

我国沿岸の海面水位の長期変動の特性とその要因

村 上 和 男*・山 田 邦 明**

1. ま え が き

人類の化石燃料の大量消費によって大気中の二酸化炭素等の温室効果ガス濃度が上昇し、その結果としての地球温暖化あるいは地球規模の環境問題が大きな社会問題となっている。地球が温暖化された場合、海水の膨張および氷河の溶解等により海面水位の上昇が懸念されている。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）によれば、西暦2100年には 31～110 cm 程度の海面上昇が予測されている（IPCC, 1990）。この海面上昇の予測に対して、我国の海岸線に及ぼす影響及びその対策は関係各機関で検討されている（例えば、赤瀬川, 1990）。しかしその採るべき対策は、海面上昇のスピードあるいは潮位変動の特性によって異なるものと考えられる。

地球規模の海面上昇に関する研究として、過去 100 年間の世界中の潮位データを整理した Barnett (1984), あるいは Gornitz and Lebedeff (1987) らのものがある。これらの研究は全地球的であり、地球規模の海面上昇といった観点からはやむを得ない面もあるが、ある特定の地域に限定した議論をする場合には測点が少なすぎるものと思われる。例えば Barnett の場合、我国の 6 地点の検潮所のデータを利用しているが、これらのデータが我国周辺の海面水位の変動を代表しているのかは疑問が残る。我国沿岸の潮位観測は港湾局、海上保安庁、気象庁、国土地理院、および各自治体等で実施されており、その数は海上保安庁（1983）のまとめたものでも 690 地点にのぼっている。しかし潮位観測の目的は様々であり、海面水位の長期的な変動を捉えるには適さないデータも数多くある。

防災的な観点からすると海面水位の問題は、地下水の汲み上げによる地盤沈下が相対的には海面上昇の問題であったように、従来は陸地の地盤高と平均海面との相対高さが問題であった。しかし、地球温暖化にともなう海面上昇の問題を議論する場合には、この地盤高さの変動を取り除いた海面水位の絶対高さが問題となる。したがって、各検潮所の観測基準面と基本水準点あるいは東京

湾平均海面（TP）との相対的な位置関係が重要となる。

以上のような観点から、全国各地の潮位・気圧・海面水温のデータを収集し、観測基準面の変動を取り除いた平均海面水位の変動のトレンド、および潮位の変動特性とその要因について検討した。

2. データの収集とその解析

表-1 に収集した潮位データの観測地点名およびデータ提供機関を示す。潮位に関しては、国土地理院のデータ（海面昇降検知センター, 1986）が比較的長期間にわたって収集されており、データ解析も行われている（土研資料, 1991）。ここでは港湾局関連のデータを中心にして、各地の代表的な地点（16点）に関しては毎時のデータを、その他の地点（71点）に関しては月平均潮位を収集した。気圧に関しては、各地気象台（30地点）の月平均気圧、海水温に関しては日本海洋データセンターの月平均表面水温（62地点）を収集した。

図-1 に、例として、大阪と鳥羽の年平均水位の変動の曲線を示す。検潮所の観測基準面と TP との相対位置による補正前（黒丸）と補正後（白丸）の結果を示す。

表-1 収集した潮位データの観測地点名

提供機関	潮 位 観 測 点
北海道開発局	紋別, 網走, 釧路, 十勝, 苫小牧, 室蘭, 函館, 松前, 岩内, 石狩, 留萌
運輸省 第一港湾建設局	能代, 秋田, 酒田, 岩船, 新潟東, 新潟西, 両津, 寺泊, 柏崎, 直江津, 姫川, 新渡, 伏木, 七尾, 宇土津, 飯田, 金沢, 福井, 敦賀
運輸省 第二港湾建設局	青森, 釜石, 塩釜, 相馬, 小名浜, 鹿島, 第二海堡, 横浜, 横須賀
神戸海洋気象台	内浦, 清水, 御前崎, 舞阪, 四日市, 名古屋, 三河, 鳥羽, 尾鷲, 浦神, 潮岬, 白浜, 和歌山, 淡輪, 大阪, 神戸, 洲本, 宇野, 防府, 高松, 小松島, 室戸岬, 高知, 宇和島, 土佐清水, 松山
運輸省 第四港湾建設局	宇都, 小野田, 南風泊, 青浜, 荏田, 別府, 宮崎, 八代, 熊本, 長崎, 郷ノ浦, 唐津
海上保安庁 水路部	宮古, 東京, 名古屋, 神戸, 高知, 那覇, 西郷, 深浦, 浜田, 八丈島, 博多
気象庁	境, 西郷, 浜田, 舞鶴

