

土佐湾沿岸の地質・地形の特徴と災害

沢 村 武 雄

(文理学部地質学教室)

Geological and Topographical Features and the Disaster along the Tosa Bay Coast

Takeo SAWAMURA

(*Institute of Geology, Faculty of Literature and Science, Kochi University*)

Abstract

The Tosa Bay Coast belongs to the Shimanto belt geologically, and the stratum consists of Cretaceous System mostly. But, the Paleogene Tertiary System distributes between Aki and Cape Muroto on the western part of the Muroto Peninsula and between Saga and Cape Ashizuri on the northeastern part of the Ashizuri Peninsula.

The strike of stratum and fault is ENE-WSW and the dip is north in the main. The rocks are mostly sandstone and shale.

Topography along the Tosa Bay Coast is characteristic of the coastal terraces in the eastern and western parts of the bay and of the rias coast in the central part.

The vertical crustal movements observed by the Nankai Earthquake in 1946 was upheaval on the south side of None-Yasuda-Shimoda-Tsukinada line and was sinking on the other side. The maximum amount of the upheaval was 120 cm in Murotomisaki and that of sinking 120 cm in Kochi and Susaki.

Of the bottom of the Bay of Tosa, north side of a hypothetical fault "Nankai Thrust" from long. 135°20' E., lati. 33°N. to long. 133°E., 32°N. rose as far as None-Tsukinada line, but the south side sank. Developement of thrust is an important feature of Outer Zone of South Western Japan. In as much as the region of the bottom of the Bay of Tosa belongs to that zone, the existence of the Nankai Thrust is reasonable assumption.

The coastal terraces in the regions rose by the Nankai Earthquake in 1946 and the submerged coastal topographies in the regions sank by the earthquake, show that the tendency of the above mentioned movement may have existed from about 200,000 years ago.

On the other side, a new theory was set up recently. That is to say, there is no indication of south upheaval tilting in the formation of coastal terraces along the eastern Tosa Bay Coast by the correlation of reddish soil on the terrace gravel and thickness of red weathering zone of pebbles. Opposition of the both theories is very interesting, and future study should be expected.

The rias coast district in the central part of the Tosa Bay Coast suffered heavily from tsunami due to earthquake and high water caused by typhoon. The Susaki Bay suffered most from tsunami to the Nankai Earthquakes in 1964, 1854, 1707 etc. and the Chilian Earthquake in 1960.

The Urado Bay suffered heavily from tsunami due to the Nankai Earthquakes also, but

very lightly from the Chilian Earthquake Tsunami. A reason of this difference is concerned with the shape of bay, that is, the mouth of the Susaki Bay is wide and its inside narrow, but the mouth of the Urado Bay is very narrow and its inside very extensive. It seems that the Green's law may be applicable somewhat.

Along the Tosa Bay Coast, the disaster caused by high water is lighter than that by tsunami, except the case of the No. 7010 Typhoon in 1970. In the Urado Bay, the water elavation by the high water due to the No. 7010 Typhoon was 2.45 m over the high tide level, and eastern Kochi City was damaged very heavily by flood.

In the Urado Bay, the 1,300,000 m² has been reclaimed out of its whole 8,000,000 m² area. Before the reclamation, the wave hight of tsunami in the mouth of the bay was lowered to one third in the inner part of the bay, but after the reclamation, to one half. In the case of the high water due to the No. 7010 Typhoon, the water elevation inside the bay was about 20 cm higher than that of before the reclamation. It seems almost certain that the reclama-tion promotes the disaster caused by tsunami and high water.

目 次

- I. ま え が き
- II. 土佐湾沿岸の地質・地形の特徴
- III. 土佐湾沿岸の地質・地形と地殻運動との関係
- IV. 土佐湾沿岸の地質・地形と関係のある過去のおもな自然災害
- V. 津 波 災 害
 - a. 安政までの南海地震津波
 - b. 昭和南海地震津波
 - c. その他の地震津波
 - d. 津波災害と湾形、埋め立てとの関係
- VI. 高 潮 災 害
 - a. 過去の主な台風と7010号台風による高潮
 - b. 湾形と潮位、埋め立てとの関係
- VII. ま と め
- 参 考 文 献

I. ま え が き

土佐湾沿岸は、西南日本外帯の四万十帯に属し、主として白亜紀以降の地層より成る。また、地形は、東西両端の室戸岬・足摺崎を中心とする海岸段丘地形と、湾奥の浦戸湾・浦ノ内湾・野見湾を中心とするリアス式海岸地形より成り、土佐湾の位置は、東経 133°1'27"~134°14'26"、北緯 32°43'11"~33°14'26" にわたる。

古来、土佐湾沿岸では、以上のような地質的・地形的・地理的条件とあいまって、種々の自然災害に見舞われている。災害の種類としては、津波・高潮・山崩れ・地回りなどがあげられるが、山崩れ・地回りなどは、湾岸に限らず、内陸においても見られるものであるから、本論文においては、津波および高潮のみを対象とし、沿岸の地質・地形の特徴と、土佐湾を中心とする地殻運動との関係を概説し、過去の主な津波・高潮との関連性に論及する。

II. 土佐湾沿岸の地質・地形の特徴

土佐湾沿岸の地質は、すべて西南日本外帯の四万十帯に属する。過半が白亜系より成るが、東部の室戸岬より大山岬西北方までと、西部の佐賀より足摺半島を中心とする一帯は、古第三紀始新統が分布する。また、このうち東部の古第三紀層を基盤にして、安芸郡の登・六本松・田野・唐ノ浜・伊尾木および穴内などに新第三紀層が分布する。登層のみは中新統であるが、他は鮮新統である。直接土佐湾に面しないが、千尋岬を中心に古第三紀漸新統が発達する。

高知市を中心に、物部川・仁淀川の下流域は、広大な沖積平野をなし、安芸郡の奈半利川・安田川・伊尾木川・安芸川・赤野川および和食川河口付近の沖積層周辺には、海岸段丘堆積物が見られ、これら段丘堆積物は、唐ノ浜・田野などの鮮新統周辺にも発達する（甲藤, 1953; 沢村・湯原, 1963; 甲藤・有田, 1966）。段丘堆積物の研究は、西部海岸方面よりも東部海岸方面に多くの業績が見られる。

地層の走向は、東北東—西南西、傾斜は北がほとんどであるが、走向と同方向の褶曲軸が図1に示すように至るところに見られる。

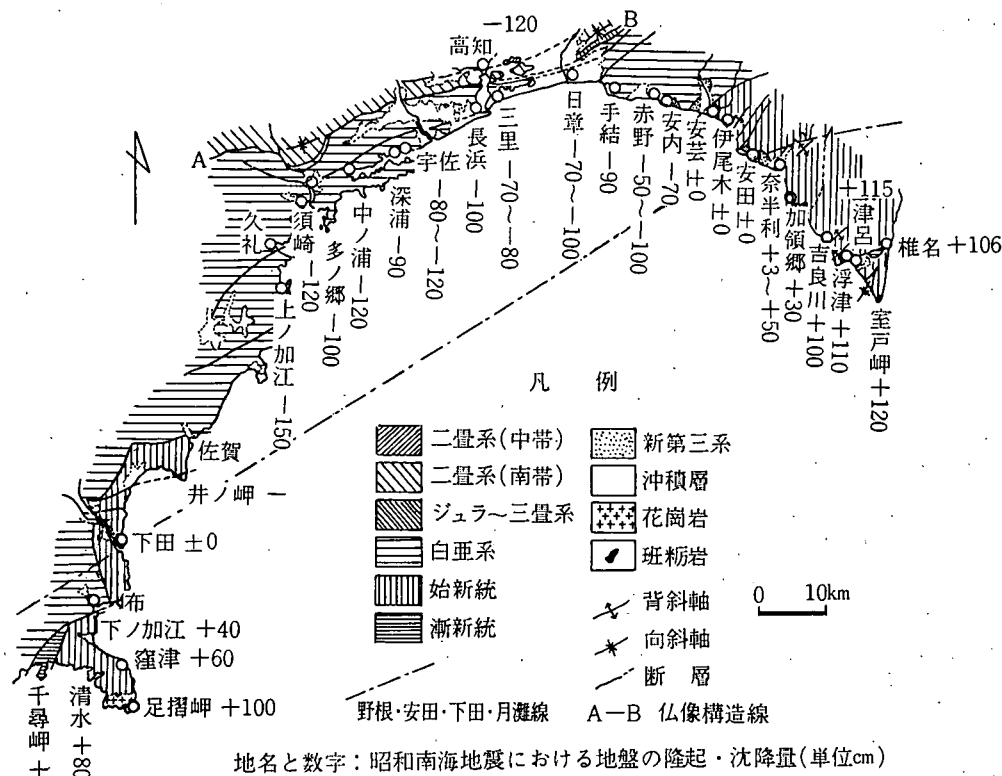


図1 土佐湾沿岸地質概念図

岩石は、砂岩・泥岩およびその互層がだい部分であるが、礫岩・チャート・凝灰質岩などを挟む。火成岩としては、足摺崎の花崗岩が最も著しく、その他室戸岬の斑岩、浦ノ内湾南岸や四万十川河口に近い右岸などに玄武岩の小露頭が認められる程度である。

構造としては、走向方向すなわち東北東—西南西の断層がよく発達する。直接土佐湾岸にはあらわれないが、湾奥の浦ノ内湾に仏像構造線が東西に走る。ここは四万十帯の最も狭い箇所、幅約

4 km である。このような東西性の断層の発達著しいのが、四国外帯の特徴であり、これは土佐湾底でも同様で、筆者が発見した紀州沖から足摺崎沖につづく後述の南海スラストはその代表的なものである。沿岸地域の地質構造には多くの文献がある（甲藤，1960・1969；甲藤・有田，1969その他）。

土佐湾沿岸の地形は、先にも述べたように、室戸岬・足摺崎を中心とする海岸段丘地形群の発達と、湾奥の浦戸湾・浦ノ内湾（横浪三里）および野見湾・須崎湾を中心とするリアス式海岸地形が著しい特徴である。

一般に、海岸段丘やリアス式海岸の形成は、海水面の変化すなわち海退・海進と密接な関係のあることはいうまでもないが、土佐湾においては、海岸段丘地域が地盤の隆起と関係があり、リアス式海岸地域が地盤の沈降と関係がある。

まず、段丘地形について見ると、東の室戸岬を中心とするものは、室戸岬の近傍から、安芸市西方にかけて、海岸および平野周辺に海岸段丘が発達し、特に吉良川町南方行当岬から、安芸市東方にかけては、ほとんど連続的に発達している。これらの段丘は、上・中・下段と3段に大別されるが、このうち段丘面がよく発達し、礫層が厚く堆積しているのは中位の段丘である。上位段丘は、安田以南に点在するが、地形的にも開析の進んでいるところが多く、現在では堆積物はほとんど認められない。下位段丘は、海拔 20 m 以下のところに礫層が数箇所認められるが、行当岬および室戸半島東岸では、洪積世末より現世に至る波食台地がよく発達している。段丘礫層は、唐ノ浜層群の穴内層（鮮新世）以前の古い地層を不整合に覆う。したがって、その形成時期は洪積世であるが、その詳細な区分については結論に至っていない。洪積礫層の分布については、沢村らはその分布をはっきりさせた。なかでも、安田および安芸平野周縁の段丘礫層、穴内層の分布を確認した（沢村・湯原，1963）。段丘礫の岩質は、ほとんど砂岩であるが、羽根岬以南では泥岩礫を、安田以西では赤色チャート礫を伴い、安芸平野西岸ではその割合も多くなる。前者の泥岩礫は、室戸半島層群（始新世）の優勢な黑色泥岩と肉眼的には全く同質であり、後者のチャートは、須崎層（白亜紀）に多く見られるもので、河川および海洋の作用で海岸近くに堆積したこれらの段丘礫は、この地方の古第三紀以前の基盤岩類から供給されたものが、その多くを占めるものと考えられる。

隆起汀線の標高は、180～200 m を最高としているが、今村学郎は、これを上下两段に分け、その隆起汀線を調べた結果、下段の汀線の標高は、西北方では 30 m に過ぎないが、東南に行くにつれ次第に高くなり、室戸岬の近くでは 190 m に上昇し、それから急に 140 m に降っていると述べている（今村，1944）。また、松下進らは、このほかに最高標高 15 m、幅 400 m 以下の平地として認められる最下段を考えて3段に分けている（松下・岡田，1950）。なお、高知県東部の海岸段丘について、須鎗らの興味ある研究があるが、これについては次項で述べる。

段丘地形について、西の足摺崎を中心とするものは、小笠原義勝はこれを3段に分け、3段を通じて見た隆起量は、足摺崎の先端で最大であることを述べ、各段丘形成後現在までの地殻運動は、半島全体として見ると、いずれも半島先端部の隆起量がより大きいと述べている（小笠原，1940）。松下進らも同様に3段に分けているが、その分け方は小笠原のものとは異なるようである。筆者らは、1950年、小笠原・松下らなどの調査の段丘群を含め、広範囲にわたり海岸線を調査した（沢村・甲藤，1950）。また、その後甲藤次郎の調査がある（甲藤，1960・1969）。

高知県西方海岸において、海岸段丘の発達を見るのは、幡多郡大方町の海岸から下田港に至る一連の海岸段丘と、土佐清水市下ノ加江方面から足摺崎を一周して、土佐清水市三崎付近に至る海岸線に発達する一連の標式的海岸段丘である。前者は、後者と多少趣きを異にし、たとえば、四万十川河口の下田港や大方町の伊屋部落の海岸段丘（隆起汀線約 20 m）などがその例で、まず広くて浅い海食および河食の台地が次第に不連続に隆起して数段の段丘をつくり、侵食期が長く続いて深い狭谷がつくられ、やがて沈降して海が浸入し、その谷はおぼれて厚い沖積層が堆積し、しだいに陸化し今日に至ったもので、必ずしも現在段丘形成期にあるわけではない。これに対して、後者の

