

わが国における潮位と海岸線の長期変化の関連について

芝 野 照 夫

RELATIONSHIP BETWEEN LONG-TERM CHANGES IN SHORELINE AND SEA LEVEL IN JAPAN

By Teruo SHIBANO

Synopsis

Beach processes and coastal development are affected by changes in sea level. Studies of shoreline and sea level changes have become very important. In recent years, sea level change is being studied by many geologists, as well as coastal engineers. The purpose of this paper is to clarify the characteristics of shoreline changes associated with sea level rising from historical and geological times. Because recent subsidence in coastal areas contributes to shoreline changes, data of tidal observation are rearranged carefully. It is concluded that the annual rising rates of sea level are estimated to be about 2 mm in Osaka and 1 mm in Aburatsubo respectively, and that beach erosion at Niigata coast is caused significantly by subsidence due to mining natural gas, plus by action of stormy waves.

1. 緒 言

わが国は海に囲まれ、古来より海の恩恵を享受するとともに、その猛威に少なからずなやまされてきた。とくに、沖積地からなる沿岸地域は、従来から白砂青松の地として、水産業に利用されてきたが、近年では工業生産の場として埋立てられ、わが国の近代化とともに、開発、発展してきたことは周知のとおりである。

わが国は国土面積が約 37 万 km² と狭小であるにもかかわらず、その海岸線総延長は約 3.2 万 km¹⁾ にもおよんでおり、国土面積に対する海岸線の長さは、世界でも有数のものである。これは、わが国が複雑で屈曲に富んだ海岸線をもっていることを示しており、三陸沿岸、熊野灘沿岸などの海岸は地形学上、リアス式海岸と呼ばれ、山地が直接海に迫る海岸であって、このような地形の海岸が多く見られることによるものである。さらに、近年では臨海地帯の開発によっても海岸線を複雑にしていると、いわなければならないであろう。

一方、わが国はアジア大陸の東縁に位置し、しかも太平洋造山帯に属する島しょであることから、気候学的には偏西風域帯に位置するとともに、火山活動ならびに地殻変動の激しいところである。このことから、冬期には季節風および夏期には台風がしばしば来襲し、それらに伴う高波浪の来襲によって毎年のごとく波浪災害が発生して、わが国沿岸部に壊滅的な被害を与えてきた。また、火山活動や、とくに地殻変動に伴う地震は沿岸部に津波災害を発生させるとともに、地盤の上昇・下降をもたらし、わが国の海岸線を形づくる主要因のひとつになっている。

以上のように、わが国土はこれら自然の脅威の所産であるとともに、とくに海岸線近傍は主たる外力である来襲波浪や潮汐および地殻の変動があい対しているところといえよう。その結果、海岸線近傍の地形は、このような外力によって、当然のことながら変化するが、ここでは地殻変動、すなわち地盤の隆起や沈降に伴う海岸地形の変化は、陸地と海面の相対的な関係、すなわち地盤の変化による海水面の変化を海水面の変化に伴う海岸線の前進・後退に含めることとし、海岸変形に大きな影響を与えと考えられる潮位の変化を、

長期的な海面の変化, すなわち海水準の変動を地盤変動との関係をも含めて考察し, また最近の潮位観測開始以降における潮位の地域分布と変動について考察する。

2. 潮位の長期変動と地域分布

平均海面の変動, すなわち潮位の変化は, これまで次のような2つの方向から研究が進められてきた。まず, 第1は海況変動の情報を得るための海洋学的な立場²⁾と第2には, 土地の絶対的または相対的な鉛直変動を明らかにするための, 測地学的な立場³⁾である。

ここでは, 海洋学的な立場ではなく, 海岸に作用する外力の1つとして潮位の変化を取扱うことにする。海岸線の位置は海面と陸上地形の相対的な関係によって定まるものであり, 後述する海岸侵食も海面の上昇とそれに付加される波浪の作用によって, 大きく影響されるものである。とくに, 海面の変動は Fig. 1 に示すように大きく3つの時間スケールに区分される。まず, 第1は地質学的スケール, 第2は季節及び年スケールおよび第3は高潮災害の発生などに見られる非常に短期間のスケールである。

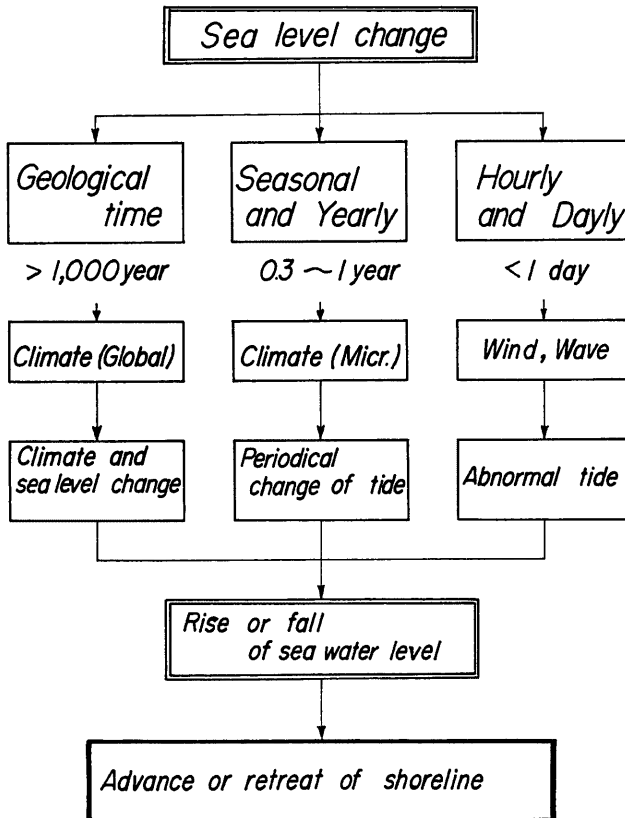


Fig. 1 Time scale of sea level changes

ここでは、時間スケールの相違による海面の変動について概観することとする。

2.1 地質時代における海面変動

地質時代における平均海面の変動については、これまで数多くの研究が行われてきており、気候変動や地殻変動に伴う地質学および地形学の分野で多くの成果が発表されている⁴⁾。

地形学の分野では、第4紀の海面変動のうち、過去1万年から2万年に至る最後の氷期以降の研究が活発に行われてきており、この時期の著しい海面の上昇に伴う海進を、外国では Holocene transgression あるいは Frandrian transgression、わが国では沖積世海進、縄文海進などと呼んでいる^{5),6)}。しかし、わが国のように造山帯に位置し、地殻変動の激しいところでは、海面変動と地殻変動のそれぞれを分離して考えることは実際上不可能であって、歴史的な観点からは、それらの相互作用としての陸地に対する相対的な海面変動が研究されてきたのが現状である。

また、海面の変動をもたらす原因は、次のような2つに分けることができる。まず、第1はテクトニックな変動 (Tectonic movement) である。これは海面と関係なく陸地のみが上昇または沈下することによって、相対的に海面が低下あるいは上昇するとしたものである。第2はユースタティックな変動 (Eustatic movement) であって、海面のみの低下・上昇によるものである。このユースタティックな変動は、海底に陸地からの物質が供給されて堆積することによって、海底容積の必然的な減少から海面の上昇が生じること、気候の温暖化に伴って陸地を覆っていた氷河や大陸氷床の融解によって海面の上昇をもたらすか、あるいは海面の低下が海底の広範囲な陥没や大規模な氷河の形成に原因するものと考えられている。これら海面変動をもたらす原因のうち、もっとも重要なものは、第4紀の気候変動に代表される氷期と間氷期のくりかえし、すなわち第2のユースタティックな変動によるものである。約200万年と言われる第4紀には4回の氷期があり、それぞれ Gunz, Mindel, Riss および Würm 氷期と呼ばれているが、それら氷期の間は間氷期であって、氷期と間氷期の海面差は 100 m 以上にも及んだと言われている。現在はもっとも新しい Würm 氷期 (約 20,000 B. P.) 後の間氷期に属しており、後氷期とも一般に呼ばれ、高海面の時代であるとされている。

