズムを再現できるモデルを構築し、それらの知見に基づき地域ごとに災害時の状況を細かく想定し適切な防災減災策を講じることが重要になると考えます。

また台風だけではなくて、実際には海岸の大規模な侵食が起きていて、波が大きくなっているということも指摘されています。また慢性的な海岸侵食により浜がなくなっていて、昔では遠くで碎破していたものが今はより近くで碎破するようになって波が直接護岸に当たるといったこともあります。これから台風がどうなるか、波がどうなるかということに加えて、海岸侵食によって今まで担保されていた海岸の防護機能がこれからどう変わっていくかということも今後の海岸保全・防災を考える上で非常に重要になると思います。

沿岸低平地における氾濫災害から得られた教訓ということで幾つか紹介してきたことをまとめます。高潮・高波によってハザードが局所的に集中すること、あるいは海岸地形だけではなくて海岸構造物によって波がまた局所集中を招くようなことも起こり得るということ、さらに、下水道地下水路網を通じた氾濫災害の増大というものも東日本大震災やフィリピンでの災害調査等からもそういったことがわかりました。昨今いわれていますのは、そういった越流氾濫を前提とした場合、堤防をいかに粘り強く保つことができるか、防災・減災効果をもつかといったことも非常に重要になりますし、特に三大湾につきましては漂流物や堤外地での被災は十分起こり得ることですので、そういったものによる二次的な被害がどうなるかということも十分に想定して備えて

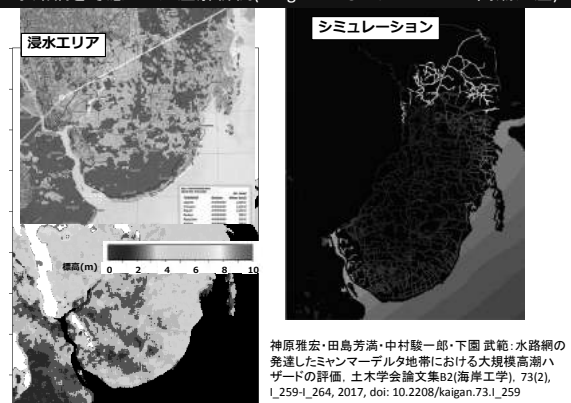
おくことが必要かと思えます。

以上、こういった教訓を受けて高潮に備えるということで、私が考えるところですが、やはり地域ごとにきめ細かくハザードを評価をして実際に氾濫が起きるとどういふことが起きるのかを共有すること、その上で対策を考えるということが非常に重要だと思います。特に今ポイントとなりそうなものとしましては、そういった地域ごとでの沿岸部の地形、あるいはいろいろな経路の台風が来たときにどうなるか、海岸構造物がどういふ効果・影響をもってしまふのか、水路網等がどうなっているのかといったことが考えられます。

例えば水路網につきましては、東日本大震災でも下水道を通じて伝播した津波が氾濫域で激しく上がってくるとか、発電所港湾の取水路を通じて立坑から先に氾濫が起きてくるといったことが実際に起きています。そういったものも考慮することによって数値計算である程度再現することができて、立坑の部分から氾濫が開始する、これは後出しではありますが、こういったものもある程度想定ができるということがわかります。

ミャンマーのナルギスで浸水した状況の再現を試みたのですが、こちらも水路網も入れないとなかなか氾濫域は再現できないのですが、水路網があることによってより氾濫域が広がって、少し水路が発達した中のほうで先に氾濫が起きるといったことが計算からもみてとることができます。

水路網を考慮した氾濫解析例(Nargisによるミャンマーでの高潮氾濫)



それから、堤外地での対策ということで、堤外地には重要な産業が蓄積されております。そこでの対策ということで、今、さまざまな検討がされているかと思えます。それから、今現状こうなるのだということも非常に大事ですけれども、これから温暖化

で海面上昇が起きて台風が甚大化するとどんなことが起きるのかということも非常に重要になります。

冒頭に申しましたように、例えば水面がわずかに上がることによって、ただ水面が上がるだけではなくて来襲する波の碎破する場所も変わります。その結果として打ち上げ高は海面上昇分だけ上がるのではなくもっと水位が上がることも起こり得ます。これは海面上昇だけではなく、我が国に限らずこういった海岸侵食が起きることによって、むしろ海面上昇よりも大きな幅をもってハザードが大きくなるということが起こり得ます。なので、実際に海岸がどのように侵食して、この後どうなっていくのか。また、局所的に波が集中するという事も考えますと、やはり海岸線の位置だけではなく、その前の水深がどうなっているかということも非常に重要なファクターとなります。なので、できるだけ高頻度に海岸の状況が今どうなっていて自然な防護機能がどうなっていくのかをモニタリングし続けていくことが非常に重要かと思えます。

これは我々が調査をしている天竜川河口部での例になります。こういった形で、時々刻々、特に河口部ですので海岸の状況は大きく変わって、ここは養浜をしたということもあって大きく変わるのですが、非常に短期間に目まぐるしく地形も変わっておりますので、そういったものをしっかり捉えて長期的なトレンドとしてどうなっていくのか、それ

から、短期的にはどれほど海岸線が変動し得るのかといったものも含めた理解が非常に重要になってくると思えます。

情報を共有するという事で、実際に高潮・高波が起きているときにどんな現象が起きているのかというのが最近ビデオ等で撮られてわかるようになってはきています。ですが、こういったもので海岸の地形をモニタリングするだけではなくて、実際に高潮・高波が来たときにどんな現象が起こり得るのかというのが、カメラを設置したりすることによってみてとることができると思えます。そういったモニタリング技術をうまく駆使することでよりたくさん情報を得て、実際に氾濫がどうだったのかということと、想定していなかったことをできるだけ減らしていく努力が必要ではないかと思えます。

最後になりますが、そういった中で高頻度の海岸モニタリングをするということや実際の被害時の状況をモニタリングすることも大事ですし、そういったものを実際の防災・減災の修正・改編にどのように結びつけていくかといった仕組みづくりも非常に重要になってくるというふうに考えます。

以上、少し駆け足になりましたけれども、実際の災害の調査から得られた教訓と今後の対策につきまして私の考えるところを話させていただきました。ありがとうございました。

## 近年の台風の傾向と高潮災害について

岩谷 忠幸

NPO 法人 気象キャスターネットワーク 事務局長

私からは、近年の台風の傾向、それから、台風の基本的なお話も含めて高潮に関連したお話をしたいと思っております。私、ふだん週の半分は日本テレビで気象のデスク業務をしておりまして、台風の被害があるようなときには放送局に詰めて災害情報に当たっていることが多いかと思えます。

5年ほど前まで気象キャスターとして、天気予報を伝えておりましたので、15年ほどやっていたかね。フジテレビで10年ほどやらせていただいて、日本テレビで6年ほど気象情報をテレビでさせていただいていたので、未来の天気予報、2100年の天気予報風にやりたいと思えますので、少しごらんいただければと思います。

2100年未来の天気予報をお伝えします。今日も非常に厳しい暑さとなりました。最高気温は高知県の四万十市で44.9度、東京では43.6度を観測しました。今日までに全国で12万人の方が熱中症で搬送されています。30度以上の真夏日が那覇では183日、東京で107日と、3ヵ月半真夏日が続いています。

では、あすの天気です。あすも各地晴れて厳しい暑さになりそうです。東京、名古屋は44度、大阪でも43度の予想です。猛烈な暑さが続きそうです。その一方で、局地的に激しい雨の降っているところがあります。大雨による川の氾濫や崖崩れなどが各地で発生しております。また、関東地方では雨が降らず、水がめのダムも空っぽになってきました。農作物が枯れる被害も発生しております。

そして、南の海上には台風10号が発生し、北上してきています。中心気圧は895hPa、最大瞬間風速は90mと、竜巻のような台風が現在北上中です。この台風ですが、この後西日本から東日本の太平洋側に接近し、上陸するおそれが高くなってきました。暴風や大雨、そして、これまでにないような高潮に対して嚴重な警戒が必要です。

以上、2100年未来の天気予報でした。

今、実演させていただいた2100年の天気予報ですが、私がデータを適当につくったものではありません。これは温暖化、気候変動の予測に基づいてつくっており、温暖化研究をしている研究者のチェックしてもらった上で皆さんにおみせした数字です。



東京で43度とか44度という数字がありましたが、2100年ではこのような最高気温は十分起こり得る数字です。また、台風も900hPaほどの台風が日本に接近しても決しておかしくないという予測も出ております。未来の天気予報をさせていただいたのですが、先ほどは2100年とお伝えしたのですが、実は最近も非常に強い台風が来ております。

皆さんも記憶に新しい今年の台風21号ですが、10月23日に上陸した台風です。このとき、上陸時で950hPaです。この直前はかなり強い台風、そして超大型の台風が接近しているということで、各方面、マスコミを通じて皆さんもこの情報をかなりお聞きになったと思います。950で静岡県に上陸したという台風、しかも10月下旬になりますので、この時期にこんな台風が来るのだというふうに皆さん思ったかもしれません。





この台風21号ですが、目がはっきりしていますよね。私からみると何か美しい台風にみえてしまうのですが、目がぼちりした台風は非常に強い台風です。渦がしっかりしているのは、中心付近で強い風が吹いていて、その強さをあらわしているのですね。崩れてくると目がはっきりしなくなってきます。この台風が来る範囲をみても渦を巻いている範囲が大きいということがわかると思います。

超大型で上陸するのは、超大型とか大型という、解析記録はそんなに古くからやっていないので、91年以降になってしまうのですが、91年以降でみると超大型で上陸したのは初めてとなるということで、非常に警戒しました。幸いといいますか、海岸での被害や高潮の被害は少しありましたが、大雨とか暴風の被害はそんなに大きな被害にはならなかったといわれている台風です。直前で少し弱まったというのがありますけれども、このような台風が実際には今年も来ていたということですね。

大型、超大型というのは、ご存じの方もいらっしゃると思いますが、強風域である風速15m以上の円が半径800km以上になると超大型となります。風速25m以上の暴風域の範囲もかなり大きくて、東海、関東、東北が入るような、かなり広い範囲で暴風が吹いた台風ということがわかると思います。

このときの高潮の様子です。これは横須賀ですが、一般の方が撮られた映像です。海水が海岸のところより越えてきていますね。この水が海岸に入りますと、ニュースでもごらんになったと思いますが、少し船舶とか海岸沿いでの建物の被害があったようです。

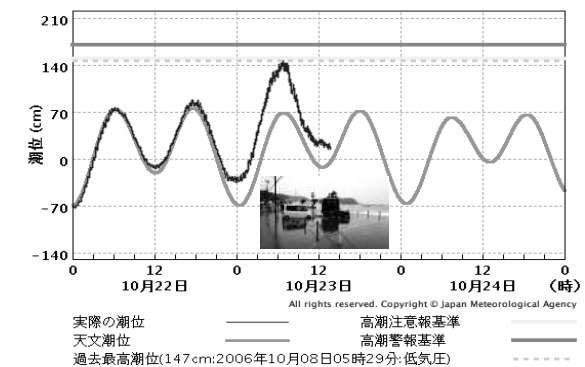
これは道路にも少し入りまして、今、車で走っていると、これも海水が上がったところ。大

雨が降って冠水したのではなくて、海水の水が入りました。このすぐそばは海ですけれども、勢力の強い台風であるとやはり海面が上がって高潮になります。

高潮の被害、人的な被害がないと最初にニュースの報道が出ないので余り報道されませんが、台風21号が接近したときに、気象情報では、どうしても台風の中心をずっと追ってしまうほか、大雨とか暴風雨、風のほうに注目が行ってしまいます。

ですので、高潮の被害というのは結構おくれた情報になります。1日ほどおくれたから結構ニュースになったりするので、被害が少し後から出てくることが多いです。人的被害があると割と早く報道するといいますか、大きく取り上げることが多いのですが、人的被害がないと取り上げるニュースの価値としては次になってしまうことが多いです。

### 横須賀の潮位 (2017年10月23日)



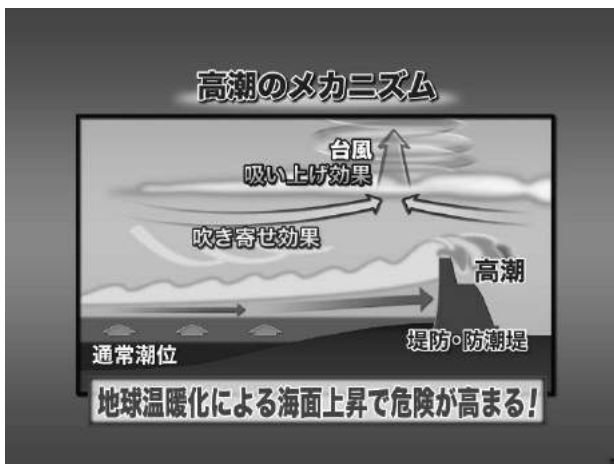
このときの潮位ですけれども、オレンジ色が天文潮位で干潮・満潮の周期を繰り返しています。青いところが実際の潮位です。台風の影響が出るまでは天文潮位と同じで、台風が上陸したのが23日の3時ごろ、その少し前から潮位が天文潮位との差が出てきました。これが高潮になります。それが潮位で最大140cmほどです。

実際には、高潮としては天文潮位との差になりますので、70～80cmほどの潮位が台風によって上がったと考えられます。結構上がっていて、横須賀のデータを見ると過去の最高潮位に近いところまで来ていましたし、高潮警報の基準はもう少し高いところがありますが、結構高いというのがわかるかと思いますが、高潮というのは決して台風だけではありません。低気圧による高潮の被害もあります。最近ですと北海道の東部、根室で2014年にありました。

気圧が952hPaまで下がったということで、高潮は台風と同じように温帯低気圧でも起こるものです。このときの低気圧ですが、「爆弾低気圧」という言葉を聞いたことがあると思いますが、急速に発達した低気圧でした。日本海にあるときは1,000hPaほど、南も1,006hPaほどの低気圧ですが、この1日後には北海道の東でほぼ1つにまとまるような形で948hPaまで下がりました。わずか1日で50hPaほど気圧が下がる、急速に発達する、気圧でいうと急速に数字が下がるという意味で、こういう低気圧を爆弾低気圧と呼んでいます。1日当たり24hPaほど下がると爆弾低気圧という言い方をします。

アメリカでもこの爆弾低気圧という言葉は使っておりまして、気象学的にもいわれている言葉になりますが、2012年にこの言葉は流行語大賞のトップテンにも入ったほど、ニュースとして大分取り上げられた言葉でした。急速に発達する低気圧によって、気圧が低いということで高潮が発生しています。

高潮の基本的なメカニズム、おさらいとして聞いていただければと思います。1つは台風の中心気圧もしくは低気圧、気圧が低いということで、気圧が低いと吸い上げの効果が働きます。ふだんは空気にも重さ、圧力があって上から押さえつけています。それが気圧の低い台風や低気圧であると、その分海面が盛り上がってきます。空気で押さえる力が弱くなるということですね。



10hPaで10cm上がりますので、例えば1,000を基準に考えたときに、900hPaの台風が来た場合には、それだけで海面が1m上がってしまうということになります。それに加えて、台風周辺もしくは発達した低気圧でも周辺で物すごく強い風が吹きます。低気圧、台風は半時計回りに渦を巻いています

ので、中心よりも東側に入ると、特に南側の湾では中心よりも東側に入ると非常に強い南風で吹き寄せの効果が働きます。それによってまた海面が盛り上がってくることとなります。この効果で堤防を越えれば高潮ということで被害が出るということになります。

さらに、地球温暖化によって海面は上昇しています。過去100年で大体20cm海面は上がってきていますが、将来2100年ごろにはさらに80cmほど海面が上がるという予測があります。温暖化で海面が上がるというのは、北極周辺、北極といっても海の上ではなくて、大陸、陸地に乗っている氷が溶ける、もしくは氷床、氷、雪といったものが溶けて海の水がふえるというのが1つです。もう1つは、水温が上がると水自体が膨らみます。この効果が結構大きく、この2つの要因で海面自体が上がってきている、これが温暖化の影響になります。それに加えて台風が強まることで高潮起こりやすくなるということがいえるわけです。

20世紀、潮位が2mを超えた回数でいうと、三大湾、東京、名古屋、大阪あたり、特に湾の奥深いところで高潮が発生しております。また、九州の有明海のほうでも高潮の被害は多く発生しております。特に高い高潮は台風によるものが多くて、台風は南からやってきますので、南側に開いたところで非常に高い高潮が発生しております。

では、ちょっと考えてほしいのですが、日本の上陸時の中心気圧、最も低い台風はどのほどだと思いますか。日本上陸直前ですけれども、1951年以降の統計でいいです。それよりも前の統計は、台風のデータも点々としか情報がなくて、厳密に並べられるのが1951年以降です。51年以降でみると、実は925hPaが一番発達した台風になります。この925hPaというのは第2室戸台風です。聞いたことのある方はいらっしゃると思いますが、このときには大阪湾で高潮が発生しております。また、この第2室戸台風のときには200名ほどの方が亡くなっております。

それから、929hPa、これが伊勢湾台風です。皆さんご存じの方も多い伊勢湾台風は1951年以降でみると2番目に気圧が低かった台風になります。これは昭和34年になります。それから、割と最近もあるのです。平成5年、930hPaで台風が上陸し

たということもありますし、940hPaで上陸した台風はリング台風という俗称で知られてはいますが、1991年の台風19号です。全国に非常に強い風を吹かせた台風ですが、中心気圧は940hPaで上陸していますので、非常に強い台風としてやってきた台風になります。

1951年以降で非常に甚大な被害をもたらした台風が幾つかあるのですが、伊勢湾台風もその1つです。高潮の被害で5,000人以上の方が犠牲になっております。それから、洞爺丸台風、これは暴風雨と高波でした。洞爺丸が転覆して多くの方が亡くなったというものです。それから、狩野川台風は、伊豆半島で大雨の被害が大きく、それによる被害で多くの方が亡くなっています。台風にも高潮の被害が大きかったり、風や雨の被害がおおきかったりとそれぞれいろいろな特徴があるのがわかると思います。

## 1951年以降の甚大な台風

### ▶伊勢湾台風(1959年9月26日)

- ・死者行方不明者5,000人以上。
- ・伊勢湾で大規模な高潮(名古屋港389cm)
- ・上陸時 929.5hPa(潮岬)