一連の海岸段丘地形について、その隆起汀線は、第3段まで数えることができる。200~140 m の高位段丘、100~80 m の中位段丘、80~20 m の低位段丘があり、過去において3回の断続的な隆起のあったことがわかる。ただし、第四紀の glacial eustasy を考えれば、必ずしも断続的でなかったかも知れない。低位段丘が全般的に最もめいりょうであるが、興味ある問題は、低位段丘の隆起汀線の高さが、半島先端の 80 m に対し、東の土佐湾側では、北するにつれ、赤磐 70 m 台、津呂・窪津 50 m 台、伊予駄馬 40 m 台、下港山 20~30 m 台、久百々 20 m 台という風に次第に減じ、布崎の 40 m 台は構造的関係であろう。半島先端から西海岸も松尾・中ノ浜 40 m 台、清水港・九輪山麓 30 m 台と次第に減じている。この関係については後述する。

次に、湾奥のリアス式海岸である。すでに述べたように、土佐湾の東西両海岸に望んで、海岸段丘地形が発達するのに対し、中央部湾奥で、このようなリアス式地形を呈することは、これらの地形が、単に洪積期以降の氷河期と関係を持つ海水面の上昇、沈降だけでは説明ができず、特有な地殻運動と密接な関係のあることはいうまでもない。また、後節で述べるように、津波・高潮の自然災害と最も関係の深いのも、このリアス式沈降地形の海岸およびその後背地である。このリアス式沈降地形は、東から浦戸湾、浦ノ内湾（いわゆる横浪三里）および野見湾・須崎湾に3大別される。そのうち、最も典型的なリアス式地形は、仁淀川河口以西である。なお、吉川虎雄は、高知市付近は、現在沈降地域であるということとはできないと述べているが（吉川，1964）、むしろ第四紀の glacial eustasy は考えねばならぬが、沈降地形でないという断定には応じられない。

浦戸湾は、后背地が高知市で、湾口狭く、最狭部わずか 150 m であるが、湾内は広く、南北約 5.7 km に延びるひょうたん型を呈し、面積 830 万 m^2 に及んだ。これが1960年にスタートした高知港整備計画によって1965年現在、すでに 130 万 m^2 が埋め立てられた。

浦ノ内湾は、東西性で湾口より湾奥まで直距離 10.5 km、南北両岸間の最狭部 0.3 km、最大幅 2.3 km のすこぶる屈曲に富んだ湾形をなす。浦戸湾・浦ノ内湾は真東に向かって湾口がラップ型に開いているので、強い東風の台風時には、吹き寄せによる高潮位によって被害を大きくする可能性が高い。

湾内に須崎市街を控える須崎湾は、南に向かって湾形が大きく開く形をとるため、海底地形とも関連して、外洋からの津波を受け入れるのに好都合で、終戦後でも南海地震津波・チリ地震津波などで甚大な被害を受けた。須崎湾の東にならぶ野見湾は、東に、南北に連なる細長い半島部と、南に、神島・中ノ島・戸島などによって囲まれた海域で、典型的な沈降地形である。これらの湾内には、沈海した井戸枠などの人工造営物が認められると伝えられている。

III. 土佐湾沿岸の地質・地形と地殻運動との関係

前項では、土佐湾沿岸の地質・地形の特徴をあげたが、本項では、そのような特徴を持つに至った過程、特に津波・高潮のごとき自然災害と密接な関係を持つ地形的特徴について、地殻運動との関連性をまとめる。

すでに述べたように、土佐湾沿岸の海岸段丘地形やリアス式海岸地形が、気候の変化による海水面の水位変化とは別に、土佐湾を含めた四国地塊の地殻運動と密接な関係がある。筆者はかつて、昭和 21 年（1946）の昭和南海地震に伴った地盤変動と土佐湾の海岸地形との関連性について詳しく論じた（沢村，1951・1953）。

すなわち、その要点をまとめると、1946 年 12 月 21 日の南海地震で、土佐湾沿岸を中心に行なわれた地殻運動は、高知県の野根一安田一下田一月灘を結ぶ一線を境にして、1つの例外もなく、その南は隆起、北は沈下した。隆起量は南ほど大きく、室戸岬先端の 120 cm が最大である。土佐湾沿岸では、北西に向かい、津呂 +115 cm、浮津 +110 cm、加領郷 +30 cm、奈半利 +3~50 cm、安田・伊尾木・安芸で ± 0 cm で、これより以西では沈下に転じ、紀淡海峡に面する側では、椎名

+106 cm, 佐喜ノ浜 +30 cm, 野根 ± 0 cm で、これより以北では沈下となる。これは明らかに南上がりの傾動である。また、西部の足摺崎方面でも、その先端が +100 cm で最も隆起量が大きく、土佐湾岸では北するにつれ、窪津 +60 cm, 下ノ加江 +40 cm, 下田付近で ± 0 cm となり、以東では沈下となる。また西に行くにつれ、やはり隆起量を減じ、月灘・古満目付近で ± 0 cm となる。すなわち、室戸方面と同様、南海地震で南上がりの傾動を行なった (図1)。

沈下量は、浦戸湾周辺・浦ノ内湾西部および須崎湾周辺の 120 cm が最大であるが、この沈下量のうちには、冲積層の地震動による揺り沈み (settling) が含まれ、たとえば、高知市東部において 20~30 cm に達した。南海地震の発震機構は、土佐湾沖海底の、田山利三郎 (田山, 1950) の土佐海段・日向海段間の急崖 (深度 1000~1600 m) を走る“南海スラスト”すなわち、紀州沖および土佐湾の海底では、東経 $135^{\circ}20'$ 、北緯 33° の震源域中心点と、東経 133° 、北緯 32° の地点を結ぶ線で、地震直後、水路局の sounding の結果を検討推定し命名した北傾斜の断層線の thrusting によるものである。この南海スラストと直角な方向すなわち、ほぼ南からの影響による圧縮応力の蓄積によって、同じ性質の南海地震の繰返しであるが、その中間においては、先に述べた野根一月灘線の下方向比較的浅所に推定した回転軸を軸として、四国が傾動的に seesaw 運動を行ない、次第に北が上がり、南が下がる。すなわち、室戸・足摺方面は下がり、高知・北四国は上がる。応力の集積がいよいよ大となり、地震が近づくと、南下がりの seesaw 運動は速度を増し、極限において方向を逆転し、いくばくもなく断層面に沿って thrusting が行なわれ、seesaw は急速度で南上がりとなる。昭和の南海地震では、室戸岬の先端で 120 cm の隆起であったが、その沖の南海スラストの上盤側は 5~6 m 程度、須崎沖では 4 m 程度と推定され、明らかな南上がりである。地震後は再び南下がりに方向を転ずるが、元のレベルにまで回復しないうちに、次期の南海地震で 1 m 以上の隆起を行ない、かくて隆起・沈下を繰返ししながら次第に隆起した。すなわち、海岸段丘地形の形成に、次のような過程を考える。

(1) 上位段丘面の形成。

(2) 大規模な沈降 (海没)、中位段丘面の形成と礫層の堆積。

(3) 上昇 (海退)、中位段丘の形成、このうちにも上昇期と短かい停滞期あり。

(4) 沈降、下位段丘面の形成、(2) よりも小規模。

(5) 上昇、下位段丘の形成。

筆者は、次の2点から、昭和南海地震と同性質の地震が、有史以来だけでも少なくとも8回以上繰返えされ、同じ傾向の地殻運動が行なわれて、現在のような海岸地形を呈するに至ったと考えてきた。その1つは、段丘の隆起汀線の高度である。これは、東部海岸についていえば、筆者のみならず、前項で述べたように、今村学郎らもその数字をあげ、湾岸を室戸岬に近づくほど高くなるとしている。今1つは、段丘礫層が不整合におおっている基底の新第三紀の標高である。新第三紀層は、安芸市西方穴内から東へ、伊尾木 (安芸市)・唐ノ浜 (安田町)・北張 (田野町) の穴内層 (鮮新統)、六本松および郷 (奈半利町) の六本松層 (鮮新統)、西谷および登 (室戸市羽根) の登層 (中新統) などが点々として分布する。その厚層は 80~100 m に達するが、各地の標高は、穴内 10 m・伊尾木 15 m・唐ノ浜 50 m・北張 60 m・六本松 60 m・郷 100 m・西谷 60 m・登 80 m 程度とし、さらに、穴内層の分布は、安芸市西方から登地区まで (安芸・田野で最大)、六本松層は、田野町羽根川東岸まで (奈半利で最大)、登層は登が中心で、室戸市元の東方 (向江) で小区域の露頭を見る。すなわち、新第三紀層でも時代が新しいほど、その分布および中心が西方にあるとして、これらを総合して、土佐湾東海岸の海岸段丘の形成は、南海地震における上に述べたような地盤運動の集積とした。

また、土佐湾東海岸の海岸段丘と地殻運動に関しては、吉川虎雄・貝塚爽平・太田陽子 (1964)、吉川 (1969)、渡辺光 (1948)、松下 (1950) その他の研究があり、吉川らも室戸岬付近の 188 m の旧汀線が、安芸市伊尾木付近では、60 m にまで低下することによって南東上がり、北西下がり

の傾動隆起を考えた。太田陽子 (1968)・宮部直巳 (1955) も指摘しているように、下末吉期の旧汀線高度は場所によって非常に異なり、特に、土佐湾北東岸では 200 m にも達しているが、大まかにいって、どの地域でも南方に突出する岬の方に向かって高度を増している。このような傾向が、西南日本外帯における大地震時の地殻運動の様式と同じであり、第四紀後期においては、現在に至るまで、同じ様式の地殻変動が続いたと見なすことができるとしている。

さらに西部海岸についても、一連の海岸段丘、特に最もめいりょうな低位段丘面の隆起汀線の高さについて、前項で述べたように、足摺崎の先端で最も高く、湾岸を北上または西進するにつれ次第に低くなる。また、昭和南海地震による隆起量の傾向と一致するので、結論的に土佐湾沿岸の地形は、第四紀の glacial eustasy も考慮に入れて、南海地震の際に行なわれた地殻運動の約 15~20 万年以来の集積であるとした。15~20 万年というのは、室戸半島の四十寺山層 (漸新世) の現在の高度 (380 m) と、宝永南海地震 (1707)・安政南海地震 (1854) と昭和南海地震 (1946) の 3 大地震で室戸岬の隆起した量との数的関係から算出したものである。これらについては、かつて詳しく述べた (沢村, 1953)。吉川・貝塚ら (1964) も、これら隆起海岸段丘について現在と同じような地殻変動が、 H_2 面形成期にさかのぼって 15 万年以上も前からつづけられたとしている。萩原尊礼 (1966) は、杉村新の研究から、関東地方でも同性質の地震が、過去 6000 年間繰り返えされたと述べている。

しかるに、須鎗らはすこぶる興味ある研究を行なった。第四紀における地殻変動と現在のそれとの関係を考察するのに最も適当な場所として、高知県東部の海岸段丘を選んだ。ただ段丘に分布している堆積物の条件が悪く、対比が困難なので、風化による赤色土によって、段丘礫層の風化の程度、段丘面の発達状態および高度を目安として、室戸岬一安田町間の段丘を、高位段丘 (H 面)、中位段丘 (M 面)、低位段丘 (L 面) に大分けし、これら各面のうち、H 面・M 面の礫層が赤色土化作用をうけ、赤褐色 (2.5 YR) に風化しており、これによって研究を加えた結果、最近の地盤変動に見られる傾動の傾向は、段丘面の高度分布からは見られないと予報した (須鎗ら, 1966)。さらに、その後段丘面の分類を細分し、高位面 ($H_0 \cdot H_1 \cdot H_2$)、中位面 ($M_1 \cdot M_2 \cdot M_3$)、低位面および新期の波食面・谷底段丘面などとした (須鎗・阿子島・栗岡, 1971)。これらの分類は、現在の海拔高度によるものであるから、段丘形成時において傾動のなかったものとしているので、その対比は、面の連続性だけでなく、段丘面に発達する赤色土の色相、断丘礫の表面の赤色風化層の厚さなども考慮されたことは興味がある。かつ、これらが面の高度と非常によい対応を示すため、第四紀後半の段丘面形成期において、当地域の南上がりの傾動的隆起運動は想定され得ないとしている。

今後の問題として、対比の指標として赤色土化作用の精度を増すことが考えられているが、いずれにせよ、段丘形成時の傾動的隆起運動想定の鍵がこの点に絞られているので、さらに慎重を期すべきであろう。たとえば、赤色土は色相だけで対比してよいものかどうか、色相は同じでも X 線解析は同じであるか、礫の赤色風化層の厚さが同じであれば、同一期形成とする決定的条件といえるか、そのような懸念が無ければ幸いである。

かりに須鎗らのこの研究成果を、そのまま受け入れるとすれば、現在の高知県東部海岸段丘地形が、段丘形成期以来の傾動的隆起運動の集積であるとする筆者を含めた多くの研究者の考えを再検討する必要が生じてくる。

しかしながら、少なくとも、有史以来の数回の南海地震に伴った地殻運動よりすれば、現在は、余りにもめいりょうな土佐湾岸全面的な seesaw 的傾動運動が行なわれているので、これをいつの時期にまでさかのぼらせるべきかという問題が課されてくる。また、須鎗らのこの研究は、高知県西部の海岸段丘地形にも及ぼされることが望ましく、足摺崎を中心した低位段丘面 (L 面) の高度が、先に述べたように、北するにつれ、西するにつれ次第に低くなっていることから、今後の興味ある課題となろう。

IV. 土佐湾沿岸の地質・地形と関係のある過去の主な自然災害

先に述べたように、土佐湾沿岸の自然災害のうち、内陸にも発生する山崩れ・地這りなどは対象とせず、津波・高潮に限定して検討を加える。津波・高潮を自然災害の対象とすれば、最もその影響の大きいのは、土佐湾中央部の屈曲の多いリアス式沈降地帯すなわち、浦戸湾・浦ノ内湾・野見湾および須崎湾を中心とする沿岸地帯となる。