Fig. 2 は Fairbridge⁷⁾ によって描かれた第4紀における海面変動と気候変動を示すもので、図中の海面および気温の低下したところは氷期に対応している。つまり、気温の低下に伴って地球上の水の一部は氷河や大陸氷床の形成、発達につやされ、その結果海面の低下をもたらしたものである。一方、気温が上昇し、温暖な気候が続いた間氷期には、氷期に発達した氷河や大陸氷床の融解によって流出した水が海に流れ込み、その結果として海面が上昇する。これら海面の上昇および低下と波浪などの外力に対応して地形が形成され、現在海岸付近に見られる段丘、ビーチテラスあるいは大陸棚も海面変動に伴う侵食地形と考えられている。

また、Fig. 2 に見られる Würm 氷期以後から現在に至る海面の上昇期は、前述のように Frandrian 海進期と呼ばれ、約 100 m 以上の海面の上昇が知られているが、この期間の海面変動を示したものが Fig. 3 である。なお、図中には Shepard⁸⁾ がアメリカ合衆国沿岸で調査した結果をも示しているが、Shepard の曲線は Fairbridge のそれに比べて、現在の海水準がもっとも高いものと仮定していること、さらに Frandrian 海進期の期間中、海面は変動することなく上昇したものとしている。これについて森脇⁹⁾ は、アメリカ沿岸で地質時代の海面変動の痕跡が得られる地域は大陸氷床の周縁地域に属しており、氷河性アイソスタシーの影響によって地盤が沈降しつつあって、高海面を示す地形が地盤の沈下によって現在の海面下になっていること、また、調

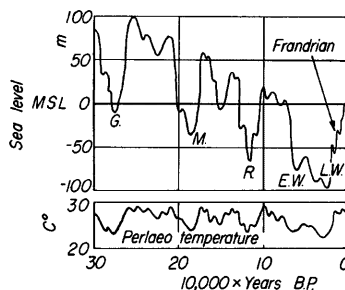
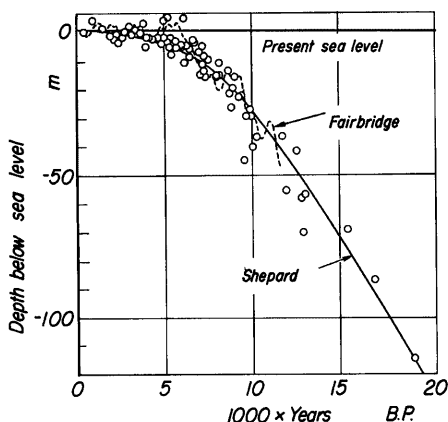


Fig. 2 Eustatic oscillations of sea level during Quaternary times (by Fairbridge⁷⁾)

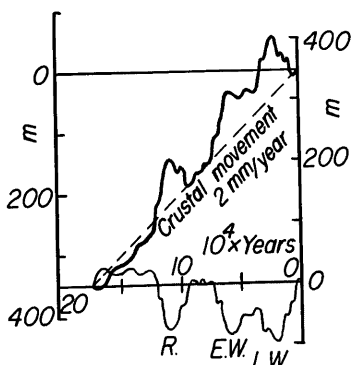
Fig. 3 Sea level changes after Frandrian marine transgression⁸⁾

査資料の値を結ぶ曲線の描き方にもあると指摘している。

一方、わが国でこれまで調査された結果も Fig. 2 の Fairbridge の曲線と同様に、海面は小さな上昇、低下をくりかえしながら現在の海面に達したことが数多く報告されている。例えば、吉川ら¹⁰⁾は四国の土佐湾北東岸沿岸において、地殻変動と海面変動の関係を明らかにするため海成段丘の調査を行い、Fig. 4 に示すような結果を得ている。この海成段丘面、すなわち旧汀線の生成は継続的な土地の隆起を考慮すれば、Fairbridge の示す海面変動とよく対応しており、地殻変動の激しいわが国においても、気候変動に原因する海面変動が海岸地形の形成に大きく影響していることを示しているといえよう。

また、Fig. 5 はわが国の地形学者によって調査^{4), 10) ~ 16)}された地質時代の海面高度を示すもので、地質年代の判定は海面の位置を示す地形や地層中に含まれる炭化物質のラジオカーボン (^{14}C) の測定、あるいは遺跡など考古学的手法を用いて行われたものである。この図によれば Fig. 2 の Fairbridge の曲線と同様に、小さな上昇・低下の変動をくりかえしながら現在の海面高度に達していることが明らかであって、現在より 6,000~5,000 B. P. の海面高度は 2m~5m 程度高く、4,000~3,000 B. P. にも 1m~3m 程度高かったものと推定できる。さらに、資料の数は少ないが 1,000 B. P. 付近にも、当時の海面は現在のそれに比べて若干高いことが推定される。

以上のように、海面高度の高い時期には、当然のことながら海水は陸地内部へと侵入し、相対的に海岸侵食が生じたものと言ってよいであろう。また、この3回の海面高度が高くなった時期は、それぞれ歴史時代区分にあてはめれば、縄文時代前期、縄文時代後期から弥生時代および平安時代に相当する。さらに、わが国の海面高度の高かった時代の遺跡、すなわち東木^{17), 18)}は関東平野低地に散在する貝塚の分布を調査し、当時の海岸線を Fig. 6 のように示している。貝塚の存在は収獲後の運搬や消費の形態から考えて、その近

Fig. 4 Relation between sea and land level changes near Muroto Peninsular¹⁰⁾

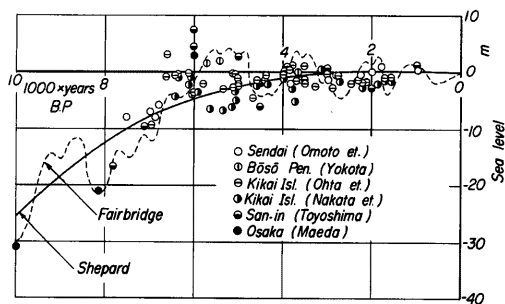
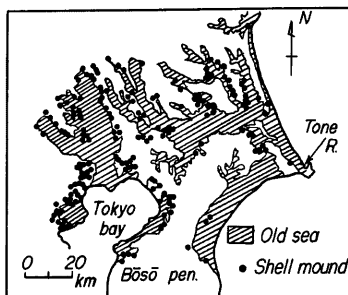
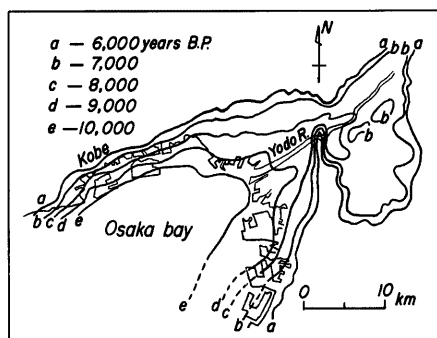


