

伊勢湾台風災害のインパクトと戦後台風災害の経年的変化

水谷武司*

Impacts of Typhoon Isewan Disaster and Secular Changes in Post-war Typhoon Disaster

Takeshi MIZUTANI

Visiting Researcher,

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

mizutani@bosai.go.jp

Abstract

Human life losses from typhoon and heavy rain disasters occurred at night time were great in about 15 years after WW II. Average human casualty ratio for typhoons landed late at night was about 5 times larger than that landed in daytime. At the first half of 1960's, the ratio showed a sharp drop, about one-eighth, mainly owing to the decrease in the ratios of typhoons landed late at night or caused high storm surges. The sharp drop is mainly attributable to effective warning dissemination and quick evacuation greatly urged by the disastrous damage from Typhoon Isewan which highly raised hazard awareness of residents in lowland areas. The ratio, however, increased after second half of 1960's for a while, probably because the effect of hazard experience was reduced by lapse of time. Over the entire post-war period, the casualty ratio shows a long-term declining trend, which is supposed to be resulted from the decrease in the amount of destroyed houses owing to the widespread adoption of flood-resistant structures, investment of large amounts of national budgets for the construction of facilities against hazards, improvement of information acquisition and dissemination system, reinforcement of integrated administrative system for disaster prevention and so on. The altitude at the margin of storm surge flooding by Typhoon Isewan was fairly below the maximum tide level on deltaic lowlands. Based on the numerical calculation to reproduce the storm surge flooding onto coastal lowlands, geomorphic criterions for risk area delimitation were derived.

Key words : Typhoon Isewan, Human casualty ratio, Causative factors of typhoon disaster, Measures against storm surge, Risk area delimitation

1. はじめに

第二次大戦後毎年のように大きな災害が起こり防災への再取り組みが続けられていたが、死者5千人を超えるという伊勢湾台風の巨大な被害は日本の社会全体にとりわけ大きな衝撃を与え、各種防災対策の一層の進展を促した。2年後の1961年には、国や地方自治体の防災行政の基本を定める災害対策基本法が制定された。全国の多くの海岸において「伊勢湾台風クラスの台風が来襲した場合」というのが高潮防災計画の設定外力とされるようになった。海岸防災事業費は翌年から20倍にも増額され短期間に集中投入された。大きな高潮被害を被った名古屋市臨港域には日本では異例といえる広域の災害危険

区域が設定され現在も引き続いている。全国各地の水害危険域住民の危険意識は大いに高められて災害情報・警報に敏感に反応し、その直後の風水害被害急減につながった。2年後に伊勢湾台風を上回る勢力で来襲した第二室戸台風では、高潮による死者がほとんどなかったのがその典型例である。

日本の災害・防災に伊勢湾台風災害が及ぼしたこのような影響を、戦後台風災害の経年的変化の中にこの災害を位置づけて評価する。また、この災害が与えた課題の一つである高潮危険域の判定方法につき検討する。

なおここで、伊勢湾台風災害の被害規模について簡単に触れておく。被害は九州を除く全都道府県で生じた。

*独立行政法人 防災科学技術研究所 客員研究員

全体の死者数は5,098, うち伊勢湾沿岸の高潮浸水を被った市区町村における死者数は4,430であった。これの数%程度は高潮以外の主として強風の直接作用によるものと推定される。1934年の室戸台風はエネルギー規模が伊勢湾台風の約2倍という観測史上最強の台風で、大阪湾に大きな高潮を引き起こした。この高潮および強風などによる死者は3,036人であった。伊勢湾台風災害は人的被害規模でみるとほぼ史上最大の風水害であったと言えるであろう。

住家流失・全壊戸数は40,841で、室戸台風とほぼ同規模である。高潮被災域における流失・全壊数は16,950であった。住家損壊は最主要的な1次破壊被害で、この大きさが地域社会に与えるインパクトの規模をほぼ決めるという関係にある。たとえば被災地域からの人口流出数(これは災害のインパクトを総合的に表す)は住家損壊数に比例している。伊勢湾台風の当時はいわゆる岩戸景気の始まりで、高度経済成長へと向かう活況の時代であった。このため地域社会へのインパクトは相対的に小さく、社会経済指標の落ち込みは短期間で済み、すぐに災害前の上昇の趨勢に復帰した。

愛知・三重両県の被害金額は約5,000億円と算定されている。これから総被害金額を推定すると約7,500億円(現在価格に換算すると約4.5兆円)になる。これは当時のGDPのおよそ6%に相当する。なお、兵庫県南部地震による直接被害はGDPの約2%、関東震災では50%を超えたと推定される。

2. 台風災害の発生要因と経年的変化

2.1 被害関数

自然災害による被害の規模は基本的には、加えられた自然外力の大きさによりその大枠が決められ、災害時の外的条件(時刻・季節・気象条件等)、地域の災害環境(土地条件・社会素因等)、地域の災害抵抗性(防災対策・住民意識等)などの要因がこれを増減させるという関係にある。これらのいわば副次的な要因が被害に与える影響を評価するためには、外力の規模の影響を取り除く必要がある。

台風という自然外力の規模は、大きさ(強風圏の半径など台風圏の広さ)と強さ(最大風速・中心気圧など)によって表現されている。台風圏の広さは被災域の大きさに関係する。最大風速は破壊力を示す値であることは明らかであり、これはまた大気の大気対流の強さを通じて降雨の強度にも関係する。中心気圧の深さは気圧の傾度を、従って風速の大きさを決める。

台風のエネルギー規模にかかわる量に工率(power)とよばれる値がある。これは台風の中心気圧深度(1気圧と中心気圧との差)の1.5乗と台風の円形等圧線半径の2乗との積で与えられ、台風が単位時間に摩擦で失う運動エネルギーに比例する量とされる。一般に台風被害の発生域は台風の進行方向に伸びるので、被害の大きさは円形等圧線半径の2乗(これは台風圏全体の面積である)ではなく、より小さなべき乗と比例関係にあるので

(水谷, 1996), 戦後台風の統計分析により経験的にこの値を決めることにする。

対象とした台風は、1946~2005年の60年間に日本本土に上陸あるいは非常に接近して被害を与えた139台風である。台風の大きさは、1990年以前には1,000hpa以下の円形等圧線半径により、1991年以降は強風域(風速15m/sec以上)の半径で表されている。1990年以前の台風についての強風域のデータは得難いので、天気図により容易に求められる円形等圧線半径によって大きさを定義することとする。ただし、最大円形等圧線は周囲の気圧分布の状態によっては1,000hpaを超えることもあるので、ここでは1,000hpaに限定せず、ほぼ円形に閉じた等圧線で囲まれる領域についての平均半径で与える。

台風のエネルギーの源泉は、海水蒸発により生じた水蒸気の持つ熱エネルギーである。上陸するとこのエネルギー供給が断たれること、および陸地面との大きな摩擦により、台風勢力は急速に減衰する。このため上陸時ごろに上陸地点付近で被害の多くが発生することが非常に多いので、上陸時あるいはその直前の大きさと強さにより台風の勢力を表すこととする。

対象としたのは、本土(九州・四国・本州・北海道)に上陸しあるいは中心が海岸線からほぼ50km以内に近づき、1名以上の死者を出した台風である。対数変換して統計処理を行うので被害量0のデータは扱えないために、上陸はしても死者がなかった台風は除外した。また、台風前面の前線を刺激して被害の大部分が前線豪雨域で生じた弱い上陸台風、および海岸に平行して長距離移動したため最接近時を決め難い台風も対象外とした。このような台風は60年間に約30ある。

被害規模を決める独立変数としては、台風の大きさと強さ以外に、年代、時刻および大きな高潮被害を引き起こしたか否かという定性的要因を加え、回帰分析を行った。これらは分類基準による質的変量で数量を持たないので、0か1かの数値を与えダミー変数として、通常最小二乗法による計算を行った。

社会条件の変化や防災対策の進展などにより、戦後における被害規模の経年的な変化は著しいので、年代は重要な要因である。災害発生時刻は情報伝達・避難行動の難易に関わって人的被害の規模に影響を与える。台風が大都市のある湾奥低地に高潮を引き起こすようなコースをとるか否かで被害は大きく変わってくるので、その影響を除くために高潮の要因を加えた。大高潮被害台風は建物損壊数の多さで判断した。その総数は8で、うち5が戦後15年間におけるものである(表1)。

1946~2005年に上陸・来襲して被害をもたらした139台風についての、死者数を目的変数として導いた回帰式は次式で示される。

$$D = 7.27 \times 10^{-6} P^{1.5} R^{1.3} K_1 K_2 K_3 \quad (r=0.814)$$

$$K_1 = 9.04 \text{ (1946~60年)}, 2.64 \text{ (1961~80年)}, 1.00 \text{ (1981~2005年)}$$

$$K_2 = 2.11 \text{ (深夜)}, 1.17 \text{ (夕刻)}, 1.00 \text{ (朝~昼間)}$$

表1 主要台風（勢力大あるいは被害度大の台風）
Table 1 Major typhoons in post-war period.

台風名	死者数	住家損壊数	台風勢力	人的被害度	建物被害度	備考
1947年 カスリン台風	1,540	8,197	11	143	64	利根川破堤，氾濫流は東京まで到達
1948年 アイオン台風	838	11,954	17	49	18	北上川支流氾濫，一関で大被害
1950年 ジェーン台風	508	35,447	8	61	139	大阪湾に高潮，大阪市 56km ² 浸水
1951年 ルース台風	943	48,389	34	27	35	山口で土砂の被害，鹿児島で高潮の被害大
1953年 13号台風	478	17,338	34	14	13	全都道府県で被害，三河湾で高潮被害大
1954年 洞爺丸台風	294	19,629	14	22	71	強風被害大，青函連絡船洞爺丸など沈没
1958年 狩野川台風	1,269	3,206	15	83	12	伊豆・狩野川氾濫，首都圏浸水 40 万戸
1959年 伊勢湾台風	5,098	97,396	45	113	60	伊勢湾沿岸の高潮浸水域の死者 4,300
1961年 第二室戸台風	202	38,599	47	4	22	大阪湾に高潮，最大瞬間風速 85m/s (室戸)
1965年 24号台風	107	993	19	6	2	
1966年 26号台風	312	7,151	6	50	41	山梨・静岡で土石流被害大
1976年 17号台風	169	2,515	11	15	8	雨総量 830 億トン，最大日降水量 1,114mm
1991年 19号台風	62	936	14	4	2	強風被害大，損害保険金支払額 6 千億円
1999年 18号台風	36	1,592	16	2	3	八代海・周防灘に高潮
2004年 23号台風	98	4,772	19	5	10	
2005年 14号台風	29	2,930	14	2	7	

住家損壊数：流失＋全壊＋半壊/2，台風勢力： $P^{1.5} R^{1.3} \times 10^{-5}$ ，人的被害度：死者数/台風勢力，
建物被害度：住家損壊数/ $P^{3.6} R^{1.0} \times 10^{-5}$

$K_3 = 3.05$ (高潮台風 $N=8$)， 1.00 (高潮台風以外) (1)

ここに， D ：全国の死者・行方不明数， P ：上陸時の中心気圧深度 (hPa)， R ：上陸時の最大円形等圧線半径 (km)， r ：重相関係数である。 $K_1 \sim K_3$ は年代係数，時刻係数および高潮係数と名づけられる値で，ダミー変量に 0 を与えたカテゴリーを 1.00 とした相対値で表している。たとえば年代係数の場合，1946～60 年の台風については比例定数に 9.04 が乗じられる，すなわち，台風勢力は同じでも 1981 年以降の台風と比べ死者数がほぼ 9 倍になっていたことを示す。戦後のおよそ 15 年間には死者数の多い風水害が頻繁に発生したが，60 年代になってこれが急減した。この原因を考察するのが本稿の主要な目的の一つである。

時刻については，まず明暗の条件から 6 時～18 時の上陸のものを朝～昼間とし，暗い時間帯についてはほぼ就寝時刻にあたる 22 時を境としてそれ以前を夕刻，それ以後を深夜とした。現在は夜型社会になっているが以前は寝静まるのが早かった。なお，ここで得られた時刻係数は全期間の平均的な値であり，年代による差は大きい。高潮被害の非常に大きかった台風の数 8 である。

この回帰分析の結果から，人的被害に関わる台風勢力は $P^{1.5} R^{1.3}$ とすることができる。 R の指数値は工率の場合の 2.0 よりも小さい。

住家損壊数 H (流失＋全壊＋半壊×0.5) を目的変数とする回帰式は次式で示される。

$$H = 1.17 \times 10^{-6} P^{3.6} R^{1.0} K_1 K_2 \quad (r = 0.833)$$

$$K_1 = 28.85 \text{ (1946～60 年)}, 6.87 \text{ (1961～80 年)},$$

1.00 (1981～2005 年)

$K_2 = 6.58$ (高潮台風)， 1.00 (高潮台風以外) (2)

住家損壊被害の経年的低下は著しい。同じ勢力の台風であっても，大きな高潮を起こすコースをとるか否かで，被害は平均して 7 倍も違ってくる。住家損壊被害に関わる台風勢力は $P^{3.6} R^{1.0}$ で与えられ， P のべき乗値は非常に大きい。 P は台風中心に向かう気圧傾度を，従って風速を決める量である。

台風の最大風速は P の 0.5 乗に比例するという経験式がある。一方，建物被害の大きさは風速のほぼ 6～7 乗に比例する。このことから P のべき乗が 3.5 程度になることが導かれ，回帰分析結果と一致する。

2.2 経年変化

被害高を単位台風勢力あたりの大きさに直して台風勢力の違いの影響を除去し，このいわば被害度の経年的変化により，防災対策の進展，社会の災害抵抗性・脆弱性の変化などによる台風被害の変化を調べる。

各台風について死者数を台風勢力 ($P^{1.5} R^{1.3}$) で割って人的被害度を求め，その 5 年平均を来襲時刻別に経年的に示したのが図 1 である。戦後のほぼ 15 年間には死者数の非常に多い台風災害が多発した。それらは深夜 (22 時～5 時台とした) に上陸した台風によるもので，時刻が被害の規模に大きな影響を与えているので，被害度を深夜とそれ以外の時間帯に分けて図示した。ただし，高潮被害大の台風では，時刻にあまり関係なく昼間でも大きな被害が，特に戦後 15 年間には多く発生したので，これを除外した。

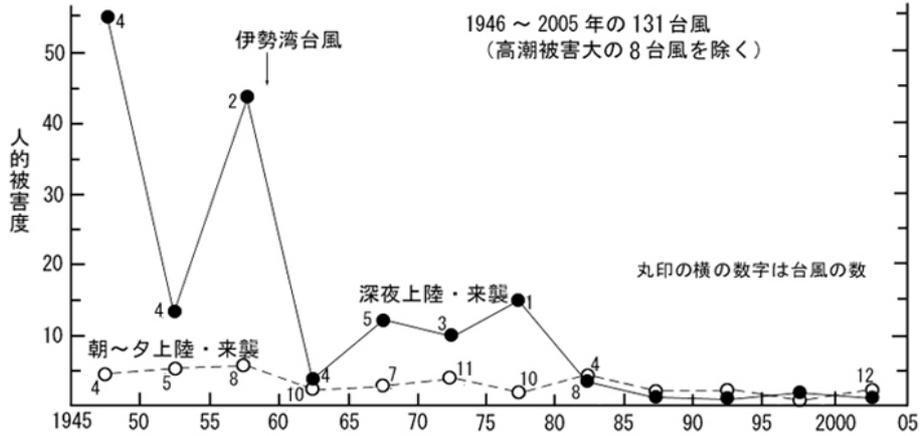


図1 台風による人的被害度の経年変化
 人的被害度：死者数/台風勢力 ($P^{1.5} R^{1.3} \times 10^{-5}$)
 Fig. 1 Secular change in human casualty ratio.