まず、津波について見ると、大きな災害を与えた有史以来の南海地震津波がある。過去の宝永・安政の南海地震津波ともなれば多くの古記録はあるが、それでも痕跡調査的な判断しかできない。これに比べると、昭和の南海地震津波の精度は高い。その他災害と関係のある津波としては、戦後では昭和35年(1960)のチリ地震津波、1968年日向灘地震津波などがあり、戦前においても、チリ地震津波的な渡洋津波が災害を与えたと考えられるが資料に乏しい。

次に、高潮について見ると、程度の差はあるが浸水の災害を与えた主なものをまとめると、表1が得られる。これは、高知地方気象台の資料により、運輸省第三港湾建設局がまとめたものに、筆者が追記した(運輸省第三港湾建設局, 1970)。津波に比べると、そのひん度大で、表1に示すように、昭和9年(1934)の室戸台風以後でも17件にのぼる。

V. 津波災害

a. 安政までの南海地震津波

土佐湾沿岸における津波災害は、有史以来繰り返えされている南海地震津波より著しいものはない。これらの地震をまとめたものが表2である。表中の康和元年の南海地震は神田茂の所見によるものである(神田, 1968)。康和地震の2年余り前の永長元年(1096, 12, 17), M 8.4の地震は、南海地震の性質として、安政南海地震におけるその1日前の1854. 12. 23, M 8.4の地震、昭和南海地震におけるその2年前の1944. 12. 7, M 8.3の東海道沖地震に匹敵するものとする。吉川虎雄は、明応7年(1498)を南海地震の1つに挙げているが(吉川ら, 1969)、これは東海道地震である。いずれにせよ、土佐湾に来袭する津波で災害をもたらすものは、諸南海地震およびその1両年前または直前に起こる上記のごとき東海道沖・遠州灘沖方面の海底を震央とするM 8級の地震によるものが主で、その他に近海の浪源としては、たとえば日向灘地震、明神礁の爆発などがあるが、むしろチリ地震津波のように、はるばる渡洋し、日本近海で集約される津波が警戒を要する。

表2の備考欄の内容については、すでに詳しく述べたが(沢村, 1953・1967)、津波による被害状況を概観する。

白鳳南海地震(684. 11. 29):

津波の型としては、宝永・安政・昭和のものと同じであったと考えられるが、その勢いがいかに猛烈であったかは、次の口碑で想像がつく。

「高知市街の入口なる浦戸港の北方を孕^{はらみ}という。距離六、七町の小海峡をなす。白鳳大變の時、大浪南方より打ち寄せ、この山脈を蹴りて小海峡をなせしが、当時その打欠ぎたる山の一部をば、なお潮勢にて北に押流し、孕より二十丁程北方に坐らしめたり。これ今日の比島なり」。

しかし、この地震で最も興味のあるのは、日本書紀の「土佐国田苑五十余万頃没為海」の記事である。これは今日のおよそ12 km²に当たり、12 km²だけが陥没したものでなく、地塊運動によってゼロメートル以下に沈下した場所に浸水を見たものである。具体的な場所については、諸説があるが、筆者は高知市東部を考えている。宝永・安政・南海の諸南海地震においても、高知市東部で、このような沈下が認められ、津波の被害をいっそう大ならしめた。

表1 過去の主な台風記録 (第三港湾建設局調べ、一部補正)

No.	年月日	台風名	最低気圧		最大風速		10m/sec 以上 吹送時間	最大潮位		最大偏差		標準潮位 (cm)	総降雨量 (mm)
			気圧 (mb)	起 時 (日時分)	風速 (m/sec)	風向		潮位 (cm)	起 時 (日時分)	潮位 (cm)	起 時 (日時分)		
1	S 9. 9. 21	室戸台風	959.0	21. 5:00	最大 15.3 瞬間 28.0	NW	21. 5:30 21. 4:50						113.0
2	S 10. 8. 27 S 10. 8. 30	5号 "	973.0	28. 22:00	最大 17.2	ESE	28. 15:00						202.4
3	S 12. 9. 11	6号 "	957.6	11. 7:08	最大 27.3 瞬間 41.0	ESE	11. 7:00						124.3
4	S 13. 9. 5	3号 "	977.2	5. 10:45	最大 9.8	NW	5. 9:30						72.6
5	S 16. 8. 15 S 16. 8. 16	8号 "	968.3	15. 6:03	最大 12.0 瞬間 17.0	SSW	15. 9:50						181.0
6	S 17. 9. 21 S 17. 9. 23	15号 "	973.9	21. 13:08	最大 25.8 瞬間 34.5	NW	21. 13:20						208.4
7	S 20. 9. 17 S 20. 9. 18	枕崎 "	979.4	17. 21:58	最大 26.2 瞬間 34.7	SE	17. 18:20						166.0
8	S 28. 9. 25	13号 "	978.9	25. 12:45	最大 21.0 瞬間 32.3	N	25. 12:40 25. 12:30	268	25. 7:25	51	25. 7:25	217	198.7
9	S 29. 8. 17 S 29. 8. 18	5号 "	974.9	18. 19:33	最大 21.1 瞬間 27.3	SE SE	18. 10:50 18. 10:45	239	18. 8:20	57		182	133.9
10	S 34. 8. 8	6号 "	975.4	8. 21:45	最大 18.0	ESE	8. 15:50	233	8. 20:40	49		184	273.1
11	S 34. 9. 26	15号 "	971.4	26. 16:42	最大 17.6	NNW	26. 16:39	178	26. 15:30	46	26. 15:30	132	39.5
12	S 35. 8. 29	16号 "	969.8	29. 14:33	最大 24.9	E	29. 12:20	234	29. 14:00	72(123)	29. 14:00	162	72.6
13	S 36. 9. 16	第2室戸 "	954.0	16. 10:00	最大 18.8 瞬間 27.6	E	16. 07:00 16. 06:57	255	16. 9:20	91	16. 9:20	164	189.0
14	S 39. 9. 24	20号 "	976.3	25. 02:30	最大 25.2 瞬間 38.5	SE S	25. 02:20 25. 02:29	10	25. 8:15	81		139	127.2
15	S 40. 9. 10	23号 "	958.9	10. 7:49	最大 15.5 瞬間 28.1	NNW	10. 8:00 10. 7:48	3	10. 6:05	82		129	126.6
16	S 43. 7. 28	4号 "	979.7	28. 18:40	最大 14.2 瞬間 23.2	ESE	28. 20:00 28. 20:37	2	29. 20:30	47		168	158.0
17	S 45. 8. 21	10号 "	979.2	21. 08:55	最大 29.2 瞬間 54.3	E	21. 09:00 21. 09:05	測定不能	21. 8:40	240以上	21. 8:40		137.5

注: () は気象庁方式による。

表2 過去における南海地震の記録

回数	発震日	震域	主震央位置	M	備考
1	白鳳13年 (684. 11. 29)	土佐その他東海・ 南海・西海諸道	東径 134°0′ 北緯 32°35′	8.4	津波, 土佐国田園五十余万頃没為海
2	仁和3年 (887. 8. 26)	京都五畿諸道	東径 135°0′ 北緯 32°55′	8.6	津波, 死者多し.
3	康和元年 (1099. 2. 22)	土佐・奈良・京都			
4	正平16年 (1361. 8. 3)	畿内・東海道一部	東径 134°40′ 北緯 32°50′	8.4	津波
5	慶長9年 (1605. 1. 31)	東海・西海・南海 諸道	東径 134°30′ 北緯 32°45′	7.9	死 5000, 大津波あり.
6	宝永4年 (1707. 10. 28)	東海・畿内・南海 ・東山・西海一部	東径 135°35′ 北緯 33°10′	8.4	大平洋岸大津波, 土佐流家 1万1,167戸, 室戸岬 2~2.5m隆起, 高知 2 m沈下
7	安政元年 (1854. 11. 24)	東海・南海・西海 諸道	東径 134°15′ 北緯 32°40′	8.4	大津波, 室戸岬 1.2m隆起, 高知 1 m沈下
8	昭和21年 (1946. 12. 21)	南海道・紀伊半島	東径 135°20′ 北緯 33°0′	8.1	大津波, 室戸岬 1.2m隆起, 高知 1.2m沈下

仁和南海地震 (887. 8. 26)・正平南海地震 (1361. 8. 3) :

この両地震の間に, 康和南海地震 (1699. 2. 22) を考えた. 康和については, つまびらかでないが, 仁和・正平ともに津波を伴ない, 特に正平の特徴として, 兵庫県・徳島県方面の津波の被害が大きく, 流失家屋, 死者が多かったようである.

慶長南海地震 (1605. 1. 31) :

白鳳と同様の地盤変動があり, 阿闍梨^{あじかり}暁印の記録によれば, 津波のために, 佐喜浜で 50 余人, 室戸岬^{むろつし}・行当岬^{かんのうら}方面で 400 余人, 甲浦^{かほ}で 350 余人, 徳島県海部郡穴喰^{あなぐ}で 3860 余人, この方面だけで 4700 人ばかりの死者があった. 当時は, 関が原の戦後で, 山内侯が藩主に封ぜられた直後で, 記録が非常に少なく, たまたま暁印が佐喜浜に来ていて地震にあった記録で, 高知方面のことは不明である.

宝永南海地震 (1707. 10. 28) :

津波は, 10 回余り来襲したようで, その範囲も広く, 東は伊豆から九州におよび, 諸南海地震中最大規模であった. 波高については, 安政南海地震津波とともに後述する. 武藤平道の南路志その他によると, 安芸郡の海浜では, まず 600 m ばかり, 海水が沖へ退いてから大潮が押し寄せ, 「財宝尽く流失不達者成者或山遠き者残らず大潮に引取られ死」とあり, 高岡郡の海浜では, 「人家尽く流れ死人^{いまだ}役を組むが如し, 「賁賤男女に限らず, 波に漂うて苦しむ事多し」など, 溺死者の数ははっきりしないが, おびたしいものと思われる. 土佐藩主山内豊隆公より幕府へ訴えた損害高のうち, 流家 1 万 1, 167 軒, 損田 4 万 5, 170 石余, 米流失 2 万 2, 120 石余という数字が見えている.

地盤の水準変化について, 河角広によれば, 室戸岬 2~2.5 m (7~8 尺), 室津 1.5 m のそれぞれ隆起, 高知市東部隣接地域で 20 km² にわたり, 最大 2 m の沈下となっている. このような沈下が高知市方面の津波の被害に拍車をかけたことはいうまでもない.

安政南海地震 (1854. 11. 24) :

津波は, 宝永地震津波とともに最も規模が大であったようで, 房総半島から九州東岸におよんでいる. 藩主山内豊信公より幕府への報告では, 流失家屋 3, 182 軒となっており, 稲毛実の三災録によれば, 高知市において, 「津波打入ると呼ぶ間もなく, 震動の音して潮高倉になりて溢れ来ると見れば, 一(中略)一浦戸港内, 地潮より 3 尺 4.5 寸 (1 m 余) 高となり, 城東新町下知一円海となる. 桂浜は一軒も残らず流失したようである.

地盤変動を見ると, 室戸半島は, 南ないし南東上がりの著しい隆起で, 室津で 4 尺 (1.2 m) 隆

起した。高知市東部地域では、宝永のときと同様の沈下が行なわれたが、沈下度はやや小さく、面積ならびに垂直変化量ともにおおむね宝永時の半分程度であつたらしく、高岡郡リアス式海岸、上ノ加江方面が1 m 程度の沈下、足摺崎も多少の沈下としている。足摺崎については、すでに述べた(沢村, 1953)。

以上、安政南海地震までの諸南海地震津波について概説した。宝永地震以後は記録も多く、その状況から推計算される M (Magnitude)、津波の波高その他についても、それ以前のものに比べて精度は高い。しかし、地震計も検潮器などの計器も存在しない時代のことであるから、現在の科学的観察によって得られる data には及ばないであろう。次に、宝永・安政両地震の津波の波高について述べる。

表3は、今村明恒が、かつて高知県土木課で調製した宝永・安政両地震津波の陸地浸入図に基づいて、実測した各地の津波の高さを示すものである(今村, 1949)。今村は、上記浸入区域図を基に、土地の伝説碑文などを参照して、実測を試みた。彼は、「計測用器械として手さげ水準器を用い、浪高と平均海水面の高さとを比べるには、付近に設けてある陸地測量部(注、国土地理院)の精密水準標を利用した。或は直接に海の汀線を利用したこともあり、又海水と交通している池の水面を利用したこともある。いずれの場合においても誤差は1割以内の範囲に止まるであろう」としている。今村が“浪高”としているのは、全振幅の波高ではなく、平均海面上の浪頂の水位(波浪の影響を含む)と考えられる。津波浸入区域図がどのように調製されたかつまびらかでないが、多くの古記録を利用し、安政のものは古老の言も参考にして、内陸の最奥到達地点を決め、これに至る途中では、痕跡調査的面も多分に含まれているものと思われる。

表3 宝永・安政南海地震津波の波高

		宝 永		安 政	
		測定値	補正值	測定値	補正值
		m	m	m	m
室 津		6.5	4.3	—	—
安 芸		5.6	3.7	—	—
種 崎		23.	15.	11.	7.
宇 佐		15.7	10.5	8.5	5.6
須 崎		12.6	8.4	—	—
久礼(海岸)		—	—	12.1	8.1
久礼(内陸)		25.7	17.1	16.1	10.7

計測器の発達した現在は、津波・高潮などにおける波高・潮位は、検潮器が使用されるが、なお痕跡調査は重要である。たとえば、昭和45年(1970)8月21日の台風10号による高潮が、予想されなかった超高潮位によって、浦戸湾8カ所の検潮器のうち、2カ所は完全欠測、他は浮子のつかえ、スケールアウト、紙送りの故障、電源故障などがあり、完全に記録が得られたのは若松町のもののみであった。したがって、不十分な data を補う意味で痕跡調査が重要な役割を演ずることになった。このことから見ても先の今村の宝永・安政の土佐湾岸各所の波高記録においても、これを過大視する傾向があるが、貴重な資料と考える。津波の高さは、検潮器を使用しない場合は、家屋・白壁などからの痕跡から求めるのが最も良いが、海岸の斜面上などで波の到達限界から求めたのは、一般に過大となる。南海地震の津波において、その例がある。徳島県浅川の湾口鯖瀬で家屋の痕跡より2.9 m、海岸の砂浜上より4.1 m、高知県高岡郡安和海岸で、家屋からの値3.0 m、砂浜上からの値4.7 mで、前者は1.2 m、後者は1.7 m 過大で、平均1.5倍程度となる。今村の波高決定においても、鯖瀬・安和における場合と同様なことが考えられる可能性があるので、表3の補正值としたのは、多少の危険性はあるが、上述の根拠で求めたものである。昭和南海地震の波高