**高潮**

### ▶洞爺丸台風(1954年9月26日)

- ・死者行方不明者1,700人以上。
- ・高波で洞爺丸沈没。速度の速い台風。

**暴風・高波**

### ▶狩野川台風(1958年9月27日)

- ・死者行方不明者1,200人以上。
- ・伊豆半島で大雨被害。

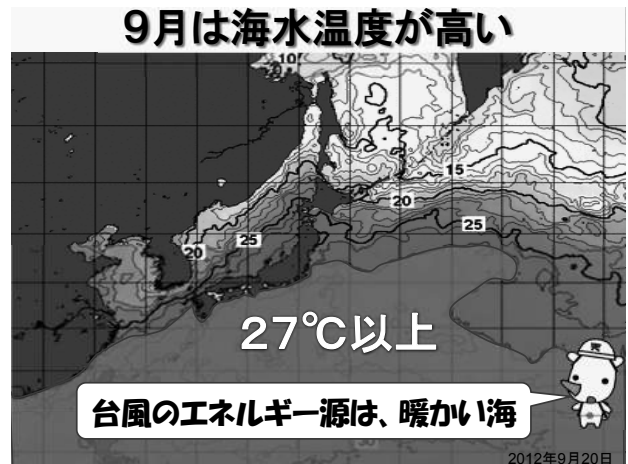
**大雨**

平成になってから40人以上亡くなっている台風が多くあります。平成2年の台風19号もそうですし、先ほど挙げたリング台風、940hPaで上陸した平成3年の台風19号、930hPaで上陸した平成5年の台風13号、非常に強い勢力で上陸した台風は多くの方が犠牲になっているというのがわかると思います。先に挙げた平成の台風で特徴的なところは、亡くなった方が多かった台風が実は台風の襲来が多い7月、8月ではなく9月、10月に上陸した台風であるということです。9月、10月に非常に多くの方が亡くなる台風、それだけ強い台風が来るのはなぜかというと、水温が高いのが1つの理由です。

8月の中旬頃が1年の中で一番暑いのですが、海が一番温まるのは9月です。海は熱しにくく冷めにくいので、温まる時期が1ヵ月ほどずれます。ですので、台風が一番強くなるのは9月になります。水

温が高いほど台風は発達します目安としては海面水温が27度以上あると台風は発達し続けます。この水温が日本沿岸まで27度もあると、発達したまま上陸してしまうということになります。

最近では黒潮の流れも影響していて、黒潮のところは水温が高いので、その黒潮に沿って衰えずに台風が来るということもあり、台風の勢力の予想もそういったところも加味していかないとなかなか精度が上がっていかないだろうといわれております。



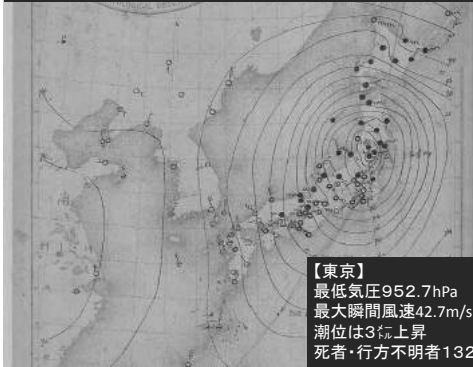
伊勢湾台風の振り返りになるのですが、台風が上陸したとき、中心気圧は929hPaでした。最大瞬間風速は伊良湖で55mが観測されています。なかなか吹かない非常に強い風です。また、潮位が名古屋港で4m近かったということですが、一番強いときは上陸直前、これは25日、26日なのですが、九州——名古屋から南にあるときにはまだ900hPaもあったのです。猛烈な台風の状態でかなり日本に近いところに来ていたことになります。最終的に上陸したのは929hPaでしたけれども、かなり近くまで900hPaで来ていますから、非常に危険な台風だったと思いますが、当時は精度の高い防災情報が市民に伝達されていなかったと思います。

それから、東京湾での高潮の災害は最近では余りないので、かなり古くなります。大正などでは1917年、このときに東京湾で大きな高潮になりましたが、実は東京の気圧としては、中心気圧は952hPaほどでした。ですので、今年、台風が静岡に上陸して950hPaほどでしたけれども、950hPaほどで大きな被害があったということになります。東京湾で潮位が3mほどありました。

もちろん潮位は1917年のときのほうが高いのですが、それだけ防潮堤などで今は同じような台風が

来ても以前より守られているということがわかると思います。この時代と今では、防災対策がとられているということで被害は少ないのですが、かなりぎりぎりということとは結構あるわけです。

## 東京湾での高潮災害 (1917年10月1日)

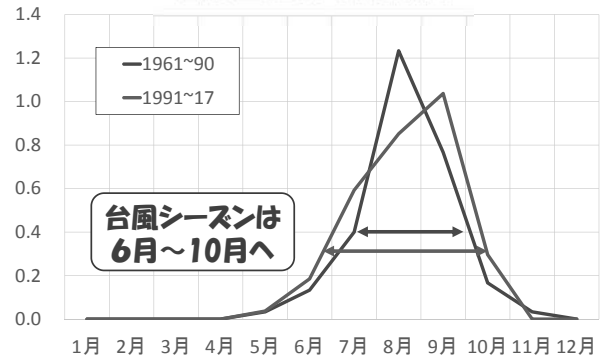


ここでちょっと台風について基本的なことも含めてお話をしたいと思います。台風というのは、厳密には風速 17.2m 以上のものをいいます。強さは、中心付近の最大風速が 33m、非常に強いといえますと 44m、猛烈というと 54m になります。よく天気予報でも強い台風、非常に強いとすぐいってしまうので、何 m 吹いているかわからない、天気予報ではなかなか伝わらないのですが、基準が決まっていますので、強い、非常に強い、猛烈で風速が違うということを知っておいていただければと思います。

大きさは、先ほどもみましたが、大型だと風速 15m 以上の強風半径が 500km 以上、超大型だと 800km 以上の大きさをもっているということになります。雨の強さは全く関係ありません。それから、台風の発生数です。年間の発生数は平年で 26 個ほど発生しています。傾向をみると、1951 年以降の統計になりますが、最近まで多い年、少ない年があって平均を出すと何となく下がっているようにみえますが、ほとんど変化はありません。特に発生数や大きな特徴は変化がありません。

それから、上陸数は年間に平均 3 個あります。これもならしてみると余り変化はないのですが、特徴的なのは 2004 年に 10 個上陸しています。去年は 6 個上陸しました。去年は特に上陸する場所が北日本だったというのが特徴的になります。台風は沖縄のあたりから、九州、西日本に上陸して北日本にやってくるようなコースが多いのですが、去年はちょっと変わったコースで来ていました。

## 台風上陸の季節傾向



それから、台風上陸の季節傾向で調べました。1961 年から 90 年の 30 年間を平均したものでは、季節的に 8 月が一番多く上陸しました。また、91 年から 2017 年の平均を出してみると少しずれています。

8 月に関していうと、30 年はないのですが、30 年弱ほどでみると、8 月の台風上陸が少し減っています。その一方で 9 月が多いです。このことから、60 年から 90 年に比べて最近では 8 月よりも 9 月のほうに台風上陸が多くなってきているのがわかります。台風は 9 月のほうが強くなりやすいという話は先ほど海水温の話をしたときにしましたが、それが 1 つの要因でもあります。

もう 1 つ、最近のほうは幅が広いのがわかると思います。以前に比べて最近では上陸が 6 月ぐらいから 10 月ぐらいまで少し多いところがあります。過去より多くなってきています。すなわち、台風シーズンが少し広がっているイメージをもていただければと思います。10 月は海水温がまだ高いということで、強い台風がコースや気圧配置によってはやってくるということがいえるのではないかと思います。

それから、平年の気圧配置ですと 6 月は台風がフィリピンのあたりに行ってしまう、もしくは日本の南側をかすめて通ります。6 月は梅雨前線があるので、梅雨前線よりも北には行きません。梅雨前線がちょうど日本の九州から関東に停滞していて、その南側あたりを通っていくので、南をかすめるか西に行ってしまうかのどちらかになります。

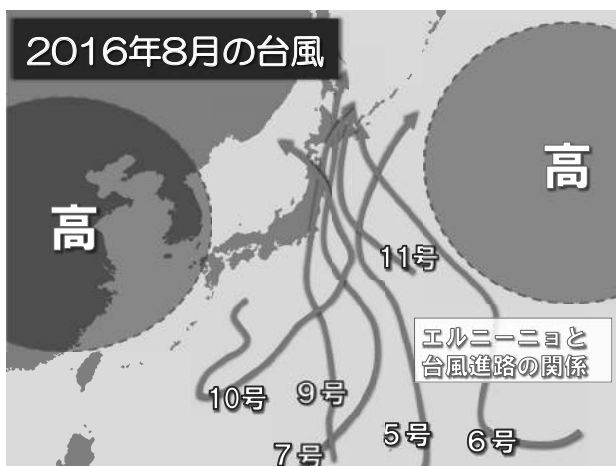
7 月下旬になると前線がなくなってくるので、7 月下旬から、8 月になると日本海に入ってくるものが多くなります。9 月になるとだんだん夏の高気圧

が弱まるので、台風が少しずつ南側におりてきて、上陸しやすくなるといいますか、東日本にも来やすくなるということが一般的には多くなります。ですが、最近はこの傾向に当てはまらないことも多くあります。

夏の特徴として、日本列島は夏の高気圧に覆われるため、偏西風が北海道など北のほうを吹いくことがあります。このときは台風を動かす風がないためゆっくり動きますし、迷走することもあります。方向が定まらなくてうろうろしてやってくるということです。

しかし、秋になりますと、偏西風が南におりてきます。大体、偏西風は秋雨前線に沿って吹きます。秋雨前線に沿って偏西風が吹きますと、台風がそれに乗ってやってくるということで、速度が速まります。偏西風が南におりてくると、台風の進路予想はコースとしては非常に予想がしやすくなって、夏のほうが非常に難しいということがあります。

2016年は変わったコース台風がいくつも通りました。続けて東日本から北日本に、北海道を多く通りましたが、この台風が特徴的だったのは、高気圧が2つに割れていたことです。地上の天気だとなかなかわかりませんが、上空の高気圧をみると、例年であれば日本列島を夏の高気圧が広く覆うような形であります。その高気圧の縁を回るので、もうすこし高気圧が張り出してきた場合に、沖縄のあたりから九州を通る台風だったら通ることはありますが、真南から来るというのは、8月は来にくいのです。しかし、高気圧が2つに割れたということで、台風は南から来るようなコースをとりました。



また、この年はエルニーニョ現象が発生していました。エルニーニョ現象が発生すると太平洋高気圧

の勢力がやや弱まることが多いのですが、それによって南からまっすぐ北上する台風がふえてくるので、関東とか東北、東のほうから来るということが起こりやすくなるのかなと感じております。

このときの台風は、3つ同時にありました。9、10、11とあって、このうちの10号が東北に上陸したものです。沖縄から四国の南側でうろうろしていました。珍しいですね。私もこの仕事をして25年ほどたちますが、南に下がっていく台風は、めったにないです。高気圧で少し押された感じですが、その後、南でうろうろしていたので、日本の南は水温が高いですから、その間に勢力を強めて台風が来たということになります。

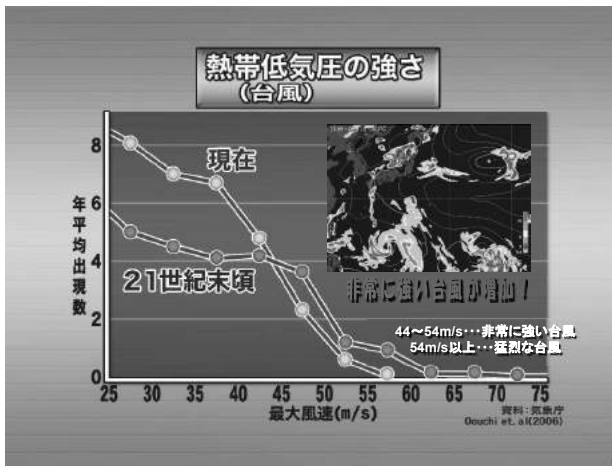
しかも、高気圧が東と西に分かれていたので、この間を抜けて入ってきました。しかも続けてやってきました。このときには、大雨の被害ですが、岩手県岩泉町の高齢者福祉施設で多くの方が犠牲になっております。避難がおくれたということで、これを受けて避難情報も変わりました。

これまで避難指示、避難勧告、避難準備情報といってきましたが、この台風を受けて避難指示（緊急）とつきましたし、避難準備情報が避難準備・高齢者等避難開始というふうに変わりました。避難準備情報とは一体何なのかというのがやはりわかりにくいということです。これは行政、自治体が準備していればいいのではないかと思われてしまいがちということもありました。

そういう意味では、高齢者、時間のかかる方は早く避難してもらいたいということで表現を変えてきています。また、避難勧告、避難指示も行政の方は当然のように使っていると思いますが、多くの市民の方は理解をしていないです。私もよく一般市民の方、住民の方に、違いがわかりますかと質問すると、避難勧告のほうが危険度が高いイメージをもっている方もいらっしゃるの、避難指示のほうが上だと、緊急性があると思っていない方がやはりいらっしゃいます。

そして、強い台風がふえるおそれがあるということで、先ほども水温の話をしました。温暖化によって海水温が上昇すれば当然台風の発達するエネルギーもふえていきますので、台風は発達するだろうと予測されています。では、どれくらいの台風がどうなるのかということで、気象庁が計算した予測で

すが、現在に比べて、台風の総数としては少し減る可能性もあるけれども、強い台風、最大風速 55m とか 60m、このあたりの台風が今より多くなるということで、強い台風はふえていく傾向にあるだろうと予測が出ています。理由は、水温が高くなるから、その分だけ発生すれば非常に発達するだろうということで、強い台風がふえるだろうという予測が出ております。



猛烈な台風の例として、先ほども田島先生のほうからお話がありましたが、2013年の台風30号、フィリピンを直撃したのがありました。これもみていただくと台風の目がはっきりしているのがわかります。渦、目がはっきりしたときに、ほぼ上陸したような感じでした。895hPaで接近しています。900hPaほどでやってくるイメージですかね。先ほど2100年日本の天気予報を最初にやりましたけれども、イメージとしては、フィリピンを直撃したこの台風が日本にやってくるイメージをもってくださいということになります。

これは先ほど田島先生に見せて頂いた映像と一緒に。高潮の発生の瞬間の映像ですが、このような押し寄せ方をすると。高潮ですと海面がじわじわ上がるようなイメージをもたれる方が多いのですが、湾内、しかも奥深いところであれば、水の塊として押し寄せる可能性があるということを認識しないといけないのです。高潮が来るイメージはなかなか難しいのです。高潮と津波、何が違うのですかと、よくいわれたりもします。

もちろん皆さんはわかる方が多いと思うのですが、一般の多くの方は余り差がついていなくて、高波と高潮の違いもわからないのです。津波は地震が原因で、台風や発達した低気圧が原因であれば高潮

になります。高波とはまた違います。気圧が低いので吸い上げ効果が働いて吹き寄せてくる。水の塊としてやってくるということが大きな違いになります。だから、破壊力もすごいですね。

「これまでにないような」という表現も最近使いますが、猛烈な台風、スーパー台風といわれるような台風にどう備えていくかということを考える上では、やはりハードの防災、防潮堤とか川の堤防といったものをしっかり整備していくというのは非常に重要なことだと思います。ただ、恐らく防潮堤の整備にしても非常に予算も時間もかかる話なので、同時にそういう甚大な災害に備えなければいけないということと避難ということの両面を考えていかなければいけない時代だろうと思っております。ハードとソフトの面を両方とも考えていくということです。

国土交通省も、今までは立場的にいいにくかったと思うのですが、堤防をつくる、防潮堤をつくるという意味で、やはりそれで守っていますよということをご説明されていると思うので、守られていると住民の方は思っておりますが、それで安心といっていられない状況にあります。

最近「水防災意識社会」という言葉も出てきました。やはり市民一人一人が災害に対する意識を変えていかないと、意識をもってもらわないとなかなか災害は防げないだろうと思います。少なくとも建物とかの被害はある程度仕方ないとしても命だけは守ってほしいということで、避難をするということがこれからは最も重要なことになるのだろうなと思っております。

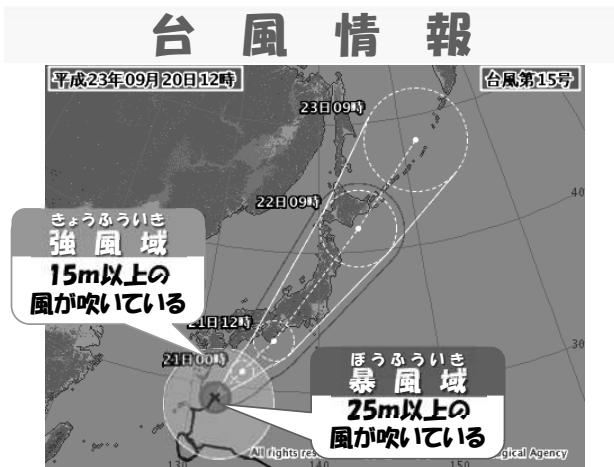
これは両国国技館です。最近相撲のいろいろなニュースが話題になっているところかもしれませんが、これは両国の駅なので、墨田区になりますかね。東京23区の東部のほうは土地が0m地帯といわれるところですので、このあたりは100年後で満潮のときで考えると、実は割と水没してしまうのです。

江東区などは川が流れていますけれども、海よりもかなり低いです。でするので、船で江東区に入ると、調整する場所があります。扇橋閘門と書いてあって、川の水位を上げてでないと渡れないというか、外側の川に出られないようになっています。荒川から江東区のほうに入ろうとすると、荒川ロックゲートとか、川の水位を変化させないといけないほどに江東区とかは水位を下げています。それで川が流れ

