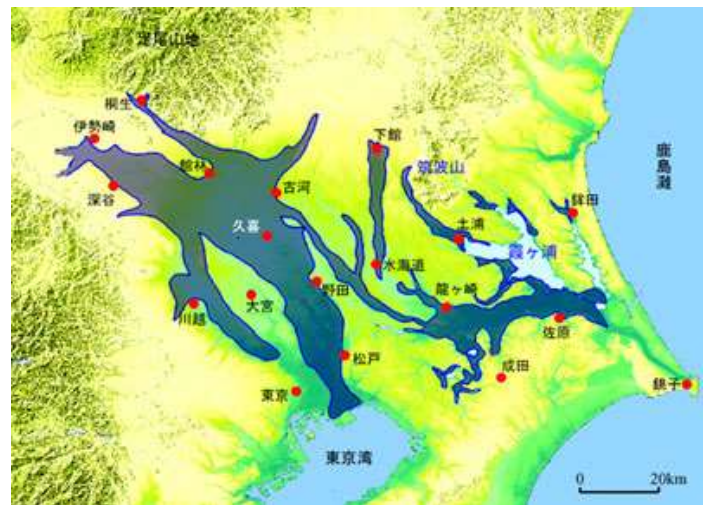


防災地学特論・授業資料

「洪水と高潮」

洪水と高潮とは何か： これらはいずれも生活圏に水が浸入することにより災害となる。 洪水が、河川の氾濫により生じるのに対して、高潮は海水が陸域に流入することで生じる。 水の浸入は、水面の出現・拡大と水位の上昇（浸水深の発生）だけを意味するものではない。 強い水流のエネルギーにより直接に、あるいは浮遊する重量物などが暴れまわることによって間接的に、構造物の破壊や流出が生じることも多い。 事象の展開速度も災害の規模と関係し、速度が遅い場合には規模が大きくても避難行動がとりやすいために人的被害が抑制できるのに対して、規模がさほど大きくなくても展開速度が大きい場合には避難が間に合わずに人的被害が拡大することがある。 発災の時間帯も災害としての深刻度に少なくない影響を与える。



左：1947T9 カスリーン台風では埼玉県と東京都の東部が浸水（黄色）したがそこまでの洪水の移動に数日要したのでその地域での人的被害は少なかった（江戸川区）、右：明治43（1909）年の関東大水害では関東平野の低地の大部分が浸水＝青色（国交省）



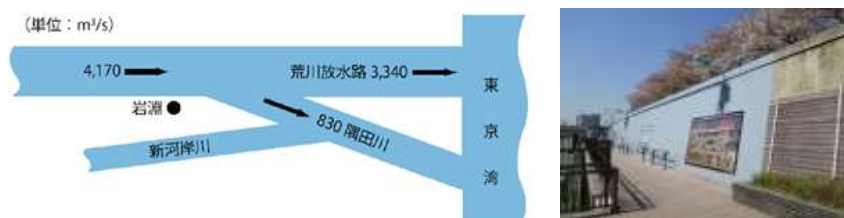
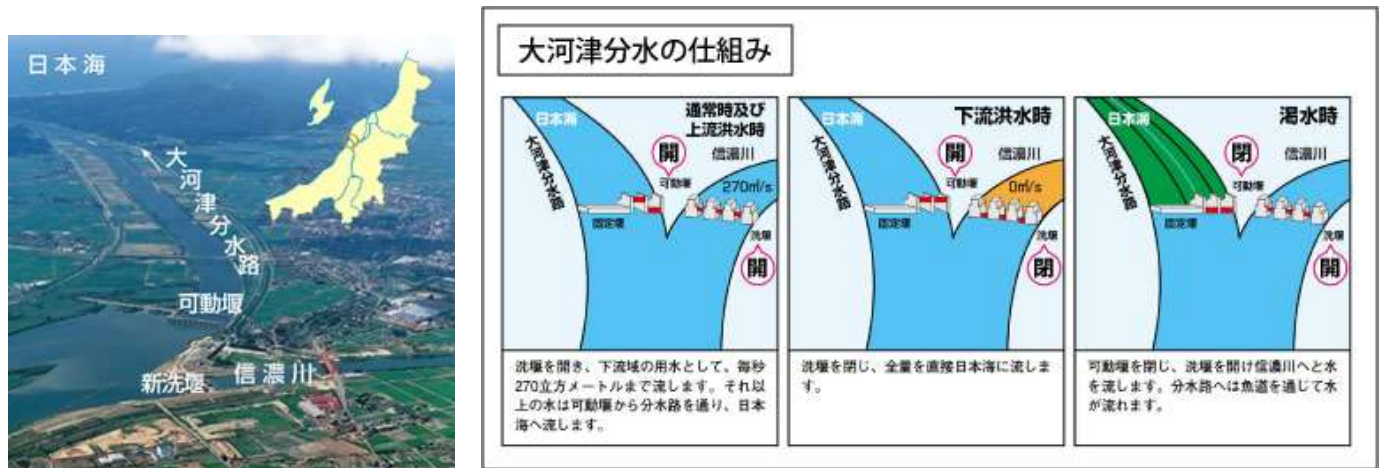
左：2018T21 による兵庫県芦屋市の住宅街の高潮冠水（朝日新聞）、中：1959T15 伊勢湾台風による高潮の冠水域での避難の状況（CBC）
右：2018T21 関西国際空港の滑走路と駐機場の高潮被害（毎日新聞）