については後述するが、この補正值より見ても、宝永・安政の波高が、昭和のものをかなり上まわるものと見るべきである。また、この補正值が過大でないことは、昭和地震津波による流失家屋 566 戸に対し、はるかに人口密度の疎であったころの宝永津波・安政津波による流失家屋が、それぞれ 1 万 1,167 戸・3,182 戸に達したことから推察できる。

b. 昭和南海地震津波

昭和南海地震津波の浪源は、南海スラストの thrusting に伴う海底地形変動にある。したがって、浪源域は局部的なものではなく、南海スラストに沿って広域にわたる。このことは、和達清夫もその編著の中で、これに近い浪源域を指定している（和達編，1970）。長軸および短軸の長さが、それぞれ 300 km, 190 km の長楕円で、面積は $45 \times 10 \text{ km}^2$ としている。主震央位置が東経 $135^\circ 20'$ 、北緯 33° 付近であるから、津波のスタートもこの位置に始まったものと思われ、したがって第 1 波の波面の進行方面は、土佐湾内においては、東部海岸段丘安田付近までは、波面の進行方向と海岸線が直交に近く、以西においてはこれが平行に近い。第 1 波の到着時刻は、発震後 30 分以内に來襲しているが、東部と西部では多少その情況が異なる。引き潮で始まってから第 1 波が來襲することは同様であるが、浦戸湾から以西では、その程度が大で、低潮面から 1~2 m 引いてから、第 1 波が高潮性に、あるいは押し波性に來襲している。海底地形によって高潮性または押し波性となるものであるが、土佐湾の大部分がいったん引き潮があつてから第 1 波が襲っていることは、南海スラスト下盤の突き込みが、上盤の持ち上がりより大であったことを示すものである。波高（当時の潮位上、m）を見ると、

津 呂 (1.92),	安 田 (1.9)
手 結 (2.87),	高 知 (0.6)
御 疊 瀬 (0.92),	浦 戸 (1.79)
新 宇 佐 (3.9),	須 崎 (2.96)
多ノ郷 (3.03),	野 見 (5.20)
安 和 (4.7),	上ノ加江 (2.7)
久 礼 (3.3),	小 室 (3.86)
佐 賀 (4.7),	上 川 口 (4.5)
下 田 (3.5),	下ノ加江 (3.23)
布 (2.1),	以 布 利 (2.7)

となっており、表 3 と比較しても、宝永・安政の地震津波の波高の方が大であったといえよう。和達もその編著書で、南海地震津波は、嘉永 7 年（安政元年，1854）の津波より小さかったとしているし、河角広・佐藤泰夫らも同様に述べている（河角・佐藤，1949）。それでも昭和年間に入ってから、昭和 8 年（1933）の三陸津波が最大で、これに次ぐものである。上記の波高は、水路部の調査によるものであるが（水路部，1948）、これらのうち、浦戸湾、須崎・野見湾関係のものにつき、両湾の湾形が災害の面につき対しよ的であるから、さらに詳細に図示する（図 2，図 3）。図中の数値は、高知県調査のものであるが、水路部のものとさしたる差はない。

広範囲にわたって來襲した津波は、県下全般に大きな災害を与えた。これらについては諸報告があるので（水路部，1948；高知県，1949；和達編，1970 その他）、概述する。

流失家屋	566
浸水家屋	5,608
浸水田畑 (ha)	3,030
流出船舶	816
死者（地震を含む）	1,836
傷者（ ” ）	679

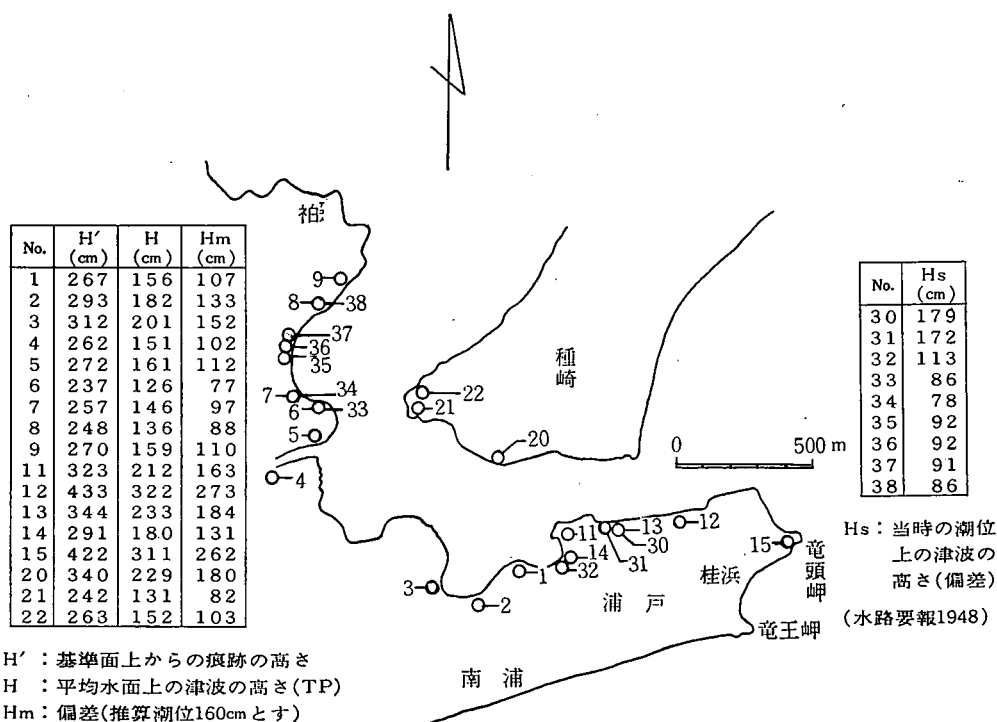


図2 昭和南海地震津波 (浦戸湾口)

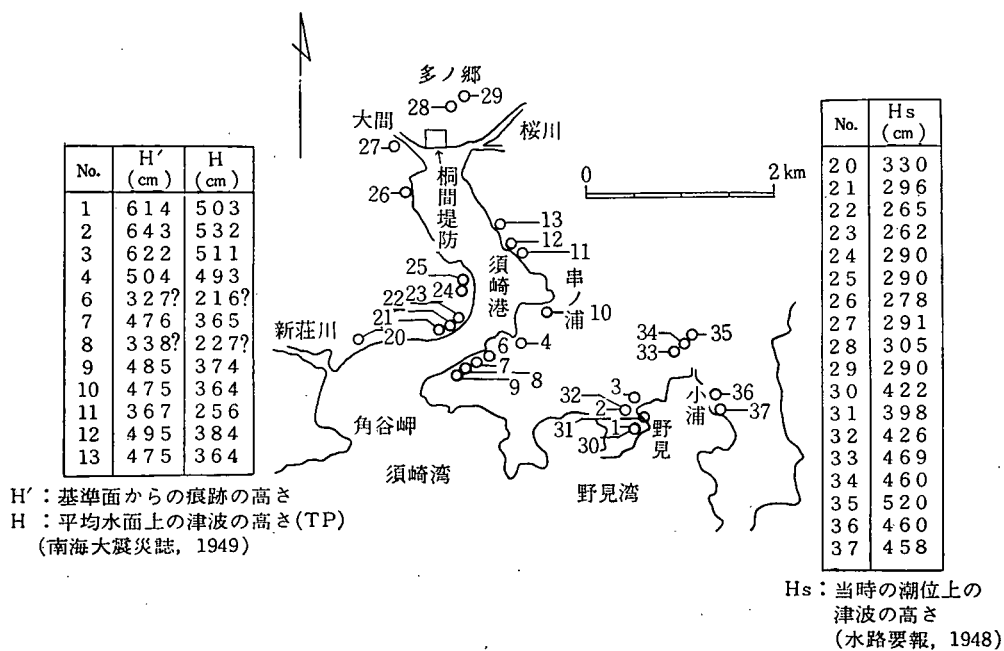


図3 昭和南海地震津波の高さ (須崎湾・野見湾)

c. その他の地震津波

土佐湾に来襲する津波は、南海地震津波だけではなく、太平洋を渡洋してくるもの、南海地震以外の近海の海底を震央とする地震によるもの、太平洋近海の海底火山の爆発などがあげられる。しかし、土佐湾岸に著しい災害を与えるものは、南米太平洋岸の海底に震央を有するM8級の地震津波である。最近の例としては、昭和35年(1960)5月24日のチリ地震(M8.5)の津波である。この津波は、わが国に死者140人、負傷者860人、被災世帯3万6,000、被害額1,000億円という災害をもたらした。土佐湾岸で最も大きな被害を受けたのは、須崎湾の周囲で、昭和南海地震級のものであった。渡洋来襲してわが国に被害を与えた津波は、明治以後の例をひろってみると、明治元年(1868)8月8日の Arica (Peru) 地震、明治10年(1877)5月9日 Iquique (Chili) 地震、明治39年(1906)8月17日 Valparaíso (Chili) 地震、大正11年(1922)11月11日 Atacama (Chili)

地震などによる津波である。

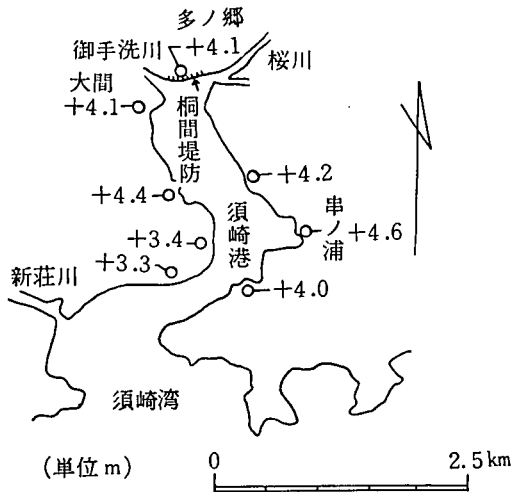


図4 須崎湾におけるチリ地震津波の高さ(潮位上)

上浪源の蔭部となって、潮位上60cm程度の波高となったが、東部室津港では、漁船が岸壁に乗り上げる程度の被害があった。豊後水道に面する宿毛方面では、浸水、養魚場の流失などの被害を受けた。

d. 津波災害と湾形、埋め立てとの関係

リアス式海岸で、屈曲の多い湾奥の地点、特に外洋に向かってV字形に開く湾奥が津波災害が大であることはいうまでもない。湾口と湾奥での津波の高さ、海深、湾径の関係は、次式で示されることは周知である。

$$h = h_0 \sqrt[4]{\frac{d_0}{d}} \sqrt{\frac{l_0}{l}}$$

ただし h_0, d_0, l_0 : 湾口の波高、深さおよび幅

h, d, l : 湾奥の波高、深さおよび幅

津波の波長に比べてかなり小さい湾に限り、湾径 l が小さくなるにつれ、 l の平方根に逆比例して h が増大するという Green の法則は有名である。これは湾形が理想的にV字形である程実測値と計算値とがよく一致することが、昭和南海地震の際の徳島県浅川・和歌山県浦神および徳島県椿の例で示された(水路部, 1948)。すなわち、前者程V字形に近く、浅川では計算値 $h=4.86$ m に対し実測値 4.88 m、浦神では $h=2.65$ m に対し、実測値 2.73 m、椿では湾が細長くなり、

$h=3.97\text{ m}$ に対し、実測値 3.36 m となって、かなりの相違が認められる。しかし、湾径が湾奥で小さくなれば、波高は増大するという傾向は、明瞭に認められる。また、湾奥の d が極めて小さい場合は、4乗根に逆比例して h が増大するよりもむしろ海底との摩擦により減衰してかえって h は小さくなる。

土佐湾のリアス式沈降海岸地形において、災害とも関連して、対しよ的な海岸地形を示すのは、須崎湾と浦戸湾である。両者とも土佐湾の湾奥に位置するが、前者は、東の神島南端にあるエボシ碇と、西は中土佐町双名島を結ぶ東北東—西南西方向の 7 km が l_0 に当たり、須崎港入口 250 m が l に当たる。しかも、南海地震津波、チリ地震津波など大きな災害を与える津波の波面の進行方向が南東—南々東のことが多いので、 h は港内で集約されて高くなり、その状況は図3および4に示した。湾内においても、串ノ浦のように、さらに奥せまく入り込んだ地点では、その波高がいっそう大となっている。多ノ郷が湾の最奥であるにもかかわらず、さほどにその波高が大となっていないのは、串ノ浦付近が多少とも遊水地帯の役目をなしているのと、以北約 2 km の東西両岸が北々西の方向にほぼ並行し、 l の値に変わりがないたためであろう。しかし、特に多ノ郷周辺は、高潮の浸水ではなく、碎波が強い流れとなって流木とともに、桐間堤防を決壊し、各種造営物を破壊した。このような状態は、南海地震津波、チリ地震津波とも同様であった。

南海地震津波の際、野見湾に奥の野見・宮ノ谷・小浦などで、当時の潮位上 460 cm の高さを示し、須崎市の安和・西岸中土佐町の鎌田・久礼などのそれぞれ $299\text{ cm} \cdot 281\text{ cm} \cdot 191\text{ cm}$ などの高さによって被害を与えたのも、上式の傾向を示す例である。チリ地震津波の際の状況は、先に図4その他で述べたが、チリ地震津波の土佐湾奥付近における偏差は、 80 cm 程度であったから、須崎湾奥ではその数倍に達したことになる。