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋水利部 海域環境研究室長
** 運輸省港湾技術研究所海洋水利部 海域環境研究室

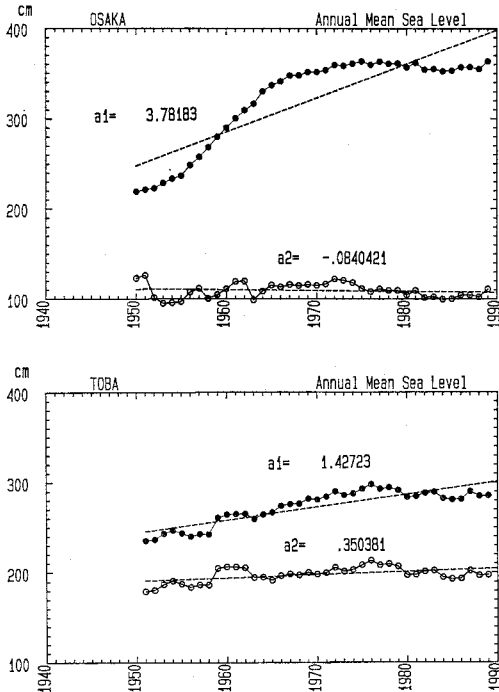


図-1 大阪(上図)と鳥羽(下図)の年平均水位のトレンド
(●: 補正前, ○: 補正後)

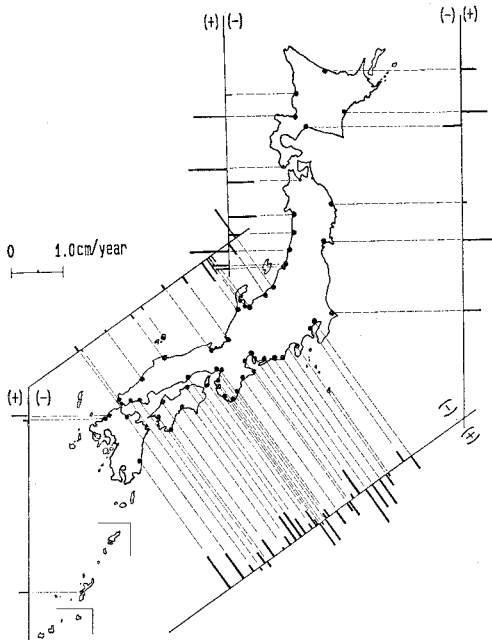


図-2 年平均水位の変化率(+: 上昇, -: 下降)

大阪は地下水の汲み上げによる地盤沈下の激しい所で、相対水位はこの40年間に 3.78 cm/年の割合で上昇しているが、観測基準面の補正により -0.08 cm/年の下降へとその傾向が転じている。鳥羽については観測基準面

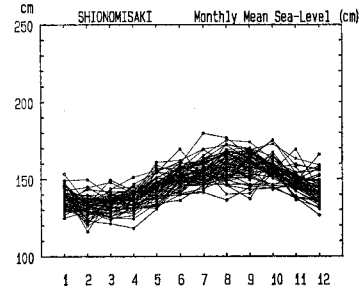


図-3(a) 月平均潮位の季節変化(潮岬: 1925-1990)

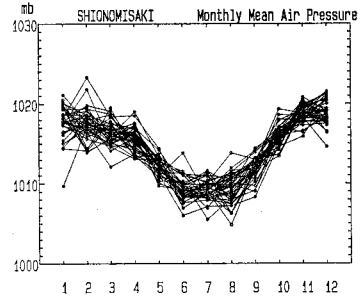


図-3(b) 月平均気圧の季節変化(潮岬: 1950-1990)

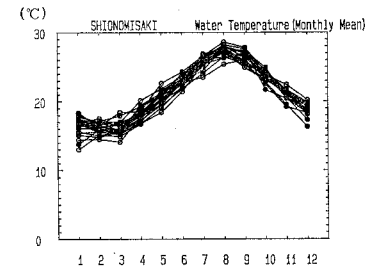


図-3(c) 月平均海面水温の季節変化(潮岬: 1961-1980)

