

新潟県付近の日本海における水環境の変動把握

水工学研究室 廣川 渉
指導教員 細山田 得三

1. はじめに

近年、地球温暖化による気候変動、海面上昇、高温被害などのさまざまな影響が全球規模で進行している。

日本国内においても同様に海岸線の後退や農作物の高温被害が報告され、対策の必要性が求められている。

日本国内の海岸工学分野における温暖化に関する研究は、観測結果から資料から異常気象時の条件説明や長期観測結果から変動特性の把握を行う統計解析と解析モデルに IPCC の将来気候予測を取り込み台風などの将来予測を行う数値解析がある。現状では数値解析による研究が盛んであるが、計算時間、設備・ランニングコストが膨大である。そこで、統計解析を用いて簡易的に温暖化による変動特性や沿岸被害発生条件を説明することが求められている。統計分野の研究においては海面上昇が沿岸域の環境と生態系に及ぼす影響の予測と対策(2005,2,三村信夫)などが挙げられるが、主に海岸分野に重きをおいた研究となっている。このように、統計解析の中でも気候・気象・海象の変動を全般的に評価した研究は少ない。また、現在日本国内の海岸堤防は更新時期が迫っている。この更新時に温暖化の影響を盛り込んだ設計指針を策定する動きがある。多くの海岸堤防を更新する際には莫大な費用がかかるため、国や地域によって異なる温暖化進行の特性を盛り込み、地域に沿った設計や優先すべき地域の選定が必要になってくる。

2. 研究目的

本研究では、防波堤の設計指針の策定や水位上昇による海岸の消失などの国や地域によって異なる温暖化進行の特性を把握し、地域の特性に沿った設計や優先すべき地域の選定といった温暖化対策に寄与するために気候、気象、海象変動を把握することを

目的とする。そのために、長大な海岸線と冬季に特徴的な気候となる新潟県を含む日本海側における気候、気象、海象変動を対象として、統計解析を行い簡易に特性把握と条件説明を行う。

3. 変動傾向

3.1 日本海側気温と海面水温変動

日本国内日本海側の気温偏差と日本海の海面水温偏差(5年移動平均)を図1～図3に示す。用いた資料は気象庁の年平均気温を1981年～2010年までの平均値からの偏差資料として用いた。海面水温は気象庁より年平均海面水温偏差資料を用いた。こちらも偏差は1981年～2010年までの30年間の平均値からの差となっている。また、日本海の海面水温偏差は気象庁の海域分けに従い、日本海を3つの海域に分け、緯度が低い方から北東部・中部・南部海域としている。