ているのですが、ほとんど海の下です。

東京もそうですし、大阪もそうですし、こういう場所がかなりあるということを考えて、わざわざこういう画像をつくったのは、多くの市民の方にイメージをもってもらいたいからです。数字だけではちょっと伝わらないので、イメージをもってもらいたくて、皆さんが住んでいる場所はこういうイメージですよと伝えるために画像を作りました。海の高さ、将来の海面上昇の予測とか台風を考えたときには、水につかる地域なのだということを知ってもらいたいということでこういうものをつくったりしているのですが、住民の方にこういう広め方をしているかと思っております。

情報を活用するというので、最後の項目ですが、「進路予想図の意味、わかりますか」と書いていますが、一般の方からは雨が降る地域が広がるのか、予報円が大きいとどうなるのか、暴風域が広がるのか、どこを通るかわからない等、いろんな疑問が出てくるものが台風の進路予想図です。



台風の予想進路、点線で描かれている予報円が大きくなると台風がどこに行くかわからないということです。どうしても視覚的にみると、台風が大きくなったり、発達したりするようにみえます。これが余りよくない、視覚的には勘違いされてしまうのですが、台風が大きくなったり、暴風域が広がったりするわけでもなくて、弱まることもいっぱいあります。ただ、どこに行くかわからないという意味なのです。

台風の一般的な気象庁のホームページの進路図では、赤いところの内側が暴風域になります。テレビ局ですと色の使い方がちょっと違いますが、外側の

円が強風域で、点線が予想進路になります。赤いところが暴風域に入る可能性、おそれがあるエリアを指しています。中心線だけを追うのではなくて全体としてどういう被害があるのかをみていただくのがポイントです。

これは2016年の台風10号、さっき雲画像でおみせしましたが、なかなかひどい進路予想です。これ多分全然わからないですよ。進路が南においていて、この時点での予想なので、南にちょっと下がった後、もう一回戻ってくる予想にしているのですが、予報円が最初小さいのですが、だんだん大きくなって行って、最後ここですね。どこに行くか全くわからない状況でした。

この台風は静岡に来るかもしれませんし、南の小笠原に行ってしまうかもしれないと進路が全くわかりません。どこに行くか全くわからない予報を上陸6日前に出していました。その後近づいてくると予報円がだんだん定まってきました。予報というのは、向きを変えるまでは非常に難しいので、変えた後に進路が定まってくるのです。そのため、向きを変える手前で予報したときには、円が大きくなってなかなか予想しにくいのです。

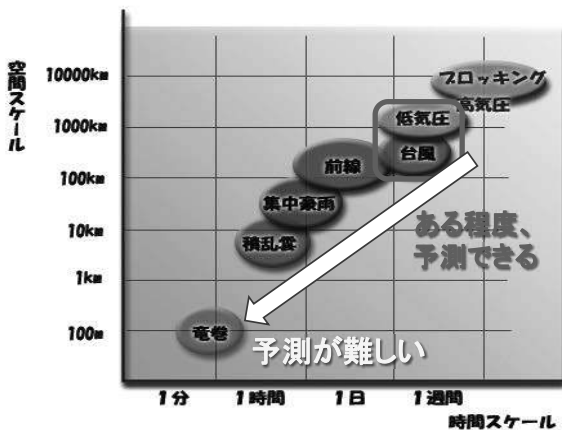
ある程度進路が定まってくると、予報円がある程度の大きさに定まってくるのですが、それでもまだまだ北日本からみたら大きい円を描いていますが、これは岩手県のほうに行っていますので、いい線で予想は出しているのです。3日前でそれなりのコースを出していると思いませんか。ざっくりですけども、ある程度の予報ができていたということです。でも、関東に上陸するような予想にもなってしまうので、北海道から関東までとかなり幅は広いと思います。

これが上陸当日になりますが、直前で関東の東を通過して行って、このあたりではもう宮城県か岩手県のあたりに上陸しますよと。しかも円がかなり狭いです。北海道の西側でもかなり狭いです。非常に精度を高く出してきている予報になりました。

この台風は、天気予報の中でいうと予報が当たる部類に入ります。これはぱっと見、なかなかわかりにくいのですが、空間スケール、面積が大きいもの、それから、時間スケール、期間の長いもの。台風とか低気圧は、台風は例えば数百kmの大きさの規模をもっています。それから、時間も数日から1週間

ほど生きていますので、このほどのスケールの台風、低気圧は日本列島でいうと西から東によく通っていきます。

台風等は天気予報の中でいうと、ある程度予想がしやすいものです。予報できないのは竜巻とかゲリラ豪雨みたいな、積乱雲からバツと降るような雨、1時間ほど降ってやんでしまう雨は予想がしにくいのですが、ある程度予想ができるものなので、技術的にはこの予報を信頼して、ある程度対策がとれます。



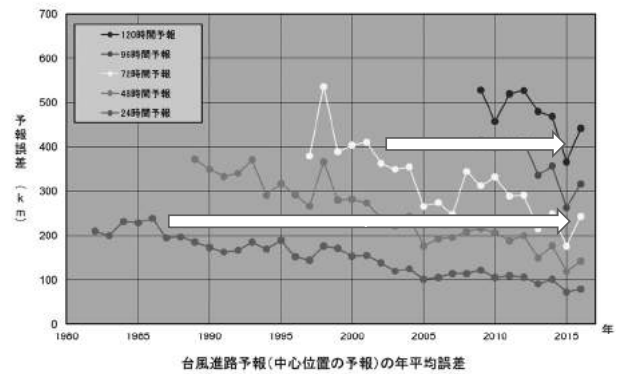
台風の進路予想の精度ですけれども、昔は4日、5日の予報はやっていなかったもので、2009年ほどからやっていますかね。これで見ると、2000年ごろの3日予報は大体誤差400kmほどをもっていたのですが、それが今、5日予報で400kmほどなので、15年、20年ほどの間に昔の3日予報ほどの精度をもった5日予報が出ていることになります。

それから、1990年ごろの1日後の予想では200kmほどの誤差がありましたけれども、その誤差で見ると、今は3日予報がほぼ同じ誤差になっています。つまり、1990年ごろの1日予報の精度が、今は3日予報で同じ精度をもっているという意味になります。

見た目では、200kmほど。100kmですと東京から熱海ぐらいまでの距離の誤差ですね。200kmですと静岡ぐらいになりますかね。東京-静岡の誤差の範囲で予測ができるというのは、私はかなりいい精度ではないかと思うのですが、もちろん先ほどの高潮のモデルをつくったり細かい予報を出したりするには、もっと精度を狭めてほしいというのは実際のところだと思います。それによって大分被害が違ってくると思いますが、台風の進路としては3日前から

200kmほどの誤差で当てられるようになってきているという進路予報の技術になっています。

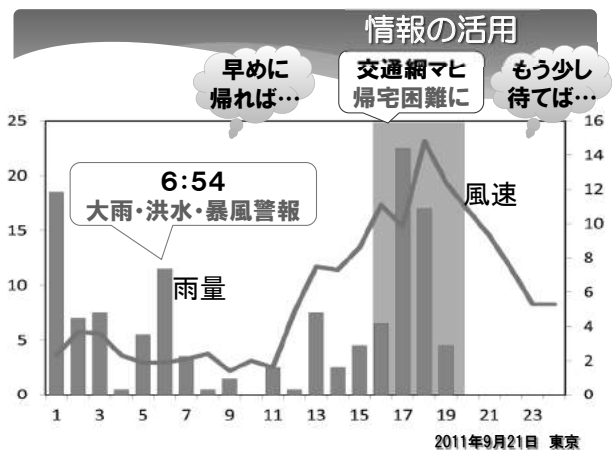
### 台風進路予報の精度



これは2011年、東日本大震災のあった年の台風だったのですが、このとき東京では東日本大震災で帰宅難民になって、なおかつ台風でもう一回、帰宅難民になった人がいます。参加者の中にもいらっしゃるかもしれませんが、台風で帰れなくなった方がいらっしゃいました。実はこのときの台風は、台風の精度でいうと、1日前の夕方には、翌日の夕方に首都圏直撃、関東、東北南部ほどの範囲で影響が出るという予報でした。

しかも、予報円はスピードもあらわしています。前後でスピードが違います。スピードが速いと福島県ほどまで行きますが、遅いと静岡県、山梨県ぐらいまでですよという予測、です。場所と速度も予想しているわけです。そういう意味では、非常に精度の高い台風の予報だったかなと思います。また、台風のスピードが速かったので、非常に荒れたのはわずか4時間でした。

ですので、この4時間を避ければいいものを、企業さんは慌ててひどくなってから会社から帰してい





るのです。台風の接近でちょっと就業時間を早めて帰ったりして、一番ひどいときに帰っている方がいらっしやいました。このときは、どこかでお酒をゆっくり飲んでから帰れば悠々と帰れたのですね。それを一番ひどいときに帰ってしまいました。だから、情報をうまく使うと台風はこういう数時間の違いで行動がとれるということです。

気象庁の情報の種類でいうと、注意報、警報、特別警報となっていますが、大雨に関していうと、基本的に特別警報は既に災害が発生しているときに発表されることが多く、大体どこかで大きな被害が出ているときに特別警報が出てきます。ただ、台風の特別警報もあるのですが、これに関していうと、900hPaほどの台風がもし関東に直撃する、近づいてくるという予報があれば、少し前に出ると思います。さすがに台風の予報でいうと、900hPaほどで接近してきたら早目に出してくると思うので、時間的な猶予は少しあるのではないかと考えています。

それに対して高潮の注意報と警報は、なかなか皆さん聞いても余り記憶にないかもしれないです。台風の情報で私たちが天気予報を伝えるときには、「台風が接近しています。暴風や大雨、高波、高潮に警戒してください」と、最後に高潮がつくのです。時間がないと、高潮を省きます。今日は「高潮に備える」というタイトルですが、天気予報で気象情報を伝えている側からみると、高潮が一番おまけ情報みたいな扱いが多いです。

なぜかという、最近高潮の被害がないからです。これは私自身も反省しなければいけない、気をつけなければいけないのですが、本当に高潮が発生した場合は、被害が物すごく大きいわけですから、一番初めに気をつけなければいけない高潮を先に言わなければならないと思うのですが、当たり前のように天気予報を伝えていると、またおまけのように放送して、一応高潮に警戒してくださいといいましたよ、皆さん聞いていませんでしたかみたいになってしまうのです。

台風が来れば必ず風も吹くし、大雨も降る、いろいろな被害・災害が想定されるので、その中の1つの高潮は、本当に今の位置づけでいいのでしょうか。被害を考えたときには、高潮は一番に、広域避難みたいなものを本当は訴えていかなければいけないという時代がやってくると思っはいるのですが、情

報のあり方から、情報を伝える側、受け手側も高潮の危険性がわかりにくくなっています。

だから、高潮が起これば甚大な被害が起こるというもの、モデル計算がもっとよくなって精度の高い高潮の情報が出てくれば、きっともう少しはつきり放送できて、早く避難ができるのではないかと考えてはいます。

警報の新しい情報が出たので、少し知っていただきたいのですが、今、気象庁では、警報を発表する前に、5日先まで警報が出そうですよという情報を発表しています。警報級、警報が出るかもしれないよという情報を出していますので、恐らく非常に勢力の強い台風が接近した場合は、早目に出てくると思います。避難などにはこういった事前情報が活用できると思います。

## 警報級の可能性

種別	警報級の可能性							
	28日		29日		30日	31日	1日	2日
	夕方まで	夜～明け方	朝～夜遅く					
	12-18	18-6	6-24					
大雨	-	-	[中]		[高]	[高]	-	-
暴風	-	-	-		[高]	[高]	-	-
波浪	-	-	-		[高]	[高]	-	-

## 警報級の現象が5日先までに予想されている時

気象庁

それから、1日前くらいになりますと、時間別で例えば高波何mとか潮位何mという情報も数字で出していきます。危険な時間帯は赤く塗ってきます。こういったものも参考になると思います。一番ピークがみえるのですね。こういったものもうまく活用していただきたいと思います。

台風というのは、直前まで発生がわからない地震と違い、少なくとも1日前、早ければ3日ほど前にはある程度の予測が出てきます。勢力とかそういったものが出ます。

ただ、わからないのは、どのくらいで、高潮が1m起こりますよ、防潮堤を越えてきますよというところまでだと思いますが、勢力の強い台風が来るとか、そういうものの予想はある程度できるだろうということで、準備はやはり事前にある程度できるだろうと思います。マイ・タイムラインという表現を使いますが、自治体もつくられている防災行動

計画を地域とか個人、家族でつくるということもこれからは非常に重要になるだろうと思っています。

## 警報で危険な時間を確認

岩倉町	今後の推移(■警報級 □注意報級)										備考・関連する現象
	30日					31日					
警報・注意報等の種別	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	0-3	3-6		
大雨 1時間最大雨量(ミリ) (浸水害) (土砂災害)	18	30	40	50	80						浸水注意 土砂災害警戒
暴風 風速(秒速メートル) 浪上	12	10	12	10	10	10	10	10	10		以後も注意報級
高潮 高潮(メートル)	0.4	-0.2	0.1	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7			ピークは30日12時頃
雪											電欠、ひょう
濃霧											視程100メートル以下 以後も注意報級
											視程500メートル以下 以後も注意報級

気象庁

それから、リスクを知っておくということですね。江東区は全体的に土地が低いところですので、自分たちが浸水した場合はどうするのか、どのほど浸水するのかというイメージをちゃんともっていただく必要があるため、江東区のハザードマップでは浸水がどの程度あるかわかるようになっています。他にも葛飾区や北区にはここまで浸水するおそれがありますと、電柱に書いてあるところもあります(洪水標識板)。

あとは、高層マンションもあるので、避難所に行くより高層マンションに逃げるとするのは1つの方法かもしれませんが、そういうところのリスクを知っておくということが必要です。状況によって、避難所に行くのか、2階でいいのかしっかり考えなければなりません。2階くらいまで水につかったら木造の家屋は流れてしまうので、マンションとかでないと上の階への非難は厳しいということになります。

それから、今はやはり家族で考えていただくということも非常に重要になると思います。もちろん行政が避難を促す、高潮に関しては早目に、大規模避難もあるのかもしれませんが、個々である程度防災力を高めてもらうのは非常に重要ではないかと思えます。

今、河川のほうでよくやっているのですが、川があふれるというのはある程度タイミング、時間的な猶予が少しあるので、こういったもので何日前とかで避難行動計画を考えましょうということを進めています。国土交通省を中心にこういうのを進めているところだと思えますが、各自治体でもやり始め

ています。

最後になりますが、温暖化の影響に備える意識ということで、これはみずほ情報総研が調査したものが 있습니다。実はインドのムンバイとか中国の上海、ニューヨークといった地域に比べて、東京は温暖化の影響、暑さとか洪水とか、いろいろな影響がありますけれども、温暖化の影響に対しての意識はかなり低いです。

というのは、ある意味、日本という国が頑張ったおかげでもあるのですが、いろいろな防災対策を高潮の被害にならないとか、川があふれないというふうに整備したおかげで安心し過ぎてしまっているのですね。そういう意味で、日本人はこれから、もう少し危機感を上げないといけないのではないかと思います。これは災害に対しても同じです。防災に対しても国が守ってくれるだろうという意識が非常に強いのが日本人だと思います。

よく防災の心理学でこういうのがあるのですが、危険になればなるほど実は自分は大丈夫だ、危険ではないと思いたがる、こういう心理が働く傾向があります。例えば火災報知器が鳴ると、皆さんどうでしょうか。まず第一に、誤作動だと思って都合よく解釈します。交通事故に皆さんは遭わないと思うのですね。交通事故の件数は多いですよ。でも、自分だけは遭わないだろうと思っているのです。

逆に、これだけは思ってしまうのです。宝くじ、何だか当たりそうな気がするので買うのです。確率を考えてみたら、宝くじで当たるよりも交通事故、自然災害に遭う確率のほうがはるかに高いということがわかんと思います。どうしても都合のいいように私たち人間は考えがちなので、日ごろからの心構え、訓練が非常に重要ではないかと思えます。

高潮に対して備えるという意味では、これから高潮の情報、今は高潮警報とかがありますがけれども、今後はきめ細かい情報がこれからもっと出せるのではないかと思います。研究者の皆さんがかなりモデル化して、どれほどの高潮が起こる、どの地域が危ないという情報が出るのではないかと期待しております。そうは言ったものの高潮に関する的確な情報が出せるようになることが災害に備えるための1つの課題ではないかと思えます。

その上で、高潮に対する意識が上がらないといけないと思いますので、国民、市民の皆さんに、高潮

とはこういうもので、高潮になったらこのように避難したほうが良いという意識を上げていく。そういう意味では、防災教育的なところで高潮の教育をぜひ皆さん広げていただければと思います。今日は主催が全国海岸事業促進連合協議会なので、そういったところで高潮防災教育みたいなものを広めていただけたら非常にうれしいと思いますし、必要性が非常に高いのではないかと考えております。

# 伊勢湾・三河湾における高潮被害とその対策

富田孝史

名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 教授

これまでの田島先生と岩谷先生のお話から、高潮は怖いなということ、これからどうしたらいいのだろうということに関して数々のヒントがあったと思います。私のほうからは、伊勢湾台風の際に伊勢湾でどんな被害があったのか、また、それに対してどうしているのかを、限られた時間ではありますけれども、ご紹介させていただきたいと思えます。

伊勢湾台風で5,000名の方が亡くなったということは皆さんご存じだと思いますけれども、たくさんの方が亡くなるということに対する遠因がその前の台風にあったので、それを踏まえお話ししたいと思います。なので、今回は1953年の台風13号、そして伊勢湾台風、その後の2009年の台風18号による被害といったものをご紹介した後、その対策も示しながら、これからの高潮に対してどうしたらいいのかということをお話しできたらと思っています。

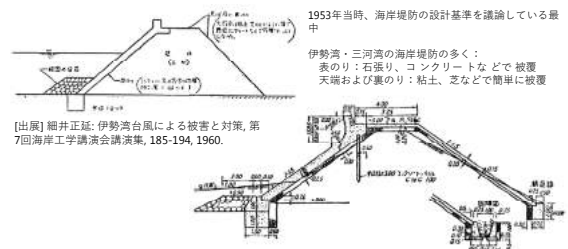
まず、これが1953年の台風13号の経路を示したもので、日本全体を示したものです。これが東海地方を大寫しにしたものです。台風は伊勢湾を横切る形で、局所的にいうと知多湾を横切って、一色あたりを午後7時ちょっと前を通り過ぎたという台風になっています。この台風によって、東海地方だけではなく、四国、近畿、北陸でも大きな災害が発生していますので、そういった全国的な災害を受けて国のほうで