これに対し、対しよ的なのは浦戸湾である。浦戸湾は、湾口の最も狭い場所で 150 m 、湾内の最も広いところでその幅 2.4 km (埋立前) であった。湾内面積 830 万 m^2 におよび、洪水・津波・高潮などに対して、遊水性の大なる特有のひょうたん型が湾形である。昭和南海地震における浦戸湾口の津波の高さ 1.79 m (当時の潮位上の高さ、…水路部調べ) が、湾奥で 0.6 m すなわち3分の1に低下したが、須崎湾奥の多ノ郷では 3.05 m (水路部調べ) となり、浦戸湾とは全く反対の結果となった。

チリ地震津波における須崎湾での経過は、上記の通りであるが、浦戸湾においては、湾口付近の潮位上 80 cm の波高が、孕における筆者の研究室の検潮器に潮位上 30 cm と記録され、南海地震津波の際の3分の1には低下しなかったが、これに近い結果が得られた。このように、浦戸湾内においては、津波が来襲しても、湾口と湾奥では、津波の波高が3分の1程度に低下することがわかった。

しかるに、浦戸湾において、高知港開発の目的から、従来、 3000 トン 級の船舶しか入港できなかった高知港を、港口の拡張 (130 m より 230 m)、航路のしゅんせつによって、 $1\text{ 万 } 5,000\text{ トン}$ 級まで入港可能にし、計 230 万 m^2 を埋め立て、造船センターをはじめとする臨界工業地帯、木材集団地、石灰・木材の積み出し基地、遠洋漁業基地の設置が、昭和35年(1960)から計画された。埋め立てということは、人為的に湾形を変えることであるから、津波・高潮来襲時の状況を当然変更することになる。図5はその計画図である。

このような大量の埋め立てによって、津波来襲時にその波高にどのような影響を及ぼすかについて、運輸省技術研究所により、コンピューターを使用して津波の水利計算が行なわれた。その結果を見ると、満潮上 4 m の波(偏差)が来襲したと仮定し、埋め立て前ならば、3分の1程度に波高の低下を見たのに、横浜・東孕で 2.7 m 、若松町で 2.8 m 、鏡川の九反田橋・沈下橋(湾口に近い津波防波堤位置より約 9.7 km で 3.4 m という数字が出て、埋め立ての影響が少なくないことがわかり、計画の後退が余儀なくされた。

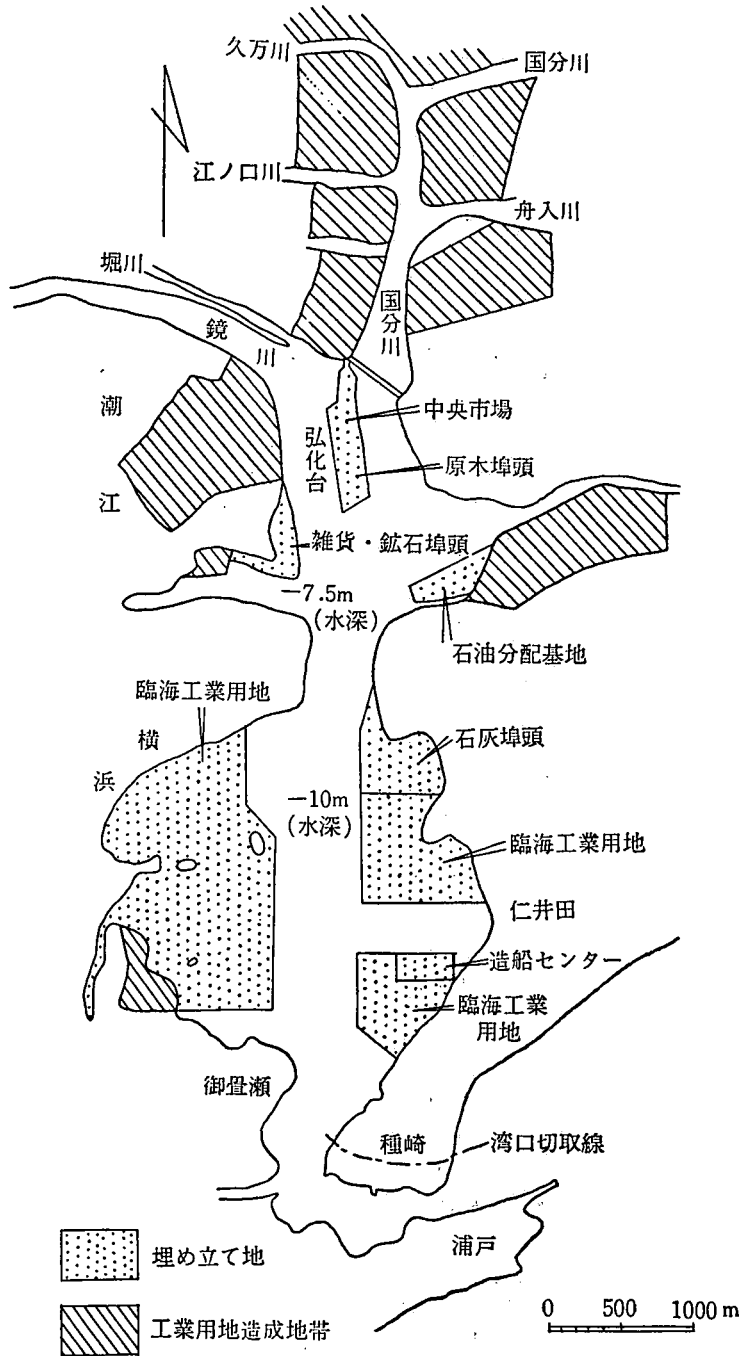


図5 高知港(浦戸湾)開発計画図(その1)

図6は、計画変更後の第1期工事により実施された埋め立て地域と、第2期工事による埋め立て予定地を示す。図中○で囲った数字は、湾口近くに設けられる津波防波堤(間隔 170 m)の位置を基準として湾奥への距離を示す。数字の単位は 150 m である。

図7は、すでに埋め立ての完了した 104万 2,799 m^2 のほかに、横浜地区の埋め立て予定地 43万 m^2 を埋め立てた場合、すなわち、計約 147万 3,000 m^2 を埋め立て、さらに港口を 170 m に拡幅

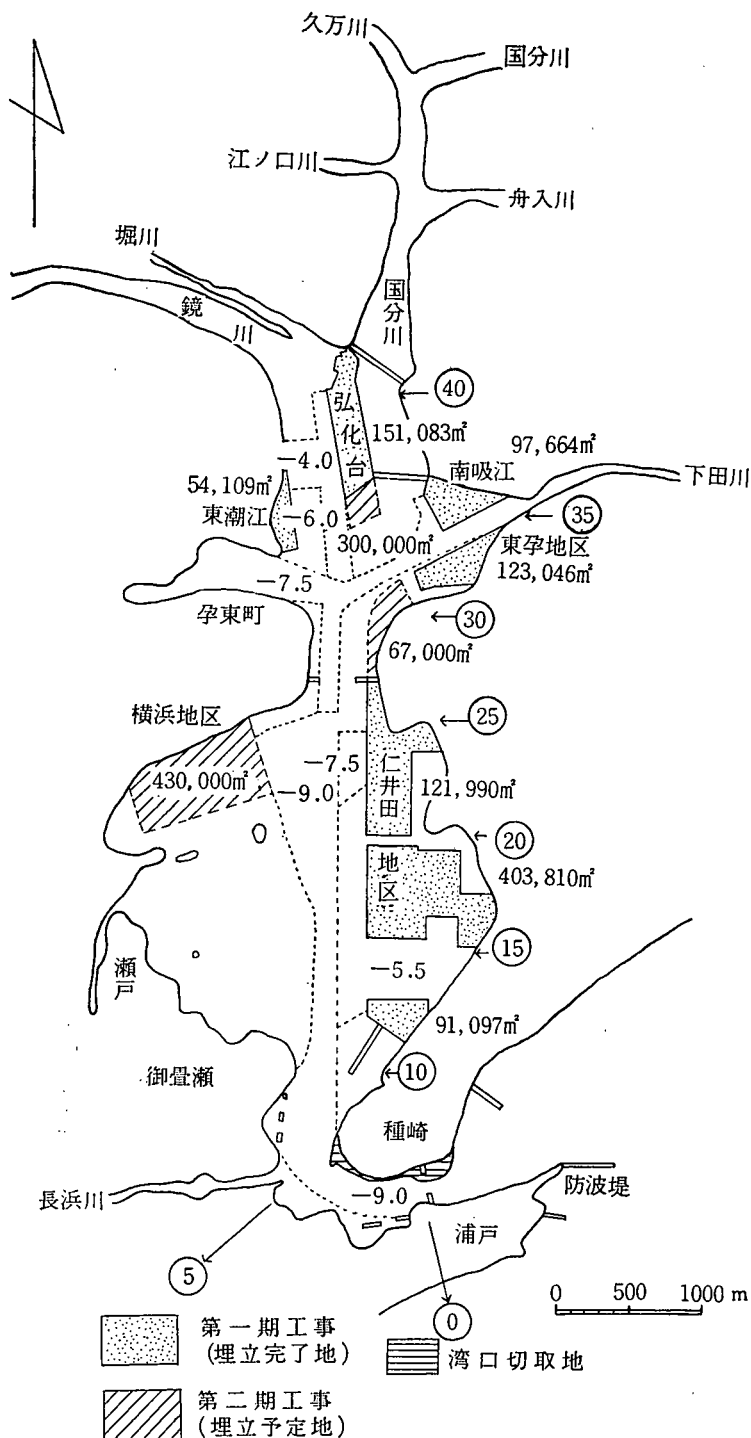


図6 高知港(浦戸湾)開発計画図(その2)

し、図6に示すように、しゅんせつによって水深を増大せしめ、また、湾口の津波防波堤と東孕防波堤を設けた状態と、埋め立て前の状態とを比較したものである。埋め立て前の状態というのは、具体的には、南海地震当時の状態を指している。これも、南海地震による地殻運動として、浦戸湾

周辺が 1.2 m の地盤沈下を伴わなかった場合と、沈下を起こした場合とに分けて比較検討したものである。弘化台および東孕地区の計 36万 7,000 m² の埋め立ては行なわれないとした場合のグラフである。これも運輸省第三港湾建設局によって行なわれたコンピューターによる水利計算結果である。波高は、潮位上 +2.4 m, 潮位下 -1.5 m で、全振幅 3.9 m とした。これによって見ると、埋め立てなどによって、鏡川・国分川合流点までは 60~70 cm, 合流点より上流では、鏡川では、潮江橋で 80 cm, 沈下橋で 70 cm, 国分川では約 20 cm 埋め立て前よりも水位が高くなることを示す (A-曲線とC-曲線の比較)。これは、実際に南海地震で起こった地盤沈下の無かったものとしての値である。このグラフで気付くことは、仁井田方面の湾径が最も大なる位置での波高低下が余りよくあらわれていないことである。すなわち、Green の理論の 1 要素がそのままあらわれていないといつてよい。しかし、波高・潮位の問題は、湾径のほかに、湾の向き・湾内の水深の変化・断面の形状・湾の固有振動・波自身の性質などの要素もあわせ検討すべきであるが、埋め立てによって波高が大となる結果は、示された通りである。

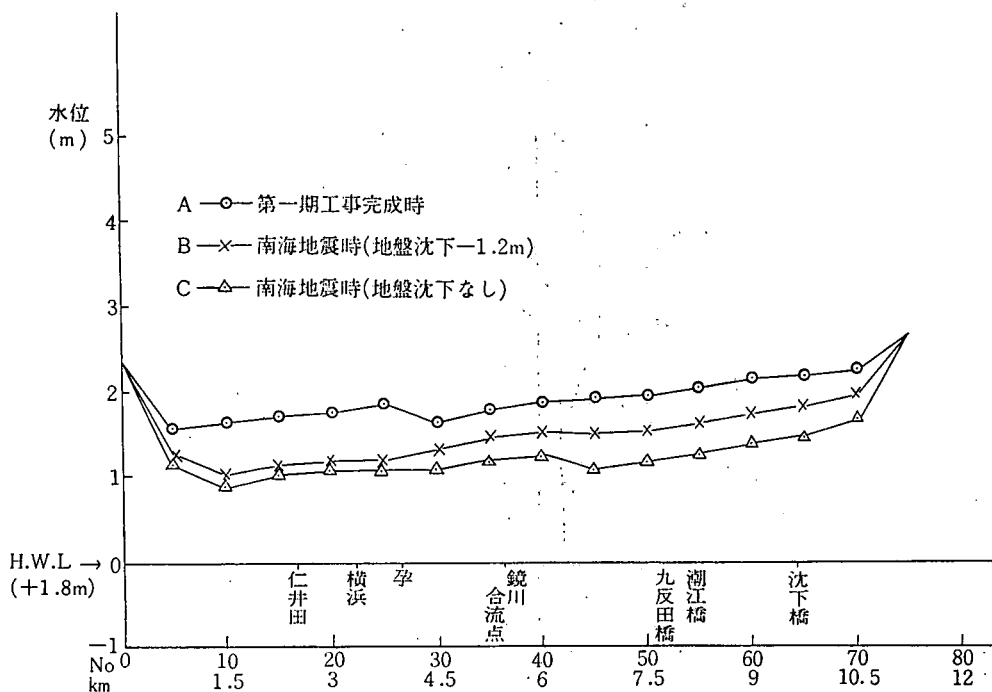


図7 津波侵入による浦戸湾内最高水位 (運輸省第三港湾建設局, 1968)

今一つの問題として、図7の中に、昭和南海地震に伴った 1.2 m の地盤沈下を起こした場合のカーブがある。この地盤沈下は、地震発生と時を同じうして行なわれた。四国の北部沿岸では、この地塊運動の安定に数カ月を要したが (沢村, 1953), 土佐湾沿岸では、ほとんど同時であったことは、津波来襲以前に、すでに水位が上昇していたことから推察できる。すなわち、浦戸湾周辺は、津波来襲以前に 1.2 m 水深が増大していた状態であった。図7の曲線の横軸 0, 縦軸 2.4 m で、A・B・C 3 曲線を同一ポイントからスタートしているの、地盤沈下の有無の曲線 (B・C 2 曲線) の意味は、地盤沈下によって 1.2 m の水深の大になった浦戸湾と、元の水深の浦戸湾とに、+2.4 m の津波が来襲した時の比較である。これによって見ると、前者の方が仁井田より孕付近の湾径の大なる水域では 10 cm, 孕以北で 25 cm, さらにさかのぼって九反田橋より沈下橋方面までは 35 cm 高くなっているということである。すなわち、水深の大なる方が津波が入り易く、