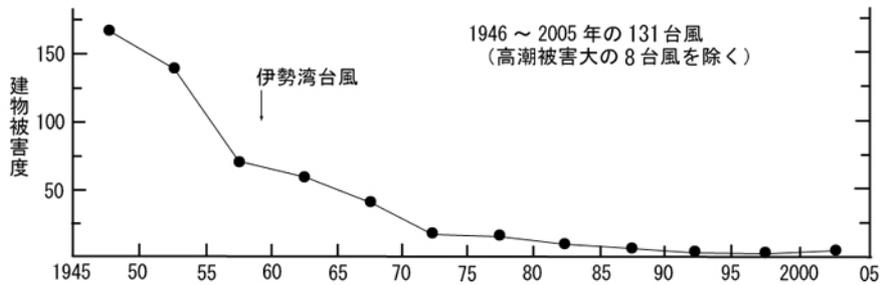


図2 台風による建物被害度の経年変化
 建物被害度：住家損壊数/台風勢力 ($P^{3.6} R^{1.0} \times 10^{-5}$)
 Fig. 2 Secular change in housing damage ratio.

1946～60年の台風についての回帰分析から得られた深夜の時刻係数は4.8で、この期間には深夜上陸の台風による死者数は朝～夕刻の時間帯のそれに比べ平均5倍ほど多かった。昼間上陸が多かった高潮台風を除くと、図1に示されるようにこの違いは7倍ほどである。1960年代に入って深夜上陸台風の人的被害度は大きく低下し、80年代以降では時刻差がほぼなくなっている。一方、朝～夕上陸台風の被害度にはこれほどの経年変化はみられない。

このように1960年ごろを境にした死者数の急減は深夜上陸台風の被害の急減によるものであり、情報・警報の伝達と避難行動の難易に関わる要因の変化がその主因であることを示唆している。台風以外の低気圧・前線による災害でも、1953年の西日本水害(死者数1,013)、南近畿水害(死者数1,124)、山城水害(死者数430)、1957年諫早豪雨(死者数992)など、深夜に発生した大きな洪水・土砂災害が多かった。

人的被害度は1961～65年の期間に著しく低下した後、1966～80年の期間にはかなり増大した。それは深夜上陸台風について特に大きい。この被害度再上昇には、伊勢湾災害の与えたインパクトが時間の経過で薄れたことが

関わっていると推測できる。災害経験は避難を促進させる最大の要因であるが、これはかなり早く忘れられる性質のものでもある。なお、1966～75年の期間(昭和40年代)における深夜台風の大きな人的被害度は土砂災害が多かったことによるものである。この期間には高度成長下で丘陵地・山地の土地改変が大規模に行われて、土砂災害の多発につながった。

住家損壊数を建物被害に関わる台風勢力 ($P^{3.6} R^{1.0}$) で割って得た建物被害度の5年平均値の推移を示したのが図2である。人的被害度の場合とは異なり一貫して低下しており、敗戦直後に比べ現在ではおよそ1/100という著しく小さくなっている。これは戦後の経済復興と引き続き高度成長下での生活水準の上昇に伴う住宅の質の向上によるところが大きい。その経年変化の趨勢はロジスティック関数的であり、現在ではこれ以上ほとんど低下しないという、いわば飽和の状態にあるような様相を呈しているように見受けられる。

1950年に建築基準法が施行され、木造住宅の土台は金具でコンクリート基礎に緊結するように定められた。これが次第に普及した結果、洪水により流失する家屋が現在ではほとんどなくなり、全壊家屋も非常に少なくなった。

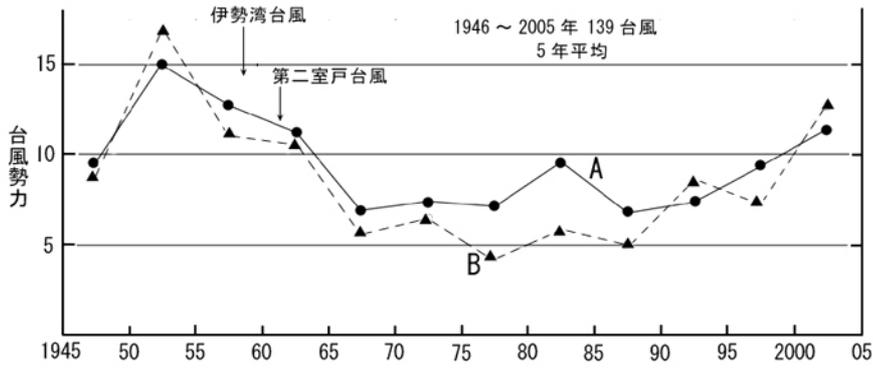


図3 台風勢力の経年変化
 $A : P^{1.5} R^{1.3} \times 10^{-5}$, $B : P^{3.6} R^{1.0} \times 10^{-5}$
 Fig. 3 Secular change in the power of typhoon.

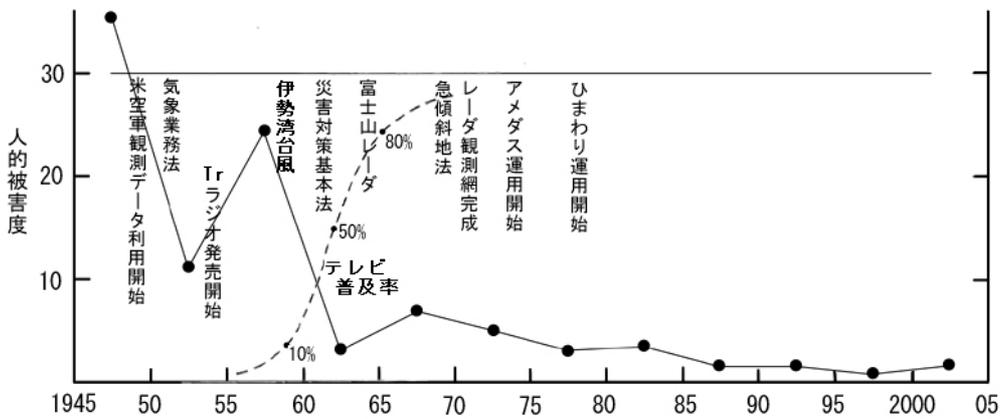


図4 人的被害度の経年変化と関連事項
 Fig. 4 Secular change in casualty ratio and related matters.

家屋はわずかでも浮き上がると容易に押し流され壊れる。浮力が効きやすい平屋住宅が少なくなったこともまた関係している。この流失・全壊家屋の減少は死者の発生を抑えることにつながった。

家屋浸水被害度は、図示しなかったが、敗戦直後非常に大きかった後低下し、1950年代から70年代までの約30年間ほぼ一定の水準を保ったが、80年代以降大きな低下の傾向を示している。1960～70年代における都市域の低地への拡大が内水氾濫を助長して内水対策が追いつけなかったことが、浸水被害度の低下を抑えたものと考えられる。近年都市水害が問題視されているが、都市域の浸水被害は1970年代ころに比べ大きく減少して現在に至っている。

上陸台風の勢力にはかなりの経年的変化がみられる(図3)。人的被害度の急減後も含む1951～65年の期間には台風勢力はかなり大きかったが、1966～90の期間にはその3分の2ほどに小さくなっていった。1960年ごろを境にした死者数急減には台風の勢力の違いは関係していないことがこれからわかる。先に示したように1966～80年の期間には深夜台風の人的被害度がかなり大きく

なったが、もし台風勢力が低下していなかったならば死者の絶対数はかなり大きくなっていただであろう。

1990年代以降、上陸台風の勢力は増大の趨勢を示し、それは2000年以降特に大きい。これは地球温暖化の影響を推測させる。地球気温の上昇は、海水温を上昇させ大気対流活動を活発にするので、台風の数には特に変わらないもののその勢力は強められると予測されている。台風は夏季の太平洋高気圧の西縁を回り込むようにして本土に襲撃するが、温暖化は太平洋高気圧の位置を北上させるので、台風来襲コースが変わって、上陸数に変化する可能性が大きい。

2.3 被害度規定要因

被害度の経年的変化および社会経済環境変化などに基づいて、台風被害度を定める要因、特に伊勢湾台風直後の1960年ごろを境にした人的被害度急減に関わった要因につき検討する(図4)。

1961年9月、伊勢湾台風よりも勢力のやや大きい第二室戸台風が来襲して大阪湾沿岸に大きな高潮を引き起こし、大阪市臨港地域などが広範囲に浸水したが、高潮による直接の死者はほとんど生じなかった。大阪では1934年

室戸台風と1950年ジェーン台風により大きな高潮被害を被ったという直接の被災経験があったところへ、同じような土地環境の名古屋における巨大災害の教訓が加わって、数十万の危険域住民は警報に敏感に反応し、迅速な避難を行った。この結果として、伊勢湾台風と比べ高潮死者数ほぼ1/1000という最小の被害にとどまった。

最高潮位の時刻は昼の13時ごろであったこともまた幸いした。なお、それ以前の大高潮の最高潮位時刻は、室戸台風が8時、ジェーン台風が13時、1953年に三河湾に大きな高潮被害を起こした13号台風は17時であったが、総死者数はそれぞれ3,036, 508, 478であり、発生時刻にあまり関係なく高潮は多くの死者を以前には出していた。

この第二室戸台風を典型例とし、伊勢湾の教訓が活かされたことを反映して1961～65年における14個の台風の平均人的被害度は、現在示す非常に低い水準近くにまで急減した。しかし災害の教訓はかなり早く忘れ去られる。続く1966～74年の期間には66年26号台風(死者318)など人的被害度の大きい台風災害が数多くはないが発生し、深夜台風の平均人的被害度を高くした。それらの勢力があまり大きくはなかったこと、高い高潮を起こすコースを取らなかったこと、豪雨域が山間僻地であったため土砂災害が主体となったことなどにより、被害の総数は多くはならなかった。

大災害の記憶は薄らぎ災害経験の効果は低下したとしても、この間に高度成長による経済水準上昇に伴い住宅の質は向上して、建物被害度は急速に低下してきた。1970年代の建物被害度は、伊勢湾台風や第二室戸台風時の1/4、敗戦直後の1/10に低下していた。

自然災害全体を通じて死者数と住家損壊数とは比例的な関係にあり、1次的な破壊被害である住家の全壊や流失の減少は2次的に死者の減少をもたらす。住家損壊数は被災域に加えられた破壊力の規模を代表して表す数値である。災害時の具体的状況を考えてみると、豪雨・強風時に多くの人々は建物の中に留まっている。夜間には自宅にいる人が大部分である。この状況で住宅など建物が破壊され流されれば、多くの人命が失われることになる。建物被害度は現在まで一貫して低下の傾向を示し、人的被害の発生を抑える役割を果たしてきた。

深夜上陸台風の人的被害度が大きく変化し、台風上陸時刻(災害発生時刻)が人的被害度の変化に関わっているということは、避難行動に関わる条件が変化したことを示している。大多数の人が寝静まっている深夜の時間帯では、状況の把握・危険の認知・情報の伝達・避難の実行などが妨げられて、人的被害がそれ以外の時間帯に比べ多くなる。1960年代後半から1970年代にかけての高度成長期に多発した土砂災害では、死者数と住家損壊数との比で示す人命被害度は、深夜のそれが他の時間帯にくらべ約3倍であった。この時刻要因は単に明暗の違いではなくて、起きて活動しているか寝静まっているかなど生活時間帯に関わるものである。

敗戦後日本に駐留してきたアメリカ空軍は、任務の大

きな障害となる台風の飛行機観測をすぐに開始したが、この観測データは1949年から日本の気象庁に提供されるようになり、台風がはるか南方海上にあるところからそれを把握できるようになった。それ以前はほぼ不意打ちの状態に備えの余裕時間はきわめてわずかであり、また情報の精度は低かった。1952年に気象業務法が制定され、防災関係機関を通じて情報・警報を伝達するシステムが組織化された。