は海岸法を制定しようという動きになりました。

潮位をみてみますと、名古屋港では2.3m程度の潮位が発生したのですが、三河湾の奥にある豊橋ではそれを超える3.4mもの潮位が発生しているといった状況で、伊勢湾よりも三河湾で大きな高潮を発生させた台風です。

そのときに、三河湾では海岸堤防がたくさん壊れてしまいました。なぜかという、その当時は、海のほうにはコンクリートが張ってあるのだけれども、後ろのほうは土が盛ってあるだけでした。なので、高潮がやってきて高波が後ろに乗り越えるとき、背後の土が掘られて壊れてしまうというような被災が起きたというわけです。

## 海岸堤防の三面張り



【出展】椎木亨：海岸・港湾構造物の設計の変遷と今後の課題、第33回水工学に関する夏期研修会、土木学会8-9, 9p., 1997

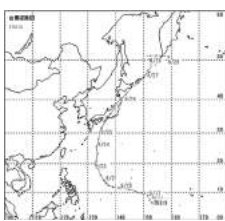
3

こういった被害がたくさんみられたことから、この13号台風を契機として、全面をコンクリートで張ってあげる、いわゆる三面張りという構造が採用されるようになっていきます。13号台風がやってきた当時は、海岸堤防の設計基準をまさに議論していた時期だそうで、その後1958年に築造基準が形成されたということも記録に残されているところです。

13号台風によって浸水したエリアを赤い色で示しています。参考として伊勢湾台風によるものを青く示していますが、三河湾のあたりで青よりも赤いところのほうが広がっています。一方、伊

## 昭和28年(1953年)台風13号

## 海岸法制定の契機



【出展】気象庁HP: 災害を見たらした気象事例

- 最高潮位: 名古屋港, 2.33m; 豊橋港, 3.36m; 平坂港, 2.78m
- 三河湾に伊勢湾より高い高潮発生



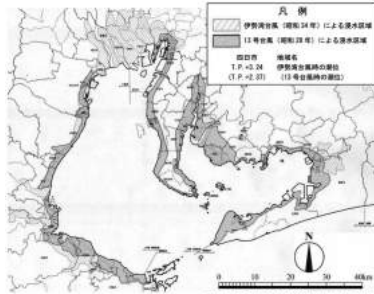
←(色別図)

【出展】一色則誌, 1970 (消防庁, 全国災害伝承情報, 添付資料)

2

勢湾の奥部、いわゆる名古屋やその周辺部においてはほとんど赤く色が塗られていないという状況になっています。したがって、その周辺の人は13号台風によって高潮の危険も意識することが少なかったと思われます。

浸水域



【出展】伊勢湾再生推進会議：伊勢湾再生計画（第二期），平成29年6月

4

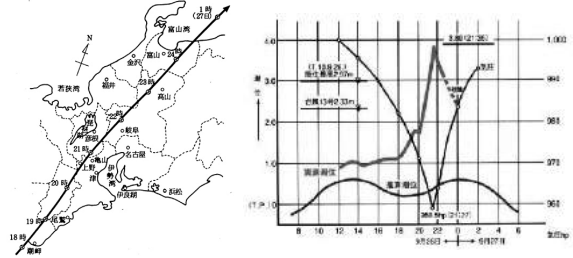
一色町のあたりに午後7時ちょっと前に台風が再上陸しました。そのころの町の資料が残っていて、それをみると、満潮と重なって危険な状況であったということです。各地で堤防が寸断されたことが実際の現象として記録されています。さらに、午後2時50分から暴風雨がますます猛威を振るって、送電線は寸断され、ラジオと電話による連絡網は麻痺したと記録されています。当時、今のようにラジオというのはポータブルラジオではなくて、いわゆる電線をつないで使うラジオだったので、停電してしまうとラジオさえも聞こえなくなってしまうところがたくさんあったということです。

町としては、満潮時の危険が予想されたので、16時にサイレン、半鐘をたたいて住民に知らせ、避難命令を出しました。しかしながら、午後5時40分ごろ、高潮が堤防を乗り越え始めて、さらにまた避難命令を出したそうです。ですが、午後6時半ごろに町の8割が水浸しになり、16名の方が犠牲になったそうです。その地域に、台風が午後7時前に再上陸したということですから、そのころに浸水が著しく起こったといったような状況になっています。

これまでが13号台風によるもの。その6年後に伊勢湾台風が襲ったということになります。伊勢湾台風の経路は、ここに示しましたように、まさに伊勢湾の西側を通る形になっています。伊勢湾にとって最も厳しいコースを伊勢湾台風が通りました。伊勢湾台風は、先ほどからお話がありましたように、気圧が低くて強大でした。さらに、潮岬に上陸したのが18時、名古屋の脇に来たのが21時ということ

で、ものすごいスピードで駆け抜けていった台風になります。なので、スピードが速いということにより伊勢湾を南から北に押し上げる風が強くなりますので、それによって吹き寄せが厳しくなりました。

伊勢湾台風（昭和34年(1959年)台風15号）



【出展】愛知県災害誌 昭和45年3月発行（稲沢市HP、伊勢湾台風より）

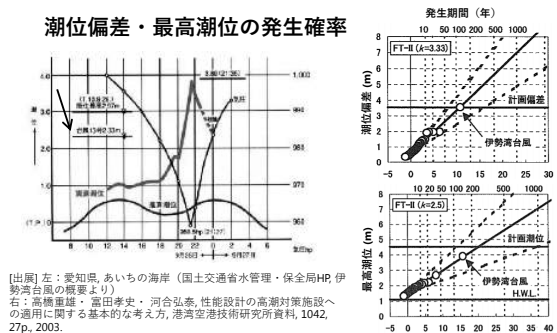
【出展】愛知県：パンフレット「あいちの海岸」（国土交通省水管理・保全局HP、伊勢湾台風の概要より）

6

その結果、潮位としては3.9mほどまで上がって、いわゆる潮位偏差としては3.5mほどのものすごい高潮がこの伊勢湾の奥部で発生したということになります。それによって、死者・行方不明者が5,000名を超えております。また、多くの家屋、さらには船舶も被災するといった大規模な災害になっています。

同じ図になりますけれども、横軸は時間でして、縦の線が2時間毎の線になっています。この横に描いてある黒い太い線がこの当時の既往最高潮位なので、水位はその既往最高潮位を2時間にわたって越え続けているということになっています。なので、最初に田島先生がみせてくださった、とうとうと流れる水の映像があったと思いますが、まさにあれが2時間ほど続いていて、それによって内陸部に入ってくる水の量はとてつもない量だということが容易に想像できると思います。

潮位偏差・最高潮位の発生確率



【出展】左：愛知県、あいちの海岸（国土交通省水管理・保全局HP、伊勢湾台風の概要より）  
右：高橋進雄・富田孝史・河合弘志、性能設計の高潮対策施設への適用に関する基本的な考え方、港湾空港技術研究所資料、1042、27p、2003。

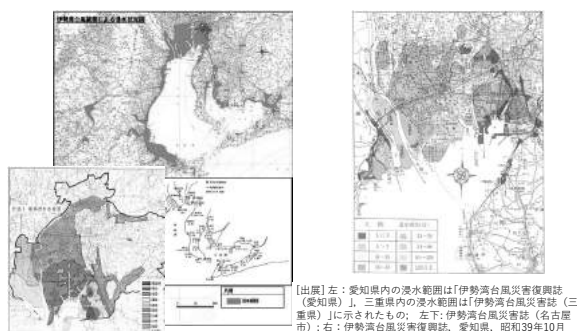
8

その潮位がどれほどの確率をもっていたかといったものを示したのがこの横の図になっていますけれども、今日最後にご講演いただく河合先生に計算していただいたものになっています。上のほうがいわ

ゆる潮位偏差を示したもので、伊勢湾台風がこの白丸になっています。これをみると、大体120年に1度ほどの規模の高潮であったと。さらに、最高潮位3.9mというものをみますと、150年に1度ほどの潮位であったといったことになります。

津波の事を考えてみますと、現在はレベル1津波があります。大体100年から百数十年に1回程度起きるものです。そうすると、伊勢湾台風は大体そのクラスの高潮を発生させたと言えます。

その高潮によって、さらにそれが2時間も既往最高潮位を超えるといった状況が続いたことによって伊勢湾の奥部が大規模に浸水してしまいました。これがもうちょっとクローズアップして浸水深を示したもののようですが、名古屋駅のところほどまで水につかるような大規模浸水が発生しています。



9

こちらの図は何を示しているかという、湛水、水につかり続けた期間を示したものです。細かい凡例でなかなかみにくいのですが、この赤く記されているところが1日で排水できたところ。それ以外のところは1日以上かかっている、さらに緑とか青になってくると、2週間以上も水につかりっ放しというような被害が発生しています。

この地域は、0m地帯、皆さん0m地帯はおわかりになるとおもいますが、そういった地域ですので、1回水が入ってしまうとなかなか抜けないといった状況になっています。いまだに0m地帯ですから、そういったところが浸水してしまうとこういったことが起こり得るといったことをやはり想像しないとイケないと思います。

当時は名古屋港というか堀川の沿岸部分に海面貯木、ラワン材を貯木して、そこにためてあった丸太が高潮で潮位が上がったことによって流出してしまっていて、小学校が丸太で埋め尽くされてしまう、あるいは近隣の建物が丸太で押し潰され

てしまうという災害が発生しています。今はもうそこには丸太は置かれてはいないのですけれども、こういった災害が発生しているといったところ。今

伊勢湾台風時の人の動きを調べてみました。当時も気象庁から暴風警報、高潮警報、波浪警報がそれぞれ11時15分に出たという記録が残っています。なので、上陸する前の段階から、大規模で巨大な台風であったため、警戒してこういう情報が出されています。しかしながら、市町村から出た避難命令の時刻をみると、赤い印だと4時半ほどより前に出ているのですが、それ以外ですと18時とか20時、21時、台風が名古屋の西に来ているような時間に出されています。ここに書いていない地域においては、出されているかどうかさえもよくわからないといったことです。

### 警報・避難命令

- ・暴風雨、高潮、波浪警報の発表：11:15
- ・市区町村からの避難命令の発令
 

✓美浜 13:00	✓半田 16:00 (警察)
✓楠 15:00	✓長島 19:00 (消防)
✓内海 15:00	✓東浦 19:30 (消防)
✓武豊 16:05	✓名古屋市港区 20:00 (警察)
✓碧南 16:30	✓名古屋市南区 20:30 (警察)
✓川越 18:50	✓桑名 21:00 (水防署)
✓師崎 19:00	
✓鈴鹿 20:10	
✓西尾 21:00	



停電  
長島 18~19時頃  
名古屋市 21時頃  
千種区

【出典】安田孝志：1959年9月26日伊勢湾台風(その2)、ぼろさい、平成20年11月号(第48号) 3-31, 2008.

碧南・武豊・美浜・内海：犠牲者合計26名(1953年台風13号で被害発生)

高潮警報の内容(抜粋)  
...このため伊勢湾及び三河湾の海岸地方では平常のときより1mから1.5mぐらゐの高潮が起こりましよう。この値は昭和28年9月の台風13号に匹敵するもので、大きな被害が予想されますので、(災害救助の継承に関する専門調査会報告書(平成20年3月)1959伊勢湾台風より)

早めの避難が肝要!

10

この赤い印がどこかという、知多半島とか知多湾の周辺の地域として、13号台風で大きな被害があったところ。そこにおいては早目に避難警報を出したという事実が残っています。それによって、今この赤い印で書いたところの犠牲者を合計すると26名です。0にはなっていませんけれども、かなり限定された被害者の数になります。

なので、早目の避難が肝要だということは間違いないのですけれども、いかに情報を的確に出すかといったところも大切になるとおもいます。さらに、そのときの高潮警報の内容も残っています。ちょっと読みますと、「この伊勢湾及び三河湾の海岸地方では、平常よりも1mから1.5mほどの高潮が起こりましよう。この値は昭和28年9月の台風13号に匹敵するもので、大きな被害が予想されます」という情報が出されたそうです。

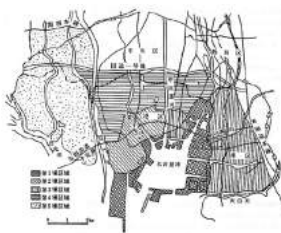
ポイントはここでして、「前の台風と同じ規模の高潮が発生する。」知多湾の人は大きな被害を受けているから、これはまずいと思います。なので、避

難警報も早く出るし、逃げもする。一方で、この伊勢湾の奥部は、先ほど浸水の図で示したように、浸水していないので、前と同じ規模だったら浸水しないのではないのかと人間としては思ってしまいます。そういった意味では、今まさに台風が来ようとしているときの意識のもちょうが、この情報の出し方によって大分違うのではないかと思います。今、こういう警報の出し方はされていないと思いますけれども、そんなことがあったということです。

また、ここに補足で書いていますけれども、長島では、18時から19時ごろ停電してしまっていますし、名古屋は21時ごろ停電しています。まさに緊急で情報を出そうにも受け取れる状況にはないということです。そんなことが伊勢湾台風のときに起こっていたということです。

その後どんなことをしているかという、湾の奥部、名古屋の南部で大きな被害が発生しましたので、名古屋では建築規制を行っています。細かくは申しませんが、一番海に近いところは木造建築物をつくることができませんし、ある高さ以上の地域でしか建物をつくることはできないといったことになっています。当時は区分が第1種から第5種まであったのですが、今は第4種までという4区分に変わっていたり、地域の色合いも若干変わってはきたりしていますけれども、依然として木造住宅はこの海岸に最も近い部分ではつけれないといったような規制がされています。

### 建築規制



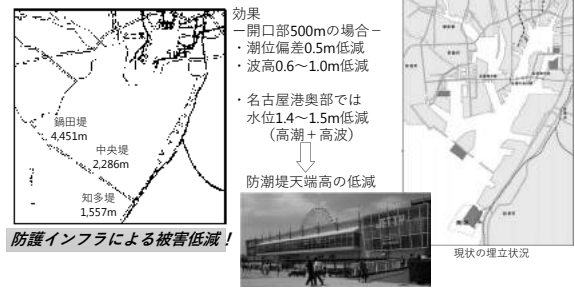
**建築規制 (1961年3月10日)**  
 第1種区域：  
 地面高さ(GL)  $\geq$  NP+4m (NP=TP-1.41m)  
 耐水建築 (木造は不許可)  
 住宅は海岸や河岸から50m以上離す  
 第2種区域  
 GL  $\geq$  NP+2m、居住部があるとGL  $\geq$  3.5  
 第3種区域  
 GL  $\geq$  NP+1m、居住部があるとGL  $\geq$  3.5  
 第4種区域  
 GL  $\geq$  NP+1m  
 第5種区域  
 GL  $\geq$  NP+2m、居住部があると原則  
 GL  $\geq$  3.5  
 学校、病院、発電所・変電所、ポンプ施設  
 など公共建築物のGL  $\geq$  原則NP+2m、木造建築禁止

11

さらに、名古屋港においては高潮防潮堤がつくられています。高潮という名前がつく防潮堤は全国でここしかないと思います。伊勢湾台風当時、海面はまだ余り埋め立てが進んでいない状況ですけれども、潮位偏差を50cm低減させ、波を1m程度低減させるという効果をもつということでつくられました。トータルとして名古屋港の奥部で水位を1.4m

から1.5m低減させるという目的でつくられております。

### 名古屋港高潮防波堤



13

しかしながら、その後、船の巨大化あるいは交通がふくそうするというので、防波堤開口部の幅は若干広くなったのですが、一方で水域面積も減ったことでオープンだというような説明がされているところ。しかしながら、これを比較していただくと、随分埋め立てが進んでいて、非常に活発な経済活動が行われているのがわかると思います。

これは見えにくいかもしれませんが、建物のすぐ背後に防潮堤があります。名古屋港では防潮堤を目立たないようにしているうまい工夫もしているところでもあります。

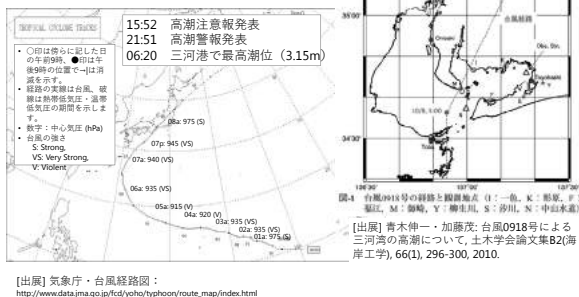
伊勢湾台風の被害を受けた愛知県ですが、その愛知県の海岸防護の現在の水準を示しました。まず高潮については、潮位について台風期平均満潮位を天文潮とし、地域ごとに最も高い伊勢湾台風規模の潮位偏差を用いる、それらに加えて50年確率波浪を考慮するということになっています。

津波については、皆さんご存じだと思いますけれども、津波も別途整備されているということが今の愛知県の海岸防護水準になっています。それをご紹介した上で、この後、伊勢湾台風後にやってきた強い台風、三河湾に大きな被害をもたらした台風ということで、2009年の台風18号の例を示したいと思えます。

2009年の台風18号の経路を示したものがこれです。伊勢湾口を横断して、知多湾を横切る形で抜けていった台風になっております。この台風について、当時豊橋技術科学大学にいらっしゃった青木先生が解析されていて、それを若干ご説明させていただきたいと思えます。

いろいろな図を示しましたが、要するに、台風がこのように通ってくることによって、最初の

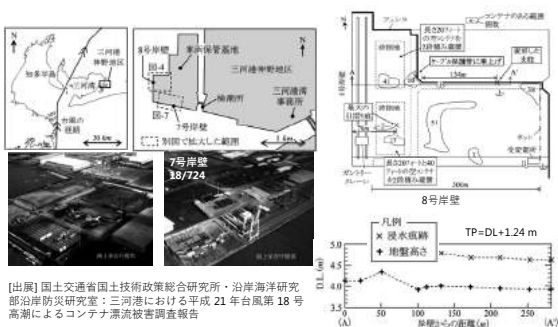
平成21年(2009年)台風18号



15

うちは台風がこう回ることによって伊勢湾のほうに水が集まり伊勢湾の水位が高くなる。台風が抜けていくと、今度は、吹き戻しの風が吹きますから、伊勢湾で高くなった水が風とともに一気に三河湾のほうに押し寄せてきます。それによって潮位が予想以上に高くなってしまったといった解析をされておりまして、実際にデータもそうなっているところがあります。