しかも湾奥の方がその影響が大きいということである。これらの数字は Green の理論に沿う傾向である。また、これらの値を α cm とすれば、浦戸湾周辺は、 $+(120+\alpha)$ cm の津波の来襲を受けたと同様の結果となり、国分川を中心とする 0 m 地帯は 8 km^2 に広がり、高知市東部下知方面は、葛島橋下流 100 m 国分川右岸の破堤が応急修理され、排水されるまで 12 日間滞水したのである。

浦戸湾内の埋め立てが、津波来襲によって埋め立て前よりも水位を上昇せしめるという具体的な例がある。1968 年日向灘地震 (M 7.7) がその年の 4 月 1 日に起こり、地震津波が沿岸に来襲した。その当時浦戸湾は、図に示すように、すでに $104\text{万}2,799 \text{ m}^2$ の埋め立てが終わっていた。その時来襲した津波の波高は、潮位上 $+60 \text{ cm}$ であったが、これが湾内に侵入し、湾内孕にある筆者の研究室の検潮器には、 $+32 \text{ cm}$ と記録された。この低下率は約 2 分の 1 である。従来の埋め立て前には、上記のように、約 3 分の 1 にまで低下したわけであるから、ここにはっきりした埋め立ての影響があらわれている。

VI. 高 潮 災 害

a. 過去の主な台風と 7010 号台風による高潮

すでに表 1 で述べたように、台風による高潮は、津波よりもひん度大で、災害を与える回数は多い。海底に震央を持つ地震が、津波による浸水の被害を与えるほかに、震動による直接の被害を与えると同時に、台風は、浸水による被害を与えるほかに、風害・洪水・山崩れ・地這りの被害を与える。風害などは海岸地帯に限らないが、高潮災害は、海岸に限られ、土佐湾では、台風の上陸地点との関係もあるが、図 8 の 7010 号台風の場合のように、リアス式の沈降海岸地帯の潮位が最も高く、災害も大であった。土佐湾全体として、最大偏差が気圧の低下および吹き寄せによって起こる経験数値に比べて著しく大で、上陸地点佐賀周辺で最大値を示さず、湾中央部の偏差が最大であった。

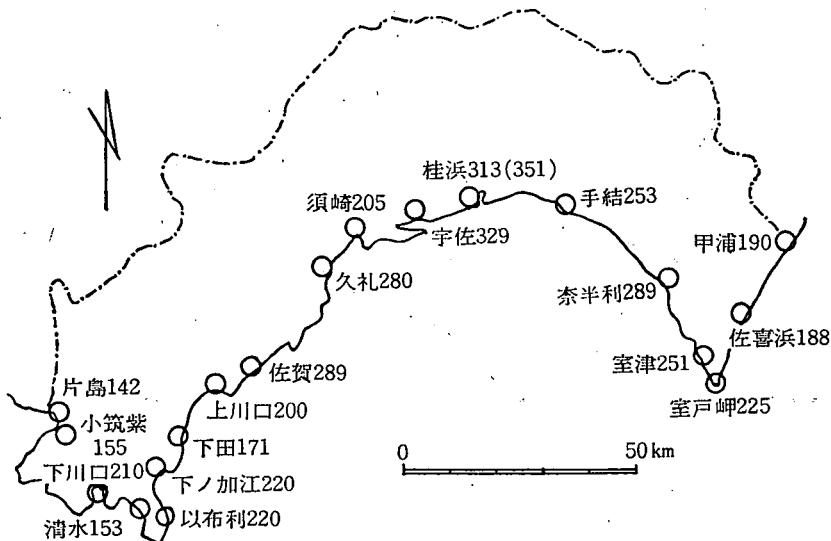


図 8 高知県沿岸における台風 10 号に伴う最高潮位 (T.P. 基準, 単位 cm)
(高知地方気象台・高知県, 1970)

表 1 に示す台風は、それぞれ高潮によって、程度の差はあるが、浦戸湾に著しい影響を与えている。表 1 のうち、戦後のもので、本県を通過したものは、No. 10, 12~17 の 7 個である。そのうち、No. 17 は、高知地方気象台開設以来の異常台風で、高知市に対し、高潮によってみぞうの災

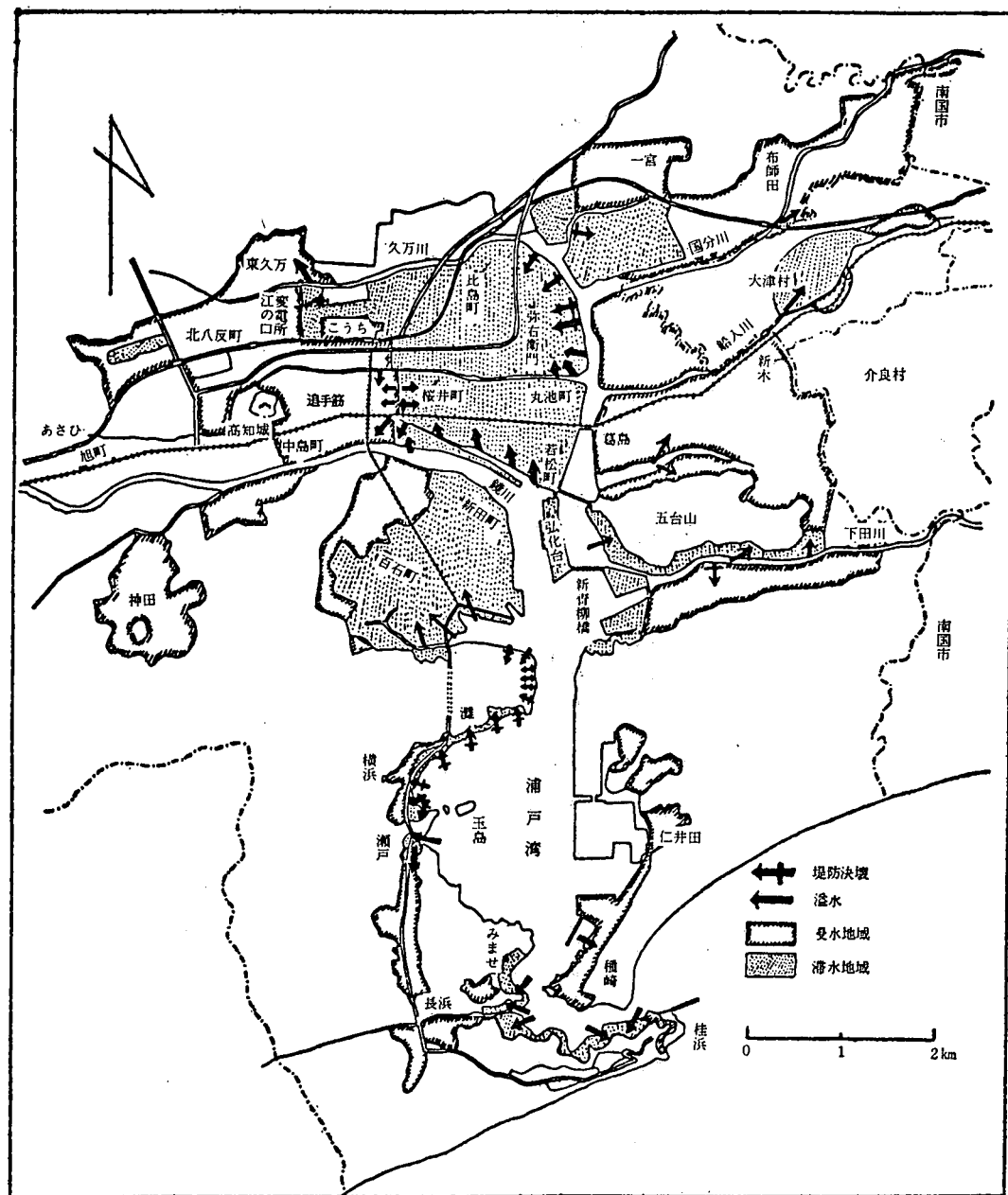


図9 7010号台風による高知市の浸水状況（高知気象台・高知県，1970）

害を与えた。台風による被害額は、高知県全体で743億円を突破し、浸水家屋床上5,363棟（うち高知市4,163棟，73%），床下1万1,747棟（うち高知市5,694棟，48%）のごとく、浦戸湾の高潮によるものがその過半を占め、高知市中心街の約3分の2の地域が浸水するという空前の災害になった。図9は、その原因となった浦戸湾周辺の堤防の決壊、溢水の状況を示す。破堤の箇所は20箇所に達し、破堤の主な原因は、溢水および強風で流された流木・船舶の激突による。

表1で最大偏差（潮位 cm）を比較して見ると、No.17 の7010号台風以外では、第二室戸台風の91 cm が最も大きい。津波では南海地震津波で、湾口付近では、痕跡から桂浜・種崎側とも、

潮位からの高さ 180 cm と見られ、今までの偏差記録では、台風によるものは、津波の高さに比べてかなり小さかった。しかるに、7010 号台風の最大偏差は、240 cm 以上となっており、浦戸湾については、津波より高く、この台風がいかに異常であったかが想像できる。浦戸湾について、運輸省第三港湾建設局は、次のように述べている。すなわち、桂浜の検潮記録は、+4.23 m で故障しており、最高潮位は正確にはわからないが、+4.30 m にある「フタ」が浮き上がった形跡があるので、一応 +4.30 m 以上はあったものと判断される。かりに、+4.30 m 程度とすれば、偏差は $4.30 - 1.85 = 2.45$ m となり、潮位、偏差とも既往の記録に比べて格段に大きい。こうした異常な大きさの偏差は、気圧降下と風速から推測される値よりはるかに大きく、実験式より算定しても 1 m 程度弱としかならないとしている。

しかして、台風による潮位の上昇は、諸条件に支配される。陸地に向かう吹き寄せ（風速・風向）、満干の関係、波頭の進行速度と台風の進行速度との一致、低気圧のための水位上昇（1 cm/m b）などが挙げられる。5915 号台風（伊勢湾台風）は、名古屋市での最大瞬間風速 46 m、進行速度 55 km/h より 74 km/h に急増、上陸時の気圧 929 mb、これが満潮時と重なって、D.L. 上 5.31 m、平均潮位を 3.5 m 上まわった。7010 号台風は、この台風と酷似し、みぞうの高潮となった。これを 5915 号台風と比較すると、高知市において、上陸地点の関係も酷似しており、風速は最大瞬間風速 54.3 m、最大風速 29.2 m、進行速度 30~40 km/h より次第に加速して 50 km/h に増加した。しかし、上陸時の気圧は、表 1 にも示したように 979.2 mb と比較的高く、満潮時と重なって桂浜検潮所の記録は、+4.30 m と推定されるに至ったものである。この時の状況は、桂浜は 21 日 2 時ごろから潮位偏差があらわれ、6 時以後急に増大し、8 時 45 分には潮位は、D.L. 上 422 cm に達した。その後は検潮器の scale out のため記録は得られなかったが、後日の検潮所観測室内の痕跡調査の結果、同室内の海水面の到達上限は、波浪などの影響も加わるが、D.L. 上 460 cm であったことがわかったと、高知地方気象台では述べている（高知地方気象台・高知県、1970）。

痕跡調査に、ある程度波浪の影響の加わるのはやむを得ないが、その影響は、湾内よりも外洋がはるかに大であることが考えられるので、外洋と湾内の水位の比較を、痕跡調査で行なう場合には、この点を十分考慮しなければならない。

b. 湾形と潮位、埋め立てとの関係

表 4 は、7010 号台風による浦戸湾内と、浦ノ内湾内沿岸の最高潮位を示したものである。浦戸湾内の 4 箇所だけが検潮記録で、他は全部痕跡記録であり、検潮記録とはいえ、終始正常に記録したのは、若松町の 1 個のみである。したがって、その信ぴょう性においてやや劣ると見るべきであろう。しかし、浦戸湾においては、その推定水位は、湾口より湾内に入り、次第に低下して湾径の大となるや 4 m を割り、若松検潮所・常盤町方面で最も低く、鏡川に入って再び 4 m 台に載せるという傾向が見られる。この推定水位は、たとえ記録が不十分であっても検潮記録の方を重視したものである。浦ノ内湾においては、湾口で D.L. 上 4 m 以上の水位が湾内に入り低下して、4 m 前後となり、その状態が湾奥近くまで続き、湾奥で再び上昇して 4.2 m を上まわるものと推定される。これは、浦ノ内湾が先に述べたように、湾形が東西に細長く、強い東風によって吹き寄せのため水位が上がり、横波・浦ノ内湾に浸水の被害を生じたと見られる。いずれにせよ、浦戸湾・浦ノ内湾両湾周辺は、D.L. 上 4 m 前後の水位を示した。

しかるに、浦ノ内湾の直く西に隣る須崎湾においては、須崎港の入口で D.L. 上 3.19 m、湾奥で 3.27 m と 1 m 弱低くなり、須崎港の西南久礼港においては、+4.34 m の痕跡記録（港湾課、1970）さえあり、浦戸湾・浦ノ内湾とほぼ同水位を示している。すなわち、須崎港のみが、ほぼ 1 m 偏差が小さいのである。この間の事情は、湾形と湾の向きおよび風向とが最も関係が深いものと思われる。先ず、湾形とその向きである。須崎湾以外の 3 者は、いずれも真東に向かってラッパ

表4 7010号台風における浦戸湾内と浦ノ内湾内の最高潮位
(第三港湾建設局調べ、一部補正)