洪水氾濫の発生過程： まず、「洪水」という言葉には2通りの意味があることを確認したい。 災害としての洪水は、本来は河川を流下すべき水が、堤防等で区画された空間の外部に溢れることにより、人の命や財産に損害を与える現象である。 一方、河川管理の立場では、河川の流量が一定の水準を超え、洪水災害を引き起こす可能性が高まってきた段階で「洪水流量に到達」つまり「洪水」となる。 つまり、河川管理上の洪水は、洪水災害をもたらす場合と、治水機能による抑制が勝ることで洪水災害に至らない場合とがある。 以下、この授業でいう洪水は、洪水災害を指すこととする。

Figure 1 consists of two graphs. The left graph is a cross-sectional profile of the Tone River, showing elevation (m) on the y-axis (0 to 1000) and distance from the river mouth (km) on the x-axis (0 to 1000). It labels several tributaries: 常願寺川 (Togankyō River), 安倍川 (Abe River), 信濃川 (Nagano River), 利根川 (Tone River), 筑後川 (Chūgō River), 吉野川 (Yoshi River), 北上川 (Hokuriyō River), セーヌ川 (Saine River), ロアール川 (Loire River), コロラド川 (Colorado River), and メコン川 (Mekong River). The right graph shows rainfall (mm) and water level (m) over time. The top part shows rainfall from 8/4 to 8/7, with a total of 302mm. The bottom part shows the water level curve, peaking at 7.89m on 8/5. Key levels include: 警戒水位 (Warning Level) at 5.00m, 計画高水位 (Planned High Water Level) at 7.408m, and 最高水位 (Maximum Water Level) at 7.89m. The graph also indicates the start of the flood (水防警戒(出動)) and the start of the breach (破堤(仮閉切開始)).

河川の洪水氾濫を防ぐための考え方は二つに大別される。ひとつは、流域に注入された水をいち早く河口に導いて排水する考え方で、河道を直線的にして流下距離を短くするとともに河川全体の通水容量を増大させる。他は増大した流量の一部を流域内の適切な場所に一旦蓄えてピーク流量を抑制する考え方であり、河川上の適切な箇所に増水を一時的に蓄えることのできる低所を整備する。

水路つまりバイパスを新設して、排水効率を高めることがしばしば行われる。東京都東部の低地帯は、明治期まではしばしば大水害に襲われていたが、隅田川に集中する水を分流させる広大な荒川放水路（現在の荒川）を大正年間を通じて造営し、その完成後は重大洪水の被害は激減した。新潟県では、日本一長い信濃川の河口の低地帯である新潟市周辺でしばしば深刻な洪水が発生していたが、難工事の末に弥彦山の南麓を掘削した大河津分水路の完成後は、新潟市の洪水被害は激減した。



左：もとの隅田川の流量の大半を受け持つ荒川放水路（国交省）、中：荒川というバイパスが完成した現在においても隅田川沿いの遊歩道＝テラスは毎年のように水没する（東京都）、右：荒川放水路はほぼ明治末に起工し昭和に入ってから完成した（国交省）

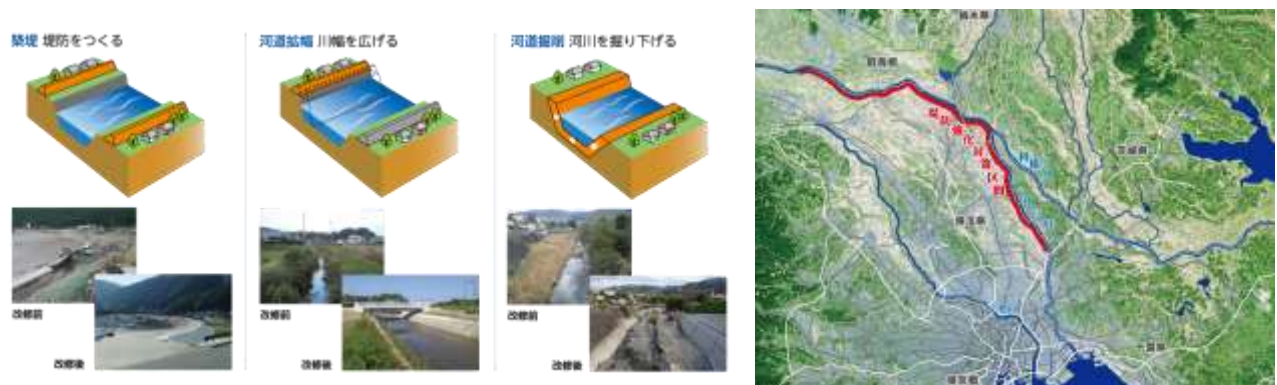
遊水池：明治以降、長らく日本の河川行政の根幹をなしていた考え方は、増水した河川水を速やかに海に排水することだった。ところが、数十年以上に一度の確率で起こる大きな増水にはそれだけでは対応できないことや、首都に代表される最重要地域の水防の確実性を高めるために、増水の一時的な貯留槽としての遊水池の機能が注目されて造営が進められ、荒川水系や利根川水系など、首都機能に直結する水系での遊水池の運用が始められている。遊水池は、普段は大規模な公園や水田耕作地として利用されており、そこが水防施設であることはすぐには分からない。しかし、一旦水位が基準に到達すると、堤防の高さを低くした越流区間から大量の水が流れ込み、遊水池が満水になるまで本流の水位上昇が抑制される。こうした遊水池の機能はこれまでも何度が発揮されてきたが、昨年2019年（令和元年）台風19号で過去最高水位を記録した首都圏の荒川・隅田川・利根川が致命的な洪水氾濫を起こさなかった最大の理由は、こうした遊水池の整備が概ね完了しその機能がフルに発揮されたためといえる。