Fig. 5 Sea level changes at geological times in Japan

Fig. 6 Distribution of shell mounds in Kanto plain^{17),18)}

くに海岸線があったものと考えられることから、縄文時代海進期には現在の河谷に沿ってかなり内陸部まで海岸線が入りこんでいたことを表している。一方、大阪湾沿岸においても縄文時代海進期の海岸線は、現在のそれよりも内陸側に入りこんであり、前田^{16),19)}は大阪湾沿岸における橋脚工事などに伴う潜函内地層の調査によって、Fig. 7 に示すような縄文時代海進期の海岸線を示している。この海面の上昇によって、その最盛期には現在の淀川の河谷沿いに枚方市付近まで海岸線が入りこんでいたものと考えられる。その後、現在に至る海面の低下と河川上流域からの流送土砂によって、前述の関東平野および大阪湾沿岸をはじめとする沖積地ははだいに埋積され、海岸線も現在のところのように位置するようになった

ものであろう。例えば、東京湾沿岸のうち隅田川から品川に至る海岸線について、正井²⁰⁾は Fig. 8 に示すように1460年当時の「丸の内」は海であり、流入河川の流送土砂の堆積と埋立によって現在の海岸線が形づくられてきたことを明らかにしている。このように、海面変動を無視しうる比較的短期間の視点、すなわ

Fig. 7 Shoreline location during Jomon marine transgression along Osaka bay¹⁹⁾

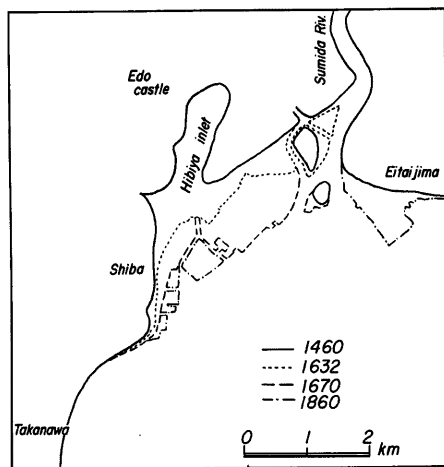


Fig. 8 Shoreline location during Edo era near Sumida river mouth²⁰⁾

ち100～500年程度の時間スケールでは、自然の作用以上に人為的な干拓や埋立の作用が海岸線の変化に大きく影響するといえよう。

以上のように、平均海面の変動を地質時代の海面変化に焦点をあてて考察したが、海面の上昇に伴って海岸線は内陸に入りこみ、必然的に大きな海岸侵食をもたらす一方、海面の低下時には、海岸線が大きく前進したことが明らかである。

この海面変動について、Würm 氷期の最盛期である 20,000 B. P. 当時の海面高度は、現在の海面に比べて -140 m 程度であったと言われ、その後の最高海面高度が 6,000 B. P. 頃に現在より約 5 m 程度高いことから考えると、海面の上昇は約 7～8 mm/year にも達する。例えば、仮に海岸線付近の勾配を1/1,000とするならば、この急激な海面の上昇のみによって約 7～8 m/year 海岸線が後退したことになる。これは現在、汀線の侵食や海食崖の後退で問題となっているわが国をはじめとする諸外国の例²¹⁾からいって、非常に大きな値である。

以上のような地質学のおよび地形学的な観点ではなく、海岸工学の立場からも、海岸地形の形成あるいは海岸侵食と関連して海面変動がとりあげられている^{22), 23)}。P. Bruun²⁴⁾ は海面の上昇に伴って海岸侵食が生じ、それによって生産された土砂は漂砂として沿岸方向及び沖方向へと輸送されるが、沿岸方向への漂砂移動がなければ沖方向への漂砂は時間的なずれがあるものの、しだいに沖浜からより深海域へと進み、中程度の勾配をもつ海岸では海面が 1 mm 上昇するごとに、汀線が約 0.3 m 後退すると指摘している。さらに、最近のアメリカ東海岸では年当り約 2 mm の海面上昇があり、これによる侵食量は高波浪の来襲に原因する侵食量を含めた全侵食量の20～50%にも及んでいると試算されている。また、Kraft ら²⁵⁾ はアメリカ東海岸の Delaware 海岸に発達する沖の州 (barrier) の研究から、海面の変動と沖の州の生成の関係を調べ、第4紀の海面が低下した時代に形成された浜堤 (砂丘) が、その後の海面の上昇に伴って陸地と切り放され、沖の州の後方に潟湖をもつようになったと述べている。現在では、その沖の州がしだいに侵食され、その土砂は沿岸流によって運搬されて、その海岸の端の砂嘴の形成に寄与していることを明らかにしている。一方、わが国においても、高²⁶⁾は海面変動と海岸侵食の関係をとりあげ、長期的な観点において沖積層から構成される海岸の地形は、沖積世の海面変動に伴って形成された化石海岸地形であって、現在問題となっている海岸侵食は、人為的な海岸への土砂供給量の減少などの原因のみならず、沖積世から現在までの海面変動にも

原因するもので、地形の生成過程として海岸侵食が生ずるのは当然のことと指摘している。

これらのことから、海面変動は海岸地形の形成と海岸保全に重要な要素をもっているものと考えられる。ただし、海面変動の研究は地質時代の期間について多く行われているが、地質時代と現在を結ぶ有史以来の研究は人為的な影響が大きいために、干拓や埋立など直接的な海岸線の変化を扱ったものがほとんどである。ここでは3.で述べるように、現在まで約90年間にわたってわが国沿岸各地で観測された潮位資料を用いて、海面の変動を明らかにして、海岸侵食とのかかわり合いを調べる。

3. 潮位変化と地盤沈下

わが国における潮位の観測は、1894年（明治27年）に現在の国土地理院および気象庁によって、宮崎県細島、石川県輪島および宮城県鮎川において実施されて以来、約500ヶ所で継続実施されてきた。潮位計の所管は国土地理院、気象庁、海上保安庁水路部、都道府県およびその他となっており、その配置はほぼ全国を網羅している。また、潮位観測所の設置位置を太平洋側と日本海側に分けると、Table 1 のようであって、太平洋側の設置数が非常に多い、ただし、この中には東京や大阪のように感潮市内河川域に設置されたものも含んでいる。これら約500ヶ所にも及ぶ潮位観測所のうち主要なものを示したものが Fig. 9 であり、観測資料が整理、公表されている国土地理院、気象庁および海上保安庁水路部所管の観測所である。

これらの潮位観測所の観測開始年の経年変化は Fig. 10 のようであって、前述したように1894年以来観測が継続して行われており、古いもので約90年間の記録が収集されてきたことがわかる。しかし、1890年代に観測が開始されたのは7ヶ所であり、現在のようにわが国沿岸各地で数多く観測されはじめたのは、第2次世界大戦後の1949年以降である。

このように、わが国沿岸各地を網羅している潮位観測所で得られた潮位記録を用いて、潮位の季節変化、地域分布特性および長期変動について検討するが、ここではとくに潮位変化と地盤の変動が短期間に現われている大阪および新潟を例として、その両者の関係を明らかにする。まず、潮位の観測はその観測基準面の高さを陸上の水準点から定めるために、水準点の隆起や沈下によって潮位観測の値が変化することが考えられる。通常、潮位の直接観測の値は、このような地盤の変動と潮位自身の変動を含んだものであって、地盤と潮位の相対的な上昇および低下として表わされている。この地盤の変動については、前述したような地殻変動のほか東京、名古屋、大阪および新潟などの諸都市に見られるように、大河川の河口部を形成している軟弱な沖積地からの地下水のくみ上げなどに原因する圧密沈下などによって地盤沈下が生ずる。