1953年にテレビ放送が開始され、天気予報がテレビを通じて伝えられるようになった。テレビの全国普及率は伊勢湾台風時に10%でその情報伝達力はまだ小さなものであったが、1959年から約3年間続いた岩戸景気のなかで、1964年の東京オリンピックに向けて、急速に日本の家庭に普及した。第二室戸台風が来襲した1961年には普及率40%、1964年には75%に達した。テレビの映像による情報伝達力は強力であり、このメディアの普及が災害情報を効果的に一般住民に広く伝達する役割を果たしたであろう。

第二室戸台風時には、大阪府知事が当日朝からテレビおよびラジオを通じて繰り返し避難を呼びかけた。国民の生活時間帯も変化して次第に夜型になり、テレビの放送時間も夜半を越えて延長され、夜遅くでも情報が伝わるようになった。台風最接近時には停電するが、この場合電池式のポータブルラジオが機能する。トランジスタラジオは1954年に発売が開始され、急速に小型化し多機能になり、停電時や戸外などでの情報の取得に役立った。

各種防災対策の進展は次第に被害を低減させてきた。伊勢湾台風による大高潮の後、日本の危険海湾における防潮堤強化に全力が注入され、その後の高潮による被害を大きく減少させた。1961年には災害対策基本法が急ぎ制定された。これは防災関係機関の防災体制の一元化・体系化の基本方針を定めたもので、防災の最前線を担う市町村がこの法律に基づき地域防災計画を策定し、防災担当者を育成し、地域の災害危険性を把握し、地域防災の体制を固めるにはかなりの年月を要したはずである。僻地山村を典型として、過去の災害を伝承し地域の危険性をよく認識している地域では、自らを守る自主防災の態勢はすでに備えており被害を防いできていた。

気象の予警報については、70年代になり全国をカバーする気象レーダー観測網の完成、アメダスの運用開始、気象衛星ひまわりの運用開始などにより、一段とその精度が増した。これらの情報は最近ではインターネットなどにより常時取得できるようになっている。問題はこの情報を受け止める地域住民の意識レベルとその変化である。直接の災害経験あるいは類似の土地環境にある他地域における災害が与える教訓が、危険認識を高め維持する大きな力となる。

戦後の災害による被害、特に人的被害は、社会経済環境の変化や防災対策の進展などによる長期的な低減効果の上に、伊勢湾台風大災害の効果が劇的に加わって、1960年ごろを境にして急減の様相を示したものである。伊勢湾台風被害の巨大さがその落差を際立たせた。

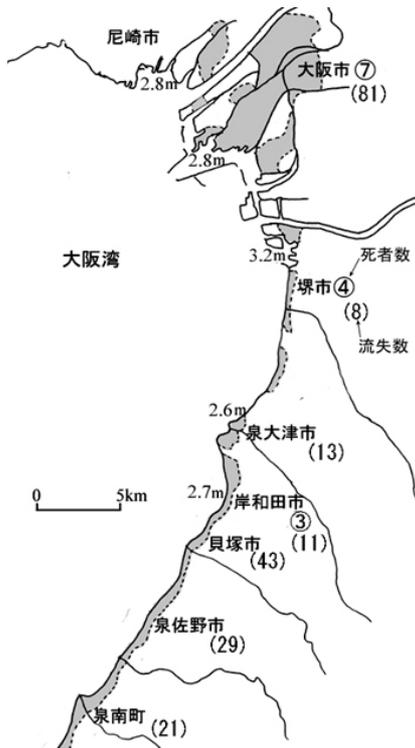


図5 第二室戸台風による高潮被災域。
 円内は死者数、括弧内は住家流失数
 (高潮氾濫域とその激しさを示す)
 Fig. 5 Suffered area from the storm surge
 caused by the Second Muroto
 Typhoon.

3. 高潮災害

3.1 第二室戸台風災害

わずか2年の間において来襲し大きな高潮を引き起こした最大級の台風、伊勢湾台風と第二室戸台風について、情報・避難に関わる状況を比較して示してみる。

1961年9月、伊勢湾台風をやや上回る勢力の第二室戸台風が近畿地方を襲い、大阪湾に最高潮位3.2m(堺)の高潮を引き起こし大阪市中心部が浸水したが、高潮による人的被害はきわめてわずかであった(図5)。伊勢湾台風高潮の被災市区町村における死者数が約4,400であったのに対し、第二室戸台風高潮の被災市区町村におけるそれは14(全国202,大阪府29)で、大部分が強風を原因とすると推定されるので、被害規模は実質1/1000であった(図6)。

大阪湾では日本で最も頻繁に大きな高潮が発生している。近年では1934年室戸台風(大阪港の最高潮位3.4m,大阪市浸水面積49km²),1950年ジェーン台風(同2.5mおよび56km²)により大きな被害を被っている。大阪市における死者数は室戸台風949(高潮浸水の区で750),ジェーン台風221(同196)であった。最高潮位の時刻は室戸台風が8時,ジェーン台風が13時で,いずれも第二室戸台風と同じ明るい,いわば昼間の時間帯であった。これらの直接の被災経験により土地の高潮危険性が地域住民によく知られていたところへ,ゼロメートル地帯の広がる大都市臨港域という同一土地条件のところで起こったわずか2年前の名古屋における大災害の教訓により,危険域の数十万の住民は迅速・的確な避難を行って人的被害を防いだ。

暴風雨警報・高潮警報が発表されたのは,伊勢湾台風では最高潮位(21時30分)の10時間前で,台風がまだ潮岬の南方400kmの海上にある11時15分であった。第二室戸台風では最高潮位(14時)の4時間半前で,すでに台風が室戸岬に上陸していた9時30分のことであった。このように伊勢湾台風の方が警報はかなり早く出されて

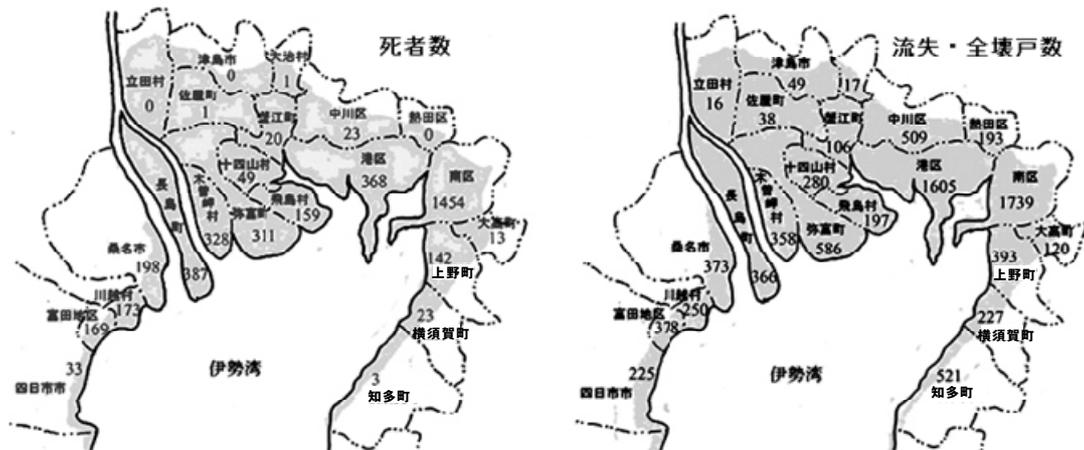


図6 伊勢湾台風高潮による被害の分布
 Fig. 6 Distribution of storm surge damage caused by Typhoon Isewan.

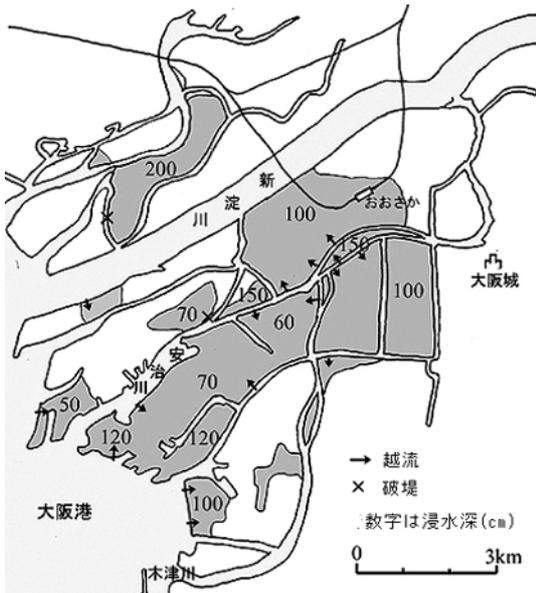


図7 第二室戸台風高潮の大阪市内における氾濫
Fig. 7 Flooding of storm surge caused by the Second Muroto Typhoon.

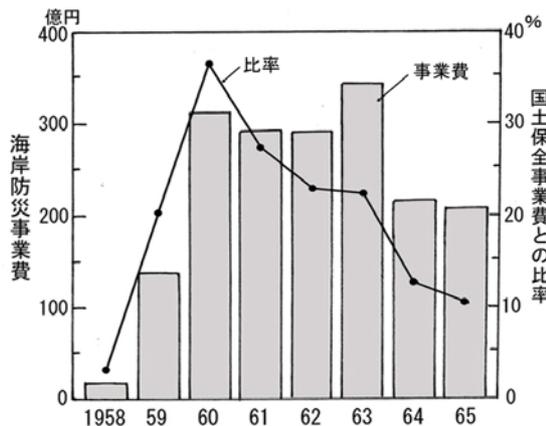


図8 海岸防災事業費の推移
Fig. 8 Construction expenses for coastal structures.

いたが、警報文の内容とその伝達、行政および住民の対応行動に大きな違いがあった。

伊勢湾台風では、2時間おきぐらいで出された台風情報は、「夜半ぐらいに最接近し名古屋港で1.5mぐらいの高潮が予想され、(6年前の)13号台風のときのような被害が予想される」といった内容であった。13号台風のときには名古屋は風が弱くなる台風進行の左側に入り被害は小さかったので、この警報文は危険感を弱める方向に働いた可能性がある。

気象情報は主としてラジオにより一般に伝えられた。災害後のアンケート調査では台風情報を得たのはラジオ75%、テレビ15%であった。しかし18時ごろには早々

と停電したので、その後の切迫した情報は電池式ラジオ以外では伝わらなくなった。当時の名古屋市のラジオ受信契約数31.8万の21%が電池式で、まだトランジスタラジオは普及初期の段階にあった。行政の対応も鈍く事前の避難措置はほぼ行われなかった。風雨は強く刻々と海面が高まっていたにも拘わらず、浸水が始まってから警察により避難の指示がごく一部の海岸部で出された程度であった。

一方、第二室戸台風では、高潮警報の発表はやや遅かったがその内容は、大災害を起こした1934年室戸台風と同じ最悪のコースをとり、それと同じ高さの高潮が生ずるおそれがある、といった危険を十分に喚起する内容のものであった。これを受けて大阪府水防本部は10時までに高潮に対する避難措置を完了するように指示を出した。大阪府知事は10時30分から3回にわたりラジオ・テレビで府民に対し避難と激励を呼びかけた。これは異例の措置であった。当時の全国のテレビ普及率は40%であったが、都市域の大阪では50%を超えていたと思われる。テレビは効果的な情報伝達手段となった。避難の勧告・指示は9時30分から順次危険地区に出され、公共の避難場所には35万の市民が避難を行った。

大阪市の浸水面積は31km²で1934年に匹敵する広さであった。しかしその氾濫形態は、多数の市内小河川・水路を遡上して内陸域で生じたオーバーフローで、海岸堤防の破堤の場合よりも流速の小さい氾濫であったことも、人的被害の少なさにつながった。1950年ジェーン台風では、戦時中に進行した地盤沈下により最高潮位は2.5mと低かったにもかかわらず浸水面積は56km²と大きく拡大した。このため防潮堤や河川堤防のかさ上げが行われていたが、第二室戸台風時にはまだ完成していない状態であったので、各所でオーバーフローが生じ、浸水域はより内陸に広がった(図7)。

このように人的被害の発生に関して第二室戸台風と伊勢湾台風とは全く対照的であった。他地域・他地区の災害をよい教訓として役立てるには、自らの地域の土地環境と災害危険性についてよく認識していることが基礎になる。

3.2 伊勢湾前および後の高潮災害

敗戦直後の10年間には、キティ台風、ジェーン台風、ルース台風、13号台風、洞爺丸台風など大きな高潮の発生が相次いだので、1956年に海岸保全対策を体系化する海岸法が制定され、海岸防災施設の整備がさらに進められた。1959年伊勢湾台風の大高潮災害はこれを一気に加速した。海岸防災事業費は1958年18億円、59年138億円、60年311億円と桁違いに増額された(図8)。国土保全事業投資額に対する比率で見ると、1968年2.9%に対し60年は36.5%、65年10.4%で、海岸防災施設の建造に予算がいかに短期集中的に投入されたが分かる。高潮の高危険海岸はかなり限られるので、予算は重点的に投入でき、その効果は早く表れる。

東京湾など主要海湾について伊勢湾台風の前および後における高潮災害の状況を比較してみる(表2)。

表2 主要高潮
Table 2 Major storm surges in post-war period.