その結果、三河湾の埠頭に置いてあったコンテナが流されてしまっています。写真がこれですが、流されているというか高潮によって散らばってしまっておりまして。中部地方整備局の三河港湾事務所の玄関口も浸水してしまっているような状況になっています。

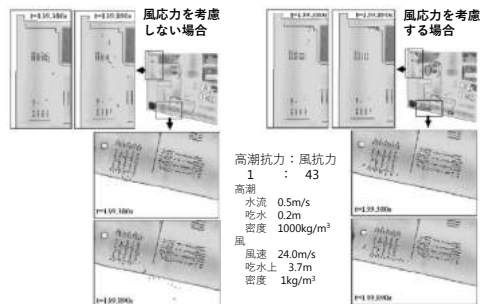


17

どの程度高くなったかという、三河港で最高潮位が3.15mとなっていて、伊勢湾台風の際には3.04mですから、伊勢湾台風と匹敵するか、それよりもやや高い潮位が発生してしまったところになります。伊勢湾台風規模の潮位偏差ということであれば、三河港もこれに対してそれなりの備えをしていたというところで、浸水被害は起こりませんでしたけれども、この程度でおさまったところだと思います。

コンテナ漂流に関しまして若干計算したことがあります。そのときに行ったのは、台風で強風が吹き

ますから、その影響を考えなくてもいいのかなということ、風応力を考慮しない場合と考慮する場合のコンテナの動きを計算しました。コンテナに働く力を高潮によるものと風によるもので比較してみると、密度は空気のほうが全然小さいのはおわかりだと思のですが、空気が当たる面積、さらには風の速さといったものは高潮に比べて高いので、それを全体で積分してあげると、風応力は、10倍以上の力になってしまうので、やはり風応力は考慮しなくてはいけないと思います。



【出展】富田孝史・藤原慶:風応力を考慮した漂流物モデル,土木学会論文集B2(海岸工学),67(2),1,316-1,320,2011

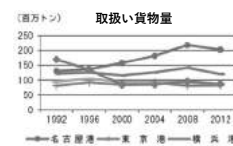
19

特に風の影響を入れないと幾つかのコンテナが海のほうに流れ落ちてしまうのですが、実際は落ちていません。風応力を計算するとそういったものが抑えられたので、バリデーションという意味では弱いのですが、こういった意味でも風応力というのは考慮したほうがいいというのが1つの結論として得られております。

最後に、「これからの高潮防災を考える」といったところになります。名古屋港ではこのようにたくさんの方が埋め立てられていて、経済活動が活発に行われています。伊勢湾台風よりも後にできたところですから、伊勢湾台風の潮位では浸水しないような形での埋め立てになっています。しかしながら、伊勢湾台風ではなくてスーパー伊勢湾台風を考えて高潮計算をした結果がござります。

これからの高潮防災

活発な経済活動を守る!



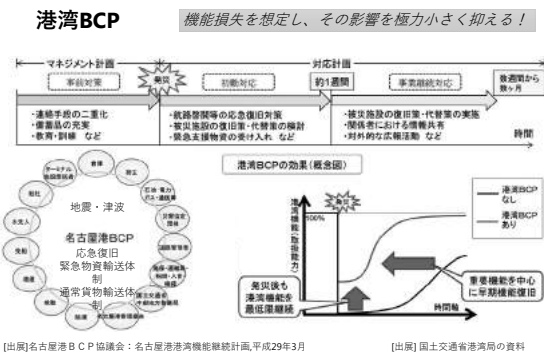
【出展】名古屋都市センター減災まちづくり研究会:名古屋減災まちづくりビジョン,2014年3月

20



日本を襲った記録上一番強い台風が室戸台風になるわけですが、スーパー伊勢湾台風は、室戸台風級の台風が伊勢湾に最も厳しいコースを通り、スピードは伊勢湾台風と同じように素早く抜けていく台風というものになります。その台風による浸水想定を見てみると、安全であると思われているその埋立地さえも水につかしてしまうといった結果になっています。これはある団体、協議会が計算した結果ですが、今、まさに愛知県でもいわゆるレベル2高潮といったことで計算していて、30年度には結果が出るという話を聞いています。

そういった高潮による浸水が予想される中で、港湾といったものをどう考えていかなければいけないのか、特に物流にかかわる港湾機能をどう考えていかなければいけないかというのも重要なテーマになっています。なので、港湾BCPという形で各港湾において検討が進められております。



[出典]名古屋港BCP協議会：名古屋港湾機能継続計画、平成29年3月 [出典]国土交通省港湾局の資料

ただし、今までのところは地震と津波を対象にした検討になっていまして、それは地震、津波が起こったときに応急復旧、緊急物資輸送、通常の貨物輸送をどうしたらいいのかというのを検討しているところです。今後高潮についてもやっていくということになろうと思います。

さらに、伊勢湾には名古屋港だけではなくて四日市、津松阪、衣浦、三河という5つの港がありまして、それらに行くために湾口部分を通らなければならない。一個一個の港で検討しているだけではだめで、協力して考えていかなければいけない。それが伊勢湾BCPという形で今まさに検討が進められているところです。

最後、まとめになります。まず、台風予測によって高潮予測が可能であるということはこれまで田島先生や岩谷先生がおっしゃったとおりだと思います。それによって、かなり厳しいかもしれませんが、死者を0にすることも不可能ではない。そのためには避難意識を育成するとか避難計画、BCP等の作成が大事だということです。ただ、そのときには風や雨が強いことに注意が必要で、場所によっては土砂災害、内水氾濫もあわせて起こることも想像しないとイケないと思います。

さらに、既往最大を超えるようなハザードが発生しています。まさに東日本大震災もそれです。そういったことも考慮してはいけません。最後に、人命保護はもちろんのこと、被災後にも持続可能な生活とか経済活動のことを今後は考えなくてはいけません。そのときには、被害軽減だけではなくて社会経済へのインパクトみたいなものも軽減していくことが大切であろうと思います。

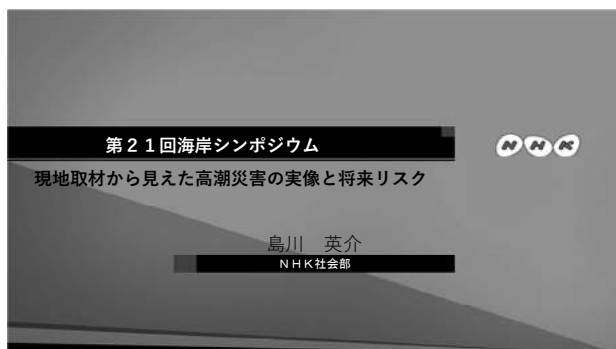
特にものづくり、製造産業が活発である伊勢湾、三河湾においては、まさにこういったことを考えていかないと、災害があった後に一気に経済活動の地盤沈下が起こってしまうといったことがあります。なので、それに向けてのBCPなどの対策といったものを十分考えていく必要があると思います。これで私のお話を終えたいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

# 現地取材から見た高潮災害の実像と将来リスク

島川 英介

NHK 報道局社会部 記者

「現地取材から見た高潮災害の実像と将来リスク」というタイトルでお話しさせていただきます。メディアの者がこういった場でお話しするのは珍しいことなのではないかと思えますけれども、海外の台風被災地の取材や将来リスクをご紹介します機会をいただきました。特に今、皆様から、被害を軽減するために避難が重要であるというお話がありましたけれども、将来この避難をするに当たって、どのような点が課題で、どの点を解決していかなければいけないか。難しいところだと思いますけれども、こういった視点でもお話ができればと思います。



この4点についてお話をしたいのですが、田島先生からもお話がありましたので、フィリピンでの高潮の実像と被害ということからスタートして、将来のリスク、それから、先週の日曜日までアメリカに取材に行っておりましたので、そのようなお話

本日の内容	
I:高潮の実像と被害	<ハイエンの取材から>
II:将来リスク	<「大避難」の取り組み>
III:避難と課題	<アメリカ取材最新報告>
IV:避難と情報	<南太平洋での教訓>

も少しできればと思います。

先ほど岩谷さんのお話を伺っていて、急遽追加したのですが、これが今年関東にも高潮の被害をもたらした台風21号の上空からの映像になります。名古屋大学などの研究チームが飛行機観測を行った際に同乗させていただいたのですけれども、この下では猛烈な風が吹いていて、台風の最盛期を迎えているわけです。このように台風目がくっきりとみえて、周辺を取り巻く壁雲があります。一部は雲が全くなく、海までみえました。やはり非常に発達した台風になるとこのような状況になっているということで、乗っている人たちもこの瞬間は我を忘れて少年のように窓にへばりついて眺めていました。



皮肉なことに、このような美しい自然ではあるのですが、この下では甚大な被害が起きうることです。私の取材経験の中で大きな影響を与えたのがこの台風ハイエンの取材です。2回フィリピンに行きまして、1度目は上陸3週間後、2度目は東大の田島先生と同行するという形でした。

こちらは1度目の取材の時の様子です。やはり3週間後ですのでまだ植生も復活していないということで、木々は一面、枝がほとんど落ちているという状態でした。このように津波の被災地のようなあり

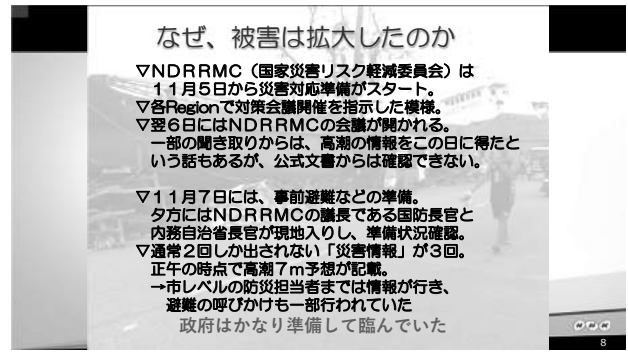


さまですけれども、タンクも流出していました。

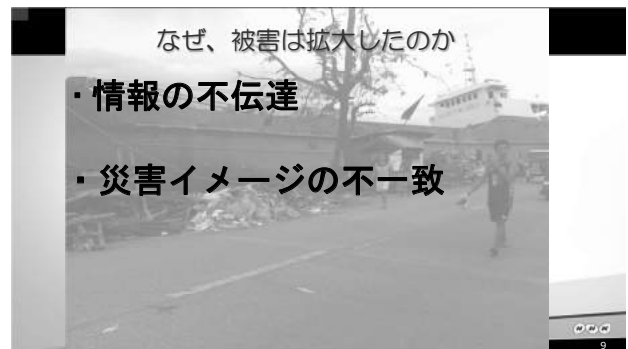
ここにちょうど田島先生が写っていますが、高さが2m以上あって、奥行きも数mある、重さ数トンのサンゴが沖合200mほど流されてきています。当然これは海の向こう側にあつたのですけれども、これは高潮というよりは高波の力によって上げられたものとみられています。私がこれまでもっていた高潮・高波のイメージを全く覆すような影響、威力がみえました。

フィリピンにおいて重要だったのは、死者・行方不明者が7,000人を超えるという大災害になったということです。現地に行く前は、フィリピンは日本と違いますので、やはり防災体制が未熟だったのではないかと思っていたわけですが、現地で詳しく話を聞きますと、国家災害リスク軽減委員会という組織がありました。実際に上陸3日前から災害対応の準備はスタートしていたということです。

前日には、委員会のトップである国防長官が被害



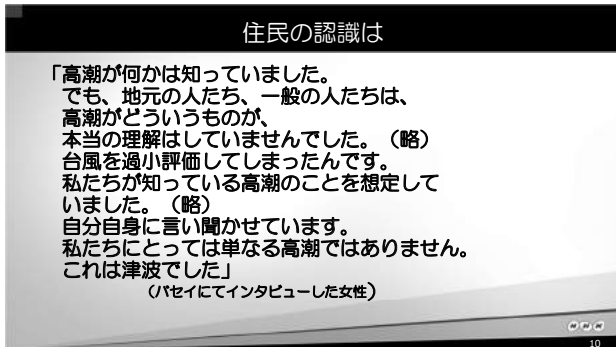
の大きかったタクロバンに入っているわけです。つまり、日本でいうと内閣府の防災担任大臣が実際に台風の直撃する現地に入っているような形ですので、異例の対応をとっているということですし、災害の情報も回数をふやして出しているとのことでした。しかも、前日の時点で高潮7mという予想まで記載されているわけです。話を聞くと、市レベルの防災担当者までは情報が行き届いていたということですけれども、実際は被害が起きてしまったということです。



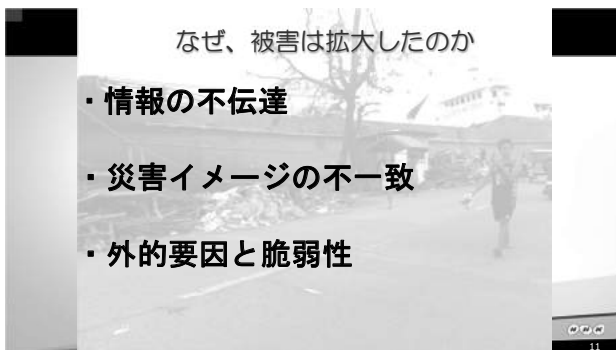
なぜそのようなことが起きたか、3点大きくあるかなと思っています。まず2点を挙げますが、1点目は避難の情報がきちんと伝わっていなかったということです。フィリピンにおいてはバランガイという地域があって、いわゆる町内会長さんのような形で、かなり権力もあるわけですが、彼らに言ってもそれが住民に伝わっていない、ないしはリーダー自体に情報も伝わっていないという状態があったということです。2点目は、災害がもたらすイメージが一致していなかった、住民の中で形成がうまくされていなかったということが挙げられると思います。

取材をする中で印象的な話がありました。被害の大きかったバセイという場所で女性が話していたことです。「私は高潮が何かというものは知っていま

した。しかし、地元の人たち、一般の人たちは、高潮がどういうものなのか、本当の理解はしていなかった。今回は台風を過小評価してしまったのです。私たちは自分たちが知っている高潮を想定していたのですが、これは私たちにとって単なる高潮ではありませんでした。津波でした。ぜひ日本に帰ってこの高潮の被害のことを伝えてほしい」と。

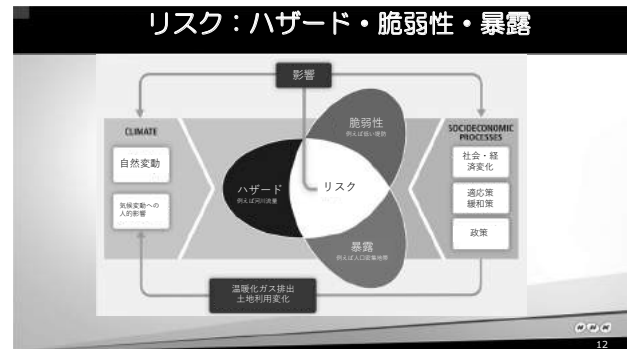


さらに、「東日本大震災の津波の映像を私たちはみているけれども、まさにそのような事態がこのレイテ島においても起きた」ということを強くいわれてきたわけです。高潮 7m という情報はあったけれども、それがつまり自分たちの住宅地まで浸水して、人が流されるような被害をもたらすものだとということまでは理解には至らなかったということがいえるわけです。



これまでの2点に加えて、ハザード、脆弱性、暴露についてお話したいと思います。このハザードですけれども、例えば大雨で川が増水する、高潮が台風によって起きるということが、外力、ハザードですけれども、このことが大きかったとしても、暴露と申し上げましたが、そこに人口が密集していなければ暴露が多くなりませんし、十分な堤防ないしは堤防がなかったとしても、十分な避難計画があれば脆弱性は高くない。つまり、リスクになることはないわけです。

ただ、フィリピンの場合、このいずれにも問題があった。そのため、このリスクが極めて大きくなったということがいえると思います。当然外力、ハザードとしての高潮・暴風というのは極めて甚大でしたし、先ほどありました暴露及び脆弱性も問題があったわけです。



こちらは田島先生からも映像の提供があったアストロドームです。海岸線の近くには杭のようなものがみえると思いますけれども、ここにかつて住宅がありました。住宅といってもほとんど小屋のようなものですが、違法状態で住宅を建てて住んでいたわけですが、跡形もなくなっていました。居住計画はやはりこの国では未整備でありまして、さらにいうならば、海に近いアストロドームに避難をするということは、それは脆弱性が高いといわざるを得ないわけです。避難をした人が危険にさらされるということですので、これは東日本大震災でもあったことですが、非常に顕著な形でこういった被害が複合的に重なっていったといえます。



このハイヤン以降、私たちは東日本大震災の津波も繰り返し伝えてきましたけれども、それに加えて、今後日本において高潮が大きな問題になるだろうと考え、さまざまなニュースや番組をつくってきました。フィリピンでの取材の翌年、NHK スペシャル「MEGA DISASTER 2 “大避難”」を制作しました

が、このときに、今世紀後半、今世紀末に近い状態でどういった最悪なシナリオがあるのかというのを番組でお伝えしました。

番組のタイトルは「大避難」という造語ですが、大規模な避難が必要だという意味を込めてつくった言葉です。江東5区、東京湾ですが、最低気圧 890hPa になるような台風が 920hPa を切るほどの状態で上陸したというところで水門なども余り機能しない最悪の状態を想定したとすると、やはり大規模に浸水します。この色が濃いところは 5m 以上の浸水ということになります。