の変動の原因は明らかではないが、補正前は 1.43 cm/年の海面上昇が補正によって 0.35 cm/年の海面上昇にその速度が減少している。地殻変動の激しい日本列島においては観測基準面の固定は難しいようである。

以上のような補正を出来得る限りの地点で行って、各地の年平均水位の変化率を求めた結果を図-2に示す。ここではデータが18年以上ある地点に限定している。図-2において、(+)が海面の上昇、(-)が海面の下降を示している。これらの値の単純平均値を求めると、中部～北日本で上昇の地点が多く、1.5～1.8 mm/年の上昇割合を示し、また西日本で下降の地点が多く、約 1.0 mm/年の下降の傾向を示している。

3. 月平均潮位の季節変動とその要因

平均海面の変動要因を求めるために、月平均潮位の季節変動について調べた。図-3は、代表的な地点として潮岬の月平均潮位、月平均気圧、および月平均海面水温

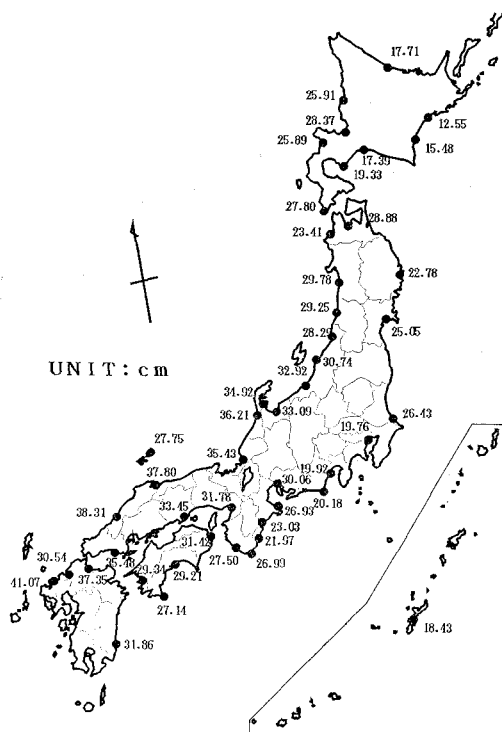


図-4 月平均潮位の季節変動の大きさ (cm)

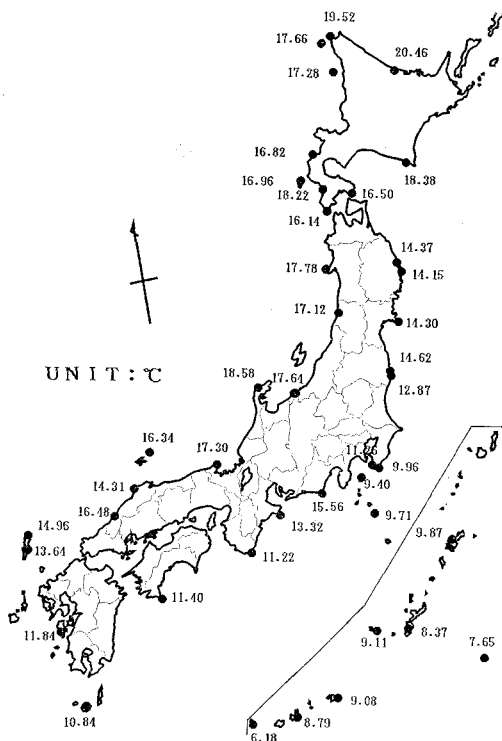


図-6 月平均海面水温の季節変動の大きさ (°C)

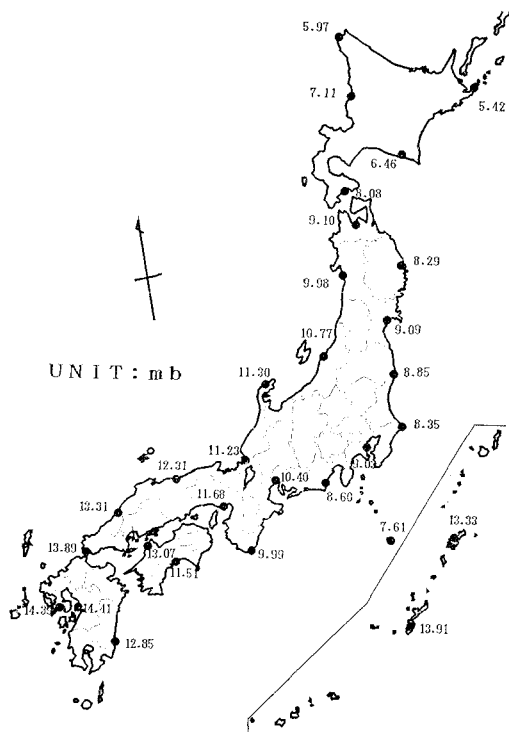


図-5 月平均気圧の季節変動の大きさ (mb)