このような地盤の変化と潮位の関係を見ると、次のようである。大阪港²⁷⁾における水準点の測量結果と潮位観測結果から、地盤沈下と潮位の関係を検討するとともに、神奈川県油壺²⁸⁾における同様の観測結果から、主として地盤変動と潮位の関係を検討する。なお、潮位は年平均潮位の値として示している。

Table 1 Locations of tidal observatories

Establishment areas	Numbers	%
Along the Pacific Ocean	143	31.0
Along the Sea of Japan	80	17.3
Along the Sea of Okhotsk	6	1.3
Along Inland sea	233	50.4

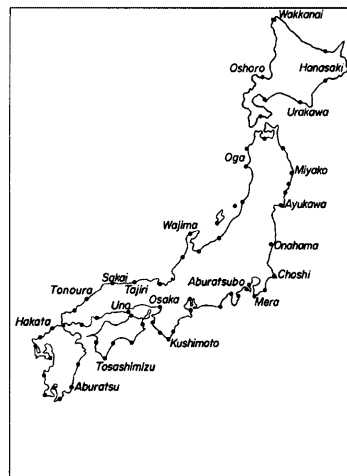


Fig. 9 Distribution of tidal observatories along Japanese coasts

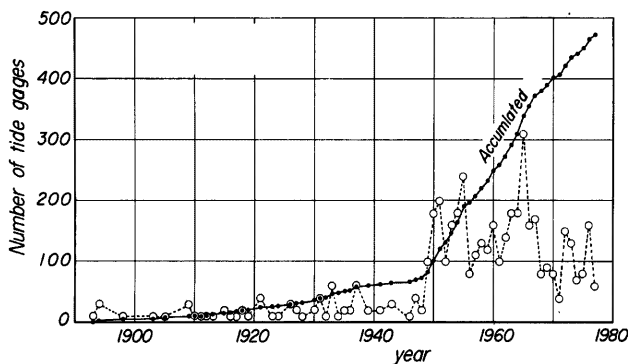


Fig. 10 Historical changes of beginning dates of tidal observation

Fig. 11 は大阪港検潮所における1941年を基準とした潮位観測井戸の球分体、すなわち地盤の高低変化と潮位の変化を経年の示したものである。この検潮所球分体すなわち基準となる地盤の変化は沈下を示し、一方潮位は上昇を示している。この両者の関係はほぼ同様の傾向を表わしており、1941年から25年経過した1966年には地盤の沈下が約 1.0 m、それに対して潮位の相対的な上昇は約 1.3 m にも及んでいる。この地盤の沈下量と潮位の見かけ上の上昇量の関係を示したものが、**Fig. 12** である。このように大阪における年平均潮位の上昇は、地盤沈下に伴う見かけ上の上昇がほとんどを占めており、1941年から25年間で約 5 cm、年当りにすれば約 2 mm 程度の潮位の上昇となっている。

一方、神奈川県油壺における地盤と年平均潮位の変化は、**Fig. 13** および **Fig. 14** に示すようである。なお、油壺の資料は1923年9月に発生した関東大地震による地盤変動の影響を除くために、1924年の観測値を基準にしている。とくに、**Fig. 13** では前出の大阪における一方的な地盤の沈下傾向に比べて、油壺検潮所の水準点の経年変化は隆起、沈下をくりかえしながらも、長期的には沈下の傾向を示している。その沈下量は1924年から1973年の50年間で約 20 cm という値である。また、年平均潮位の経年変化も上昇、低下の変動があるが、地盤に対して相対的に潮位が上昇する傾向にあることを示している。一方、潮位の年平均値は50年間で約 25 cm 上昇しており、前述の地盤沈下量の約 20 cm を差し引くと約 5 cm 潮位自身の上昇があ

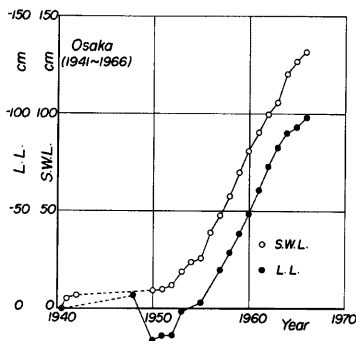


Fig. 11 Historical changes in land and sea levels at Osaka Harbor

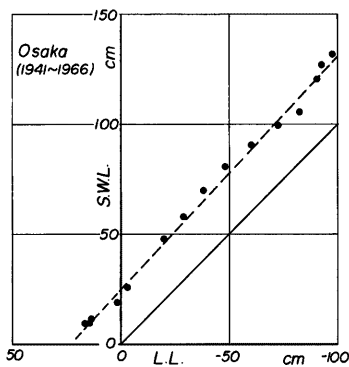


Fig. 12 Relation between land and sea levels

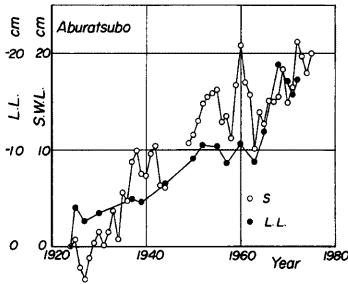


Fig. 13 Historical changes in land and sea levels at Aburatsubo

ることがわかる。これを年平均の潮位上昇量として見ると約1mm程度、毎年潮位が上昇しているものといえよう。

以上のように、地盤と潮位の経年変化から相対的に潮位は上昇していることが明らかである。しかし、この傾向は4.において述べるように、地域的に見れば相対的に潮位が低下するところもあることに注意しなければならない。

この地盤沈下に伴う相対的な潮位の上昇は、必然的に海岸侵食をもたらすものと考えられるが、大阪や東京など海岸線近傍まで高度に土地利用がなされている地域では、当然のことながら、海岸線は長大な堤防によって防禦されており、その前面には砂浜はなく、汀線の後退として海岸侵食が現われるのではなく、海岸堤防の沈下として現われてくるのが現状であるが、しかし、海岸堤防が築造されていないところでは砂浜の後退として現われる。その代表的な例として、新潟海岸における地盤沈下と相対的な潮位の上昇、その結果として表わされる海岸侵食について、以下若干の考察を行う。ただし、新潟海岸の侵食は地盤沈下のみならず、

大河津分水工事のように、信濃川下流域の洪水氾濫防止および流送土砂による港湾の埋没防止を目的とした分水工事が大きく影響していることを念頭に置かなければならない。

新潟市における地盤沈下^{23), 30)}は、信濃川の流送土砂から構成された軟弱な地盤の冲積層中に滞留する水溶性ガスの汲上げに原因して、地盤が圧密沈下を起すことによると結論づけられている。この地盤沈下によって新潟市では1955年頃から、信濃川河口部、とくに新潟港付近においてしばしば浸水の被害を受けるようになってきた。現在では、水溶性天然ガスの汲上げ規制と同時に、港湾施設をはじめとする各種構造物の嵩上げによって、地盤沈下を抑制し、浸水から陸地を防禦しているのが現状である。

Fig. 15 は地盤沈下量および汀線後退量^{31), 32)}の経年変化を示したものである。ただし、地盤沈下量は新潟市関屋の一等水準点 (B. M. No. 4425) および汀線後退量