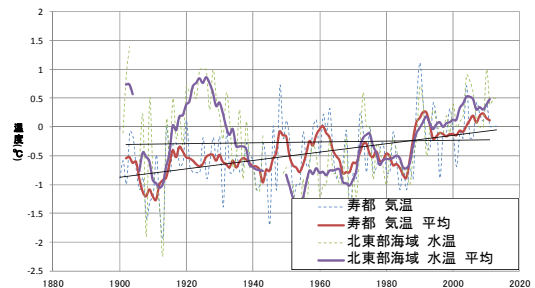


図1 寿都気温と北東部海域海面水温

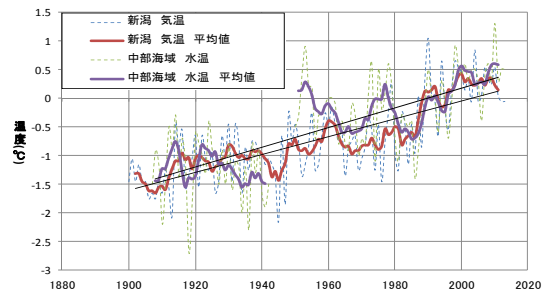


図2 新潟気温と中部海域海面水温

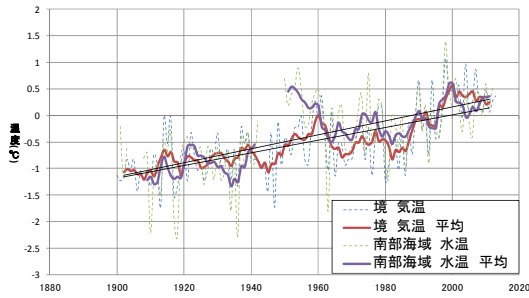


図 3 境気温と南部海域海面水温

北東部海域の海面水温を除く他の観測点では 1900 年代からの気温と海面水温の上昇が確認できた。北東部の海面水温は 1920 年代に水温の高い時期があり、他の海域と異なる挙動であるため上昇率が高く現れていない。しかし、1950 年以降には海面水温にも顕著な水温上昇が生じていることが確認できた。急激な温度上昇が生じている期間は気温、海面水温共に 1980 年代～1990 年ごろにかけて著しい上昇が生じている。1950 年代以前の観測でも 1950 年～1960 年にかけて上昇が発生している。その間の気温と海面水温はほぼ横ばいの推移を示しており、階段状に気温と水温が上昇していることが確認できた。また、気温と水温の変動は概ね同じ挙動を示しており、伴った変動をすることがわかった。

3.2 水位変動

図 4 に柏崎、図 5 に輪島の水位の経年変化を示す。また、表 1 に各観測地点の水位上昇率を示す。用いた観測資料は国土地理院海岸昇降検知センターの年平均水位を用いた。

図 4、図 5 より水位は 1980 年以降上昇していることが確認できた。

また、表 1 の上昇率に示すように海面水温と気温が急激な上昇を示した 1980 年代を境に水位の上昇率が上昇に傾向に転じていることが確認できた。

この様に、近年の気温、水温、水位は上昇していることが確認できた。

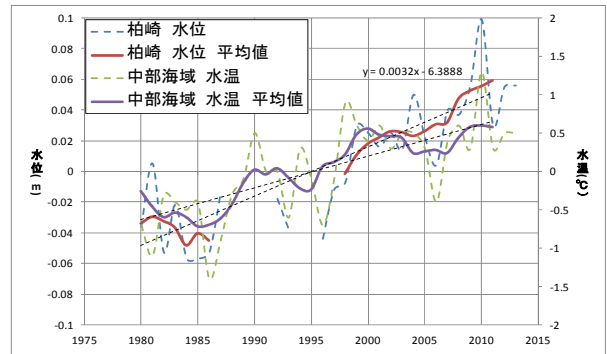


図 4 柏崎水位

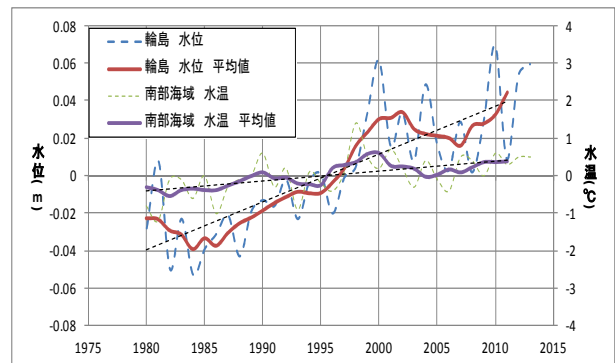


図 5 輪島水位

表 1 水位上昇率

観測地点	上昇率(mm/年)	
	観測開始年～1980	1980～2010
稚内	-1	-0.1
忍路	-1.1	-0.006
深浦	1.4	2.5
男鹿	-3.4	1.5
鼠ヶ関	期間不足	0.4
粟島	-4.3	2.3
小木	期間不足	-5.5
柏崎	-0.5	2
富山	-2.7	2.2
輪島	-1.9	2.1
三国	-5.5	2.7
舞鶴	期間不足	1.5
田後	0.5	0.3
西郷	1.3	1.6
境	-2.4	2.1
浜田	-1.6	2.3

4. 水温鉛直分布の数値計算

4.1 水温鉛直分布再現

近年の海面の水温が上昇していることが確認できた。海面水温が上昇すれば海洋内部の水温も上昇することが予想され、将来的には海洋内の水温も一様に上昇し、海洋の熱塩循環や現在の生態系が変化するとといった影響が現れると考えられる。