台風名 (西暦年)	発生海域	最高潮位 T.P. (地点)	備考
45年枕崎台風	鹿児島湾	2.6m(鹿児島)	
49年キティ台風	東京湾	2.1m(東京)	81km ²
50年ジェーン台風	大阪湾	2.5m(大阪)	56km ²
51年ルース台風	鹿児島湾	2.7m(鹿児島)	
	瀬戸内海	2.8m(青浜)	1.2m
53年13号台風	三河湾	3.2m(形原)	
	伊勢湾	2.3m(名古屋)	
54年洞爺丸台風	瀬戸内海	2.8m(呉)	1.3m
56年9号台風	有明海	4.2m(紅粉屋)	2.4m
59年9号台風	伊勢湾	3.89m(名古屋)	3.55m
61年第二室戸台風	大阪湾	3.2m(堺)	31km ²
64年20号台風	大阪湾	2.6m(尼崎)	
65年23号台風	大阪湾	1.88m(西宮)	2.3m
	播磨灘	3.4m(痕跡)	東二見
70年10号台風	土佐湾	3.1m(桂浜)	
72年20号台風	伊勢湾	2.57m(名古屋)	
85年6号台風	東京湾	1.94m(千葉)	1.7m
90年19号台風	伊勢湾	1.56m(名古屋)	2.0m
91年19号台風	瀬戸内海	2.91m(広島)	
	有明海	2.58m(大浦)	
99年18号台風	八代海	約4m(痕跡)	不知火
	周防灘	>3.7m(下関)	
04年16号台風	瀬戸内海	2.55m(宇野)	
		2.46m(高松)	10km ²

備考は最大偏差(m), 浸水面積(km²), 痕跡記録地点を示す。

東京湾では1949年キティ台風の高潮により荒川・江戸川下流の低地が広範囲に浸水した(図9)。東京都の被害は死者19, 全半壊流失家屋4,038, 浸水100,845であった。台風は大型で並の強さという規模であって東京湾における最高潮位は2.1m(最大潮位偏差1.4m)とさほど大きなものではなかったが, 荒川・隅田川を遡上し支川・水路に侵入した高潮が多数の箇所では破堤・越流し, ゼロメートル域を中心に氾濫して大きな被害が生じた。これは敗戦の直後のことで, 河川堤防や水路護岸が非常に管理不備の状態にあり, また地盤沈下で低くなっていたためと考えられる。

この災害後高潮対策事業の見直しが行われ, また, 戦後さらに急速に進行した地盤沈下にも対処するため, 海岸部および主要河川に連なる外郭堤防をかさ上げし強化する事業が進められた。伊勢湾台風の後には計画潮位を改定し更なるかさ上げが行われた。1985年の6号台風はキティ台風と匹敵する最大1.94m(千葉)の高潮を引き起こしたが, 被害は全く生じなかった。

東京湾における最大の高潮は1917年(大正6年)の「東京湾台風」により生じた。最高潮位3.08m(最大偏差2.2m)であり, 隅田川と荒川の間は全面浸水し, 江戸川下流部

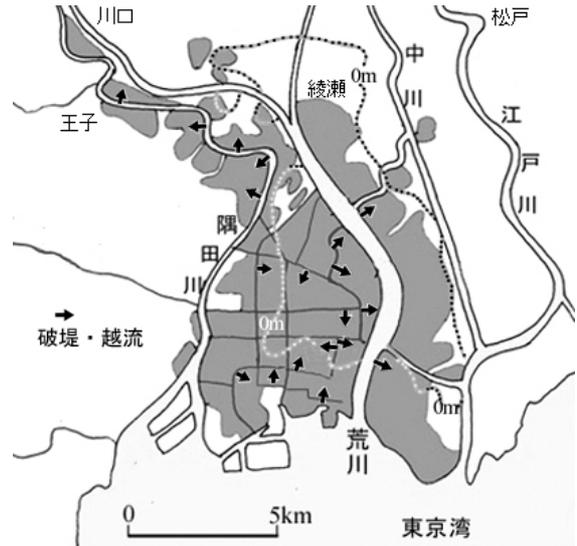


図9 キティ台風高潮の荒川低地における氾濫
Fig. 9 Flooding of storm surge caused by Typhoon Kitty.

では8km内陸にまで(総武線路盤まで)高潮は到達した。死者行方不明は1,300(東京563)であった。浸水面積は87km²でキティ台風のとほぼ同じである。最高潮位に1mの違いがあったにもかかわらず浸水面積が変わらなかったのは, その後の最大4mにも及んだ地盤沈下により広いゼロメートル地帯が形成されたためである。

この後現在まで最大偏差2mを越える高潮は東京湾で発生していない。しかし江戸時代の記録では最大偏差2mを超えたと推定される高潮が3回発生しており, これはほぼ80年に1回の頻度である。大正の大高潮からすでに90年以上過ぎており, その間東京湾では大きな高潮が発生していないので, 備えのレベルが低下し高潮に対する地域の脆弱性が增大していることが考えられる。

大阪湾における戦後最大の高潮災害は1950年ジェーン台風により生じた。大阪港の最高潮位は2.5m(最大偏差2.7m)で, 大阪市の30%が浸水し, 浸水面積は室戸台風を上回った(図10)。これは戦前から進行していた激しい地盤沈下のためである。室戸台風時以降における沈下量は沿岸部で1.5mに達していた。地盤沈下は工業地帯が広がる淀川北岸域で激しく, 尼崎市では海岸から4kmまで高潮が進入した。死者数は総数508人, 高潮被害の大きかった大阪と兵庫では307人であった。幸いほぼ干潮時であったが, もし満潮時であったならば更に0.5mほど海面は高くなったはずである。

ジェーン台風後, 総延長124kmに及ぶ防潮堤が整備された。しかし1950年代になって一層加速した地盤沈下により計画高以下になったところが多く, このため1961年第二室戸台風では河川堤防の各所で越流が生じた。地盤沈下量はジェーン台風以降で1mに達したところもみられた。地下水の揚水規制により大阪における地盤沈下がほぼ停止したのは1962年ごろからである。

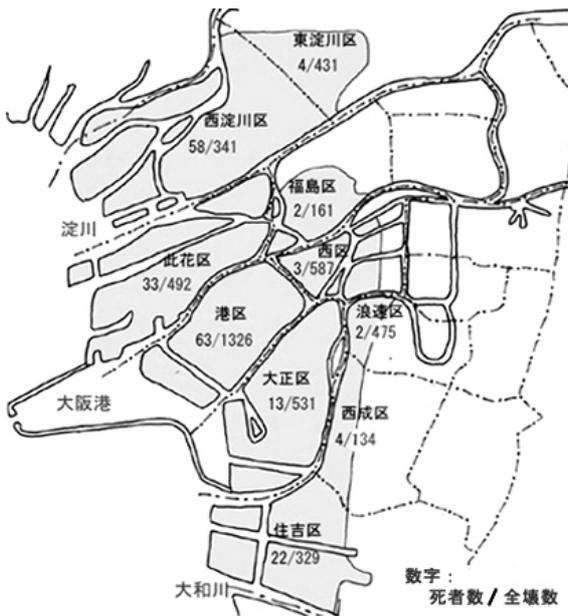


図10 ジェーン台風高潮の大阪市内における氾濫
Fig. 10 Flooding of storm surge caused by Typhoon Jane.

防潮堤は重量が大きいので沈下が激しく起こる。1962年から緊急3か年計画が策定され、堤防高を最大1.2mかさ上げするなどの工事が行われ、1965年に完了した。1964年20号台風では最高潮位2.6m(尼崎)とジェーン台風を上回ったが、大阪・兵庫の両県被害は死者6、全壊・流失179、浸水26,425とジェーン台風よりも1桁小さいものであった。被害の大部分は神戸・西宮で生じた。1965年の23号台風は最大偏差2.3m(西宮)の大きな高潮を引き起こしたが、幸い干潮時であったので最高潮位1.88mと低く、大阪湾での被害は軽微であった。

伊勢湾では1953年13号台風(戦後3番目の勢力)により大きな高潮が発生した。台風は湾の中央を西から東へと横切って進んだ。進行右側の危険半円に入った三河湾では最高潮位3.2mの大きな高潮が発生し、三河湾沿岸で死者74などの被害が生じた。これに対し進行左側になった名古屋港では最高潮位が2.3mで、名古屋市の被害は全壊2、半壊6、浸水44,588とほぼ浸水だけで済んだ。この台風の大きさのわりには被害が小さかったことが、危険意識を弱め伊勢湾台風の大きな被害に結びついたことが考えられる。この災害を契機として1956年に海岸法が制定され、全国で海岸施設の建造が進められた。しかし、伊勢湾北部沿岸は被害が軽微だったため、わずかな復旧改良工事が行われただけであった。

伊勢湾台風災害後、海岸部における高さ5mの防潮堤および名古屋港高潮防波堤の建造が進められ、1964年に完成した。防波堤は名古屋港中央埠頭の沖9kmのところ湾の最奥部をほぼ塞ぐ長さ8.3kmの海中の堤防で、これにより高潮のピークを0.5m、波高を0.7m程度低下させる効果があるとされる。1972年20号台風(大型で並の勢力)は伊勢湾台風とほとんど同じコースをとり、最

高潮位2.57m(名古屋港)の大きな高潮を引き起こしたが、高潮の内陸侵入はほぼ阻止され、愛知・三重両県の被害は死者3、全壊・流失21、浸水5,665と小さかった。

このように日本の3大危険海湾では防潮堤の建造などにより、伊勢湾台風後の高潮被害はわずかなものとなった。強い台風がこれらの高危険海岸に高潮を起こすコースをとらなかったことも幸いした。最近では、瀬戸内海および有明海で大きな高潮が発生している。この地域では標高2m以下の低い海岸低地は狭く、また臨海大都市はないので、これまでのところ著しい被害は生じていない。有明海では大潮時の潮差が4mもあるという干満の差が大きいので、標高2m以下の沿岸部はほとんど利用されておらず、被害ポテンシャルは小さい。しかし、1999年18号台風による八代海北岸における高潮の越流による被害や、2004年23号台風による室戸における高波の越波による被害のように、高い防波堤で囲まれた海岸際住民の危険意識の低下が懸念される。

3.3 被害予測

伊勢湾台風クラスの台風が現在上陸した場合に生ずるであろう被害を、先に示した回帰分析結果により推定してみる。1970年~2005年の82台風についての回帰式は

$$D = 1.01 \times 10^{-4} P^{1.3} R^{1.1} K_1 \quad (r = 0.534)$$

$$K_1 = 2.04 \text{ (高潮台風)}, 1.00 \text{ (高潮台風以外)} \quad (3)$$

$$H = 6.94 \times 10^{-7} P^{3.7} R^{0.6} K_1 K_2 \quad (r = 0.709)$$

$$K_1 = 5.14 \text{ (1970~84年)}, 1.00 \text{ (1985~2005年)}$$

$$K_2 = 11.5 \text{ (高潮台風)}, 1.00 \text{ (高潮台風以外)} \quad (4)$$

で与えられる。

伊勢湾台風の上陸時中心気圧深度は80hPa、円形等圧線半径は910kmである。これを使用し式(3)から全死者数は、大きな高潮被害が生じる場合96、生じない場合47と算定される。式(3)の相関係数は0.534と小さく予測値のとり変動幅は大きい。5%信頼限界の上限をとるとこの死者数は2倍程度になる。1946~60年の期間における回帰式により計算すると、伊勢湾台風の死者数は1,500で実際数はこの3倍を超える。平均的な台風に比べ非常に悪い条件(多量の木材流出など)が重なって大被害になったものである。このようなことから伊勢湾台風規模の台風が上陸した場合100人程度、悪くすれば200人を超える死者が出る可能性があると考えられる。

住家損壊数の予測値は、高潮発生の場合4,300、発生しない場合370となる。回帰式を示さなかったが、住家浸水棟数は47,000となる。建物強度の増大により、図2が示すように住家損壊数の経年的低下は著しい。

図11は、伊勢湾台風およびジェーン台風の高潮によってほぼ全面的に浸水した市区町村についての、平均浸水深と死者率との関係を示したものである。死者の発生は浸水深よりも流速によって決められるところが大きい。流速のデータは得がたいので、流速が水深の関数で与えられることから、水深によって高潮氾濫流の強さを間接的に表すことができるものとする。

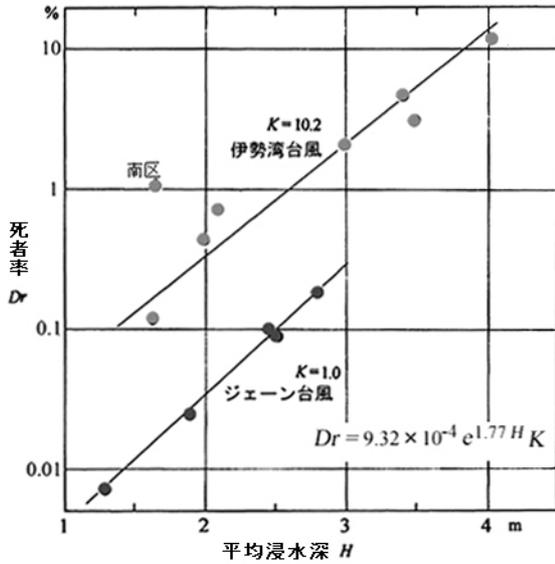


図 11 高潮浸水深と死者率との関係 (水谷, 1994)

Fig. 11 Relationship between mean submerged water depth and death rate.