左：荒川調整池・彩湖の概要、右：荒川調整池の平常時と洪水時の比較（いずれも国土交通省）

堤防： 堤防は、低地を流れる河川において、どのような考え方で治水するにしても必要不可欠な水防施設である。低地の河川は、人間が働きかけをする以前は、ほとんど平らな大地上を、流量が増えれば一面を湖のように水面で覆い、平常時は特定の河道を蛇行したり網の目状に流下していた。洪水時に水面となる地域は氾濫原と呼ばれ、河道に沿って堆積した土砂からなるわずかな高まりである自然堤防が発達していた。近世以降、こうした土地の水理を制御して水稻耕作を始めようとする努力が加速した。その際、河道を特定の領域に限定することで、残りの広大な氾濫原を耕作対象とした。何度も洪水被害に遭いながら、各地の堤防は徐々に増強されていったと考えられる。

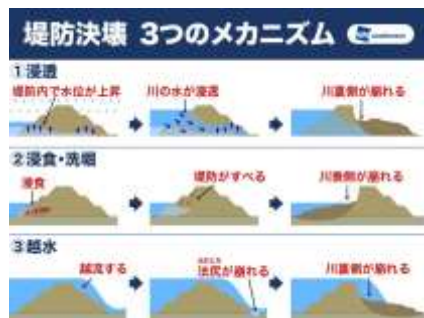


左：代表的な河道の改修工法（和歌山県）、首都圏における利根川堤防の強化対策区間（国交省）

ダム： ダムは、その治水効果についての見解が分かれている。肯定する立場からは、多目的ダムの有する機能である利水・発電・洪水調節の一つである洪水調節機能が正しく発揮されれば、河川の洪水リスクの低減に役立つと主張する。一方で否定する立場からは、ダムの必然としてダム湖内の土砂堆積が進行して有効貯水容量が低下すること、利水や発電など他の機能と並立させる必要があること、洪水調節のための事前放水を的確に実施することが困難なこと等から、ダムが発揮できる洪水調節機能は限定されていると主張する。現実としては、ダムの洪水調節機能が発揮されて洪水の発生が抑制された事例もあれば、流量ピーク時に満水になってしまい洪水流量の抑制に寄与できなかった事例もある。今後もダムの洪水調節機能の評価に関する議論は続くものと思われるが、はっきりしていることは最早わが国には大規模な洪水調節機能を期待できるダムの立地地点は極めて限られているということである。

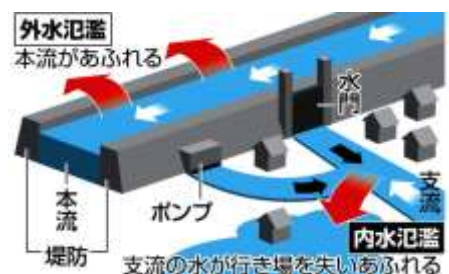
洪水氾濫による災害： 洪水災害は、通常は外水氾濫と内水氾濫に大別されるが、それらに加えてゼロメートル地帯の地震洪水も潜在的な大災害となりうるとして注目されている。また、都心に代表される大都市での洪水災害では特有の様式が見られ、都市型水害とよばれることがある。

外水氾濫： 河川の堤防が決壊または堤防上を河川水が乗り越えることにより、河川水が氾濫して生じる洪水を外水氾濫と言う。 堤防の高さや強度が不足していた時期や地域では、多くの洪水が外水氾濫として発生する。 また、堤防が強固に造営されていても、それを上回る水位や水勢に見舞われると、堤防の機能が損なわれて外水氾濫となる。 また、本流に合流すべき支流に向かって、水位が上昇した本流の水が逆流（バックウォーター）することで氾濫となる事例も増えている。

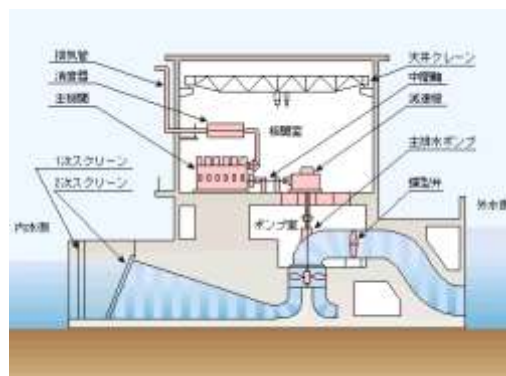


左：堤防の三大決壊機構＝浸透・浸食・越水（ウェザーニュース）、中：堤防の破壊による外水氾濫の発生（国土交通省）、
右：1981 年 T15 における茨城県龍ヶ崎市の小貝川堤防の破堤（防災科学技術研究所）