そこで、現在の海洋内の水温を数値再現することで海面水温の上昇量から将来の海洋内部の変化予測を行った。数値計算には熱拡散方程式を用い、新潟沖の水深 300m までを対象とし、水温が上昇する 4～8 月までの計算を行った。海洋内部の水温は日本海洋データセンター(JODC)が解析を行い、日本付近の水温を算出している。しかし、海洋内部の水温計算は海流や海上風、日射等の要素から計算が複雑になっている。そこで本研究では、JODC の解析値と本研究の計算値が一致する熱拡散係数を熱拡散方程式に与え、再現を行った。このため、本研究の熱拡散係数は厳密な海水の熱拡散係数の値ではなく、JODC の解析による海流や海上風の影響を内包した熱拡散係数となっている。図 6 に 2008 年時の新潟沖の水温経時変化を示す。本研究の計算値と JODC による解析値は概ね一致できている。

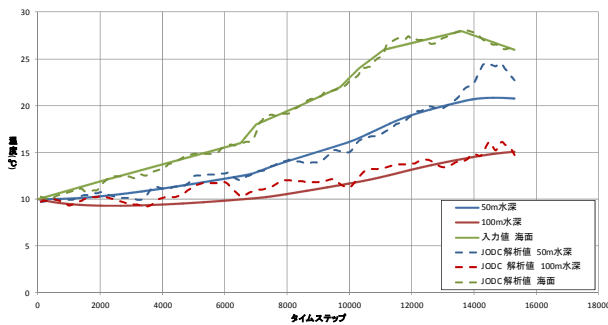


図 6 2008 年 水温経時変化

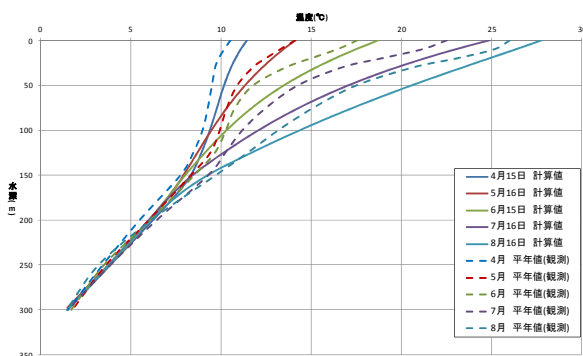


図 7 2008 年 水温鉛直分布

しかし、台風等の短期的に急激な海洋攪拌の影響は再現ができないことがわかった。しかし、海洋内の

水温の冬季～夏季にかけての昇温は概ね表現できていると判断した。図 4 に示す水温の鉛直分布を観測値の平年値と比較すると概ね同様の挙動を再現できており、特に 4 月時の冬型の水温鉛直分布から 8 月時の線形的な夏型の水温分布への移行をうまく表現できていることが確認できた。

4.2 水温鉛直分布 将来予測

4.1 で現在の水温鉛直分布を概ね再現できたことを受けて、将来の水温鉛直分布を予測する。用いた資料は気象庁より発表されている現在までの日本海中部海域海面水温上昇率 $1.74^{\circ}\text{C}/100$ 年(気象庁値)を本研究の計算モデルに与え、100 年後の水温分布の予測計算を行った。結果を図 5 に示す。また 100 年後までの海洋内の水温上昇量を図 6 に示す。