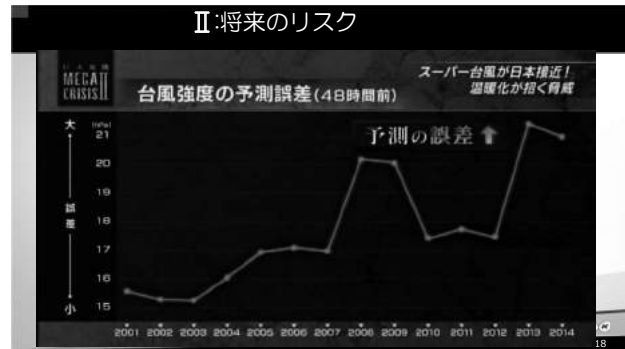
このとき、人々の行動がどうなるのか、専門家の協力を得てシミュレーションを行いました。5区内、特にこちら側の3区の180万人を対象に、避難勧告がおくれ、さらに住民のアンケートをもとに、区の外への避難がなかなか進まない場合を想定しました。すると、命の危険にさらされる、つまり、避難中に水に追いつかれる人が20万人も出てしまうということがわかりました。



区外へ避難できる方は、この場合 23 万人にとどまっています。結局、137 万人はこの中の建物に逃げ込むというような結果になりました。つまり、ここでいいたかったことは、なるべく事前に区外へ逃げるということをしないと、なかなかこの中で助けを待つのは極めてシビアな状況になるであろうということです。

ただ、これはまだしばらく先のことでありまして、今年制作した別の番組「MEGA CRISIS II」では、近い将来起こり得るリスクを検証しました。現在より海水温が 2 度高い状態で、930hPa で東京付近に台風が上陸したらどうなるかという試算を専門家にさせていただきました。さらに、こういった状況では自治体が避難を呼びかけるわけですが、その決断を左右する要素として近年の台風の予報誤差の

問題を新たに加えました。



高潮が来る場合、事前に避難を呼びかけるわけですが、重要なのは台風の強度、強さの予報誤差がどうなるかということであり、これは 48 時間前の台風強度の予報の誤差ですが、この 15 年ほどで比較的誤差が大きくなっている状態にあることがわかってきました。実は気象庁のホームページでは進路の誤差は出ているのですが、強度の誤差は出ていないのです。琉球大学の伊藤助教がこれまで残っている資料を洗い直して調べてみたところ、詳しい状況が明らかになりました。

この背景としては、急速に発達する台風が近年ふえているということがあるのではないかとされています。24 時間、1 日で 30hPa とか 40hPa、「急速に発達する台風」と気象情報でお伝えしますが、そのような台風が近年ふえていると。そうすると、予測が難しくなっているというのです。これに対しては、去年から対策も打ち始められていますので、そのうちこれはまた改善されていくのだらうと思いますが、現状はこのようになっているということです。

そして、避難をするにあたって広域避難をどのように行うか、という条件も重視しました。現在、江東5区の0m地帯では広域避難勧告を考えています。これは極めて画期的で、これまで考えられていなかったものでした。例えば 930hPa 以下の勢力で首都圏を直撃すると想定される場合、その 24 時間前に自主的に外に出てくださいという、いわゆる広域避難を呼びかけるというもので、現在その制度の詳細を詰めている段階です。

ただ、自治体の担当者の方と意見交換しますと、現状の予報の制度だと、24 時間前に直撃するということ判断し、避難を呼びかけることが果たしてできるかどうかということがありました。それは今申し上げたように、予測の誤差もありますし、よ

くなっているとはいえ、進路が自分たちの区に来るということをいうにうっては、やはり2日前で200kmだったり1日前に100kmだったりすると、これは難しいなというのがあったということです。

進路、強度の誤差を踏まえた上でどのような判断が起り得るのかということ、番組で描きました。前提としては、台風が東京に上陸する24時間前、九州沖にあります。このとき、関東に接近するときは930hPaを上回る940hPaほどになり、かつ東京湾からややずれると、24時間前の進路の誤差なので、これほどが起り得るという進路の誤差を設定しました。

ある区役所はこの段階では広域避難勧告を見送って様子を見ることにしました。

このVTRを受けた有働アナウンサーは、「またまたそんなに驚かして…って思うんですが、こんなこと本当にあるのですか」と感想を語りますが、実際我々もこういう結果に最初からなるとは思ってなくて、というのは、やはり930hPaというのは、甚大な被害を出すかどうかというのが、わからなかったわけですが、洪水と高潮が複合すると甚大な被害になるということがこの今回のシミュレーションの結果わかったということで、実際にシミュレーションに協力して頂いた専門家の方も非常に新しい発見だったとおっしゃっていました。

広域に避難するという事は大事ですが、やはりそこに今問題としてあるのは、外力としては台風と大雨が将来強くなると予想されているわけです。その一方で、資産は0m地帯に集中しています。東京は非常にハードが整備されていますので、これは東京に限らず大阪も名古屋もそうだと思いますが、近年中小の災害は経験していないと。せいぜい内水があふれたとか、いわゆるゲリラ豪雨的なものでの浸水はありますが、大規模に避難しな

**II: 将来のリスク**

いずれにも問題が

- <外力> … 将来強くなる台風と大雨
- <暴露> … 社会構造の変化・資産分布の集中
- <脆弱性> … 自治体の防災体制・中小災害未経験

<暴露・脆弱性> 災害少ない時代の都市計画

ひとたび都市で発生すると甚大な災害に

ればいけないということは経験していません。

つまり、一度、高潮なり洪水で災害が襲うと甚大な被害が起るという中で、この差をどう埋めるのか、『避難をどうしていくのか』ということになります。避難はしたけれども、被害がないという場合も起こりますし、避難をしなかったから甚大な被害が起るという可能性がある、一度災害が起ると巨大災害になるというところで、大きな課題に直面しているということがいえます。先日この大規模避難を考える上でその上で重要な示唆に富むのがアメリカでした。今年9月にハリケーン・イルマとマリアが相次いでカリブ海周辺に襲撃しました。

**III: 高潮からの避難と課題**

- ・ ことし9月、ハリケーン“Irma”と“Maria”が相次いでカリブ海周辺に襲撃  
→ 高潮・高波の実態調査
- ・ “Irma”ではフロリダ半島で大規模避難  
→ 避難の実態調査

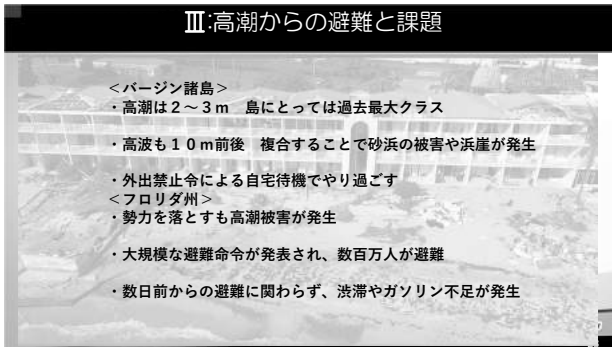
この高潮・高波ですけれども、アメリカ領のバージン諸島では、主に高潮に高波が加わったということで砂浜がなくなったということです。ここは池ですが、池と海岸という複合的な効果によって道路もっていかれて、砂浜もないという状況です。こちらも外力としては非常に大きいものが確認できました。一方で、ここで話したいのはフロリダ州です。ここでは数百万人ともいわれる人に対して強制避難命令が発表されました。かなり大多数の人がそれに応じて避難をしているわけです。

**III: 高潮からの避難と課題**



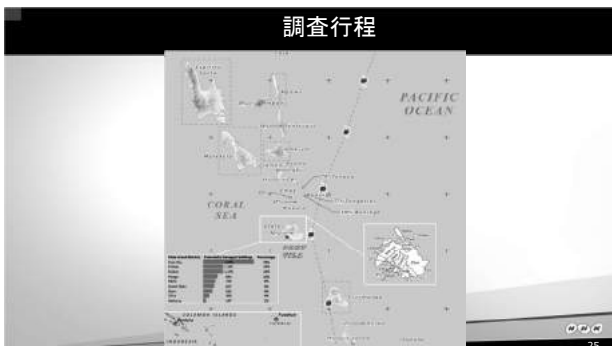
しかも、これはおよそ四、五日前から順次南のほうから発表が始まって避難もしているのです。にもかかわらず、先ほど東京でお伝えしたのは数時間前

とかせいぜい1日前の話ですが、これだけ事前に避難をしているにもかかわらず、大規模な渋滞やガソリン不足が発生し、混乱しているということでした。人に聞くと、避難先を変えたとか道路に車を捨てたといった事態が相次いでいるということで、州政府の中では大分問題になっているということが浮き彫りになっています。



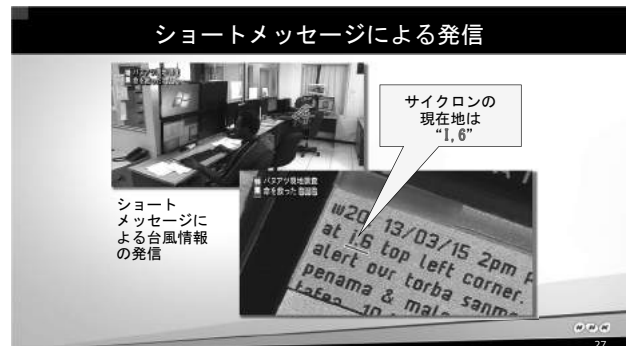
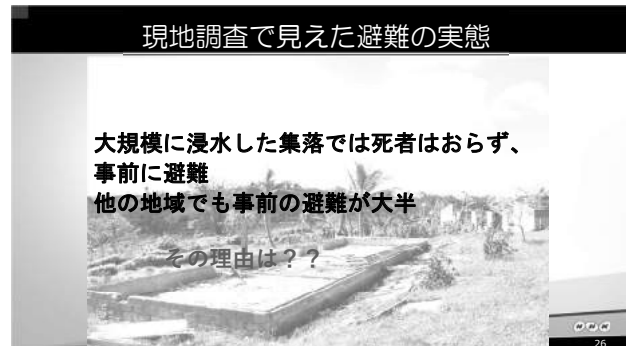
こちらの詳細は来月の「おはよう日本」で13日ごろに放送しますので、余り詳細をいうともったいないので、ぜひそれはごらんいただきたいと思いますが、アメリカは確かに先進的ではあるのですが、課題はやはり大きかった、ということがわかりました。これほど大規模な避難をしたことがないということも影響していると思います。

しかし、日本の都市にとっては、さらに困難だと思えます。これまで、大規模な避難の判断をしたこともないということもありますし、そもそも避難先が大幅に不足している、ということが関係しています。では、その情報をどうするかということが大きな課題になってくるわけですが、最後に、1つ参考になる事例があったので、南太平洋のバヌアツについて短くご紹介したいと思います。



こちらでも高波によって大規模に浸水して集落が丸ごと流されたというところがありました。ただ、バヌアツ全体では死者11人程度で、地元の方が亡

くなったのは数人ということでした。話を聞くと、あちこちで事前に避難をしているといました。先進国ではありませんので、インフラは整っていません。なぜかと聞いてみると、ショートメッセージで避難情報を出しているということです。



「I」と「6」がありますけれども、これがサイクロンの中心の位置を指します。住民は手元に紙があります。これは見えにくいのですが、地図です。バヌアツの島々があって、横軸がA、B、C、D、E、縦軸が1、2、3、4、5とありまして、Iの6ということとことということで、サイクロンの中心位置地を判断します。かつ、警戒が出されている地域が、このようにここにレッドアラートが出ているということで、地域名が出ます。みずから進路を判断して避難をしていました。このマップは電話帳にも載っているほどでした。



このように、従来のサイクロンマップに加えて

SMS サービスがあったということ、さらには地域でサイクロンの被害の伝承がされていたこと、そして、このように従来の在来建築を生かした形でサイクロンシェルターを民間住宅で整備して、集落の人はここに避難してやり過ごすという話です。これはドームのような形になっていますので、暴風雨に対しても耐えられる構造に実はなっているということがいえます。

**シンプルな情報と避難の文化**

- 従来からのサイクロン・マッピング + SMS サービス (初回だったことも効果か)
- 社会活動のストップが許容される風土
- 地域での伝承
- 文化として避難場所の整備



**サイクロンシェルターの例**



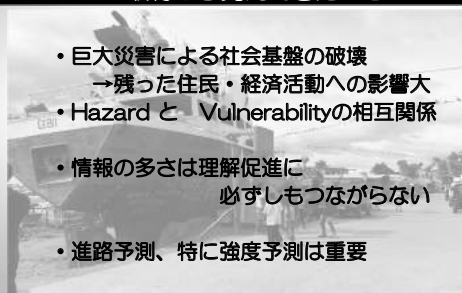
もちろんこのようなことを日本が同じようにやって今できるとは決して思いませんけれども、情報の多さが理解や促進には必ずしもつながらないということを私たちは考えなければいけないと思います。日ごろ大雨や高潮、台風の強さに関しても膨大な情報が出るようになって精度もよくなってきましたけれども、なかなかそれが個人に訴えているかという、これは疑問です。

東日本大震災以降、毎年自然災害で死者が後を絶たないという事態が相次いでいまして、私たちもニュースの中でどうしたら個人に訴えかけることができるのか、我がこととして避難をしなければいけ

ない状態だということを訴えることができるかを試行錯誤している段階であります。あるときは雨の情報を優先させたり、あるときは高潮の情報を優先したりと、ニュースのあり方を変えていくということになります。そういった意味でも、やはり強度の予測が改善され、高潮の情報が充実していくことが今後の被害軽減に向けて重要ではないかと思えます。

**取材から見えてきたこと**

- 巨大災害による社会基盤の破壊  
→残った住民・経済活動への影響大
- Hazard と Vulnerabilityの相互関係
- 情報の多さは理解促進に  
必ずしもつながらない
- 進路予測、特に強度予測は重要

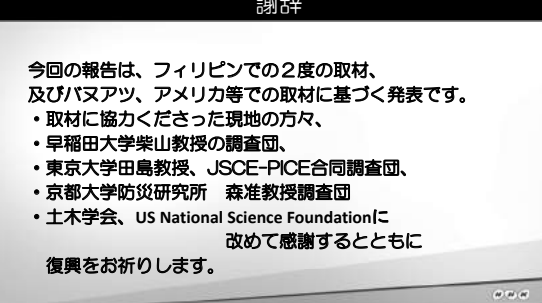


改めて、今回の取材にご協力くださった皆様方に感謝を申し上げて講演を終わらせていただきたいと思います。ありがとうございました。(拍手)

**謝辞**

今回の報告は、フィリピンでの2度の取材、及びバヌアツ、アメリカ等での取材に基づく発表です。

- 取材に協力くださった現地の方々、
- 早稲田大学柴山教授の調査団、
- 東京大学田島教授、JSCE-PICE合同調査団、
- 京都大学防災研究所 森准教授調査団
- 土木学会、US National Science Foundationに改めて感謝するとともに復興をお祈りします。



**ご静聴ありがとうございました**





# 高潮の数値計算モデル

河合 弘 泰

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所  
港湾空港技術研究所海洋情報・津波研究領域長

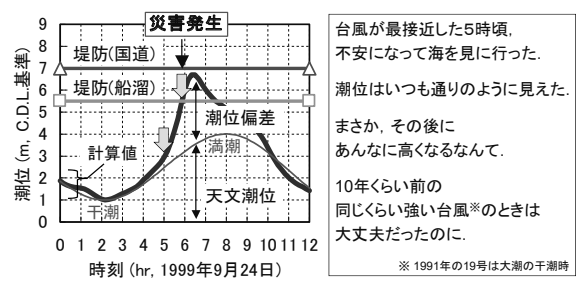
高潮とはそもそもどういうものか、数値計算でどんなことができるのか。そういう話をさせていただきます。その前に、これまで私自身が見てきた高潮や波浪の災害を、私自身が撮った写真や計算した結果を使いながらご紹介したいと思います。

私が高潮の研究を本格的に始めるきっかけは、伊勢湾台風からちょうど40年後の1999年9月の台風18号でございます。熊本県、山口県のあたりでいろいろな災害が起きました。その中で最も注目した場所が八代海の奥です。高潮の偏差としては3.5m、伊勢湾台風の名古屋と同じくらいです。一体ここで何が起きたのでしょうか。湾の奥ですから、高潮が大きくなるのはわかるのですが、なぜ1階の屋根まで海水につかることになったのかが分からず、現地を調査してまいりました。

このスライドで、もう皆さんはおわかりかと思えます。いわゆるゼロメートル地帯、もともとは塩田だったところと聞いています。そこに家を建てていたのです。高潮によって潮位が高くなり、国道の堤防と大体同じくらいになりました。内側に船だまりがあり、その堤防を越えるほどの潮位になって、住宅地に海水が流れ込んだというものです。

近くに検潮所がないので、潮位を推算した結果をこのスライドに示します。この日は、干潮が2時ごろにあって、8時ごろに満潮となる日でした。この満ち潮のときに台風が来て、1時間に3mほどの早さで潮位が上がりました。地元の方の話によると、朝5時ごろに海を見に行ったらふだんとあまり潮位が変わらず、大丈夫だと思ったら、その1時間ほど後に堤防から越流した、とのことでした。

**満ち潮に高潮が重なり、潮位が「まさか」の急上昇**



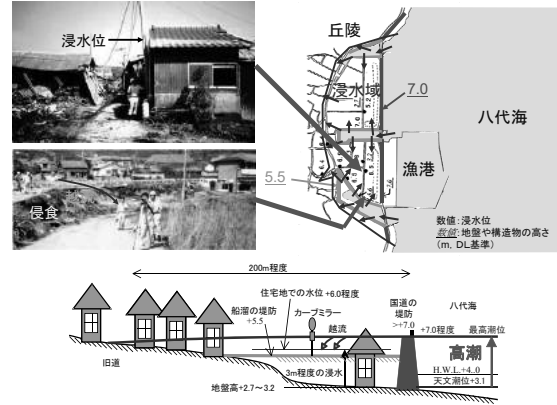
- 命を守るために、
- ・自然現象を深く理解。
  - ・ハード(堤防)だけに頼らず、ソフト(高潮予測)も活用。

4

ここに防災を考える上で重要なポイントが一つあります。「10年ほど前の台風と同じくらい強い」と言うときの「強い」とは、雨や風をイメージして言っています。「前に同じくらい強い台風が来たときには、堤防に土のうを積んで、ギリギリ何とか耐えました。でも、今回は大変なことになりました。どうしてでしょうか。」と質問を受けました。この台風のときは大潮の満潮に近い時刻に高潮が発生しました。しかし、10年前は、実は大潮の干潮のタイミング、このグラフで言うと2時頃に対応するようなタイミングで高潮がピークだったので助かった、ということなのです。