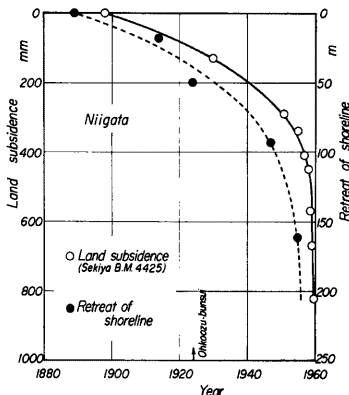


Fig. 15 Historical changes in land subsidence and shoreline retreat at Niigata coast

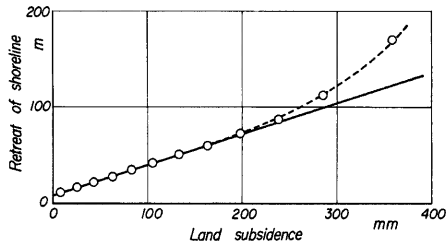


Fig. 16 Relation between land subsidence and shoreline retreat

は新潟市寄居浜それぞれにおける観測値を用いている。とくに、寄居浜は1955年以前には護岸など海岸構造物が設置されておらず、背後に砂丘を有する自然の砂浜海岸であったと考えられ、地盤沈下に伴う海岸侵食をよく表わしているものと考えられる。しかし、地盤沈下による海岸侵食量と信濃川の流送土砂の変化および海岸構造物の築造に伴う海岸侵食を定量的に分けることは困難である。この図から、地盤沈下量、潮位上昇量および汀線後退量のそれぞれは、1950年頃を境としてそれ以降急激な変化を示している。また、汀線後退量は図中に示した大河津分水工の完成前後で大きな変化を示しており、これまで寄居浜をはじめとする新潟西海岸の涵養に寄与していた信濃川からの流送土砂量が減少し、海岸侵食をより助長してきたことを表わしている。この河川からの流送土砂量の減少とともに、1950年以降では地盤の沈下すなわち年平均潮位の上昇と相まって、新潟海岸の侵食が激化したことは否めない事実であろう。

また、Fig. 16 は Fig. 15 に挿入した地盤沈下量と汀線後退量の曲線に基づいて示した汀線後退量と地盤沈下量の関係である。また、図中には、寄居浜の水深 10 m までの海底勾配は約 $1/60 \sim 1/75$ であることから、新潟県による調査結果を用いて、実際の汀線後退量から地盤沈下によるそれを評価すると、次のようである。1904年から1955年までの比較的地盤沈下が緩やかな期間における寄居浜付近の汀線後退量は約 200 m で、その間地盤の沈下は約 25 cm 程度と見積られている。また、海底勾配もこの間はほぼ $1/75$ 程度であり、海底勾配と地盤沈下の関係から、地盤沈下によって生じると考えられる汀線後退量を算定すると約 19 m となる。これは高波浪の来襲などによる海岸侵食量を合わせた全侵食量の約 10% にも及んでいることを示している。一方、地盤沈下が激化した 1955 年以降においては、1958 年までの 3 年間に約 45 m の汀線後退が見られ、その間の地盤沈下も約 50 cm に及んでいる。また、海底勾配は約 $1/60$ 程度としだいに急となってきている。これらの関係から地盤沈下に原因する汀線後退量は約 30 m となり、全侵食量の約 67% を占めるに至っている。このように、全侵食量に占める地盤沈下の割合は、P. Bruun がアメリカ東海岸で海水面の上昇による割合として算定した約 20~50% と近い値を示している。

以上のように、地盤沈下に伴って平均海水面も変化し、相対的に海水面は上昇して汀線はしだいに後退することになる。とくに、海岸堤防などの海岸構造物のない自然の砂浜海岸では、高波浪の来襲と相俟って汀線はより後退するものと考えられる。一方、海岸堤防などで防禦されている海岸においても、直接的には汀線の後退は顕著とならないが、堤体の沈下や堤防前面の水深が大きくなることから、来襲波浪の碎波点が海岸堤防より近くなり、堤防前面の洗掘や越波の頻度が高くなる。これらの現象は堤体の破壊の要因となり、甚大な海岸災害と海岸侵食をもたらすと言っても過言ではないであろう。

4. 潮位の地域分布および季節変化

前述したように、大河川が海へ流入する河口付近の地盤は軟弱な地質から構成され、新潟市周辺で代表されるように、東京湾、伊勢湾および大阪湾沿岸においても地盤沈下が問題となってきた。この地盤沈下に伴って海水面は相対的に上昇し、海水は当然のことながら内陸部へと浸入して、海岸侵食となる。