内水氾濫： 堤防の内側（河川の外側）にもたらされた降水や支流の水の本流への排水が滞ることにより、河川の堤防の健全性は損なわれていないにもかかわらず、洪水状態になることを内水氾濫という。 局地的に大きな強度の降水（例えば時間雨量 100mm に近いなど）があった場合、その地域では河川への排水が間に合わずに内水氾濫となることがある。 内水氾濫は、マンホールからの水の噴出や立体交差の掘り込み（アンダーパス）の水没などから始まることが多い。



左：洪水氾濫の二大様式＝外水氾濫と内水氾濫（朝日新聞）、中：内水氾濫の開始であるマンホールなどからの噴出（岸和田市）、
右：内水氾濫で最初に水没するアンダーパス（気象庁）



左：内水氾濫発生の前兆（福岡県）、中：船橋市海老川の排水機場（建設技術研究所）、右：排水機場の構造（東京都港湾局）

● 東京と江戸川・荒川・隅田川



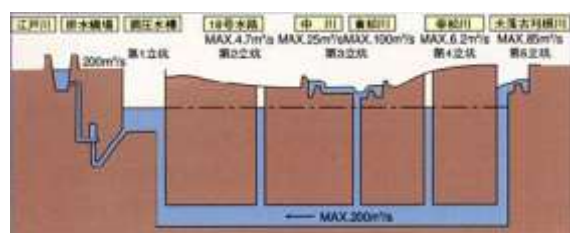
● ロンドンとテムズ川



左：東京都心の河川とロンドン市外のテムズ川との比較（東京都）、中：福岡市営地下鉄駅構内への洪水流入（国土交通省）、右：都内の大規模地下街の分布（東京都）

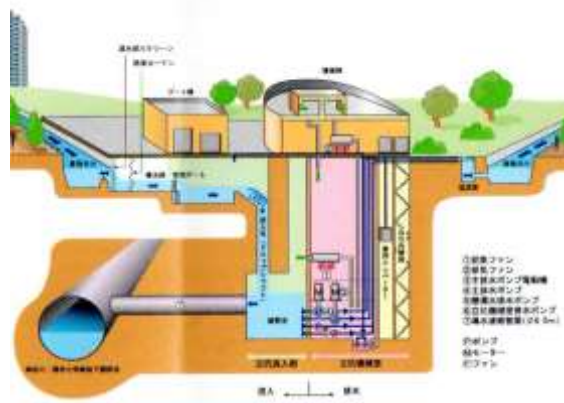
洪水被害の軽減： 一般的な洪水対策である、洪水調節機能を有するダム建設、堤防の強化、遊水池の整備に加えて、首都や大都市では新しいタイプの大規模な治水施設の建設が進められている。 埼玉県東部から東京都東部にかけての低地には、中川や大落古利根川など多くの河川が密集して洪水発生リスクの大きな地域であった。 この地域の複数の河川を巨大な断面積を持つ地下水路で連絡し、集めた水を江戸川に揚水排水する設備が首都圏外郭放水路で

ある。集められた水が一時貯留される巨大な地下調整池は「地下神殿」とも称され、出水時以外は神秘的な地下の大空洞だが、いったん増水して地表河川の水位が越流部に達すると地下水路への水の流入がはじまり地下調整池に導かれる。河川群を串刺しにした放水路から地下調整池に集められた水は、航空機用タービンエンジンで駆動される強力ポンプで江戸川に放流される。江戸川の水増水ピークと、この地域の中小河川の水増水ピークが時間差で到来することを利用した排水システムとなっている。



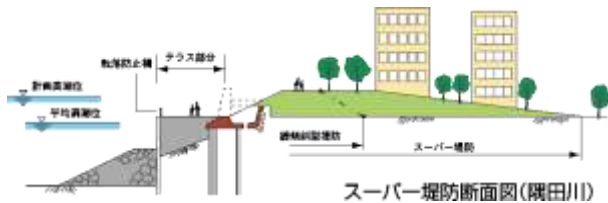
左：首都圏外郭放水路トンネルの概要、右：首都圏外郭放水路の概要（いずれも国土交通省）

都心を東西に貫流する神田川は、江戸時代を通じて神田上水として江戸城中の水を供給した。上水としての機能は明治時代に終えたが、豊富な水量は降水期に頻繁に洪水をもたらしてきた。高田馬場から飯田橋にかけての区間などでは、数年に一度の頻度で洪水被害が発生していたが、ある時期からほとんど被害の発生がなくなった。その劇的な治水の改善をもたらしたのが、神田川・環状七号地下調整池を始めとする地下水路群である。直径 10m 以上の大口径トンネルを環七の地下 40m 深度に埋設し、妙正寺川・善福寺川・神田川を連絡することで、地下水路の容量を遊水池として活用するとともに、局地的な強い降水による増水を近傍の他の河川に放流して洪水発生を抑止する機能が与えられている。



左：1990年代までしばしば見られた神田川の洪水（新宿区）、中・右：神田川環状七号地下調整池の概要（東京都）

地盤高度の低い地域、特にゼロメートル地帯で有力河川の堤防が破堤したら甚大な被害が発生する可能性が高い。そうした重要区間の堤防は、破堤の可能性が非常に低い大断面低傾斜の高規格堤防への整備が進められている。高規格堤防の中でも最高規格の堤防はスーパー堤防と呼ばれ、堤防内側の緩傾斜の広大な堤体上には、区画整理された町並みを立地させることも多い。こうした堅牢で大規模な堤防を全域に整備するには莫大なコストと期間が必要となる。一部区間だけ高い規格の堤防ができてても無意味であるとも議論もあったが、実際には、洪水時に広域の水域が発生した場合の確実な水上域が担保されることになり、避難場所や防災基地の立地場所として活用できることは間違いない。現在、都心東部の荒川や隅田川の一部に完成区間があり、ゼロメートル地帯における洪水時における貴重な「命の島」となることが期待されている。