浦戸湾内	最高潮位 D. L. 基準(m) ⁺	浦ノ内湾内	最高潮位 D. L. 基準(m) ⁺⁺
浦戸 (A)	4.11	旭町	4.10
浦戸 (B)	4.16	東町(A)	3.99
長浜川左岸河口	3.99	東町(B)	4.51
御 壘 瀬	4.09	東町(C)	4.41
柏 (ア コ メ)	4.15	東町(D)	4.59
瀬 戸	4.19	福 島(A)	3.83
横 浜	4.37	福 島(B)	4.01
横 浜 検 潮 所	▲3.92	灘	3.73
孕 東 町	4.08	田 条(A)	4.17
孕 橋	4.01	田 条(B)	3.94
港 町 検 潮 所	▲3.95	宮 川 口	3.97
三 港 建 事 務 所	3.80	深 浦	4.00
鏡川左岸天神橋付近	4.15	塩 間(A)	4.02
〃 〃 潮江橋 〃	4.17	塩 間(B)	3.78
〃 〃 雑喉湯橋 〃	4.15	出 見(A)	3.97
中 之 島	3.85	出 見(B)	3.89
若 松 町 検 潮 所	▲3.80	出 見(C)	4.03
弘 化 台	3.94	立 目	3.97
北 吸 江	3.83	摺 木	4.01
南 吸 江	3.85	横 波(A)	3.72
種 崎	3.68	横 波(B)	4.06
桂 浜 検 潮 所	▲4.23以上	大 星	4.14
〃	4.60	中 ノ 浦	4.04
		鳴 無	3.98

⁺ 浦戸湾内では D. L. = T. P. +1.09 m ▲ 検潮潮記録, 他は痕跡

⁺⁺ 浦ノ内湾内では D. L. = T. P. +1.30 m

型に開口し、台風の接近とともに、平均 29m 以上（浦戸湾）にも達する猛烈な東風で、東から西への吹き寄せが起これ、この時てんにおいて、東に向かって抱きこむような湾形により、大量の吹き寄せ水が湾口内に殺到して湾内の水位を上昇せしめた。須崎湾のみは湾口の向きが南に開き、そのため東風による吹き寄せの影響をさほど受けなかったものである。

次に、具体的に埋め立て計画のある浦戸湾について、この人為的な湾形の変更が、高潮の場合の潮位といかなる関係を持つか検討することにする。台風が次第に南方から接近するにつれ、外洋の潮位が上がり、それと同水位になるまで、平衡を保つため、浦戸湾内の水位も次第に上がる。そのような条件においては湾内の水位は、水面積すなわち埋め立てとは無関係である。しかし、次第に台風の接近とともに既述のように強烈な東からの吹き寄せによる海水が湾口から流入した。湾口の桂浜検潮所室内の痕跡が、D.L. 上 4.6m に達したことで推定できる。この東から西への吹き寄せは、桂浜外洋では西に流れ、湾口内潮位ほどに上昇しなかったと考えられる。湾口で7時半ごろから潮位の上昇はいよいよ烈しくなり、約1時間余で 1.6m の水位上昇と見られる。このように大量の海水が湾内に浸入してひろがり、湾内では、先に述べたようにわずかではあるが水位は低下した。この際、遊水作用は埋め立てと関係を持つことが考えられる。すなわち、湾内外の水位差に匹敵する分が強制流入して、これが湾内水面積と水位とを関係づける。

しからば、強制流入量はいかほどであるかを推察する手段として、先に述べたように、湾口を南

に開く須崎湾と、真東に開く浦戸・浦ノ内・久礼の諸湾との偏差に約1 mの差がある。もし、浦戸湾も南に開口しておれば、その偏差は約1 m小さかったと仮定すると、埋め立て後の湾内面積は670万 m^2 であるから、湾内の強制流入量は670万 m^3 となる。したがって、もし、130万 m^2 の埋め立てがなければ、800万 m^2 に670万 m^3 が拡散するから、水位は平均16~20 cm低下する。ただし、この値は、湾口南向きの須崎湾に強制流入量ゼロとしたものであるから（実際にゼロということとは考えられない）、最小値と推定する。

埋め立てによる湾内面積の縮小によって、湾口流入量にいかなる変化をもたらすかについて、浦戸湾の場合を考える。湾口流入量と関連して、湾口垂直断面積と湾内水面積との関係に関する九州大学応用力学研究所水文研究委員会（1953）の理論がある。このことについて上森千秋による浦ノ内湾についての研究 data がある（上森, 1985）。すなわち、湾内水面積（ F ）と湾口垂直断面積の比 F/A が 10^4 以上になると、湾内外の振幅比が急に少なくなり、外水の流入量が減少する。反対に、 10^4 を割れば流入量が多くなるというのであるが、 10^4 をそのまま浦戸湾に当てはめてよいかどうか、条件のとり方たとえば、粗度係数にしても、場所によって0.0357~0.0606（浦戸湾口~御堂瀬間）（柴山煒彦ら, 1964）という風に差があり、振幅比と F/A の関係曲線も急カーブか緩カーブを描くか断言できないと思う。しかし、 10^4 が浦戸湾に当てはまると仮定した場合、次の条件を考えると、埋め立てと切取・しゅんせつの影響が少なくないということになる。

埋め立て前……湾径 150 m, 航路 120 m（水深 5 m*）, 湾内水面積 $8 \times 10^6 \text{ m}^2$, $F/A = 12 \times 10^3$

埋め立て後……湾径 150 m, 航路 120 m（水深 7 m）, 湾内水面積 $6.7 \times 10^6 \text{ m}^2$, $F/A = 7 \times 10^3$

*〔第5管区海上保安部（神戸）水路部、昭和43年7月9~13日調査によると、10数年前に作製された海図に比べると、航路しゅんせつは、かなりのスピードで進んでおり、2 mほど深くなって7 m弱となっていることがわかった〕

7010号台風当時の水深 11 m とすれば、 $F/A = 4500$

以上のように湾内水面積の縮小により、湾内外の振幅比が増大し、流入量が増加することを示す。ただし、この結論には、前述の仮定があるので、浦戸湾についての実質的な検討が必要である。

次に、鏡川・国分川合流点に造成された弘化台埋立地の問題である。運輸省第三港湾建設局の調査（1970）による河川流量表から見ても、国分川側の推定流量（760 t/sec）は、鏡川側の推定流量（440 t/sec）の2倍に近い。合流点における両川の河幅はほぼ同じであるから、国分川側の水位は、鏡川側よりも高くなることが考えられる。この現象は、平時にも見られ、満潮時より干潮時に移って順流時に入っても、国分川側が鏡川側よりも20~30 cm程度水位が高く、はけ口を求めた国分川の水は、弘化台北端の幅16 m（橋梁）の水路を鏡川に向かってかなりの流速で流れる。昭和45年10月14日（旧9月15日、H.T. 5^h 16^m, L.T. 11^h 21^m）の順流時（7~8 A.M.）の測定で、中心部が50 cm/secの流速を確認した。このような水位差を生じるのは、流量の関係だけでなく、流量の比較上少ない鏡川側のしゅんせつは実施されたが、流量の多い国分川側のしゅんせつがなく、弘化台の15万1000 m^2 の埋め立てが、ある程度遊水作用を低減しているためと見られる。また、下田川河口の南北埋め立てと下田川の関係である。下田川も平時においても、満潮より干潮に移る順流時に、先に述べた鏡川よりも高水位の国分川の流下水が、下田川河口の北方埋立地の北側水路（幅34.3 m）を、下田川の上流に向かって逆流し、上記10月14日の観測では、中心部で44 cm/secの流速を示した。これは五台山橋で本流と合し、南側水路（本流）をようやく53 cm/sec（同日の観測）の速度で流下する状態で、下田川の排水は、河口のしゅんせつは行なわれたが、河口の南側の石油基地埋め立て11万3000 m^2 と北側の南吸江9万8000 m^2 の埋め立ておよび弘化台埋め立て計36万2000 m^2 の埋め立てのためある程度悪くなっていると推定される。

昭和43年（1968）7月28日に台風4号が高知市西方の須崎市に上陸した。表1にあるように、風力、潮位その他7010号台風にくべてはるかに小規模で、浦戸湾において、最大潮位D.L.上215 cm, 偏差47 cmに過ぎなかった。風向きが東南東で、湾口が東向きであるから、7010号台風

の場合のように、海水の流入には好適であるが、最大風速が 14.2m 程度であるから、強制湾口流入量は、7010 号台風に比ぶべくもなかったと考える。また、ちょうど満潮時に重なったとはいえ、湾奥にあたる江ノ口川・新堀川などに逆流して、住家 1035 戸の浸水を見た。江ノ口川のパラベットは、南海地震後作られ、湾内の埋め立て前には、パラベットを溢水したことはなかったが、埋め立て後水の逆流が目立つようになった。この場合も、逆流を助長した素因に湾内埋め立てを第一に挙げるべきであろうが、その程度は、多くの条件に支配されるので明確にし難い。

高知市東部は、昭和南海地震の地盤沈下によって、そのゼロメートル地帯は 8 km² となった。その後、中野尊正は、昭和 40 年の 2 万 5,000 分の 1 地形図（国土地理院）、昭和 44 年の 2,500 分の 1 都市計画図（写真測量図化）を参考にして、ゼロメートル地帯を調べた結果、その面積は 9.91 km² に広がり、そのうち 0.22 km² は -1 m 以下であるとし、昭和 35 年～44 年（1960～1969）の 10 年間に、6～8 cm/年 の地盤沈下が認められるとしている。また、-1 m 以下は、昭和 35 年には存在しなかったが、昭和 44 年には 0.22 km² があり、このような傾向は、今後も継続し、1980 年にはゼロメートル地帯は少なくとも約 11 km² となろうとしている。この地盤沈下というのは、先に述べた四国の地殻運動と無関係で、沖積層の基盤の沈下ではなく、地下水汲み上げなどによる沖積層そのものの収縮によるものである。さらに将来必ず起こる次の南海地震によって、1 m 以上の基盤の沈下は必至である。したがって、高知市東部のゼロメートル地帯は、ますます広がり、高知市の災害対策上、最重要問題として取り上げられねばならない。

VII. ま と め

土佐湾沿岸の地質は、四万十帯に属し、大部分が白亜系であるが、東部にはかなり広く、古第三系が分布する。岩石は、砂岩・泥岩を主とする。地層および諸断層の走向は、東北東一西西南西、傾斜は北が卓越する。東部および西部の海岸段丘地帯では、段丘礫が堆積する。土佐湾奥に当たる高知平野・香長平野方面は、広く沖積層が分布する。

土佐湾沿岸の地形は、東部海岸・西部海岸の段丘地形と中央部のリアス式地形が特徴である。海岸段丘は、東西ともに 3 段に大別できるが、これらの成因については、glacial eustasy とともに、特徴のある地殻運動を挙げねばならない。昭和 46 年（1946）の南海地震において、高知県を中心とする四国および土佐湾を含む地塊は、南海スラストによる thrusting で、南上がり、北下がりの規則正しい傾動を行ない、室戸岬・足摺岬の先端で、1～1.2 m の隆起、高知・須崎方面で 1.2 m の沈下を見た。この地殻運動の傾向は、過去の南海地震にも認められ、一方海岸段丘地形やリアス式海岸地形の傾向とよく一致するので、現在の土佐湾沿岸の地形は、過去の地殻運動の集積であり、筆者は、約 20 万年以前からの同じような地殻運動の集積とした。南上がりの傾動が、現在の海岸段丘地形と関係があるという考え方を支持する研究成果は、他にも公表されている。これに対し、段丘堆積物の風化による赤色土、段丘礫層の風化の程度によって、土佐湾東部海岸段丘堆積物の対比を行ない、当地域の南上がりの傾動的隆起運動は想定され得ないという提唱がなされた。この両構想は、今後興味ある問題として発展しよう。

土佐湾の沿岸における災害について、内陸にも起こる崩災（山崩れ・地入りなどによる災害）を除き、沿岸に限る災害として、津波と高潮について検討した。津波の場合も高潮の場合も、災害の大きいのは、土佐湾沿岸のうち、中央部のリアス式海岸地帯である。津波・高潮の波高・潮位について、その最大偏差を浦戸湾について、主なものを比較すると、7010 号台風による高潮を除けば、従来は、高潮によるものは、津波によるものよりはるかに小さく、91 cm を越えるものはなかったが、7010 号台風による高潮は最大偏差、2.45 m を越す異常台風であって、その災害も南海地震（昭和）に劣らぬ程度であった。また、7010 号台風の異常性について述べた。

人為的な湾形の変更、すなわち埋め立てが、湾内の水位にどのような影響を与えるかについて、

実際に埋め立ての実施された浦戸湾を例にとり、津波と高潮の場合を比較検討した。津波と高潮との性質の相違からその影響にも差がある。Green の法則が数式通りに当てはまらなくても、その傾向が津波に認められ、高潮にも多少ともその傾向がうかがえる。埋め立ての影響は津波の方が大である。高潮の場合は、7010 号台風による高潮を例にとり、吹き寄せによる強制流入、湾口垂直断面積の関係および弘化台埋め立てによる流入河川の遊水作用低減について検討して、全面的に最大偏差 +2.45 m のうち、少なくとも 20 cm 水位を高くしている理由を述べた。1968 年 4 号台風による高潮の場合もその可能性がある。

高知市という後背地をひかえる浦戸湾は、土佐湾のうちで、津波・高潮による災害を最も受けやすい位置にある。したがってその災害対策として第一に考えられるのは防潮堤の高さと構造である。現在、津波としては、昭和南海地震による波高、高潮としては、7010 号台風による潮位を基準にして検討されているが、津波・高潮には上限がない。津波にしても、宝永・安政の南海地震による津波波高が、昭和のものよりかなり高かったと推察されることは、先に述べた通りである。したがって、防潮堤のみで、津波・高潮を防ぐことに批判的な研究者もいる（三好，1966）。その理由は、高さに上限のない津波・高潮が、堤を越えた際に、防潮堤がかえって水はけを妨げ、町が池の底に沈むこと、また、日々の海岸生活のじゃまになることである。すなわち、堤内の町づくりに考慮を加えるということである。静岡県吉原市・岩手県田老町などの例がある（沢村，1967）。先に述べた高知市東部のゼロメートル地帯のかく大の問題とあいまって、高知市の都市づくりは、これらの点を第一に取り上げ、進められねばならない。