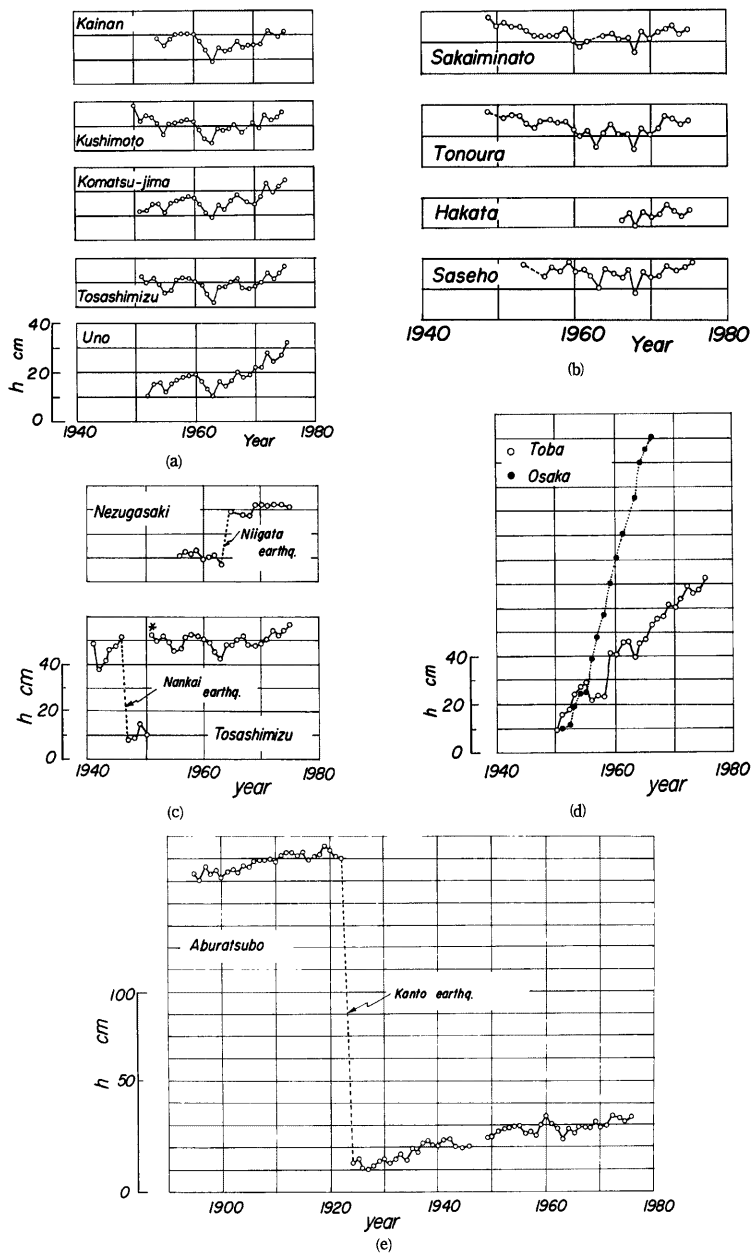
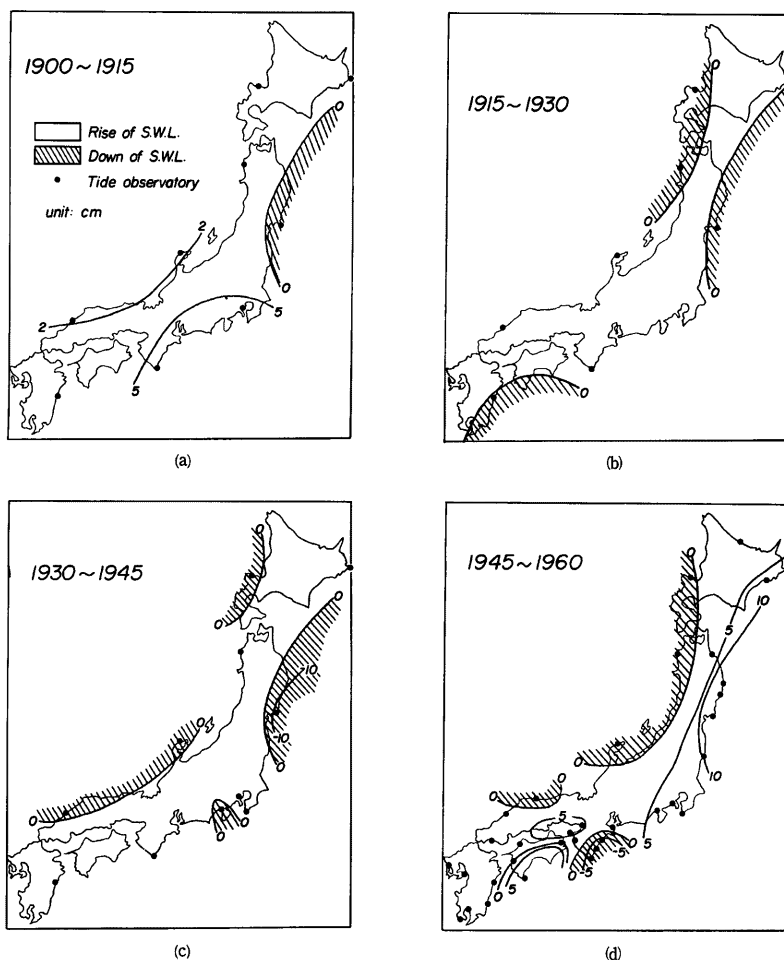
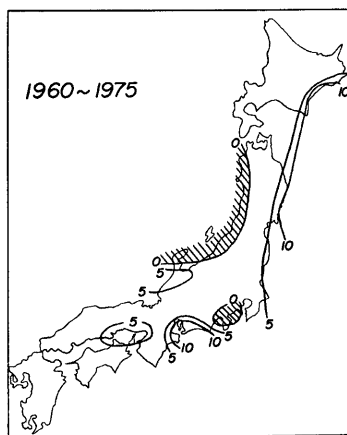


Fig. 17 Historical changes in annual mean sea level in main tidal observatories along Japanese coasts



このような地盤沈下や地殻変動を含んだ潮位との相対的な関係による海岸線の前進・後退を検討するため、Fig. 8 に示した主要な潮位観測所における年平均潮位の経年変化を Fig. 17 に示す。なお、この図は国土地理院海岸昇降検知センター³³⁾によって、各地の潮位資料が収集され発表されているものに基づいている。図中の三重県鳥羽、大阪など経年的に急激な潮位の増加が見られる観測点は、前述した地盤沈下にもなって見かけ上、潮位が上昇したように見えるものである。また、鼠ヶ関、油壺および土佐清水などでは1年間で急激な変化を示しているが、これは地殻変動すなわち地震の発生によって、潮位観測点に垂直変化が生じた結果であって、鼠ヶ関では1963年6月16日の新潟地震、油壺では1923年9月1日の関東大地震および土佐清水では1946年12月21日に発生した南海地震によるものである。

しかし、これら各地における潮位の経年変化を総括的に見ると、潮位の上昇および低下の傾向は地域的に



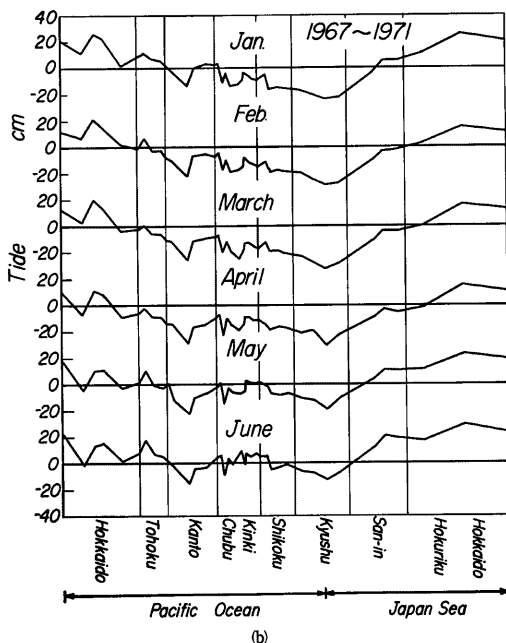
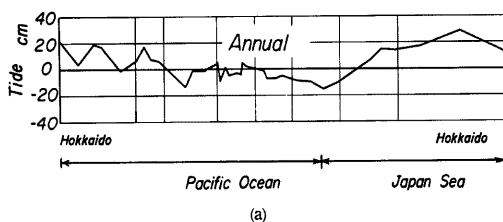
(e)

Fig. 18 Regional distribution of sea level changes

ほぼ共通した傾向を示している。たとえば、紀伊半島から四国東部の各観測所では、1963年以降潮位はしだいに上昇しており、その変動の様相も各観測所で同じような傾向を示している。また、このことは瀬戸内海沿岸や山陰から九州北部にかけての海域においても同様であって、広い地域での海況の変化や広領域でブロックとしての地殻変動に影響されているものといえよう。とくに、津村³⁴⁾は紀伊半島付近から伊豆半島の東海地方沿岸における潮位の長期変化が、黒潮の蛇行に原因する冷水塊の出現によって大きく影響され、冷水塊に接する沿岸部で潮位は上昇し、その東・西両側沿岸では逆に潮位が低下すると海況変動の影響を指摘している。

Fig. 18 は、わが国沿岸における潮位の上昇・低下の地域分布を、これまで約80年間にわたる期間について各15年間隔で、潮位変化と地盤の昇降の相対的な関係として示したものである。ただし、1945年以前については、潮位観測所の数が少ないために、それ以降の資料に比べて詳細な検討を行うには、精度の点で問題はある。しかし、東北地方から北海道にかけての太平洋沿岸では、1900年から1945年までの期間で相対的に潮位の低下傾向が見られる。一方、1945年以降は逆に各15年間で最大 10 cm 以上も潮位の上昇がうかがえる。これに対して、日本海側では潮位の低下地域がほぼ北陸地方から北の範囲に見られるが、その低下量は非常に小さく、相対的に安定した潮位を示すものと考えられる。また、1945年から1975年までの期間では、大阪湾を含む瀬戸内海沿岸および伊勢湾沿岸において潮位の上昇傾向が見られるが、これは前述した沖積地に造成された工業地帯などの影響による地盤沈下の結果であると思われる。