左：堅牢性が極めて高いスーパー堤防の断面図（東京都）、右：荒川右岸の区画整理と平行して造営されたスーパー堤防（江戸川区）

地震洪水は、絶対に起きて欲しくない災害の一つである。ゼロメートル地帯における堤防や防潮堤は、たとえコンクリート構造体自体が堅固であっても、その基礎地盤が地震時に変形したり流動化したならば、構造物も変形したり転倒したりして治水機能が損なわれてしまう。こうした現象は、1964年の新潟地震の際のアパートの転倒や橋梁の橋げたの落下などで知られるようになった。ゼロメートル地帯の堤防と防潮堤が、地震に際して転倒や移動をしたならば、甚大な災害を引き起こすことは間違いない。これらの施設の地盤を含めた耐震補強は地道に進められており、大地震でも深刻な損壊が発生しないことを祈るばかりである。



堤防の耐震対策の様子（隅田川）



水門の耐震対策の様子（源森川水門）

左：新潟地震にでの鉄筋コンクリート橋桁の落下（新潟市）、中：新潟地震での鉄筋コンクリート製アパートの転倒（時事通信社）、右：都心の堤防や水門の耐震補強工事（東京都）

洪水に対する防災意識低下の現実：かつて洪水は、首都圏においても珍しいことではなかった。二十世紀後半に至るまで、利根川や荒川など主要河川に沿った低地帯の農家では、洪水で湖中に孤立した場合に備えての土盛りした高台に置いた水防小屋（水塚）や、孤立時の移動のための小船の用意などは普通になされていた。稲作農家以外は、低地においても自然堤防など、ある程度の高度をもつ土地に家屋を構えていた。



左：古来からの洪水への備え・水防小屋＝水塚（千葉県立関宿城博物館）、中：江戸市中の洪水リスクを低減させるための度重なる主要河川の流路切り替え工事＝瀬替え（国交省）、大阪平野中央部を横断する大和川の瀬替え（柏原市）

治水の施設の整備が進むとともに、多くの地域で洪水の発生頻度が減少することで、低地のただなかに宅地が造成され、一般市民の洪水対策の意識やスキルが低下している現実がある。ハードが整ってきたからこそ、いざ発災の場合の規模の大きさや電気・水道等のインフラ停止期間の長期化について、普段から想定して対応方法を準備しておくことが必要である。

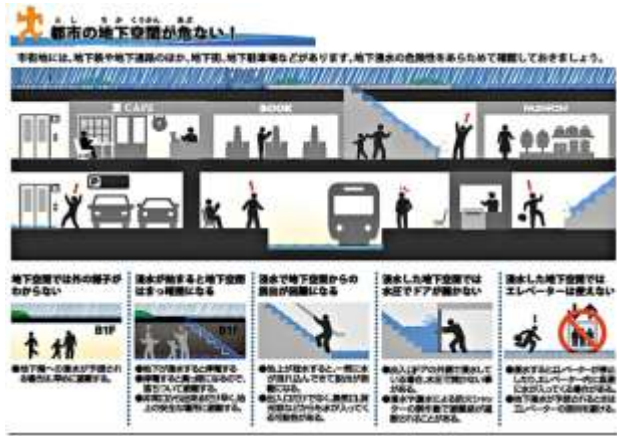
洪水時の避難： 日頃からハザードマップや関係資料を調べ、発災が切迫したならば速やかに適切な避難行動を取るようにしておくことが命を守るために必要となる。特に、自身の居住地が、低い土地や洪水が押し寄せて来やすい土地かどうかはを知っておくことは、洪水被害に遭わないための第一歩である。洪水の発生が危惧される天候悪化の際は、気象庁からの気象警報、自治体からの避難情報に従い早めの行動が求められる。