の季節変動を示したものである。月平均海面の水位は、夏に高く冬に低いのが一般的である。この原因は、気圧

の変化、海水密度の変化、黒潮等の海流の影響、季節風による吹き寄せの影響等が考えられるが、夏に平均気圧が低いことおよび夏に海面水温が高いことを考慮すると、塩分濃度が変化しない外海部においては、夏期の気圧低下による吸い上げ、および海水温度の上昇による密度低下の影響が大きいものと思われる (Unoki, 1983)。

図-4~6に、それぞれ月平均潮位、月平均気圧、月平均海面水温の季節的な変動の大きさを示す。潮位の季節変動の大きさは、北日本の太平洋側で小さく 20~25 cm 前後、西日本の日本海側で大きく 30~35 cm 前後の値となっている。気圧の季節変動も北日本で小さく 5~10 mb 程度の変動を示し、西日本の日本海側では 10~15 mb の変動となっている。また海面水温の季節変動は北日本で大きく 15~20°C、また西日本の太平洋側では 10~15°C の温度差となっている。

気圧変化の海面水位に及ぼす影響は、気圧が 1 mb 降下することにより約 1 cm の水位が上昇すると考えられる。月平均潮位の季節変動から気圧変動の影響を差し引いた値と月平均海面水温から求めた外海水の密度 (C_t : 19‰) の季節変化の値との関係を図-7に示す。海水密度 0.001 の減少に対して約 5.2 cm の海面水位の上昇と考えられる。海水密度と海水温度との関係は線形ではないので一概にはいえないが、例えば 10~20°C の海水温度の変化に対する海水密度の変化は 0.00214 であり、こ

れは 1°C の海水温度の上昇に対して約 1.1 cm の海面上昇に相当する。海水密度の平均水位に及ぼす影響は、海水の温度上昇に関係する層厚によって異なり明確ではないが、海水温度の季節変動が月平均潮位の季節変動の最大要因と考えられる。

4. 年平均水位の変化傾向とその要因

図-2 に年平均水位の変化率を示した。この変化傾向に及ぼす要因についての検討を行った。月平均潮位の季節変動が気圧と海水密度の季節変動によるものが大きいという結果から、次に気圧と海面水温の長期変動について調べた。表-2 に示すのが、各地の年平均気圧の40年間(1950—1990)の変化率と、各地の海面水温の20年間(1961—1980)の変化率を代表的な地域毎に求めたものである。各年毎の年平均気圧の変動は数 mb 程度であるが、40年間の変化率は全般的に僅かに下降気味で、 $+0.002\sim-0.014\text{ mb/年}$ であった。この結果は、100年でも高々 1.4 cm の水位上昇の効果しかなく、気圧変化の海面上昇に与える影響は長期的には小さいものと判断される。また、海面水温の年平均値の変化率は上昇している地点、下降している地点といろいろであるが、全般的にみると下降している地点が多い結果が得られている。しかしその変化率は $0.02\sim-0.01^{\circ}\text{C/年}$ であり、図-7 の結果によると、海面水温の変化が平均水位に及ぼす影響は100年で高々数 cm である。ただし、海面水温の季節変動に関係する層厚と長期的な海面水温の変動に関係する層厚とは異なっていると思われ、図-7 の結果がそのまま適用できないものと考えられる。しかし、最近20年間の我国周辺の海面水温の傾向は若干下降気味であり、このことは、地球温暖化による海面上昇とは逆の傾向を示している。