Fig. 19 は1967年から1971年の5年間にわけるわが国沿岸の潮位の地域分布を示している。ただし、北海道北端の稚内を基点として太平洋岸に沿って九州南端の枕崎までと、九州から山陰を経て、日本海沿岸に沿って稚内に至る海岸線を直線状にして表わし、平均潮位の基準を東京湾中等潮位 (T. P.) にとって、各潮位観測所における値を比較できるようにしてある。この図から、わが国沿岸における平均潮位は、太平洋側および日本海側とも北海道に近づくほど高く、また、九州に向うほど低くなっており、その差は年平均値で約40 cm にも及んでいる。とくに、平均潮位の高いところは日本海沿岸の秋田県岩崎であって、T. P. 上約 30 cm にも及んでいる。一方、平均潮位の低いところは九州最南端の鹿児島県枕崎で T. P. より約 25 cm も低くなっている。さらに、この平均潮位の沿岸方向分布の図から、中部地方と近畿地方の地域における値が複雑に変動しているのは、潮位観測所の位置が湾内および紀伊水道沿岸部に分布しているため地形的な影響、あ



るいは前述したように、本州南岸を北上する黒潮の蛇行に伴う冷水塊の出現など、海況変動の著しい地域であることに原因すると考えられる。さらに、月別に示した図から、地域的な潮位の分布傾向はほとんど変化しないが、周知のように、一般に潮位は6月から10月までの夏期から秋期にかけて高く、とくに9月には各地域とも T.P. 上もっとも高くなっている。一方、平均的な潮位がもっとも低いのは4月であり、九州南端の枕崎において T.P. 下約 30 cm にも及び、北海道沿岸と北陸地方以北の日本海側を除いて、いずれの地域も T.P. 以下の値を示している。

Fig. 20 は Fig. 19 に示した各潮位観測所における月平均潮位を示したものであって、前述したように潮位は夏期から秋期にかけて高く、冬期から春期に低いことが明らかであるが、月別の平均潮位の変化を見ると、北海道沿岸では比較的最高および最低値の差はなく、ほぼ 20 cm 程度である。しかし、北海道から太平洋岸および日本海沿岸ともに九州に近づくほど、一般に最高、最低値の差は大きくなり、約 40 cm 程度にも及んでいる。また、北海道東岸の網走、花咲および釧路では、潮位の極大が夏期および冬の2回も存在するといった他の地域では見られない分布傾向を示している。太平洋沿岸における平均潮位の最高値を示

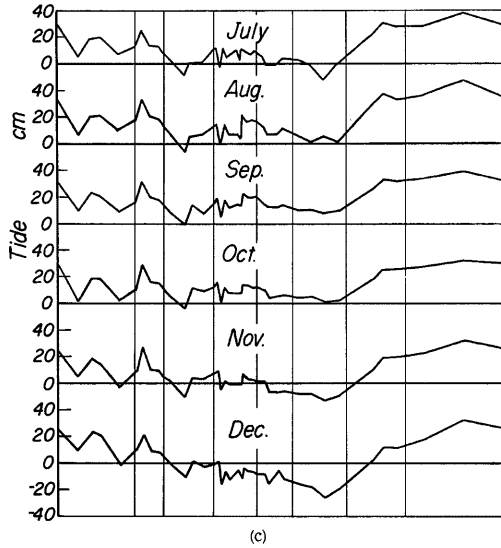
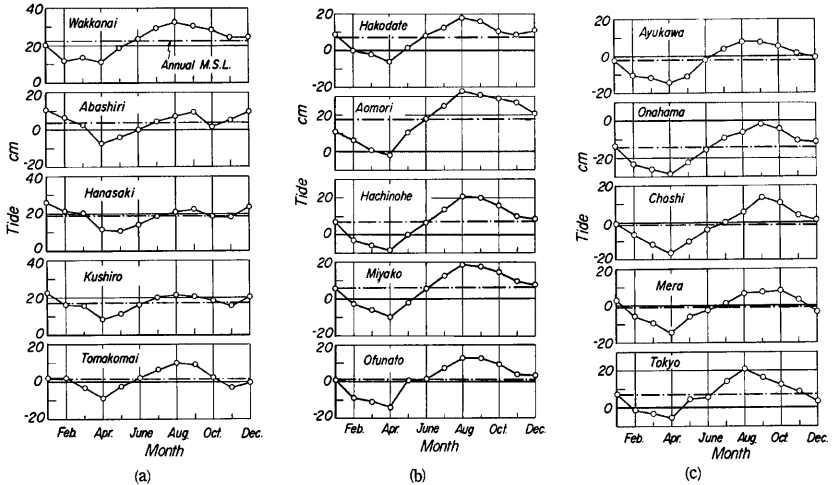


Fig. 19 Distributions of annual mean sea levels along Japanese coasts



す月は、関東地方以北では大体8月であるが、それ以西では9月となっている。一方、日本海側では、一般に関東地方以北と同様に、8月に潮位の最高値を示している。

以上のように、わが国沿岸における潮位観測結果から、地域的および季節的な潮位の分布特性を明らかにした。この潮位はいずれも陸地と海水面の相対的な上昇および低下の関係であって、海岸堤防などのない自然の砂浜海岸では、直接見かけ上の海岸線の前進・後退につながるわけである。しかし、海面の変動に伴う

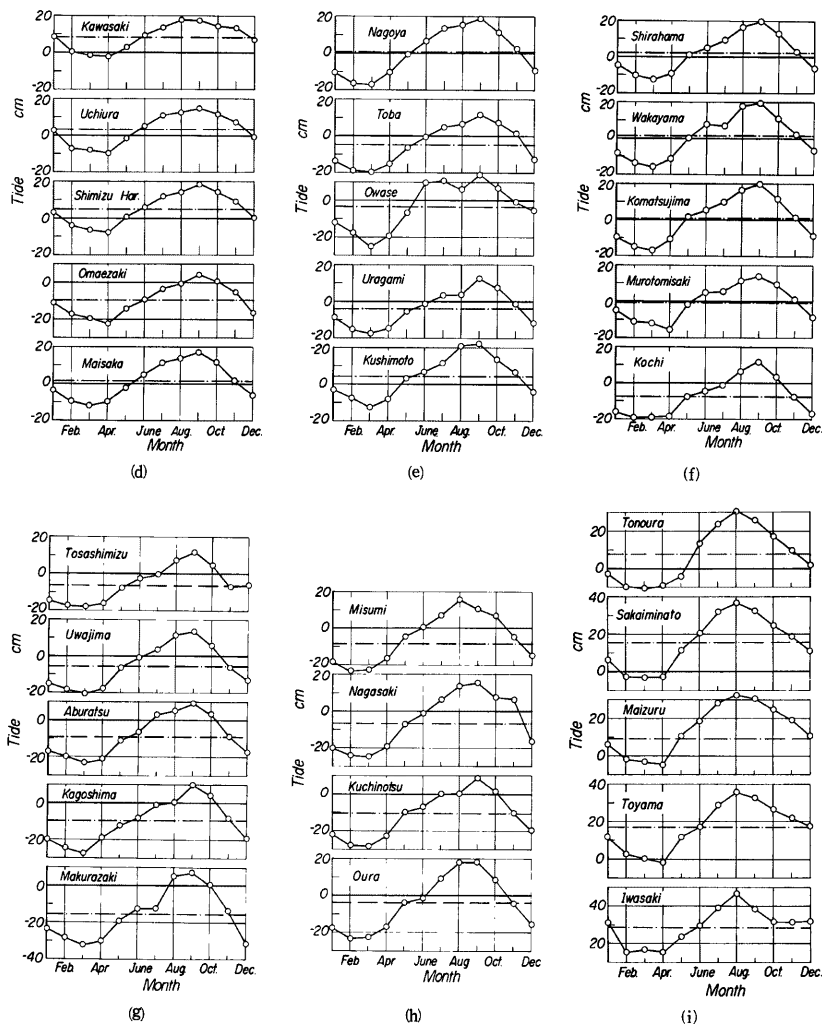


Fig. 20 Distributions of monthly mean sea levels along Japanese coasts

海岸線の前進・後退は、短期的に見ればそれほど大きな影響を与えないように見えるが、経年的な海面上昇と毎年のごとく来襲する高波浪の両者を考慮すれば、長期的にはかなり大きく影響するといえるであろう。