内閣府「避難勧告等に関するガイドライン」を基に気象庁作成

避難勧告等 (避難勧告等に関するガイドライン(発令基準・防災体制編) P1、P6、P10～P26)			気象警報等	
対象区域の考え方	種類	判断基準の設定例	種類	
○避難勧告等の対象とする区域 ・洪水ハザードマップやその基となる各河川の洪水浸水想定区域を基本として設定する。 ○立退き避難が必要な状況 ・河川から氾濫した水の流れが直接家屋の流失をもたらすおそれがある場合 ・氾濫した水の浸水の深さが深く、屋内安全確保をとるのみでは命に危険が及ぶおそれがある場合 ・人が居住・利用等している地下施設・空間のうち、その居住者・利用者に命の危険が及ぶおそれがある場合 ・ゼロメートル地帯のように浸水が長期間継続するおそれがある場合	避難指示(緊急)	・決壊や越水・溢水が発生した場合 ・A川のB水位観測所の水位が、氾濫危険水位である(又は当該市町村・区域の危険水位に相当する)〇〇mを越えた状態で、指定河川洪水予報の水位予測により、堤防天端高(又は背後地高)である〇〇mに到達するおそれが高い場合(越水・溢水のおそれがある場合) ・異常な潮水・侵食の進行や亀裂・すべり等により決壊のおそれが高まった場合 ・格門・水門等の施設の機能支障が発見された場合(発令対象区域を限定する)	氾濫発生情報	洪水警報
	避難勧告	・指定河川洪水予報により、A川のB水位観測所の水位が氾濫危険水位である〇〇mに到達したと発表された場合(又は当該市町村・区域の危険水位に相当する〇〇mに到達したと確認された場合) ・指定河川洪水予報の水位予測により、A川のB水位観測所の水位が堤防天端高(又は背後地高)を越えることが予想される場合(急激な水位上昇による氾濫のおそれがある場合) ・異常な潮水・侵食等が発見された場合 ・避難勧告の発令が必要となるような強い降雨を伴う台風等が、夜間から明け方に接近・通過することが予想される場合	氾濫危険情報	
	避難準備・高齢者等避難開始	・指定河川洪水予報により、A川のB水位観測所の水位が避難判断水位である〇〇mに到達したと発表され、かつ、水位予測において引き続きの水位上昇が見込まれている場合 ・指定河川洪水予報の水位予測により、A川のB水位観測所の水位が氾濫危険水位に到達することが予想される場合(急激な水位上昇による氾濫のおそれがある場合) ・軽微な潮水・侵食等が発見された場合 ・避難準備・高齢者等避難開始の発令が必要となるような強い降雨を伴う台風等が、夜間から明け方に接近・通過することが予想される場合	氾濫警戒情報	
			氾濫注意情報	洪水注意報
・気象注意報が発表された場合は、防災気象情報入手し、気象状況の進展を見守る。 ・連絡要員を配置し、防災気象情報の把握に努める。			—	予告的な気象情報

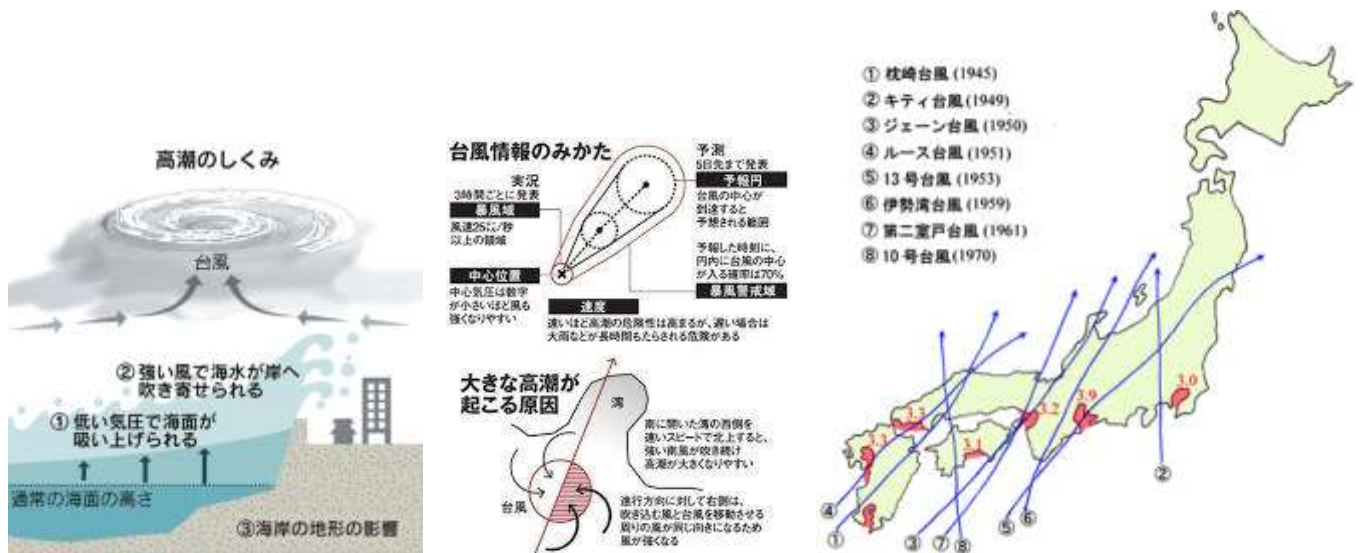
(注) 避難が必要な状況が夜間・早朝となる場合にはより早期の対応が必要になること等がガイドラインでは示されています。