住民の中には、台風や潮位にいろいろな興味をもってくださる人もたくさんいらっしゃいます。で

**「想定外」の高潮が堤防を越え住宅地に**



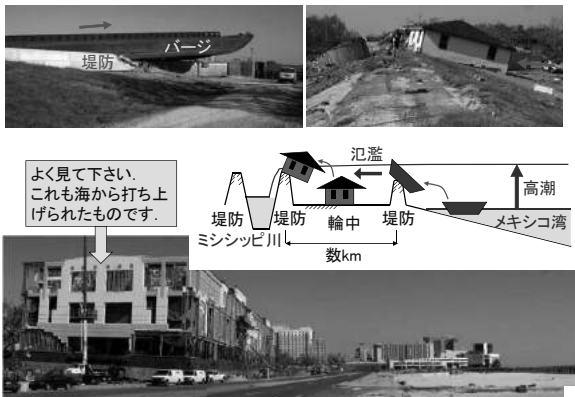
2

も、天文潮とセットで理解することは、専門家以外にはなかなか難しいのかもしれませんが。あと一歩、という感じでございます。なお、災害ではよく耳にする話ですが、この地区の犠牲者の多くも高齢な方でした。

それから、アメリカのハリケーン・カトリーナの調査にも行きました。家屋が高潮で流されたところもあります。高潮偏差を計算すると5mとか6mという値になりました。日本では想像しがたい値です。これにはもちろん理由があります。ニューオーリンズ周辺はかなり遠浅の地形で、顕著な高潮が発生しやすいのです。同じ大きさのハリケーンが日本に来て、これほどの高潮は起きないと思います。

ただ、日本にいて伊勢湾台風のことばかり考えていていいのか、日本にもっと大きな高潮が来ることも考えておかないといけない、という教訓を得ました。津波ではなく高潮で、家屋が流れることも驚きですが、船が堤防に乗り上げるのもショックです。スライドの下の写真をよくごらんください。これは、陸上に建っている建物ではなく、もともとは海に浮かんでいて打ち上げられたものがございます。

バージ、木造家屋等の打ち上げ



それから、台風ハイヤンです。スライドの左上の写真は今日のシンポジウムのパンフレットの表紙にも使っていただいています。船が打ち上げられています。左下の建物が風、波、高潮によって、どのように、どれくらいの比率の作用で壊れたのかを詳しく知るすべはありません。台風の中ではいろいろな現象が重なって被害を大きくするので。

台風ハイヤンの実際のコースだけでなく、これをちょっとずつずらして、いろいろなコースで高潮を計算してみました。それによって、タクロパンの周りだけではなく、あちこちで顕著な高潮が発生し得

2013年の台風ハイヤンによる災害



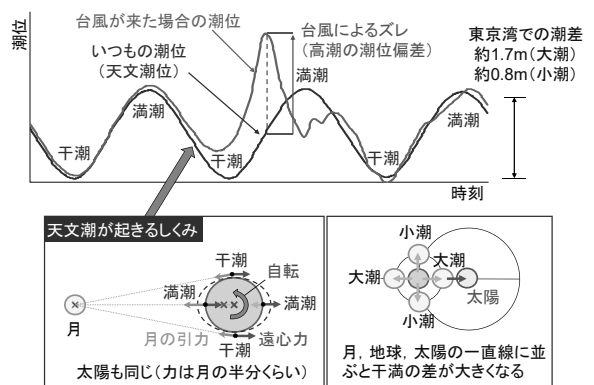
ることがわかりました。このような計算をやっていると、日本は伊勢湾台風の想定だけで大丈夫だろうか、とだんだん心配になってきます。

私はこのように、高潮の被災現場を見たり、計算をしたりしてきました。

次に、高潮、波浪、台風とは何かを、おさらいしておきたいと思います。高潮の発生時刻は台風次第で満潮のときも干潮のときもあります。高潮は気圧や風で起きる、とても壮大な現象であり、津波に負けません。高潮が生じているなら、ほぼ間違いなく波も立っています。これらがポイントでございます。

このスライドは潮の満ち引きを表したものです。ふだんからある天文潮は、月や太陽の引力によって生じるもので、干潮と満潮を繰り返し、規則的に潮位が変化します。ところが、台風が来ると、潮位は余分に高くなります。台風によるずれ、高潮による潮位偏差ということで、略して高潮偏差と呼ばれているものでございます。

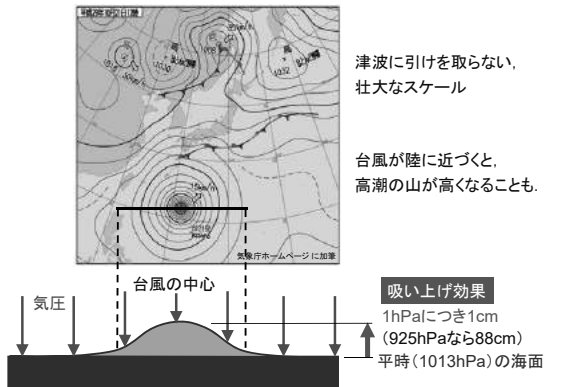
天文潮と高潮



では、このずれはどうして起きるのでしょうか。一つは、このスライドにある、吸い上げです。高潮が吸い上げで起きることは皆さんもよくご承知だと

と思いますが、これからは天気図を見たときに、これが気圧の分布であると同時に海面の盛り上がりの分布だと思ってください。1ヘクトパスカル当たり1cmという話もご存知ですね。台風の大きさに比べると薄っぺらいのですが、それだけ広い範囲が盛り上がっているのです。台風がこの盛り上がりを引き連れてくるのを連想してみてください。

**高潮の発生原因① 気圧低下による海面の吸い上げ**

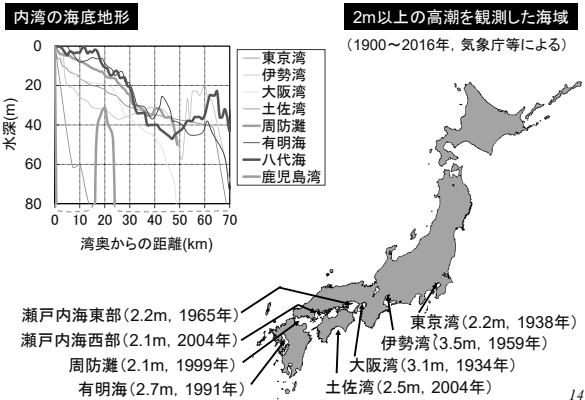


12

さらに、皆様もご承知のとおり、風が陸に向かって吹くと、水が岸に寄ってきて、岸の近くでは潮位が高くなります。これが吹き寄せです。風が強いほど、湾が浅いほど、顕著になります。

東京湾から八代海にかけての内湾では2mを超える高潮が観測されていますが、鹿児島湾では観測されていません。鹿児島湾は水深が200mにも達する非常に深い湾なので、強い台風が来ても、吹き寄せがあまりきかないのです。

**内湾の海底地形と高潮**



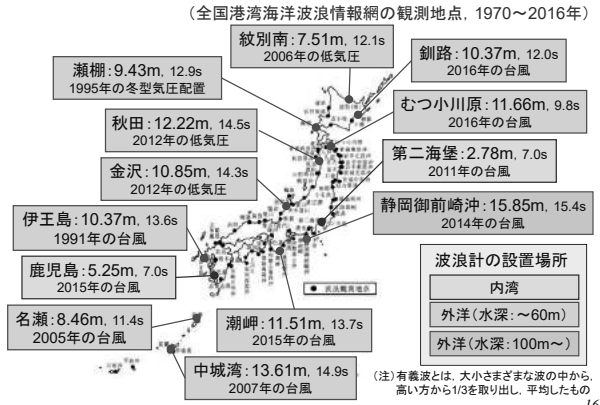
14

それから、高潮が起きているときには、波も起きます。風が吹くと、だんだん波が高くなって、波の長さも長くなっていく。この状態の波を風波(かざなみ・ふうは)といいます。台風の中で発達した波は、台風の外に出ても急に消えずに、遠くまで伝

わっていきます。「ハワイの波は南極から」と言われるくらいです。

それでは、日本の周りで、どれほどの波が発生しているのでしょうか。私どもの研究所では、全国各地の波の解析も行っております。1970年からの統計によりますと、太平洋に面したところでは最大で10mほどの高さです。細かい話をしますと、波は不規則で、大きな波があれば小さな波もあります。そのうち大きい方から1/3を拾って平均したものを有義波高といい、その高さで10mという意味です。一波一波でみていくと、10mより高い波も含まれる状態です。鹿児島湾の中でも、私がたまたまそこに赴任していた間に、5mという波高が観測されました。

**既往最大の有義波**



16

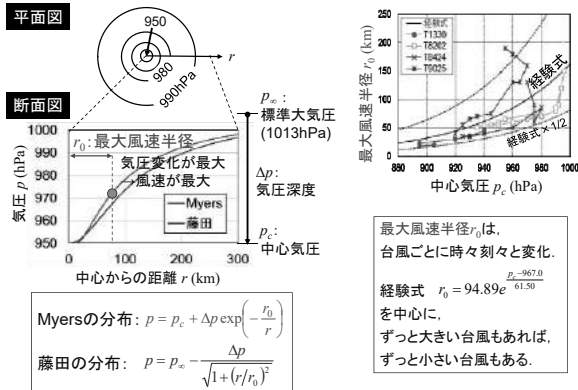
さて、波がだんだん海岸に近づいてきますと、海岸線に対して直角になろうとします。細かいメカニズムの説明はさて置き、屈折という現象でこうなります。実際に台風がやって来ますと、高潮で潮位がいつもよりも高くなり、そこに波もやって来ます。波が護岸を越えて、背後が水浸しになることもあります。潮位が護岸の天端より高くなると、海水がザーッと連続して流れていく状態になります。

続きまして、高潮の数値計算にもいろいろなものがありますが、まずは基本的なことからお話したいと思います。ポイントは2つあります。1つは、まず気圧や風を計算して、それによって水がどのように動くかを計算するのが高潮の計算、ということでございます。もう1つは、手計算に近いレベルからコンピューターで微分方程式を解くレベルまでいろいろある、ということです。例えば、台風の気圧とか風の推算モデルにも、経験的で比較的簡単なものから難しいものまでいろいろある、ということで

す。

台風の気圧分布はどのようにあらわすのでしょうか。このスライドに示す経験的な台風モデルは、伊勢湾台風の後、高潮対策が本格化した1960年代から、伝統的に使われてきたものです。台風の気圧は真ん中が一番低くて同心円状になっている、こういう絵は皆さんも天気図でよくごらんになっていると思います。

経験的な台風モデルによる気圧分布の表現



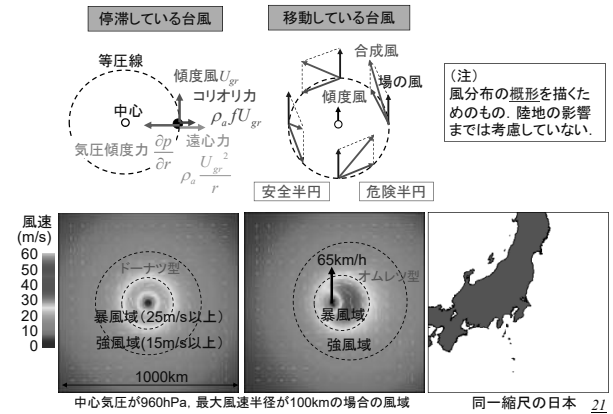
20

この中心から外に向かった線上で気圧の変化を描くと、中心が一番低く、下に凸な曲線という皆さんに嫌がられるかもしれませんが、そういう曲線で高くなり、途中からは上に凸な曲線になります。その変わり目のところで傾きが一番急になります。マイヤーズさんに藤田さんといった研究者たちが、いろいろなデータを集めて、こんな形であらわせると提案したもので、高潮の計算の実務では今でもこういう気圧分布がよく使われております。

この気圧の傾きが一番強くなるあたりで、実は風速も一番強くなり、この半径を最大風速半径といいます。台風には、中心気圧もいろいろありますが、最大風速半径もいろいろです。強い台風ほど最大風速半径が小さくなる傾向はありますが、台風それぞれです。

皆さんにはむしろこのスライドの方を覚えていただければ、と思います。台風の風の分布です。気圧が低い中心に引き込もうとする力とか、遠心力とか、コリオリ力、すなわち地球の自転の影響とか、いろいろな力でバランスした結果、台風が停滞しているときに風速が強いところはドーナツ型になります。これから皆さんが天気図をごらんになったときは、台風の中心付近にドーナツがあると思ってください。中心から風速の一番強いところまでの半径

経験的な台風モデルによる風分布の表現



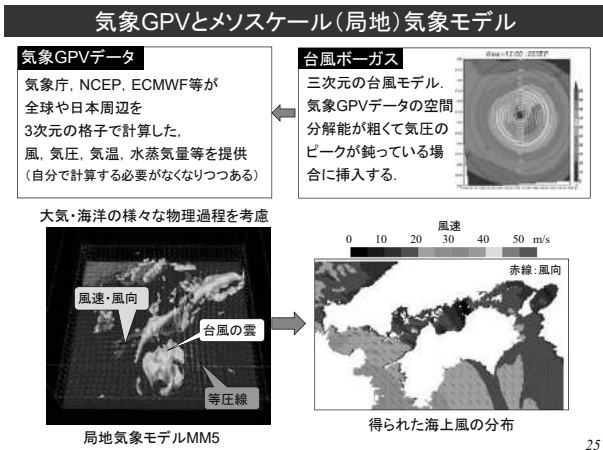
が、さっき申し上げた最大風速半径です。50kmとか100km、200kmとか、台風によって異なります。

台風が沖縄に停滞しているときはドーナツのイメージですが、関東に来るときには時速40kmとか60km、ある程度のスピードで走っています。そうすると、ベクトルが出てきてまた数学の話になってしまいますが、反時計回りに回る成分と前に進む成分とが合わさって、台風の右側で風が強くなります。オムレツ型とかクロワッサン型、三日月型と覚えてください。関東に台風が迫って来たら、右側に巨大なオムレツがあると思って気をつけていただければ、と思います。

ただ、こうして求めた風の分布は、台風が岸から遠く離れた太平洋の上だったらこれでいいのですが、陸に近づくと陸の影響で風が曲がったり弱くなったりします。それを表現するためには、観測値と相関をとって補正します。あるいは、マスコンモデルといって、まずは陸を無視して反時計回りに回る単純な風場を初期値として与え、それだと陸にグサッと突き刺さる不自然な風場なので、連続の式が合うように最小限の補正量でつじつまを合わせる、数学的な手法もあります。この方法は、気象の物理現象は考えず、単に最小二乗法という数学的な手法で解を求めているだけです。

最近では、すっかり局地気象モデルを使うようになりました。10年、20年前の昔は気象の専門家しか使いこなせませんでした。今では土木屋さんも風を計算するツールとして使ったり、気象庁とかアメリカ、ヨーロッパの気象機関が提供する風や気圧のデータを使ったりして、高潮や波の計算をするようになりました。

これで風と気圧の計算ができましたので、いよいよ



25

よ高潮の計算に入るわけですが、高潮の計算も、経験的で単純な式、すなわち気圧と風速を代入すればすぐに高潮偏差が出るものと、数値計算モデルとの、2つに分類できます。今、実務で一番よく使われている数値計算モデルが単層の非線形長波モデルです。式の説明はやめて、図でわかりやすくいいますと、海をたくさんのメッシュというバケツに分けて、気圧とか風が吹くごとに、あるバケツからとなりのバケツに1秒間に何リットルの水が流れるのか、その流れたことによって水面の高さがどう変わるのかを、延々と計算していくというものでございます。この水の流れを決める要素としては、海面を押さえつける気圧、それから、風がどれほど吹いて、その摩擦で水がどれだけ動くか、さらに、海底の摩擦もあります。海面の摩擦についてももう少しお話ししますと、その力をあらわす式には、CD という係数があって、風速、さらに風速の二乗を2つ足したものの平方根があるので、まとめると風速の二乗に比例する、形になっています。

この CD についてさらに説明しますと、伊勢湾台風の直後に気象庁や港湾建設局が高潮の計算したこ

単層・非線形長波モデル

連続の式・運動方程式

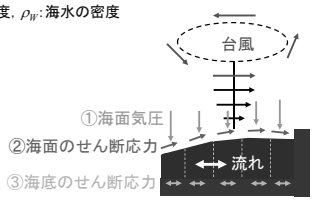
$$\frac{d\eta}{dt} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) = \beta N - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \frac{\tau_{ax} - \tau_{bx}}{\rho_w} + A_s \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) = -\beta M - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{\tau_{ay} - \tau_{by}}{\rho_w} + A_s \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)$$

$x, y$ : 水平方向の座標系,  $\eta$ : 水位変化,  $D$ : 全水深,  
 $M, N$ : 流量フラックス,  $g$ : 重力加速度,  $\rho_w$ : 海水の密度

- 主要な外力
- ①  $p_a$ : 海面気圧
  - ②  $\tau_x$ : 海面のせん断応力  
 $\tau_{ax} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$   
 $\tau_{ay} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$   
 $C_D$ : 海面抵抗係数,  $W$ : 風速
  - ③  $\tau_b$ : 海底のせん断応力



27

ろには定数が使われ、その後の実務では風速の一次関数が使われてきました。さらにその後、風だけではなくて波の立ち方によっても摩擦が変わってくるのではないかと、波が進む方向と風の向きが同じ方向か逆向きか横向きかによっても違うのではないかと、という議論があり、そういうことを表現しようとしたモデルも提案されています。