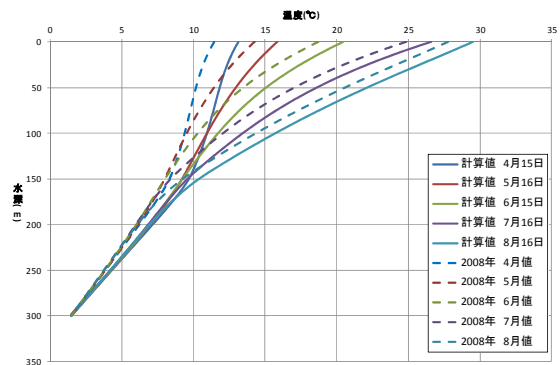


図 8 将来水温鉛直分布

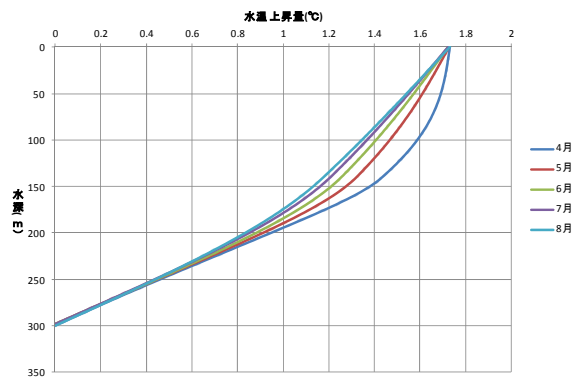


図 9 将来水温上昇量

図 8 より 4 月期には海面水温の上昇分が下層まで一様に伝わり約 150m 水深程度まで 1°C 以上の上昇が発生していることがわかる。8 月期では海面の水

温は高くなっているが、下層に行くほど上昇量が低下していることが確認できた。

図9の水温上昇量と水の比重換算表を基に、100年後の海洋の熱膨張による水位上昇量を算出した。結果、4月時には3.6cm、8月期には8.8cmの熱膨張が生じる結果となった。このように、水温の変動は4月期で下層まで一様に高い上昇が生じること、水位上昇は8月期に特に顕著に影響が出るものと予想される。

5. 高波と低気圧

日本海側の特徴的な気候として冬季の高波の影響が挙げられる。この冬季の高波は西高東低の気圧配置の影響で低気圧が日本海側に強風をもたらすことに起因している。そこで、冬季に高波をもたらす低気圧が生じる環境について海面水温、テレコネクション指標から環境条件の推定を行った。

用いた資料は全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)より、新潟港の2001年～2010年の波浪資料。低気圧の資料は爆弾低気圧データベースより高波発生日時の低気圧の経路と規模を取得した。環境条件として気象庁より旬別海面水温偏差、冬季のアリューシャン低気圧の勢力を示す北太平洋指数(NPI: North Pacific Index)、米国海洋大気庁より月別北極振動指数(AOI: Arctic Oscillation Index)、エルニーニョの発生判断指標として月別海洋エルニーニョ指数(ONI: Ocean NINO index)を取得した。

冬季に新潟港で5m以上の高波が観測された27ケース中21ケースが爆弾低気圧の通過時であることがわかった。この爆弾低気圧は図10、11に示すように2つのパターンがあることがわかった。1つ目は東シナ海～太平洋側を通過するパターン(図10)、2つ目は大陸～日本海を通過するパターン(図11)。発達海域の違いを把握するため5m以上の高波時の環境を調べた。図12～図13に2つのパターンで爆弾低気圧が発達した際の各海域の海面水温を示す。図14～図15に前述したテレコネクション指標の値を示す。

図12より日本海側を通過するケースの際は日本海側3海域の海面水温は高い傾向にある。

反対に図13に示すように太平洋側で発達時には東シナ海～関東の南の海域にかけての水温が平年よりも高い傾向にある。

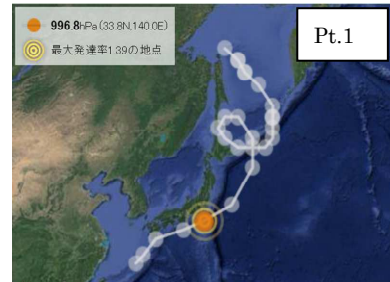


図10 爆弾低気圧経路1



図11 爆弾低気圧経路2

同様にテレコネクションを比較する。日本海側で発達時には10/12ケースでAOIが負の値を示している。また、ONIよりラニーニャ時の発生ケースが多いこともわかる。両者に該当しない1ケースはNPIが負の値を示している。太平洋側で発達時はAOIの影響が強くないことがわかる。ONIより、エルニーニョ期間中に発生ケースが多いことがわかる。該当しないケースはNPIが正の値を示していることがわかった。