図のように死者率は水深の指数関数で表される。その比例定数には、高潮発生が 21 時ごろの伊勢湾台風と 13 時ごろのジェーン台風とで 10 倍ほどの差がある。これは危険状況の把握・情報の伝達・避難の実行などが災害発生時刻の影響を大きく受けた結果によるところが大きいと解釈できるであろう。

これに基づいて高潮被害のおおよその推定を行ってみる。東京の荒川・江戸川河口域には標高 1m 以下の土地 (平均満潮位以下のところ) が 180km² あり、ここにおける人口は約 200 万人である。伊勢湾台風級の台風が最悪のコースをとって来襲すると、最高潮位 3.5m ほどの高潮が東京湾奥で発生すると推定されている。この高潮の流入により標高 1m 以下地域が平均水深 2m で浸水すると、死者率は夜間の式 (伊勢湾台風式) で 0.3%, 昼間の式 (ジェーン台風式) で 0.03% になる。式(1)に基づき現在の年代係数を 1/10 と与えると、死者数はそれぞれ 600 人および 60 人になる。平均浸水深が 1.5 m の場合には、それぞれ 250 人および 25 人と計算される。ただし、第二室戸台風の場合のように死者がほとんどなし (比例定数ほぼ 0) となる可能性はある。

今後、地球温暖化の進行による台風被害の増加が懸念される。地球気温の上昇とそれに伴う海水表面温度の上昇は、大気下層の水蒸気量を多くし、対流活動を活発にして、台風の数は変わらないがその勢力を増大させると予想される。図 3 は上陸台風勢力の経年変化であるが、最近の増加の趨勢を地球温暖化の影響と考え、今後台風勢力が 2 倍以上に、従って被害もその程度増加することが考えられる。ただし、温暖化により亜熱帯高圧帯 (太平洋高気圧) が北上するので、その西縁を回り込んで北上する台風のコースが変わるので、少なくとも夏季には、本土への台風来襲が減少する可能性が大きい。

4. 高潮対策

4.1 防潮施設

防潮堤など高潮防災施設計画の基本となるのは計画高潮位である。これはかつては既往最大の高潮により設定していたが、現在では、ある規模の台風 (計画外力) があるコースをとって進行した場合に引き起こされる最大潮位偏差を求め、これに天文潮位を加えた値で与えていることが多い。防潮堤や防潮護岸の上面 (天端) の高さは、これにさらに波の打ち上げ高と余裕高を加えて決められる。計画外力は起こると予想される最大級の外力で、現在では伊勢湾台風が与えられている海岸が多い (図 12)。

過去の大きな台風には、伊勢湾台風の 2 倍の勢力の室戸台風、約 1.2 倍の 1945 年枕崎台風、伊勢湾をやや上回る第二室戸台風があるが、その被害の大ききの故か伊勢湾台風が広く採用されている。地震の場合における 1923 年関東地震と同じ位置づけにあり、そのインパクトの大きさを物語るものである。コース設定はそれぞれの湾・海岸に大きな高潮を起こした過去の台風から最悪コースを決める。たとえば大阪湾では 1934 年室戸台風コースを採用している。

高潮最大偏差 h (cm) は

$$h = \frac{1}{\rho} \Delta p + b W_{\max}^2 \cos \theta \quad (5)$$

で与えられる。ここに、 ρ : 海水の密度、 Δp : 中心気圧深度 (hPa)、 W_{\max} : 最大風速 (m/sec)、 θ : 湾の長軸方向と風向との角度である。右辺第 1 項は低い気圧による海水吸い上げの効果で、 $1/\rho$ はほぼ 1 であるから、1hPa の気圧低下で約 1cm 海面は高まる。第 2 項は強風による海岸への海水吹き寄せの効果で、その大きさは風速の 2 乗に比例する。比例定数 b は吹送距離 (湾の奥行きなど風が吹き渡る長さ) に比例し平均水深に逆比例する。従ってこの値は奥深く浅い湾で大きく、危険湾の代表である

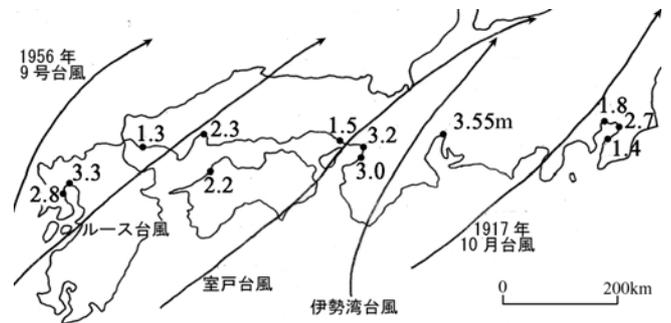


図 12 伊勢湾台風規模の台風による最大潮位偏差 (小西ら, 1985 に基づく)。

伊勢湾台風規模の台風が図中に示した台風のコースで進行した場合の高潮最大偏差

Fig. 12 Maximum tide level departures caused by typhoons with the same power as Typhoon Isewan.



図13 高潮危険海岸. 観測された最高潮位とそれを引きこした台風コースを示した.
Fig. 13 Highly vulnerable coasts from storm surges.

東京湾・伊勢湾・大阪湾では0.15ほどの大きさである。これらの湾に風速40m/secの風がまっすぐに(θ が0で)吹き込むと、湾奥部での吹き寄せの高さがほぼ2.4mとなり、吸い上げの効果の数倍ほどになる。

この高潮発生機構から、ほぼ南に向け開口する水深の小さい奥深い湾で危険が大である(図13)。このような湾の西側を湾の長軸に平行に高速で台風が進行すると、台風の風の渦が反時計回りのらせん状であることから、台風最接近時には強い南風が湾にまっすぐに吹き込むことになるので、湾奥で高い高潮が発生する。伊勢湾の水深は平均20m、大阪湾30m、東京湾45mで浅い。これに対し駿河湾・相模湾はトラフ(浅い海溝)が入り込んでいて非常に深いので、高潮の危険は小さい。

天文潮位は最悪の場合を考えて朔望平均満潮位(大潮時の平均満潮位)が採用され、ほぼ1mである。波の打ち上げ高は港内で1m程度とされている。防潮堤の頂部には0.5m程度の高さのコンクリート壁を設置して、余裕高を与えているのが通常である。

東京湾・伊勢湾・大阪湾についての高潮計画の概要を表3に示した。室戸台風に襲われた大阪も含め計画外力はすべて伊勢湾台風である。台風コースの違いや湾の形状・水深などの違いにより、潮位偏差の計算値は湾ごとに異なってくる。この計画潮位に基づき外郭堤防の高さが決められる。

外郭堤防は海岸線および大きな河道沿いに建造される。高い海岸埋め立て地があるところでは、その内陸側に設置される。伊勢湾では湾奥を閉ざす防波堤が建造され、潮位を0.5m下げる計画になっている。大阪では淀川は除き河口近くに水門を設けて高潮時にはこれを閉ざすという防潮水門方式をとり、中心市街地内の水路護岸かさ上げを避けている。堤防を高くすると非常に多数ある橋・道路のかさ上げが必要になるからである。この方式により水門の内側の堤防高は外郭堤防よりも2.3m低くしている。なお防潮堤の大半はコンクリートや鋼矢板の壁で、壁面1枚で高潮を防いでいる。東京では荒川や隅田川の堤防が河口から20kmも内陸まで外郭堤防として建造し、遡上する高潮を防御している。

伊勢湾台風では、愛知・三重両県において海岸および河川の堤防が264箇所、延長36.4kmにわたって破堤決壊した。伊勢湾沿岸低地における浸水面積は510km²に達した。当時の海岸堤防はごく一部を除き、天端(堤防上面)および裏のり面の被覆はすべて芝張りであった。堤防への波の衝突による高まりを加え高潮ピーク時に波の高さは7m近くになり、天端上を大きく越える越波が生じた。堤防波堤の原因では越波による裏のり面の洗掘が多かった。この防止には堤体の全面をコンクリートで覆う三面張りが有効で、災害後はこの改良工事が全国的に実施された。三面張りはすでに13号台風後に計画されていたが、ほとんど実行されていなかった。

表3 高潮防災計画の概要
Table 3 Disaster prevention plans against storm surge.

	東京湾	伊勢湾	大阪湾
計画外力	伊勢湾台風	伊勢湾台風	伊勢湾台風
最大潮位偏差	3.0m	3.5m	3.0m
平均満潮位	T.P.+1.0m	T.P.+1.0m	T.P.+0.9m
コース設定	キティ台風などから最悪のコース設定	伊勢湾台風コース	室戸台風コース
計画高潮位	T.P.+4.0m	T.P.+4.5m	T.P.+3.9m
天端高	A.P.4.2m→6.5m A.P.=T.P.+1.13m	N.P.4.8m→6.5m N.P.=T.P.+1.42m	O.P.5.0m→6.2m O.P.=T.P.+1.3m
高潮警報基準	T.P.3.0m以上	T.P.2.5m以上	T.P.2.2m以上

T.P.:東京湾平均海面 A.P.:荒川工事基準面 N.P.:名古屋港工事基準面 O.P.:大阪港工事基準面

高潮対策上での地盤沈下の問題は、1970年代以降沈下速度が非常に遅くなっているため、現在ではかつてほどの深刻さはなくなっている。代わって、地震による液状化による堤防破壊が問題視されている。海岸部の地盤はほぼ砂質であって液状化が非常に起きやすい。温暖化による海面上昇は、堤防高を低下させるがこの海面上昇はさしあたり数 cm のオーダーである。

4.2 土地利用規制

伊勢湾台風災害後、名古屋市臨港地域の 65km² が災害危険区域に指定され、建築規制が行われている。災害危険域においてはその危険の程度に応じて、居住の禁止・制限、建築規制などを行うという防災土地利用管理が、自然災害防災の基本におかれるべき対策である。高危険湾のゼロメートル低地のような明らかな危険地では特にこの規制が必要である。しかし、防災目的で土地利用規制を行うのには抵抗が大きく極めて困難で、日本では実質的に行われていないとよい現状にある。

災害危険区域の指定は主として建築基準法に依拠して行われている。建築基準法第 39 条では、地方公共団体は災害危険区域を指定し、その区域内での住宅建築の禁止や建築構造の規制を条例により行うことができる、と定めている。この条項の適用による危険区域指定は、危険が認識されやすい急傾斜地崩壊危険地におけるものが圧倒的に多い(表 4)。これは件数では多いが面積的には小さい。急傾斜の崖下は最も明瞭な危険地で、法律に基づき住居移転を積極的に推進している。これによって年間 1,000 戸程度が移転し、移転跡地は自動的に危険区域に指定され居住禁止となっている。

この非常に件数が多い急傾斜地崩壊を指定理由とするものを除くと、津波高潮出水を指定理由とする名古屋市の危険区域指定が、面積で全体の 90%、建築物数で 98% を占めている。このような広域の指定はこれ 1 件だけであり、伊勢湾災害のインパクトがいかに大きなものであったかがわかる。これはまた、大きな災害がなければ土地利用規制は非常に困難であることを示す。指定理由が急傾斜地崩壊以外の場合、ほぼすべてが災害を受けた後の指定によるものである。

表 4 災害危険区域指定 (1999 年 1 月現在)

Table 4 Legally designated hazardous area.

危険区域の指定理由	指定箇所数	区域内面積 (ha)	区域内建物 (棟)
急傾斜地崩壊	15,528	21,259	334,492
津波高潮出水	1	6,492	113,000
出水	21	988	1,115
土石流等	4	553	545
地すべり	37	207	521
その他	17	221	159
計	15,608	29,720	449,832

名古屋市による「名古屋市臨海部防災区域条例」は 1961 年 6 月から施行された。これは危険区域を第 1 種から第 5 種に区分し、それぞれの危険度に応じた建築規制を行うものであった。その後、1991 年の全般的見直しにより 5 種から 4 種の区分に変更され、規制内容の変更などが行われた(図 14)。新しく埋立てられ 1 種に追加された沿岸部を除き、対象区域に変更はない。

建築規制の主な内容は、1 階の床の高さを、第 1 種区域では N.P. 4m 以上、第 2～第 4 種区域では N.P. 1m 以上に規制している。N.P. は名古屋港工事基準面で、T.P. (東京湾平均海面) で表すと -1.42m にあたる。従って、N.P. 1m は T.P. -0.42m に相当し、0m 以下である。なお最初は第 2 種区域の床面は N.P. 2m 以上とされていた。第 1 種区域は高く埋立てられた臨海埋立地で防潮壁の海側にある。ここでは木造建物は禁止であり、また海岸に近いところでは居住用の建物の建設は禁止となっている。第 2 種および第 4 種区域では、2 階以上に居室を設置するように義務づけている。これは浸水時の緊急避難場所を確保するためである。第 4 種は市街化が抑制される市街化調整区域であり、危険度が最も低いというわけではない。人的被害の大部分は建物の全壊・流失により生ずる。危険域では氾濫水の流れに抵抗できる強度の建物の建造が必要である。

危険地の利用を抑制し、また危険の程度に応じた土地の利用を図ることは、災害を軽減する最も効果的な手段である。ただし、危険域を説得的な方法でゾーニングしそれを受け入れさせることは、容易なことではない。ハザードマップは、危険域と危険の程度に応じた防災的に望ましい土地利用を実現するための情報提供を主目的としたものである。緊急時避難は防災対応の一部である。現在、高潮のハザードマップは全国的にほとんど作成さ

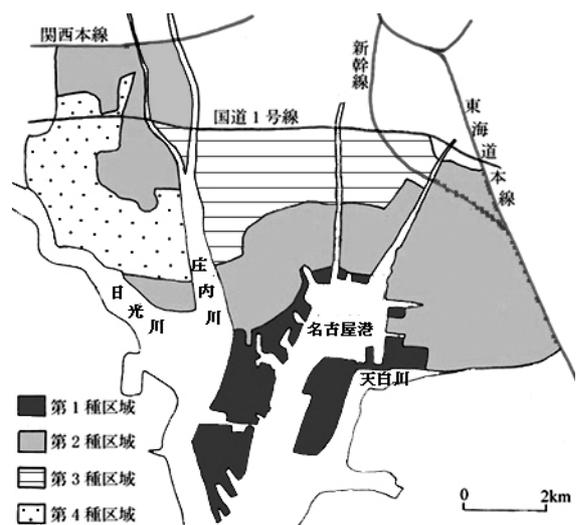


図 14 名古屋市の災害危険区域
Fig. 14 Hazardous area in Nagoya City.