洪水に関する気象情報と避難情報（気象庁）



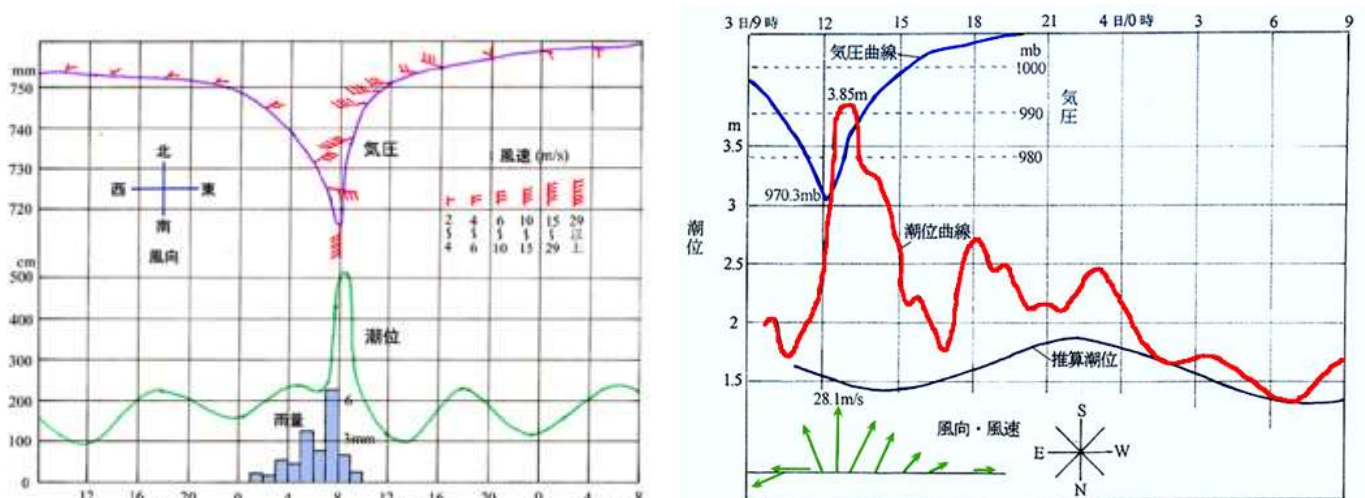
左：低い土地に住んでいる人はとにかく高い場所へ避難（江戸川区）、右：地下街にいたらとにかく地上へ避難（国土交通省）

高潮の発生過程： 多くの高潮は、強い台風の接近に伴って発生する。 高潮が発生する好適な条件は、主として北ないし北東方向へ湾入する遠浅の海域の西側を強い台風が北上した場合である。 その際、主として南ないし南西の風により海水が吹き寄せられることおよび減圧吸引効果で海面が上昇して高潮が発生し、陸域が浸水する。 解説書には低い気圧による吸い上げ効果が筆頭に上げられることが多いが、仮に 900hPa の極めて低い気圧であってもそれによる吸い上げ効果は 1 m に過ぎず、高潮災害の際の潮位が 3~4m であることを考えると、潮位上昇に占める減圧吸引の効果は 1/3~1/4 に過ぎないことがわかる。 高潮の発生は、強風が急激に風向を変化させることに起因するため、潮位の上昇も急激で、多くの場合段波となり、感覚的には潮位の上昇と言うよりも津波の来襲のような様相を呈すると考えられる。



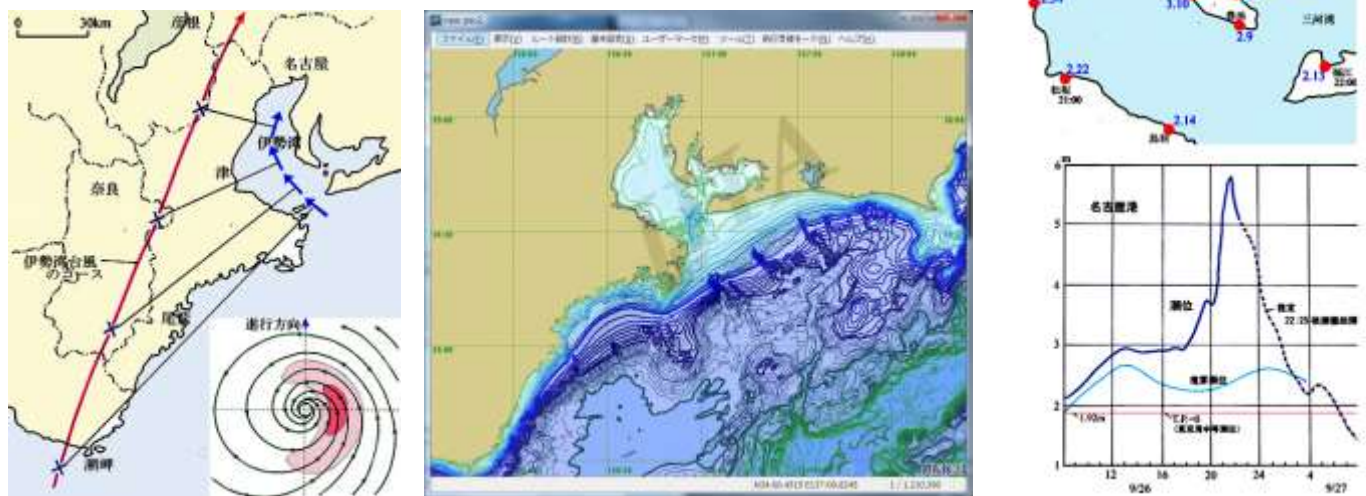
左：高潮の発生機構は南風の吹き寄せ効果が主体（日経新聞）、中：高潮を起こしやすい台風は北向きの湾の西側を北上（朝日新聞）、右：主な高潮災害をもたらした台風の進路（防災科学技術研究所）

高潮災害の多くは、台風が被災地の西側を北上する際の、風速の急激な増加と風向の急激な変化（東寄りから南寄りへ）に伴う、急激な海面上昇によって引き起こされている。 潮位は、潮汐による天文潮位と、風による吹き寄せ効果と減圧吸引の和である気象潮位の総和になる。 わが国では、北に湾入する遠浅の海底地形を持つ東京湾、伊勢湾、大阪湾、有明海などが、たびたび高潮被害を受けてきた。 津波と同様、海岸線や海底地形との共振効果が起こると、より高い潮位が発生すると考えられている。