次に、年平均水位の変動特性を詳しくみるために経験

的固有関数による解析を行った。経験的固有関数とは主成分分析の一種で、年平均水位の時系列データを基本的なモードの関数の重ね合わせによって表現するものである(加藤・吉松, 1984)。すなわち、

$$\eta(x, t) = \sum C_n(t) e_n(x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。ここに、 $\eta(x, t)$ は年平均水位、 $C_n(t)$ は水位変化の振幅、 $e_n(x)$ は基本モード関数、 t は年、 x は測点である。 $e_n(x)$ は年平均水位データから形成される相関行列の固有ベクトルとして求める。また、 $C_n(t)$ は

$$C_n(t) = \sum \eta(x, t) e_n(x) \quad \dots\dots\dots (2)$$

で求めることができる。図-8 に示すのが、第一モードの固有値ベクトルとその時間関数 $C_1(t)$ である。また第二モードについては図-9 に示す。第一モードの固有値の寄与率は 45.2% で、年平均水位の変動特性の約半分を説明している。時間関数 $C_1(t)$ は1970年を境に $+$ から $-$ に転じていて、ほぼ単調増加の特性を示している。これに固有ベクトルの値を見ると、図-2 において年平均水位の変化率が正の地点で $+$ に、負の地点で $-$ になっており各地の年平均水位の上昇あるいは下降特性に一致している。このことより、第一モードは図-2 に示すような年平均水位の変化率を表した特性値と考えることができる。

第二モードの固有値の寄与率は 13.0% とあまり大きくはないが、全ての測点での固有値ベクトルは正の値を示しており、これは各測点の平均海面が全体的に上昇・下降するモードを示している。第二モードの時間関数 $C_2(t)$ は16~18年の周期で振動している。この原因としては、黒潮の蛇行等の海流の海面水位に及ぼす影響(庄司, 1954)、あるいは、太陰の昇降点の運動に基づく潮汐の18.6年周期に関連する特性値と考えることができる。

気象庁の異常気象レポート(1989)によると、1959~1963年および1975~1980年に黒潮の大蛇行が起こっており、この時期は第二モードによる水位変化のピークから水位降下の期間に相当し、何らかの相関があるものと考えられる。しかし、今回の解析には、海流の影響に関してはデータ整理が不十分であり取り扱っていないが、

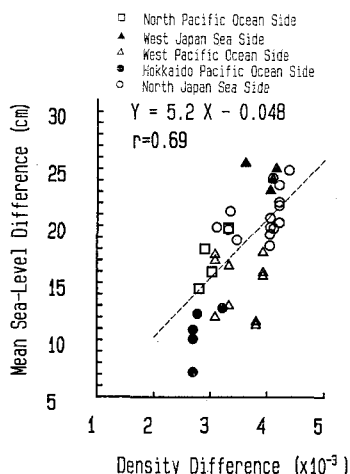
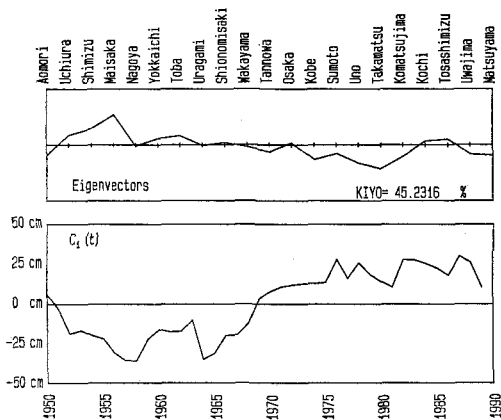
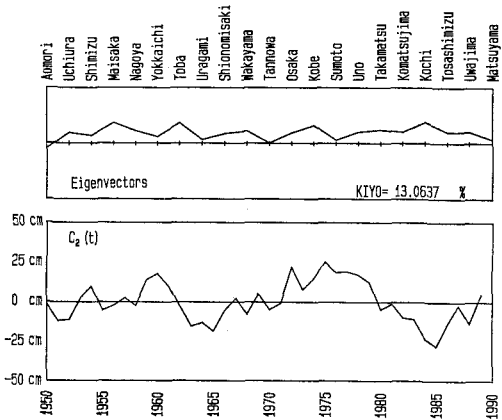


図-7 海水の密度差と月平均の潮位差-気圧差の関係

表-2 年平均気圧と年平均海面水温の変化率

領域	気圧変化率 (mb/年)	海面水温変化率 ($^{\circ}\text{C/年}$)
北海道太平洋側	$-0.009\sim-0.013$	$+0.012\sim+0.007$
北海道日本海側	$-0.011\sim-0.014$	$+0.020\sim-0.009$
北日本太平洋側	$-0.001\sim-0.008$	$-0.009\sim+0.009$
西日本太平洋側	$+0.002\sim-0.006$	$-0.000\sim-0.003$
北日本日本海側	$-0.005\sim-0.009$	$+0.020\sim-0.003$
西日本日本海側	$+0.002\sim-0.007$	$-0.002\sim-0.010$
南西諸島	-0.003	$+0.008\sim-0.008$