れていない。

災害危険地からの住居移転は抜本的な危険除去策である。移転に要する経済的負担を軽減して移転を促進するために、「防災集団移転促進事業」と「がけ地近接危険住宅移転事業」の制度が国によって運用されている。これは個人の自発的移転に対して利子補給、跡地買い上げ、移転先用地の整備などを行うものである。個人住宅の安全を図るための強制的移転制度はない。防災施設の建設や都市計画事業のために、「土地収用法」により全額の移転補償を行って移転させることは行われている。

5. 災害法令

5.1 災害対策基本法

伊勢湾台風災害が与えたインパクトが大きかったことを示す例に災害対策基本法の制定（1961年11月公布、62年7月施行）がある。従来の防災関係法令は所轄省庁ごとに制定され、それぞれのセクショナリズムの枠内で運用されていて、総合性・一貫性・計画性を欠いていた。戦後大きな災害が相次いで発生したので、この従来の防災行政を見直し体系化する動きがあったが、伊勢湾台風はこの気運を一気に加速した。災害の後、防災行政批判の世論は高まり、行政審議会・気象審議会・資源調査会・臨時台風科学対策委員会などから、総合的防災体制を確立する必要性を強調する答申や報告が出された。

これを受けて、政府部内で法案検討が進められ、内閣審議室が取りまとめた「災害対策の整備に関する法律案」、自治庁の「防災基本法案」などが出された。自治庁案は防災事務をつとめて地方自治体におろすようにしていること、計画性・総合性の観点から防災計画の制度を考えていることなどに特色があった。時の与党の自由民主党は自治省案をもとにして法案を急ぎ作成し、各省との意見調整を経て、1961年5月に国会に提出したが、審議日数不足のため廃案となった。これは同年9月からの臨時国会に再提案され、問題となった重大災害時の緊急措置を規定する条項は次の国会で審議することとして削除し、10月末に可決成立させた。施行日は1962年7月であったが、それまでに3回にわたって一部改正され、削除された条項はほぼそのまま復活させた。

災害対策基本法は、防災行政の不備を改めることを意図したものであるが、既存の法律は存続させてその不足部分を補填し関連づけるという立場にたっており、一般法的な性格を有するものである。対象とする災害は自然災害全体および大事故であり、これら災害の未然防止・被害拡大阻止・災害復旧を図ることを目的にしている。このために、まず国・地方自治体等の責務と権限を明確にしている。特に、防災の最前線を努め住民に直結した立場にある市町村の役割を重視し、市町村長に避難の勧告・指示、出動要請、警戒区域の設定、立ち入り禁止、設備・物件の除去など多くの権限を与えている。

避難の勧告・指示は住民にとり最も身近な法的措置である。これを有効適切に行うためにあらかじめ、避難所の指定・危険状況の把握・避難基準の設定・指示伝達方

法・住民の誘導と収容などの計画をたてそれを周知させ、避難訓練を実施するよう規定している。なお、避難指示を直接強制することは認められていない。避難指示を出す権限は、水防法および地すべり等防止法に基づき、知事あるいはその命令を受けた職員などにも与えられている。災害時避難は、少なくとも高危険地では、抜本的な危険回避の対策をとるまでの過渡的な対応と位置づけられるものである。最近では市町村長の出す避難の勧告・指示が災害時の主要対応であるように受け止められ、公共避難場所への避難者（これは実質の避難者の一部である）の数が克明に報道されている状態にある。

総合的防災行政を推進するためには、国および地方自治体にそれぞれ防災会議の設置を義務づけて、防災活動を計画的・組織的に実施する中核組織としている。また、従来事実上設けられていた災害対策本部を法律上制度化した。計画的防災行政の推進については、国に防災基本計画、都道府県・市町村に地域防災計画の作成を義務づけている。

地域防災計画は災害対策の基本に位置づけられるものである。防災の第一線を担う市町村の防災計画は、防災管理者の業務の大綱、災害予防（防災施設の設置、調査研究、教育訓練など）の計画、災害応急対策（情報の収集・伝達、予報警報の発令・伝達、避難、消火、水防、救助、衛生など）の計画、災害復旧に関する計画、防災目的の労務・施設・設備・物資・資金等の整備・備蓄・調達・配分・輸送等に関する計画を主要な内容としている。この法律は災害の未然防止も目的に掲げてはいるが、防災計画の内容からも災害時の応急対策を中心として構成されていることがよくわかる。

これら防災業務の実施、応急対策、災害復旧などに要する費用について国が補助するなど、財政金融措置についての規定も定められている。大きな災害が生じた場合の特別財政援助については別の法律によると示されているので、1962年に「激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律」が制定され、中央防災会議は激甚災害の指定基準を決定した。

自然災害は地域性のきわめて大きい現象であるので、市町村に防災対策の中心任務を与えるのは必要なことである。市町村に事務担当部署（消防防災課など）が設置され、職員を育成し、地域の災害危険性を調べ把握し、与えられている様式に単純に従ったものではない地域性に即した防災計画を策定し、それを実効あらしめるためには年月を要した。

5.2 戦後の主要災害法令

災害に関する法令は150ほどあるといわれる。この多くは災害復旧等の財政措置に関するものである。ここでは一般住民に関わりの深い法令を中心に、その制定の背景および伊勢湾台風災害との関わりなどについて簡単に記す（表5）。

非常に古い災害法令に、明治29年（1896年）の「河川法」、明治30年（1897年）の「砂防法」および「森林法」があり、まとめて治水三法とよばれている。これら

表5 災害関係法令
Table 5 Disaster-related laws.

1896年	河川法	
1897年	砂防法	
1897年	森林法	
1947年	災害救助法	カスリン台風
1948年	消防法	アイオン台風
1949年	水防法	キティ台風
1950年	建築基準法	ジェーン台風
1951年	土地収用法	ルース台風
1951年	災害復旧事業費国庫負担法	
1952年	気象業務法	
1952年	耐火建築促進法	
1953年		13号台風
1954年	土地区画整理法	洞爺丸台風
1956年	海岸法	
1956年	工業用水法	
1957年		諫早水害
1958年	地すべり等防止法	狩野川台風
1959年		伊勢湾台風
1960年	治山治水緊急措置法	チリ地震津波
1961年	災害対策基本法	
1961年	防災建築街区造成法	伊那谷水害
1961年	宅地造成等規制法	第二室戸台風
1962年	激甚災害財政援助法	
1969年	急傾斜地崩壊防止法	
1969年	新都市計画法	
1978年	大規模地震対策特別措置法	
1995年		兵庫県南部地震
1998年	被災者生活再建支援法	
2000年	土砂災害防止法	

により定められたものに、砂防指定地など一定の行為を禁止あるいは制限する危険地指定がある。砂防法では、砂防工事の施工を土地所有者は拒むことができないという強制的な規定があり現在も引き続いている。このように、明治からの国の防災対策は、治山・治水（河川洪水対策）が主体であった。

第二次大戦後、戦災復興も目的とした都市計画と住宅防災に関する法律や、頻発した災害に対処して災害応急対策関係の法令が多く制定された。「災害救助法」（1947年）は、被災者の救護・収容・医療・応急修理などについての主として都道府県の責務を規定した内容のものである。「消防法」（1948年）、「水防法」（1949年）は古くからある慣行的制度を法令化したものである。水防法では市町村にその地区における水防を十分に果たすべき責任があると定め、また、気象庁に災害時気象情報を国・自治体に通知し周知させる義務を課している。

「建築基準法」（1950年）は、1920年の「市街地建築物法」を前身としたもので、建物の建築構造等につき定

めている。これは地震防災に大きく関係するものであるが、水害被害の防止・軽減にも関わるところがある。日本古来の木造家屋は土台石の上に木の土台を置くという置き基礎であったが、これに代わりコンクリート布基礎に土台をボルト締めすることが義務づけられ、耐洪水性（浸水しても浮き上がり押し流されない）が増した。この普及に伴い水害死者数も減少した。

同法第39条では、地方公共団体は条例で、津波・高潮・出水等による危険の著しい区域を災害危険区域とし、建築の禁止・制限ができる、としている。これに基づいて自治体は条例で危険区域指定を行っている。第19条には建築物の地盤面は周囲の土地よりも高くしなければならない、出水のおそれの多い土地には安全上必要な措置を講じなければならない、の条項がある。「耐火建築促進法」（1952年）は都市防災と土地の合理的利用を図るために制定された。

災害が起きた場合に自治体が緊急に行う主要業務の一つに、国から災害復旧費をいかに多く獲得するかという仕事がある。この国庫負担に関して定めた法令に「公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法」（1951年）がある。「土地収用法」（1951年）は、明治33年にすでにその前身がある。この法に拠り防災施設建造などの防災目的での土地の強制取得ができる。

「気象業務法」（1952年）では、気象庁に気象の予報・警報を義務付け、警報事項をただちに報道機関、防災関係機関、国・都道府県等に通知し、これを受けた関係機関は市町村に、市町村はただちに公衆に周知させることと定められている。伊勢湾台風災害では、この警報伝達システムが不完全であることが問題とされた。南方海上における台風の情報はすでに1949年から米空軍により提供されるようになっていた。

「工業用水法」（1956年）は地盤沈下の防止のために地下水の採取を制限したものである。地盤沈下は戦時中にその進行が鈍っていたが、戦後再び加速し防潮堤・護岸の堤高が不足して高潮災害を大きくした。1962年には「建築用地下水の採取規制法」が制定された。全国的に地盤沈下の速度が大きく低下したのは1960年代の後半になってからのことである。

「海岸法」（1956年）は1953年13号台風による高潮災害を契機に制定され、海岸に関する基本体制の整備が図られるようになった。しかし、伊勢湾北部海岸の海岸防災施設の整備はわずかしか進められず、大きな被害を招くことになった。海岸防災事業費が急増したのは伊勢湾台風後のことである。

1950年代、台風や梅雨前線の豪雨により河川洪水と土砂の複合災害が相次いで起こった。特に、1953年の西日本水害・南近畿水害・山城水害では土砂災害が著しかった。1957年の諫早水害でも土砂による被害が大きく、「地すべり等防止法」（1958年）の制定を促す直接の契機となった。1961年の梅雨前線豪雨では、横浜・神戸などの市街地におけるがけ崩れ災害が多発したので、宅地造成に関する規制を行う「宅地造成等規制法」（1961年）が

制定された。危険地指定の規定がこれらの土砂災害関係法律および1972年の急傾斜地法に定められている。

このように災害ごとに特定災害に関する法律が作られてきたが、伊勢湾台風大災害は災害全般に関する基本法を制定させる契機となった。まず緊急に、治山治水の緊急かつ計画的な実施を促進するための「治山治水緊急措置法」(1960年)が制定された。災害対策基本法の関連法令としては、大きな災害についての自治体への国の財政援助などを定めた「激甚災害財政援助法」(1962年)などが制定された。

「急傾斜地の崩壊による災害の防止法」(1972年)は、高度経済成長下で丘陵地などの大規模土地改変が激しく進行して斜面崩壊による人的被害が多くなったことを背景に制定された。これは急傾斜地崩壊危険区域を指定し、建築制限や住居移転の促進を行うものである。土砂災害死者数の全災害中に占める比率は1960年代後半には2/3ほどにもなったが、経済状況も反映して1970年代後半には急減し、現在に至っている。

新都市計画法(1969年)では、無秩序な市街化を防止するために、市街化区域および市街化調整区域を定め、「溢水、洪水、津波、高潮等による災害の発生のおそれのある区域および当該区域を市街化することにより他に溢水等の災害を発生させるおそれのある区域」は、市街化区域に含めないことになっている。しかし、市街化区域の線引きには様々な思惑がからみ、防災の観点は薄められていることが多い。

「大規模地震対策特別措置法」(1978年)は、差し迫っているとされた東海地震の予知がなされた場合の応急対策等を定めた異例の法律である。警戒宣言が出されたとき、国・公共機関・事業者・住民はあらかじめ定められた応急対策をとること、地震防災対策強化地域では公共機関・事業者等は応急対策を含む防止計画をつくることなどが義務づけられている。

「被災者生活再建支援法」(1998年)は、1995年兵庫県南部地震の被災地からの要望などを受けて、従来までの国の方針を転換し、被災者に最高300万円の現金支給を定めたものである。被災者の経済的支援が、危険地の居住を以前のままで続けさせることにつながる場合、災害の発生を未然に防ぐという防災の基本的な役割に反するものとなる。

6. 高潮危険域

6.1 伊勢湾台風高潮の侵入限界

伊勢湾台風が引き起こした最高潮位3.89mの高潮は、伊勢湾沿岸低地に広範囲に侵入した。浸水域の面積は510km²に達した。高潮浸水域・水位・地盤高は建設省地理調査所(1961)が5万分の一のスケールで示している。丘陵が海岸に迫った狭い海岸低地では、高潮はほぼ最高潮位の標高にまで達した。一方、広く緩やかなデルタ地帯では、最大で海岸線から20kmもの内陸にまで侵入し、到達限界標高は0m近くにまで低下した(図15)。

高潮の陸地内への流入は破堤による河川水の堤内地へ

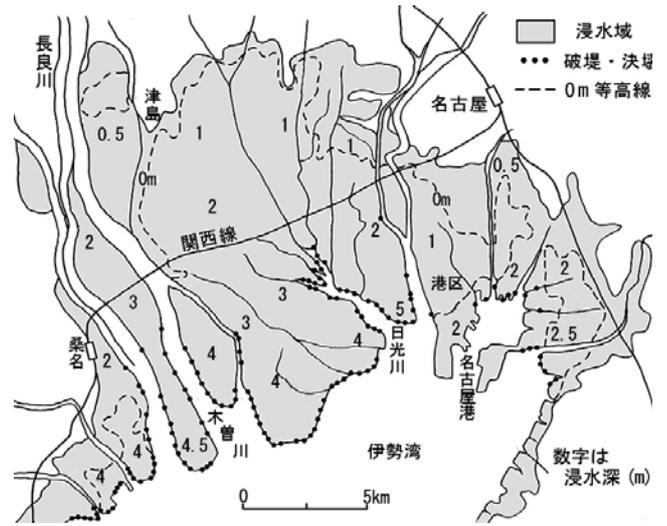


図15 伊勢湾台風高潮の浸水域

Fig. 15 Inundated area of storm surge caused by Typhoon Isewan.