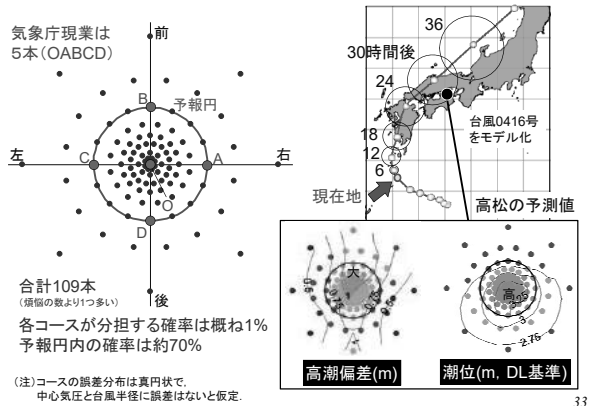
ここで、台風 0416 号の風と高潮の数値シミュレーションの結果をお見せして、高潮へのご理解を深めていただきたいと思います。台風の中心が九州の南西にあるときは、風が宇和海から周防灘にかけて反時計回りに吹くので、高潮偏差は下関の周辺で最も大きくなります。台風の中心が周防灘を横切るところには、それまでの吹き寄せに加え、気圧が下がることによる吸い上げも強まり、高潮偏差がさらに大きくなります。そして、台風の中心が山口県に上陸すると、周防灘から広島湾にかけて風が東に吹き、高潮偏差は周防灘では減少に転じ広島湾では増加します。台風がさらに進むと、高潮もさらに東へと動いていきます。

高潮の計算モデルにはいろいろなものがありますが、2つの視点からみてみましょう。まずは、簡単で早くできるモデルから難しくして精度の高いモデルまで、という視点です。

先ほど、高潮の計算には、気圧と風を代入したらすぐに出る経験式からコンピューターの数値シミュレーションまでいろいろある、と申し上げました。では、その経験式にどこまでの精度があるのでしょうか。それを実際に調べてみたことがあります。経験式では、係数を合わせ込むことによって高潮偏差のピークの高さはだいたい合うことが多いのですが、ピークの時刻は数値計算モデルでないとなかなか合いません。それはなぜかという、気圧と風が作用しても水は急には動けないからです。

さらに私は、台風が来たときに、気象庁に倣って幾つかのコースで高潮の予測計算を試みたこともあります。気象庁では、予報円の中心と前と後ろと右と左を通る、5つのコースについて高潮の計算をして、一番大きな値をよりどころに警報や注意報を出しています。その予報円の中に入る確率は70%といわれています。そこで、欲張りな私は、煩惱の数より1個多い109個の点を、予報円の真ん中、内側だけではなく外側にも打ち、コースの予測誤差が

## 予報円の外にも高密度な台風コースを設定



33

二次元の正規分布になると仮定して、1つの点がだいたい1%ずつの確率を分担するようなフォーメーションを組んで、全てのコースに対する高潮を計算してみたのです。

そうすると、ある台風の、ある時点における、ある港の予測では、予報円の前方の点を通る、すなわち速度が速いと高潮偏差は大きくなり、予報円の左か右にちょっとそれると小さい、となりました。さらにある天文潮、すなわち満潮や干潮のタイミングも仮定して潮位を計算すると、予報円の前のほうでは、高潮偏差は大きいけれども、満潮を逃れ、合成した潮位としてはあまり高くない、となりました。

コースごとの高潮偏差や潮位をヒストグラムにまとめると、どんな値がどんな確率で起きるのかわかりやすいです。例えば、ある港では、台風が接近する30時間前に、半分ほどの確率でやばい潮位になりそうだ、という予測が出ます。このとき、どんな防災対策をしたらいいでしょうか。半分も危なければ、それなりにやっておこう、という気になります。そして、6時間前には、ほぼ間違いなくやばい潮位になる、という予測になります。最終的に、やっておいてよかったという結果になります。その一方で、考えどころは、もう一つの港です。予報円を外れるコースまで計算すると、ほんの数%ですが非常に高い潮位が出てきました。さあ皆さん、どうしましょうか。浸かってもいいところなら、何もしない、という選択もあるのかもしれませんが、浸かって大被害が起きるようなところだと、空振りも承知で手を打たないといけない、という思いに駆られるのではないのでしょうか。高潮の計算によっていろいろなアウトプットができますが、それを我々が

どう受けとめてどう使うのか、ということにも頭をひねっていかないとはいけません。

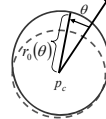
それから、こんな話もございます。今から10年、20年ほど前の数値シミュレーションでは、気象屋さんには海洋にあまり興味がなく、高潮屋さんにも波浪のことはそっちのけ、波浪屋さんにも波浪だけを必死に計算する、というのが普通だったのですが、実際は三位一体の自然現象でございます。高潮で水位が高くなれば、水深が深くなるので、波の伝わり方、変形の仕方も変わり、波の立ち方によって海面の摩擦が変われば、高潮の吹き寄せも変わる、いろいろな相互作用があるはずですよ。その中で、私がこれまで検討してきたことのさわりをご紹介します。

その一つが、台風の気圧分布が歪んで、真ん丸で表現できなければ、楕円にすればいいのではないかと、それから、ちょっと専門的になりますが、スーパー・グラディエント・ウインドSGWを考慮して係数を補正すれば、台風のアイウォール付近の風速の再現性が高まるのではないかと、という取り組みです。経験的台風モデルにこれらの工夫をただけでも、風の精度はよくなりました。さらに、風を合わせるだけではなくて、高潮と天文潮を同時に計算し、波浪による海面の摩擦の変化も考慮すると、だんだん高潮偏差の値が観測値に近づいてきました。

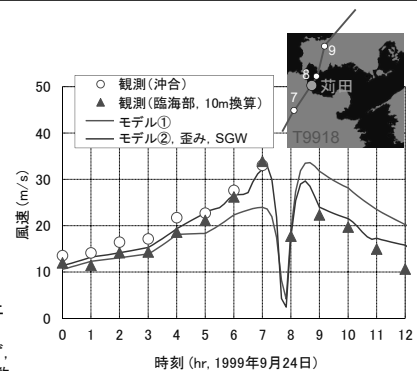
## 経験的台風モデルの改良の余地

## 等圧線の歪み

最大風速半径  $r_0$  を  
フーリエ級数で与える

SGW(スーパー  
グラディエントウ  
インド)の考慮

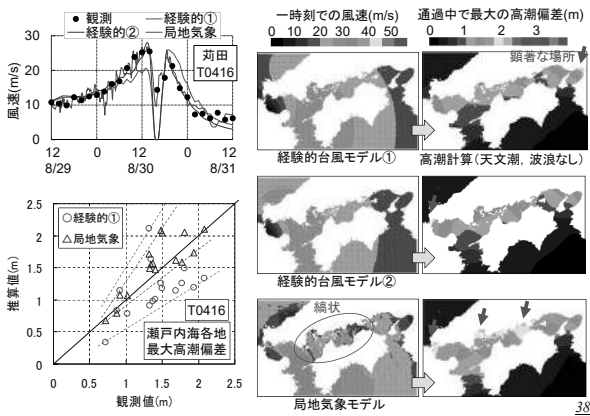
風速低減係数(=海上  
と上空の風速の比)を  
0.6~0.7で一定とせず、  
中心からの距離の関数  
で与え、アイウォール付近の強風を表現(Mitsuta & Fujii, 1987)



34

経験的台風モデルの代わりに局地気象モデルを使うと、先ほどの工夫よりもさらに風の精度が高まります。経験的台風モデルは二山型の緩やかな経時変化を表現するので精一杯ですが、局地気象モデルはもっと短時間の変動も表現します。このような風を使うことによって高潮の精度も高まる、という話でございます。

局地気象モデルの導入による風と高潮の再現性向上



38

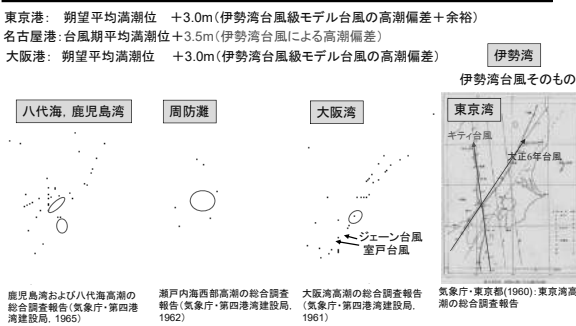
ここ数年の世の中の研究をながめてみると、もはや気象、波浪、海洋のモデルを連結した計算は珍しくありません。実務のほうでも、3つのモデルはちょっとハードルが高いからとりあえず2つだけとか、取り入れていく流れが見られます。

高潮計算について、もう1つの視点でもお話ししたいと思います。先ほどから、ときどき伊勢湾台風の話を持ち出しておりますが、伊勢湾台風で設定した計画高潮位は何年に1回発生するのか、もっと高い潮位は発生しないのか、こんな素朴な疑問を皆様もおもちではないでしょうか。それから、将来の気候変動で高潮がどうなるのかという心配もございす。そういう視点でのお話です。

このスライドは、1960年代に、伊勢湾台風やその前の13号台風の被害を契機に、気象庁や港湾建設局などが全国の主要な内湾についていろいろな台風のコースで高潮を計算したことをまとめたものです。その後にもっと精度のよい計算結果に置きかえられたところもありますが、こういうモデル台風で高潮偏差を計算して満潮と合わせたものを計画高潮位にするという哲学は今も変わりません。なお、既

海岸保全施設の計画高潮位(伊勢湾台風級、既往最高)

① 期望平均満潮位などの満潮位 + 伊勢湾台風級の台風による高潮偏差



② 既往最高の潮位

41

往最高潮位にしているところもあります。

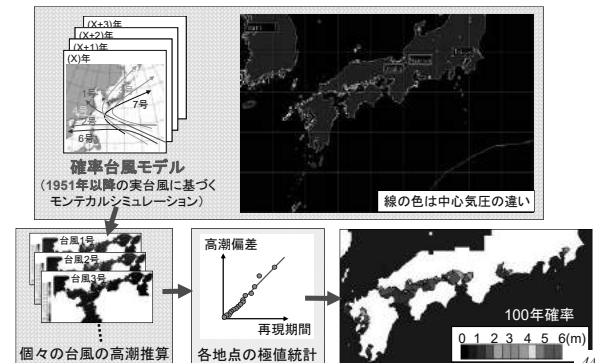
最近では、水防法が改正され、伊勢湾台風を超える最大クラスの台風が来たときの高潮も検討する動きが活発になっております。また、その前から国交省港湾局は、伊勢湾台風級や室戸台風級の台風で東京湾にどれくらいの高潮や沿岸からの浸水の可能性があるか、さらに海面上昇が起きたらどうなるのか、という検討をしています。このような1つ1つの台風シナリオに対する高潮の大きさも重要ですが、その一方で、それが何年に1回くらい来るのか、という疑問も解いていく必要があります。

そこで私は、過去の統計に基づいていろいろなパターンの台風を発生させて、その一個一個の高潮を計算して、1メッシュずつ極値統計解析をして100年確率とか1000年確率の高潮を計算する研究をしました。といっても、もう10年ほど前の話です。

そういうことをやってどんなことがわかってくるかといいますと、東京、名古屋、大阪では余裕も含めて3mとか3.5mの高潮偏差を想定していますが、それが百年とか千年くらいの再現期間である、ということです。その高潮偏差が満潮と重なるかどうか考えると、計画高潮位の再現期間はその3倍前後になります。スライドに東京で6,000年と書いてありますが、5,000年や7,000年ではないといえるほどの精度はなく、数千年のオーダーだと受け止めてください。そこで思い出すのが、オランダでは1万年とか1,250年、どうやって決めたのかよく知りませんが、それほど長い再現期間でやっています。オランダと日本のバランスはいかがでしょうか。また、 $1/6,000 + 1/400 + 1/250 = 1/150$ という計算、つまり三大湾のどこか1つでも大災害が起きれば、よその人たちにも大きな影響が及びます。東日本大震災で

確率台風+高潮シミュレーション

伊勢湾台風級の高潮は何年に一度? 検潮記録のないところでもそれを知りたい。  
※2006~2008年頃に研究



44

も、東北の方が最もつらい思いをしたわけですが、東北だけですむ話ではありませんでした。

その一方で、平均海面が上昇したり台風が強くなったりしたら、どうなるのでしょうか。地球温暖化のシナリオの不確定性はまだまだ大きいので、定量的にどうなるかを予測するのは難しいのですが、1つのシナリオを決めて計算したこともあります。再現年数を横軸に、潮位を縦軸にグラフを描くと、その線は平均海面が上がる分だけ上にずれます。台風が強くなって大きな高潮偏差が発生しやすくなると、その線は再現年数の長い側で大きく上にずれます。その結果、今まではめったに起きなかったようなものが例えば10年に1回ほど起きる、そういう時代がやってくるのかもしれない。

このように再現期間の長いことや将来起きるかも

知れないことについてお話をさせていただいたところですが、それに比べると気象のデータの蓄積はわずかです。客観的で面的にしっかりとした観測が始まったのは1950年ころのことです。再現期間が数千年と軽々しくいわないほうがいいのか、もっといろいろなデータを蓄積して技術を磨いていかないといけない、という思いを持っています。

以上、いろいろなお話をさせていただきましたが、数値計算でいろいろなことができるようになりつつあります。その一方で、平時から、あるいは差し迫ったとき、いろいろなタイミングがありますが、どんなモデルでどんな計算をして、その出力をどう受けとめ、それをどんな防災のアクションにつなげていくのか、についても考えていかなければなりません。ご清聴ありがとうございました。



## 磯部 雅彦

全国海岸事業促進連合会協議会 会長・高知工科大学 学長

皆さん、長時間にわたり熱心にご清聴いただきまして、大変ありがとうございました。全国海岸事業促進連合協議会は毎年このシンポジウムを開催しております。今年は「高潮災害に備える」ということでお話を聞いていただきました。閉会は私なりの感想を述べようかと思っていたのですが、余りたくさんの内容があって覚え切れないので、スライドを1枚つくってみました。順番は不同ですが、私の頭の中の順番としてご紹介します。

国外でもハイヤン、シドル、カトリーナというような大変な高潮を経験し、また、国内でも昭和28年の13号台風から伊勢湾台風等々

のご紹介がありました。それらを拝見してみますと、岩谷さんのご発表にありましたスライドの中で、上陸時の中心気圧第5位までをみますと、1961年の第2室戸台風から1991年のリング台風まで飛んでいます。その間大きな高潮を及ぼすような台風が日本に上陸しなかったということであり、また、その間に海岸保全施設の整備が進行して被害が激減したということだと思います。

90年以降は、ご紹介にもあったようにかなりの台風が来ていますけれども、海岸保全施設の整備が進んだことで被害を軽減してきたということが実態だと思います。したがって、結果として、高潮災害の経験者は非常に少なくなってきた、減少してきた。特に若い人たちは既に高潮災害を経験したことがないという人がほとんどではないかと思えます。

そのような状況で、今後に備えてということですが、まず現状としては、伊勢湾台風は確率にして台風としては120年、潮位で150年というご紹介がありました。また、加えて今後のことを考えると、気候変動によって海面上昇、台風の巨大化が起こる可能性もあり、そのことを考えると、既往最大を超えるハザードを経験する可能性は非常に多い、考えなくてはいけないという状況になっているかと思えます。

そういう意味で、経験していないのですから、数値シミュレーションによる予測が非常に大事な要素になり、一昔前に比べると、気象、海洋、波浪といういろいろな要素を結合した精度の高い予測ができるようになっていく。それだけにどのように解釈するかも大事だというのが今のお話であったと思えます。

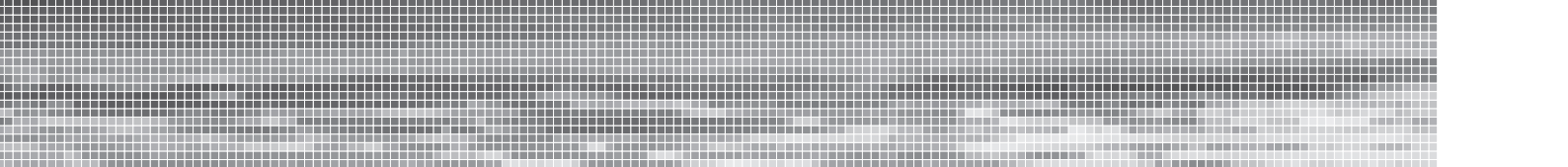
そういうことを考えながら、それを予測するのが今の喫緊の課題になっていると思えます。何が起こるかをまず予測してみることが喫緊の課題だと思います。その予測の上で壊滅的な被害が起こる可能性が恐らく出てくるので、それをやわらげていくという意味では、ハードだけでは足りなくてハードとソフトの組み合わせが必要である、ハードだけでは守り切れないということであると思えます。

その目標として、人命を守り、生活と経済の被害を最小化していくことが大事で、それがおとし、2015年の改正水防法で、高潮についても最大クラス、レベル2と呼んでもいいような高潮で予想をし、被害最小化に向けて恐らく今後動いていくことになると思えます。そのときに、特に人命を守るのがまず1つの優先すべき防災の事柄になってくるわけで、それについては、特に警報システム、避難体制を整えるということが大事

### まとめ

- ハイヤン、シドル、カトリーナ(田島)
- 13号、伊勢湾・・・(富田)
- 上陸時中心気圧5位:1961(第二室戸)-1991(リング台風)の間がない
- +60年代から90年代までの施設整備進行で被害激減
- 高潮災害経験者の減少(若年者の未経験)
  
- 現状:伊勢湾台風は確率で120年(台風)、150年(潮位)
  
- +気候変動(海面上昇・台風巨大化)
- =>既往最大を超えるハザード(島川、岩谷)
- 数値シミュレーションによる予測(河合)(気象・海洋・波浪) <=精度向上、解釈
- =>壊滅的被害の可能性、シナリオ(アニメ)作成の効果
- ソフト+ハード(<=2015改正水防法、レベル1+レベル2)
- 人命を守り、生活・経済の被害最小化
- 警報システム(住民の理解)、ハード整備の水準

ROKUI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



で、それには住民の理解が非常に重要であるし、伝え方も単純に伝えなくてはいけない、そういったお話も出ていたと思います。

それで振り返って、人を助け、生活・経済の被害最小化をするために、最低限どこまでのハード整備が必要であるか、その水準を決めていくということがこれから高潮対策として今後の柱となるような課題であると私は感じました。海岸の災害は、特に津波もありますので、まだまだ全てを含めて総合的にやっていかなくてはいけないという面があると思いますが、今日の「高潮災害に備える」というテーマの私なりのまとめとさせていただきます。閉会の挨拶とさせていただきます。

## 全国海岸事業促進連合協議会構成員

---

- 全国農地海岸保全協会
- 全国漁港海岸防災協会
- 港湾海岸防災協議会
- 一般社団法人 全国海岸協会