図—8 第一主成分の固有ベクトルと時間関数 $C_1(t)$ 図—9 第二主成分の固有ベクトルと時間関数 $C_2(t)$

地球温暖化のような地球規模の気候変動が生じた場合には黒潮の流路にも影響が現れると考えられ、海面上昇にも大きな影響を与えるものと思われる。

5. まとめ

地球温暖化による海面上昇の問題は、海岸線に沿って多くの人間活動が営まれている我国にとっても重要な問題である。実際に海面の水位が上昇しているのかに関しては、長期間の潮位観測を実施してモニターする必要がある。このような観点から、全国各地の検潮所データを収集して、我国周辺の海面水位の長期変動はどうなっているのかについての調査を実施した。以下に、本研究において明らかになったことを記す。

- ① 今回収集したデータの解析結果によると、年平均海面水位の変動は図—2に示すように、中部～北日本で上昇傾向を示し、西日本で下降傾向を示している。
- ② 月平均潮位の季節変動により、月平均海面水温 1°C の上昇は月平均海面の約 1.1 cm の上昇に相当する。
- ③ 本解析データによると、年平均気圧の変動と年平均海面水温の変動のトレンドは非常に小さく、これらの海面水位の変動に及ぼす影響としては直接反応しない。
- ④ 年平均海面水位の変動特性の解析において、経験的固有関数による方法が有効である。

地球規模の海面上昇の問題は陸地の地盤高さと海面水位の相対関係でなく、海面の絶対水位が問題である。したがって、海面上昇の問題を論じるには非常に長期間の精度よいデータが必要であり、また地殻変動等の地盤高さの変動を取り除いた解析が必要である。しかし、地球全体のプレートの移動等を考えると地盤の絶対高さをどう決めるかは非常に難しい問題である。近年の人工衛星からのジオイドの観測による海面の絶対水位の観測が重

要になるものと思われる。

最後に本研究の実施において、北海道開発局、第一港湾建設局、第二港湾建設局、第四港湾建設局、神戸海洋気象台、海上保安庁等関係各機関からのデータの提供を受けた。ここに、関係各機関の関係者に深く感謝いたします。また、本研究は環境庁の地球環境総合研究推進費によるものであり、当所において検討委員会（研究代表者：細川恭史港研海水浄化研究室長）がもたれた。これらの各委員にも深く感謝いたします。

参考文献

- 赤瀬川良治 (1990): 海面水位の上昇による港湾・海岸への影響と対策, みなとの防災, 第105号, pp. 28-34.
- 海上保安庁 (1983): 日本沿岸潮汐調和定数表, 書誌第742号, 172 p.
- 海面昇降検知センター (1986): 日本列島沿岸の年平均潮位とそのグラフ, 明治27年～昭和60年, 国土地理院, 62 p.
- 加藤一正・吉松 晃 (1984): 三次元の経験的固有関数による浅図解析法, 港研報告, 第23巻2号, pp. 27-47.
- 気象庁 (1989): 異常気象レポート'89, pp. 256-259.
- 建設省土木研究所 (1991): 地球温暖化影響調査報告書—潮位, 波浪, 海浜地形の長期変動に着目して—, 土研資料第3034号, 99 p.
- 庄司大太郎 (1954): 日平均水位と海況の変動について(第1報), 水路要報, No. 14, pp. 17-25.
- Barnett, T. P. (1984): Estimation of "global" sea level change: a problem of uniqueness, J. Geophys. Res., Vol. 89, No. C5, pp. 7980-7988.
- Gornits, V. and S. Lebedeff (1987): Global sea level changes during the past century. In: Sea-level fluctuation and coastal evolution, SEPM Special Publication No. 41, pp. 3-16.
- IPCC WG.1 (1990): Policymakers summary of the scientific assessment of climate change, 27 p.
- Unoki, S. (1983): Annual variation of the mean sea level and its inclination in a bay, Coastal Eng. Japan, Vol. 26, pp. 219-234.