の氾濫と同じ水理現象であり、水深・地表面勾配・地表面粗度などによって決まる流速で進行する。ただし、地表面傾斜方向に流れる河川氾濫水の場合とは異なり、上り勾配の陸地表面上を遡上する状態になるので、進行するに従って水深と流速は次第に低下し、広いデルタの内陸では進行速度は大きく低下する。

一方、この間に台風が遠ざかることによる気圧回復と風速低下により、海面は平常の潮位に向け低下していく。一般に最高潮位の2時間後には半分程度に、5~6時間後にはほぼ平常潮位に戻る。大きな高潮を起こす台風は高速度で進行するので潮位の低下が速い。潮位低下は海方向への水面勾配をつくり陸地内に流入した海水を引き戻すので、最高潮位までの標高域の全域に浸水が及ぶことには必ずしもならない。陸地内の小河川堤防・道路・自然堤防など流れの抵抗になる地形地物が多いと、到達限界標高はさらに小さくなる。この高潮海水の流れに対する地表面粗度を求めることを主目的として、数値シミュレーションにより伊勢湾台風高潮の陸地内流動と到達限界の数値的再現を行った。

使用した基礎式はManningの抵抗則を使用し、風の応力の項を省略した流量式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} = -gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} - gn^2 \frac{u|u|}{h^{1/3}} \quad (6)$$

および連続の条件

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

である。ここで、 M は流量、 u は流速、 h は水深、 z は高

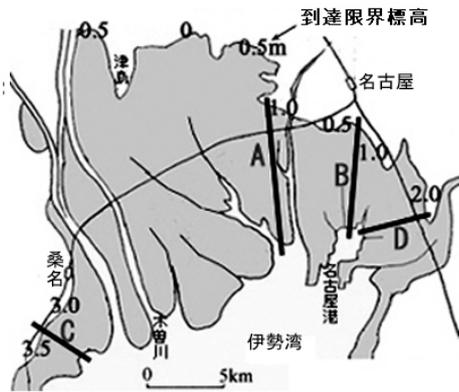


図 16 高潮浸水位の測定断面
Fig. 16 Location of investigated cross section.

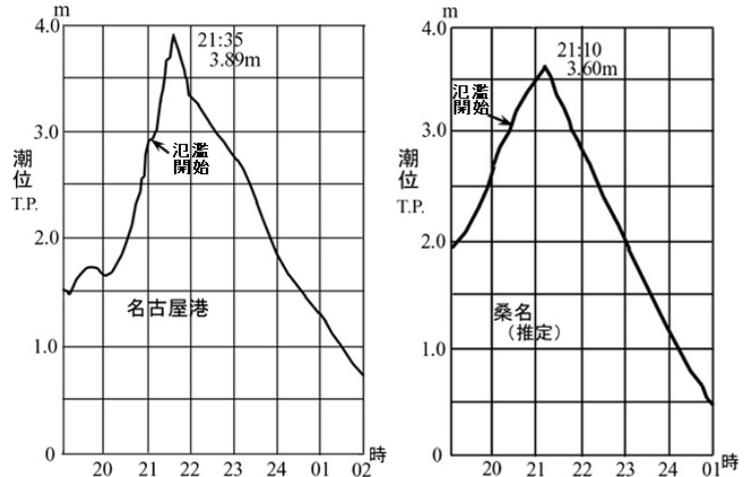


図 17 伊勢湾台風高潮の潮位観測記録
Fig. 17 Curves of tide level change by Typhoon Isewan.

度, n は Manning の粗度係数である。計算は 1 次元のくいちがい格子により行い, 奇数メッシュで水位・水深を, 偶数メッシュで流量を, 時間的に交互に計算した。計算の空間格子間隔は 50m, 計算時間間隔は 2 秒である。

流れが 1 方向だけに向かう 1 次元計算であるので, 対象とすることができるのは, 海水が海岸線からまっすぐに内陸に向け進行し, 側方からの流入がほぼ無視できると単純化できるような場所である。浸水域には大小の河川や水路が多数存在し, そこを遡上した高潮が内陸部において河川から氾濫しているの, このような場所は得難いが, ほぼこのような近似ができる場所として図 16 の 4 断面を選んだ。

A 断面 (川越村) は奥行き狭い海岸低地を大きな流速で進行し, ほとんど水位を低下させずに短時間で到達限界に達した場合である。なお, さらに狭い海岸低地では丘陵斜面に乗り上げて到達限界標高が最高潮位よりも高くなったところがみられた。B 断面 (南陽町) は, 緩やかなデルタ面を奥深く侵入した場合で, 海岸でほぼ 4m の高潮が到達限界では 1m にまで低下している。A と B は水田が広がる農村地帯で, 粗度係数が比較的小さい場合の例である。

これに対し C と D は名古屋の市街域で, 粗度係数はより大きい場合である。ただし, 当時は現在のように建物が密集してなくて空閑地が多い。C は名古屋港の中央埠頭から名古屋市中心部に向かう断面で, 到達限界標高は 1m である。D は被害が最も大きかった南区で, 浸水域は丘陵により制限され到達限界標高は 2m である。海岸部には大工場が分布する。これらの地形断面は地理調査所 (1960) の 5 万分の 1 地盤高図により与えた。

海側からの高潮流入の時間変化の条件を与える潮位曲線は, 最高潮位 3.89m を記録した名古屋港における観測記録を断面 B, C, D に対して与えた。A については四日市港で観測された潮位曲線を最高潮位 3.6m (桑名における

記録) に引き伸ばしたものを使用した (図 17)。なお潮位や標高等はすべて T.P. (東京湾平均海面) で統一した。

氾濫開始時点はいずれも最高潮位時刻の 30 分前とし, この時点で海岸堤防が破堤・決壊し大規模な流入が生じたものとした。聞き取り調査によると氾濫は 1 時間ぐらい前から生じていたようであるが, これは主として越波による小規模なものと推定する。破堤・決壊の結果, 海岸堤防の天端高は A で標高 1m に, B では海岸堤防が 1.5m, 内陸の第二線堤防が 2m に低下したものとした。C と D では標高 1m の海岸盛土部に 0.5m の護岸があるという条件を与えた。これら海岸部の条件は, その海岸域の破堤・決壊の状況や海岸堤防の規模などを勘案して与えた。

数値計算は粗度係数に種々の値を与えて行い, 到達限界標高が実際と一致する場合の粗度係数を求めた。この場合の最大水位断面を, 地理調査所 (1960) による実際の最大水位断面と重ねて示したのが図 18 である。得られた粗度係数は, 農村部 A, B で 0.1 であるのに対し, かなり空地のある都市部 C, D で 0.14 とやや大きく, 障害物の多い都市部で高潮海水の流れに対する抵抗が大きいという妥当な結果が得られた。なお, 利根川支流の小貝川の農村部における 1981 年氾濫では粗度係数 0.1~0.12 が得られており, この結果とほぼ一致する。最近では水田地帯を走る道路が多く高くなっているため粗度はより大きくなっている。平野河川の河道における粗度係数は 0.03~0.04 程度であり, このような平野内部では洪水流に対する抵抗は河道部よりも 4~5 倍大きいということになる。

6.2 到達限界の判定基準

幅 2~3km ぐらいまでの狭い海岸低地では, 侵入した高潮の水位はほとんど低下しないので, 最高潮位までの標高域を危険域にゾーニングできる。これに対し広い緩やかなデルタ内では大きな水位低下があるので, 最高潮位までの標高域を危険域とすると広大になり過ぎてしま

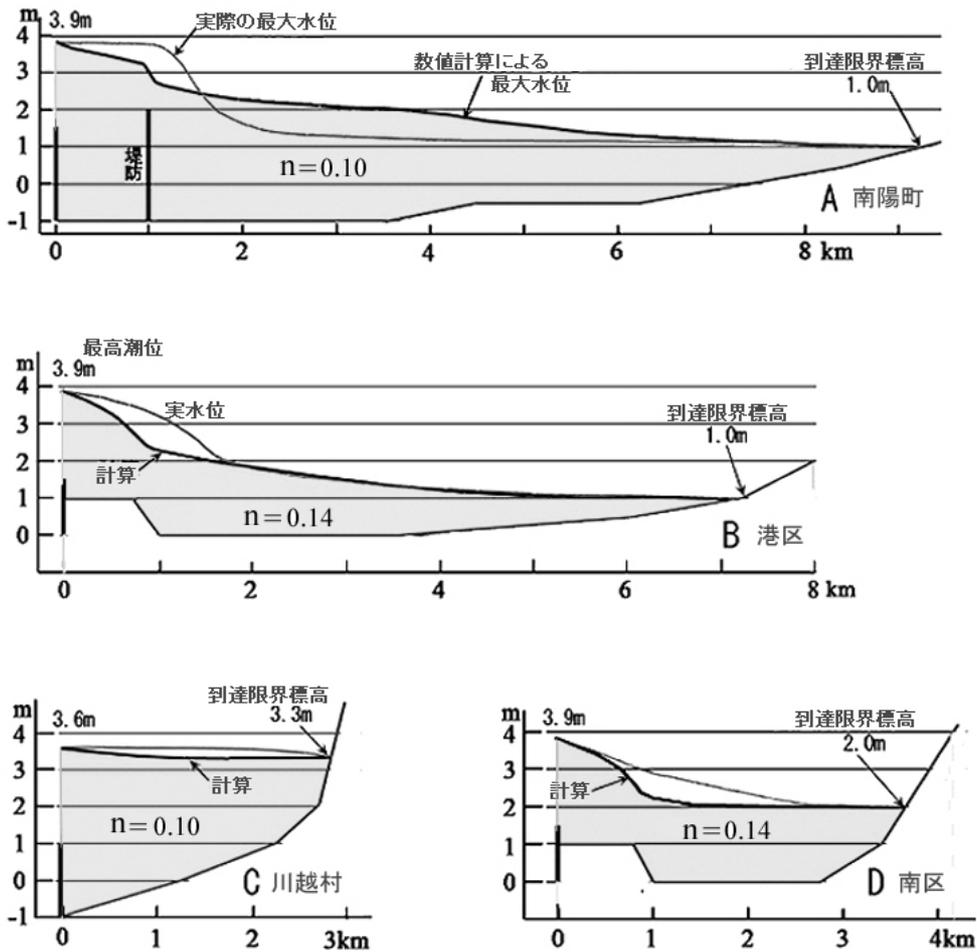


図18 最大水位断面 (計算と実際との比較)

Fig. 18 Simulated and actual envelopes of maximum inundation level.

い現実的でない。

陸地に侵入した高潮の水位低下は進行に時間を要している間に海面が低下して海水が引き戻されるためである。従って、陸地面の粗度係数が大きいと進行速度が遅くなるので、それが小さい場合に比べ水位低下が大きい。また、陸地面勾配が小さいと長距離侵入するが、その進行速度は内陸に向かうにつれ大きく減少していくので、引き戻しの効果が大きくなって水位低下も大きい。海域での潮位の時間的変化の速度もまた水位低下の大きさに影響を与える。

そこで種々の粗度係数および地表面勾配を与えて高潮流入の数値シミュレーションを行い、これらの要因と到達限界標高と到達距離との関係を求める。潮位曲線は過去の大きな高潮の観測記録から標準的なものを与える。この計算結果は高潮危険域を地形図(地形勾配と粗度係数に関わる土地利用を表現している)から簡易に判定するための基準を与える。

過去の大きな高潮の潮位偏差曲線(天文潮を除いた潮位の時間変化曲線)を比べて、ほぼ同じような時間的低下を示すものを選び、1935年室戸台風(大阪)、1938年台風(東京)、1950年ジェーン台風(大阪)、1953年13号台風(名古屋)、1954年洞爺丸台風(大阪)、1959年伊勢湾台風(名古屋)の6例を採り上げた。ここで括弧内は検潮所の場所である。これらの最大潮位偏差は1.5~3.5mであるが、これを3mに引き直してその時間変化を示したのが図19である。最大偏差後の低下の局面ではほぼ類似した時間経過を示し、図中の指数曲線で近似できる。これを標準潮位曲線として高潮入力条件とする。これによると潮位はピークの2時間後には約半分に低下する。高潮の侵入はピーク10分前に海岸堤防の完全破堤が生じて一気に流入するものとした。

数値計算は、粗度係数0.1(水田が広がる農村地帯に相当)および0.15(市街地域に相当)を与え、1/250(やや急勾配の海岸平野)から1/5000(緩やかなデルタ)の

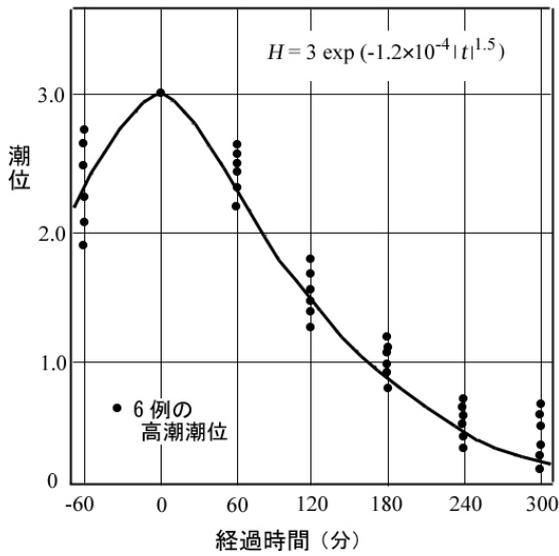


図 19 高潮の潮位偏差の平均曲線 (水谷, 1994)
Fig. 19 Mean curve of tide level departure.