台風通過時の風が東風から南風になるとともに風速が最大になるとともに潮位が急上昇する（防災科学技術研究所）

高潮による災害： わが国を代表する高潮災害は、戦後日本の巨大自然災害の代表格ともいえる 1959 年の伊勢湾台風である。伊勢湾は、湾口が東に開口し、湾奥が北に向か遠浅の海底地形をもつため、台風が西側を北上すると高潮の発生に好適な条件がそろそろ。紀伊半島潮岬付近に中心気圧は 929 hPa で上陸時し、北北東に進路をとり伊勢湾の西側を時速 60-70 km で北上して行った。発生した高潮の上昇潮位は 3.89 m であり、満潮ではなかったものの基準潮位よりも 5 m 以上も高かった。貯木場の原木が激しく流されたことにより多くの家屋等を破壊し、5000 名以上の犠牲者がでた。

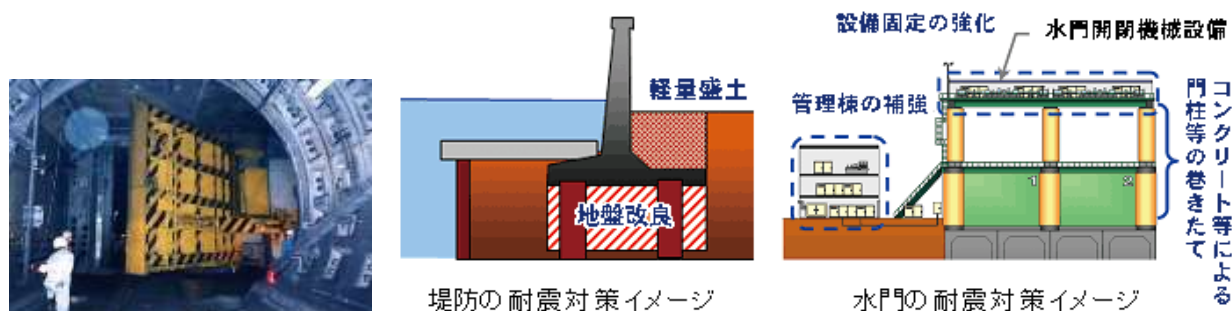


左：伊勢湾台風の進路（防災科研）、中：伊勢湾の海底地形（海図ネット）、右：伊勢湾台風通過時の各地の潮位（防災科研）



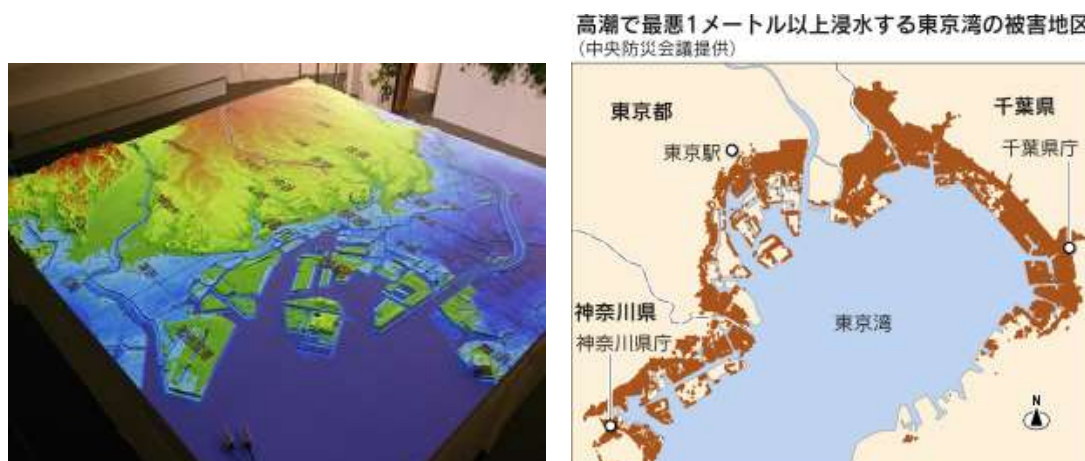
左：伊勢湾台風での操車場の被害（中日新聞）、中：流木による被害（毎日新聞）、右：伊勢湾台風の人的被害（防災科研）

高潮に対するリスク： 三大都市圏のゼロメートル地帯は、いずれも高潮に対するリスクが高い。 都心では、地下鉄の要所に防水扉を設けるなどして、地下鉄路線が都内全域の地下空間を水没させることのないよう対応している。ゼロメートル地帯の防潮堤は、コンクリート構造物自体だけでなく、その基礎地盤の耐震補強のための地盤改良等を行っている。



左：都心の地下鉄の防水扉（メトロ）、右：ゼロメートル地帯の防潮堤や水門の耐震対策（国交省）

洪水・高潮に対する防御・避難： 東京湾は湾奥全体が高潮に対して脆弱である。 ただし、新規の埋立地は十分な海拔高度をもっており、一定程度の高潮であれば水防を免れることが期待できる。



左：東京都心の立体地形模型（地球技研・芝原暁彦）、右：東京湾岸の高潮被災想定地域（日経）



高潮に関する防災情報と気象情報（気象庁）