5. 結 語

潮位の長期的な変化と海岸線の前進・後退との関係は、洪積世から現在に至るまで継続しており、わが国においても諸外国と同様に、海水準の変動に伴う地形変化が見られ、現在の海岸付近の地形が形づくられて

きたことを再確認した。一方、最近の潮位観測結果から大阪、油壺においても、1~2 mm/year 程度の潮位上昇が認められ、海岸線の変化に少なからず影響を与えてきていることを示唆するとともに、かつて地盤沈下の激しかった新潟の海岸侵食は、地盤沈下の影響によって海岸線近傍の水深が大きくなり、高波浪の来襲時における海岸侵食を少なからず助長してきたことを明らかにした。

一方、わが国沿岸における平均潮位は、太平洋側および日本海側ともに、北海道に近づくほど高く、さらに、季節的にも8月から10月の夏期および秋期に高くなることがわかった。

これらのことから、海面の変動に伴う海岸線の前進・後退は、短期的に見ればそれほど影響を与えないように見えるが、経年的な海面上昇と毎年のごとく来襲する高波浪を考えるならば、長期間にわたる外力から国土を防禦する海岸構造物の計画など、海岸工学の分野においても、長期的な海面変動に対する配慮が必要ともいえよう。

最後に、本研究を進めるにあたって御指導を賜った土屋義人教授に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 建設省河川局：海岸統計（昭和57年版），1982.
- 2) Nomitsu, T. and M. Okamoto: The case of the annual variation of the sea level along the Japanese coast, Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., 10, 1927, pp. 125-161.
- 3) Hayashi, T.: A study on the vertical movements of the earth's crust by means of the precise leveling, Bull., Geogr. Surv. Inst., Vol. 15, 1969, pp. 1-67.
- 4) 日本地理学会：最終氷期以後の海水準変動と地形発達——1976年秋季大会シンポジウム——，地理学評論，Vol. 50, No. 3, 1977, pp. 172-184.
- 5) 井関弘太郎：日本における海水準変動研究の展望，地理学評論，Vol. 51, No. 2, 1978, pp. 188-196.
- 6) 羽島謙二・柴崎達雄共編：第四紀，共立出版株式会社，1969, pp. 69-97, pp. 246-268.
- 7) Fairbridge, R. W.: Eustatic change in sea level, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 4, 1961, pp. 99-185.
- 8) Shepard, F. P.: Submarine geology, 2nd edition, Harper & Row, 1963, pp. 152-278.
- 9) 森脇 広：完新世における海水準変動の諸問題——諸外国の例——，地理学評論，Vol. 51, No. 2, 1978, pp. 176-187.
- 10) 吉川虎雄・貝塚爽平・太田陽子：土佐湾北東岸の海岸段丘と地殻変動，地理学評論，Vol. 37, No. 12, 1964, pp. 627-648.
- 11) 中田 高・高橋達郎・木庭元晴：琉球列島の完新世離水サンゴ礁地形と海水準変動，地理学評論，Vol. 51, No. 2, 1978, pp. 87-108.
- 12) 太田陽子・町田 洋・堀 信行・小西建二・大村明雄：琉球列島喜界島の完新世海成段丘——完新世海面変化，地理学評論，Vol. 51, No. 2, 1978, pp. 109-130.
- 13) 豊島吉則：山陰海岸における完新世海面変化，地理学評論，Vol. 51, No. 2, 1978, pp. 147-157.
- 14) 小元久仁夫・大内 定：仙台平野の完新世海水準変化に関する資料，地理学評論，Vol. 51, No. 2, 1978, pp. 158-175.
- 15) 横田佳世子：房総半島南東岸の完新世海岸段丘について，地理学評論，Vol. 51, No. 5, 1978, pp. 349-364.
- 16) 前田保夫：1万年前以降の瀬戸内海東部の海面変化——とくに大阪湾，播磨灘について——，海と空，Vol. 56, No. 2, 3, 1980, pp. 91-96.
- 17) 東木竜夫：貝塚分布の地形学的考察，人類学雑誌，No. 41, 1926, pp. 524-552.
- 18) 東木竜夫：地形と貝塚分布より見たる関東低地の旧海岸線，地理学評論，Vol. 2, No. 7~9, 1926, pp. 597-607, 659-678, 746-773.

- 19) 前田保夫：縄文の海と森——完新世前期の自然史——，蒼樹書房，1980，pp. 238.
- 20) 正井泰夫：都市環境としての大江戸の水系と海岸，筑波大学人文地理学研究，Ⅳ，1979，pp. 93-95.
- 21) 堀川清司・砂村継夫：航空写真による海蝕崖の後退に関する研究，第14回海岸工学講演会講演集，1967，pp. 315-324.
- 22) Koh, R: Beach erosion and quaternary sea level, Coastal Eng. in Japan, Vol. 12, 1969, pp. 121-128.
- 23) 岩崎敏夫・阿部至雄：海岸侵食に関する地史的資料の解析，自然災害資料解析，Vol. 4, 1977, pp.1-16.
- 24) Bruun, P: Sea level rise as a cause of shore erosion, Proc. ASCE, WW 1, 1962, pp. 117-130.
- 25) Kraft, J. C., C. J. John and E. M. Maurmeyer: Morphology of coastal barriers, Delaware, U. S. A., Proc. 16th Coastal Engg. Conf., 1978, pp. 1232-1243.
- 26) 高 隆二：海岸侵食と海水準変動，第15回海岸工学講演会講演集，1968，pp. 141-148.
- 27) 大阪管区気象台技術部観測課：大阪港検潮所の水準測量成果について，測候時報，41-6, 1974, pp. 175-182.
- 28) 檀原 毅：油壺の上下変動，測地学会誌，Vol. 19, No. 1, 1973, pp. 22-33.
- 29) 新潟地区地盤沈下調査委員会：新潟の地盤沈下，第一輯，1959, pp. 179.
- 30) 新潟県：新潟の地盤沈下，第二輯，1962, pp. 425.
- 31) 新潟県土木部：新潟海岸の欠潰について，1960, pp. 161.
- 32) 山田正平：新潟海岸の欠潰について，第2回海岸工学講演会講演集，1955, pp. 175-186.
- 33) 海岸昇降検地センター：日本列島沿岸の年平均潮位とそのグラフ（明治27年～昭和50年），1976, pp. 37.
- 34) 津村建四郎：日本沿岸の平均海面およびその変動の研究(Ⅱ)——潮位変化の地域分布——，測地学会誌，Vol. 9, No. 2, 1963, pp. 49-90.