範囲の平均勾配を与えて計算を行った。その例を図 20 に示す。勾配が大きいと高潮はすぐに到達限界に達しその標高は最高潮位に近い。勾配 1/250 ではわずかながら這い上がりが生じ、到達限界標高は最高潮位よりも大きくなる。一方、勾配が小さくなるにつれ水位低下が大きくなり、1/2000 では約 60% に低下している。内陸に向かうにつれ水深が減少し水位勾配が低下するので、進行速度は急速に低下している。

最高潮位 3 m と 4 m の場合について、地表面勾配と到達限界標高および最大侵入距離との関係を粗度係数別に示したのが図 21 および図 22 である。これは地形条件に基づく高潮危険域の簡易判定基準として利用できる。

6.3 危険域ゾーニング

前節の結果に基づき、広いデルタのある平野についての危険域ゾーニングを行ってみる。対象としたのは有明海北岸の佐賀平野および島原湾 (有明海南部) 東岸の熊本平野である。有明海は南に開口し遠浅で吹き寄せの効果が大きく、また天文潮が大きいので、しばしば高い高潮に見舞われている。1956 年 9 号台風では筑後川河口で最高潮位 4.2m を記録した。

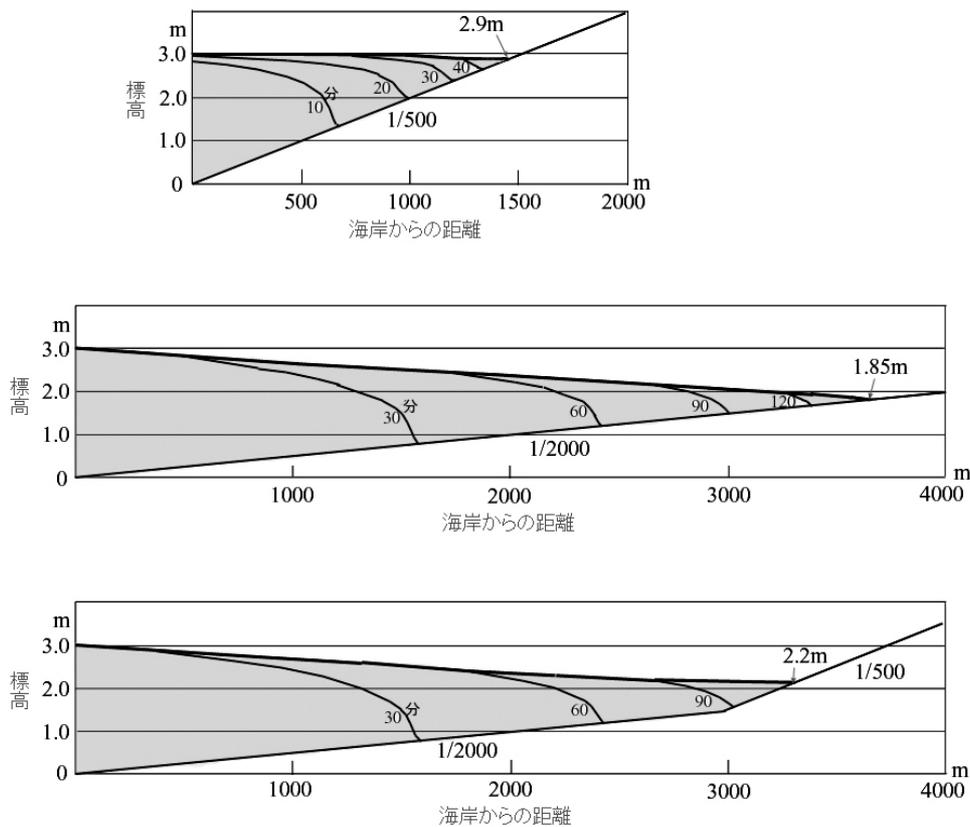


図 20 高潮遡上計算
Fig. 20 Numerical simulation of storm surge flooding.

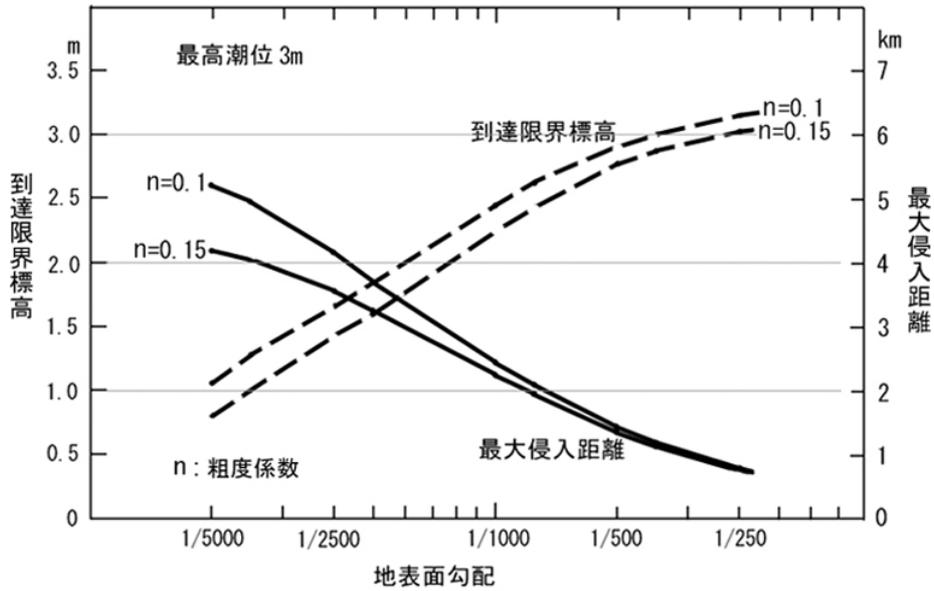


図 21 地表面勾配と到達限界との関係 (最高潮位 3 m の場合)

Fig. 21 Relationship between land surface slope and maximum inundation height and maximum inflow distance (1).

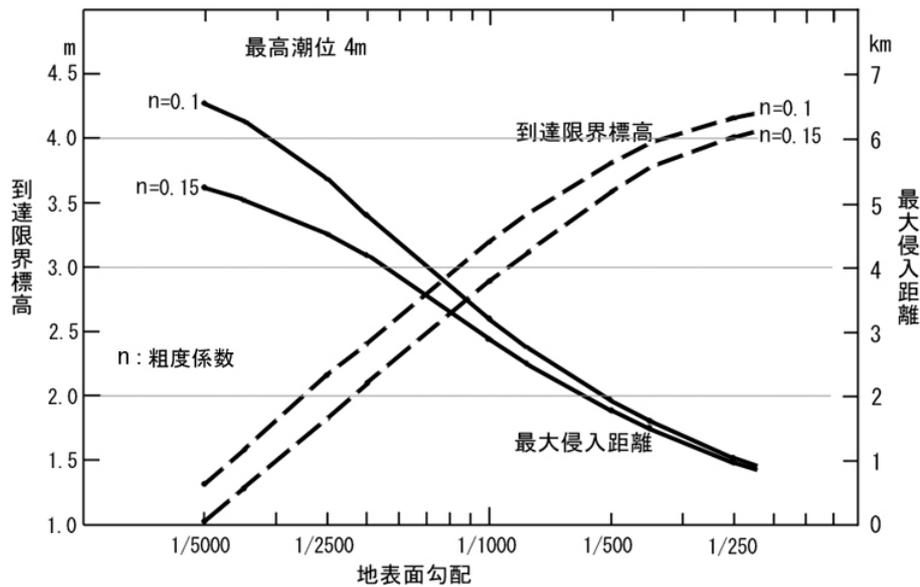


図 22 地表面勾配と到達限界との関係 (最高潮位 4 m の場合)

Fig. 22 Relationship between land surface slope and maximum inundation height and maximum inflow distance (2).

地形勾配を求めるのに使用したのは、地図処理ソフト(カシミール)により描いたコンター間隔 1 m の地盤高図である。なおこれは国土地理院の 50 m メッシュ数値地図に基づいている。高潮の最高潮位は数 m 程度であるので、危険域のゾーニングには少なくとも等高線間隔 1 m の地盤高図が必要である。

判定の作業は、海岸から内陸に向かう測線を多数引き

その縦断面勾配から、図 21, 22 に基づき到達限界標高および最大侵入距離を求めて、到達限界地点をそれぞれの測線上に記入した。縦断面は直線にはならず図 20 の例のように内陸で急勾配になることが多い。この場合まず下方の緩勾配部について到達限界を求め、勾配の変化状態から到達限界を推定した。ここは農村部であるので、粗度係数 0.1 の場合を使用した。ついで各測線についての

到達限界点を、コンターの走り具合をみながら滑らかな曲線でつないで到達限界線を求めた。

ここで河川のあるところが問題になるが、広い筑後川および緑川の最下流部を除き、河川堤防を越えての高潮侵入はないものとした。高潮の河川遡上は早い時間から

生じ、その進行速度は陸上の数倍ほど速いので、かなりの内陸にまで侵入する可能性がある。従って遡上高潮により河川堤防の破堤が起これば、内陸部にまで高潮浸水が及ぶことになる。

図 23 は佐賀平野、図 24 は熊本平野の場合で、最高潮

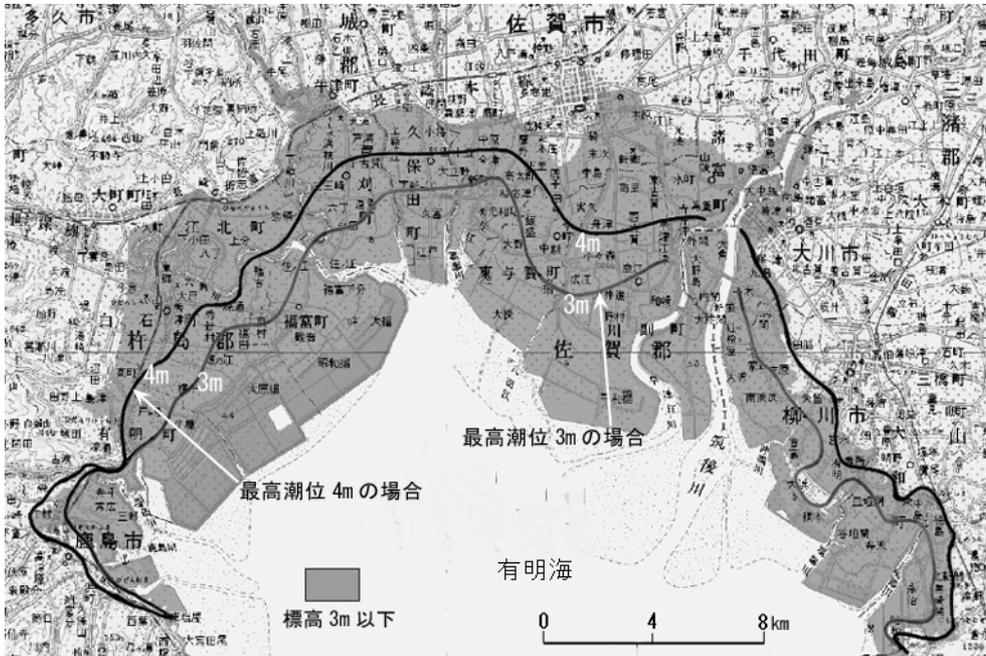


図 23 佐賀平野の高潮危険域ゾーニング
Fig. 23 Delimitation of storm surge risk area on the Saga Plain.



図 24 熊本平野の高潮危険域ゾーニング
Fig. 24 Delimitation of storm surge risk area on the Kumamoto Plain.

位3mおよび4mのときの到達限界線をそれぞれ示している。山地・丘陵が海岸に迫っているところでは到達限界は最高潮位の高さの等高線に一致する。広いデルタでは到達限界標高は半分程度に低下している。佐賀の市街地は標高3~4mであるが、最高潮位4mの高潮もここまでは到達しない。熊本市街は標高7m以上なので全く到達域外である。

危険域のゾーニングと、その結果を示すハザードマップは、ある特定の算定方法と設定条件に基づいたもので、その計算条件の場合については正しく示しているが、実際の高潮がそのように侵入するということを保証するものではない。2次元の数値計算ではさらに多くの設定・仮定条件が必要になり、より高い精度が得られているとは必ずしも言えないであろう。

参考文献

- 1) 防災行政研究会編 (1997) : 災害対策基本法. 507p.
- 2) 防災ハンドブック編集委員会編 (1954) : 防災ハンドブック. 技報堂, 1223p.
- 3) 中央防災会議(2008) : 1959伊勢湾台風報告書. 216p.
- 4) 気象庁(1961) : 伊勢湾台風調査報告. 気象庁技術報告, No.7, 899+428p.
- 5) 建設省地理調査所(1960) : 伊勢湾台風による高潮・洪水状況調査報告. 9p.
- 6) 小西達男・上平悦朗(1985) : 台風による高潮. みなとの防災, 87, 3-15.
- 7) 水谷武司(1994) : 高潮の陸地内流入の数値シミュレーション. 地形 15-4, 371-379.
- 8) 水谷武司(1996) : 台風災害の発生要因と経年変化. 地理学評論, 69-9, 744-756.
- 9) 名古屋市(1961) : 伊勢湾台風災害誌. 443p.
- 10) 大阪府(1962) : 第二室戸台風災害誌. 250p.
- 11) 大阪府・大阪市(1960) : 西大阪高潮対策事業誌. 501p.
- 12) 高橋浩一郎(1954) : 台風のエネルギーについて. 中央気象台彙報, 35, 268-283.
- 13) 運輸省港湾局(1970) : 日本の海岸. 404p.

(原稿受理: 2009年7月10日)

要旨

戦後の約15年間、夜間発生の風水害による死者が非常に多かった。深夜来襲台風の被害度(台風単位勢力あたり死者数)は昼間のそれに比べ平均約7倍の大きさを示した。1960年度前半にこの被害度は急激低下を示したが、これは主として深夜来襲台風および大高潮を起こした台風の被害度急減によるものであり、伊勢湾台風大災害の教訓が生かされ、情報伝達や避難行動が的確に行われた結果と推定される。災害経験の効果はすぐに薄れる性質のもので、続く10数年間には深夜来襲台風の被害度がかなり上昇した。長期的な趨勢では被害度はロジスティック関数的に低下している。これは、経済水準上昇に伴う住宅の質向上による建物損壊被害の著しい減少傾向、予算急増による防災施設整備の進捗、災害情報収集・伝達システムの向上、防災行政の体系化などが長期的に寄与した結果と考えられる。伊勢湾台風の高潮は地形条件に規定された到達限界を示したが、これを数値計算により再現した結果などにに基づき、低平デルタにおける高潮危険域ゾーニングを行う地形的基準を求めた。

キーワード: 伊勢湾台風, 台風被害規定要因, 被害度の経年変化, 高潮対策, 高潮危険域ゾーニング