参 考 文 献

- 上森千秋 (1965)：浅海開発資料Ⅲ，昭 40 年度浦の内地区浅海漁場開発事業調査報告書，高知大学農学部利水工学研究室。
- 上森千秋 (1971)：昭和 45 年度台風 10 号による災害の実態と防災に関する研究，文部省科学研究特定研究（災害科学）。
- 今村明恒 (1949)：地震の国，文芸春秋新社，p. 171～179。
- 運輸省第三港湾建設局 (1970)：台風 10 号による高知港被害調査報告，1 報。
- 小笠原義勝 (1940)：土佐足摺岬の海岸段丘，地質学雑誌，47 巻，561 号。
- 太田陽子 (1968)：旧江津線の変形からみた第四紀地殻変動に関する二・三の考察，地質学論集，2 号（第四紀地殻変動），p. 15～24。
- 甲藤次郎・中村 純・高柳洋吉 (1953)：唐ノ浜層群の層序と微古生物学的考察，高知大学学術研究報告，2 巻，32 号。
- 甲藤次郎 (1960)：足摺・室戸国立公園候補地基本調査（地質編，p. 1～34），高知県。
- 甲藤次郎・有田正史 (1966)：室戸半島の地質，その 1，高知大学学術研究報告，自然科学 I，15 巻，8 号。
- 甲藤次郎 (1969)：足摺国立公園候補地基本調査（地質編，p. 1～24），高知県。
- 甲藤次郎 (1969)：高知県の地質，高知市民図書館。
- 河角広・佐藤泰夫 (1949)：南海大震災誌，高知県，p. 18～52，（横書の部）。
- 神田 茂 (1968)：康和元年土佐における大地震，地震，2 輯，21 巻，2 号，p. 142～143。
- 高知県港湾課 (1970)：10 号台風による土佐湾高潮痕跡調査報告書付図。
- 高知県防災課 (1970)：台風 10 号関係資料。
- 高知地方気象台・高知県 (1970)：昭和 45 年台風第 10 号概報，p. 45～49。
- 沢村武雄・甲藤次郎 (1950)：滑南国立公園候補地学術調査報告書，地質班報告，高知県観光審議会。
- 沢村武雄 (1951)：南海大地震と地殻運動，高知大学研究報告，1 巻，1 号。
- 沢村武雄 (1951)：南海地震に伴った四国の地盤変動に対する一考察，地学雑誌，60 巻，4 号，p. 190。
- 沢村武雄 (1953)：西南日本外側地震帯の活動と四国およびその附近の地質，地殻運動との関係，高知大学学術研究報告，2 巻，15 号。
- 沢村武雄ほか 5 名 (1960, 1968)：20 万分の 1 高知県地質鉱産図および説明書，高知県商工課。
- 沢村武雄・湯原勲 (1963)：高知県東部海岸段丘の礫層，高知大学学術研究報告，12 巻，自然科学 I，2 号。
- 沢村武雄 (1967)：日本の地震と津波—南海道を中心に—高知新聞社。
- 柴山煒彦・木村久雄・武村莞爾 (1964)：高知港津波防波堤に関する模型実験，港湾技術研究報告，3 巻，2 号，p. 7。
- 須鎧和巳ほか 8 名 (1966)：高知県東部の海岸段丘，日本地質学会関西支部報 60 号，西日本支部報 43 号合併号。

- 須鎗和己・阿子島功・栗岡紀子 (1971): 室戸地域海岸段丘の再検討 (第1報), 徳島大学教養部紀要 (自然科学), 4巻, p. 19~34.
- 水路部 (1948): 昭和21年南海大地震報告, 津波篇, 水路要報, 創刊号.
- 田山利三郎 (1950): 四国沖の海底地形, 特に大陸斜面の形態について, 水路要報, 増刊号, 7.
- 寺石正路 (1923): 土佐古今の地震, 土佐史談会.
- 萩原尊礼 (1966): 地震の予知, 地学出版社, p. 158~159.
- 広木三郎 (編) (1949): 南海大震災誌, 高知県.
- 松下進・岡田節夫 (1950): 四国地方地盤変動の地質学的研究, その1, 四国南部の海岸段丘, 四国地方地盤変動調査報告書, 5輯.
- 三好 寿 (1966): 災害科学会講演, 京都大学にて.
- Miyabe, N. (1955): Vertical Earth Movement in Nankai District. Bull. Geogr. Surv. Inst., Vol. 4, (3-4), p. 1-14.
- 吉川虎雄・貝塚友平・太田陽子 (1964): 土佐湾北東岸の海岸段丘と地殻変動, 地理学評論, 37巻, p. 627~648.
- 吉川虎雄 (1967): 四国東部の海岸段丘と地殻変動, 文部省科学研究費, 総合研究, 日本列島の地形特性に関する研究昭和41年度報告書, p. 73~74.
- 吉川虎雄 (1969): 西南日本外帯の地形と地震性地殻変動, 第四紀研究, 7巻 (第四紀テクニクス特集号) p. 157~170.
- 和達清夫 (編) (1970): 津波・高潮・海洋災害, 共立出版, p. 156~163.
- 渡辺 光 (1948): 四国南岸の海岸地形とその地盤運動に対する意義, 地理調査所報告, 1巻, p. 37~72.

(昭和46年9月30日 受理)

Pl. I の説明

1946. 12. 21 の昭和南海地震による津波によって、土佐湾沿岸でも、リアス式の沈降海岸地形区域では、特にその被害が大であった。しかし、この地域内でも、海岸地形や海底地形などの違いで、被害の性質も違っていた。浦戸湾のように湾口の狭い、湾内の広くなった地形の湾では、湾内に侵入した津波の勢力がそがれ、水位の上昇による被害が大であった。堤防の決壊も、堤防の構造の弱体から主として地震動が原因であった。国分川の西岸でも決壊したのは、写1の1か所だけであったが、市内下知地区の大浸水の原因となった。津波が陸上を溢流するいわゆる津波的な破壊による被害よりも、湾奥に 8 km^2 のゼロメートル地帯をひかえる高知市は、震動と浸水による被害が著しかった (写1—5)。

浦ノ内湾は東西に細長い湾形で、入口の宇佐では、津波の勢力が強く、溢流で至るところで船が陸上に乗り上げた (写—6)。(写真は著者撮影)



写1 高知市葛島橋西詰国分川堤防の決壊、この1か所の決壊で高知市東部のゼロメートル地帯は12日間滞水した



写2 高知市東部一帯の浸水、地盤沈下のためこの付近一帯の田畑約 14 ha が被水した



写3 高知市葛島橋西北詰、堤防決壊箇所から約 100m 地点の惨状



写4 堤防決壊と地盤沈下で、水びたしになった高知市下知地区のゼロメートル地帯



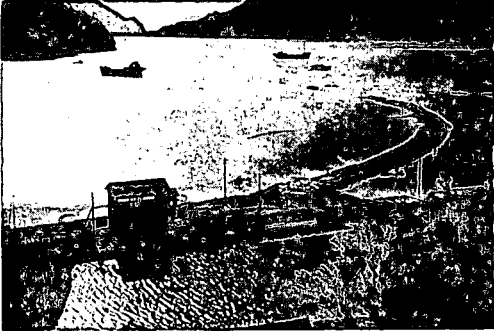
写5 高知市農人町で、堤防決壊と地盤沈下による浸水



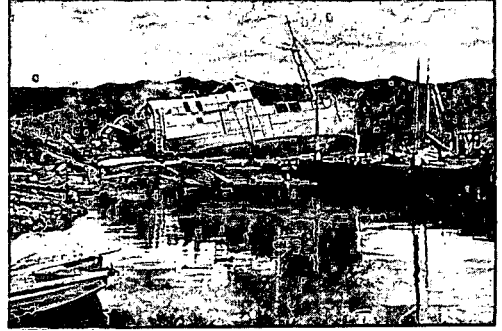
写6 津波で乗り上げた木造船、浦ノ内湾新宇佐にて

Pl. II の説明

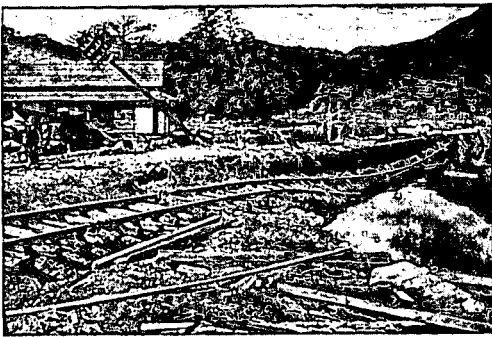
浦戸湾と対比的に、須崎湾・野見湾は湾口が広く、湾内が狭いので、津波は、湾内入口侵入とともに波高を大にし、津波としての猛威をたくましくした。本文中の図2・図3にかかげた表を比較してもわかる。特に野見湾奥は驚くべき数字を示している。溢流が流木とともに堤防を破壊し、岸壁を削り、国鉄土讃線の路床を洗い、レールを枕木とも横転させ、電柱を倒すなど惨憺たる被害を与えた。



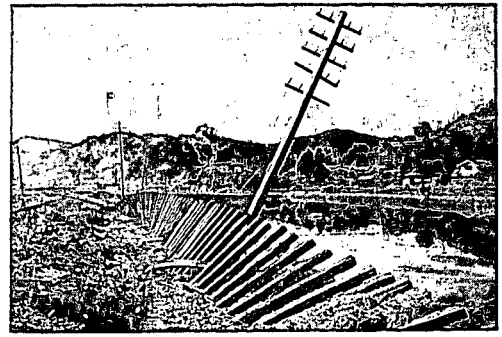
写7 土讃線多ノ郷駅付近、中央に枕木が横倒しになって水中から頭をのぞかせている



写8 須崎港で船舶が乗り上げた



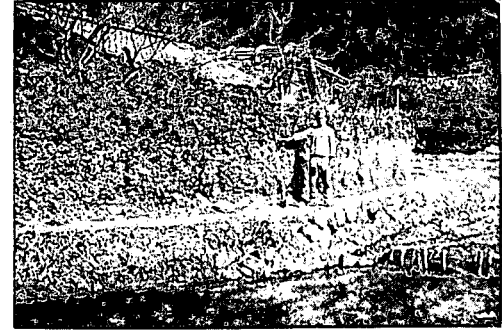
写9 土讃線路床の洗掘、須崎駅付近



写10 左方の路床から、鉄路が枕木ごと流され逆転した、須崎一多ノ郷間



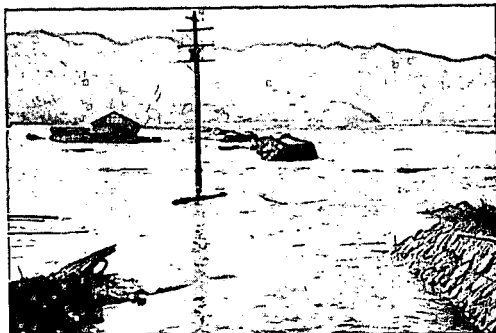
写11 須崎駅陸橋より北方をみる、鉄路は土讃線



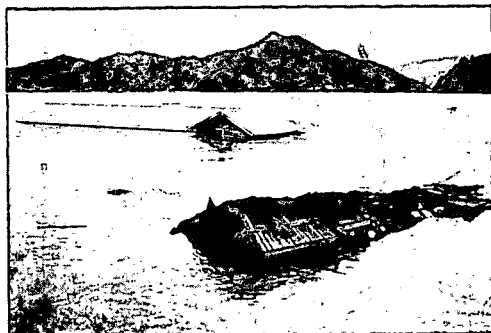
写12 須崎市郊外民家の津波痕跡

Pl. III の説明

1960. 5. 24 のチリ地震津波においても、その被害は、浦戸湾と須崎湾とで全く対照的であった。この場合は、地震動そのものはないので、津波だけが対象となった。湾外で 80 cm の波高を示した津波は、浦戸湾内では、その約 3 分の 1 に減じ、さしたる被害は見られなかったのに、須崎湾では、湾内で潮位上 4 m を越し、溢流の水圧のみで再び桐間堤防を寸断し（写 13）、流木で家屋を破壊し（写 17）、広い面積にわたって浸水して、南海地震津波に劣らぬ被害を与えた。（写真は須崎市役所提供）



写13 南海地震津波で破堤した桐間堤防が再び寸断した



写14 大海原となった須崎湾岸



写15 須崎市内の浸水



写16 とうとう流れこんできた津波



写17 どこへいっても流木の被害が大きかった



写18 流木で破壊された家屋

Pl. IV の説明

1970. 8. 21 の 7010 号台風は、高知地方気象台開設以来の異常台風として、高知県を直撃した。浦戸湾における最大偏差は従来の記録では、1960. 9. 16 の第二室戸台風（最低気圧 954.0 mb）の 91 cm であったが、最低気圧 979.2 mb であるにもかかわらず、最大偏差 240 cm 以上と飛躍的な新記録となった。このような大きな偏差は、気圧降下と風速から推測される値よりはるかに大きく、実験式より算定しても 1 m 弱程度にしかならないと、気象台をして嘆かせた異常台風であった。高知市における最大瞬間風速 54.3 m を示し、29 m の東風が真東に開く浦戸湾口へ、奔流のように吹き寄せを送りこみ、湾内は、南海地震津波以上の水位となり、流木・船舶が、堤防に激突して、湾周辺 20 か所を破堤した。そのため、高知市旧市内の 3 分の 2 に浸水し、空前の災害となった。決壊した堤防は、構造上の欠陥が指摘され、高さ・構造ともにこの台風の教訓を生かすことが望まれている。（写真は高知新聞社提供）



写19 高知市菜園場のゼロメートル地帯



写20 土佐の高知のはりまや橋付近



写21 高知市東部下知地区のゼロメートル地帯



写22 高知市葛島橋上流国分川右岸堤防が溢流で内側より4か所決壊、構造の脆弱性を示す



写23 浦戸湾埋立地貯木場の材木が流木となって民家に突入破壊した



写24 浦戸湾口東部外洋に面する種崎海岸防波堤の決壊、無鉄筋構造の堤防は脆くも倒壊