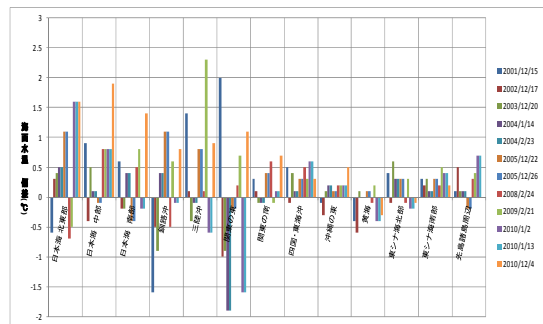


図12 爆弾低気圧時の旬別海面水温 日本海

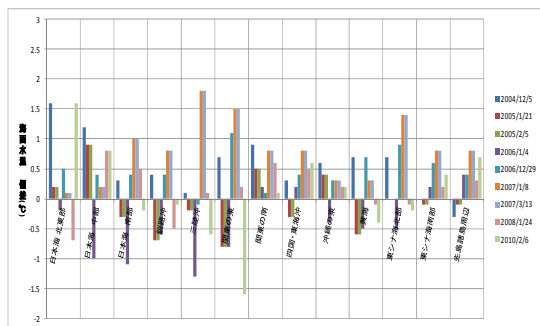


図 13 爆弾低気圧時の旬別海面水温 太平洋

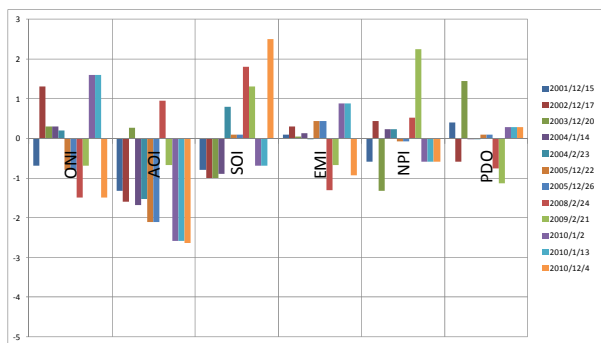


図 14 爆弾低気圧時のテレコネクション 日本海

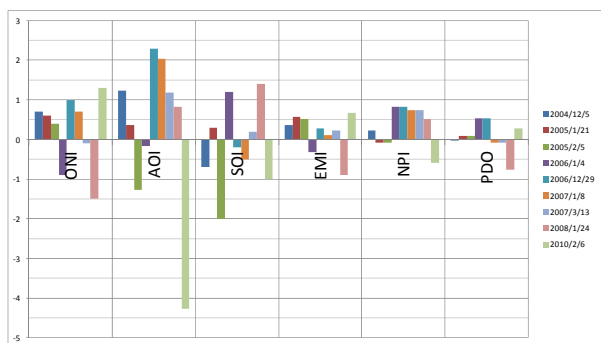


図 15 爆弾低気圧時のテレコネクション 太平洋

図 14~15 のテレコネクション指標から、低気圧が通過する海域の違いは AOI と ONI の影響が強く出ていることがわかる。また、海面水温でも通過ケースの違いにより温度が異なることが確認できた。

図 16 に強い影響が現れたテレコネクションとして AOI, ONI, NPI を通過経路別に分類し、どのような環境下で爆弾低気圧が生じているか確認を行った。

図 16 に示す 3 つの指標が強く現れる理由として、各テレコネクションが生じた際の典型的な日本付近の環境を考察する。AOI が負の場合平年よりも極域の寒気が流入しやすく、偏西風の蛇行に寄り日本付

近が冷たい空気に覆われることがある。



図 16 発生経路別テレコネクション指数ケース数

ONI については図 17 に示すようにラニーニャ時には日本付近で例年よりも西高東低の気圧配置が強まる傾向のあり、大陸の冷たい空気が流入しやすい環境となっている。反対にエルニーニョ時には西高東低の気圧配置が弱まると共に、フィリピン沖～西日本にかけて平年よりも気温が高い傾向となる。

NPI はマイナス程アリューシャン低気圧の勢力が強く、日本付近での西高東低の気圧配置を強める一因となっている。

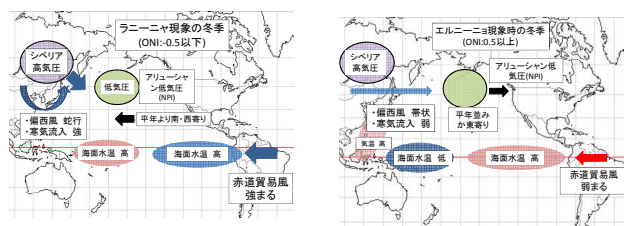


図 17 ENSO による冬季日本への影響

テレコネクション指標より、概ね日本付近において寒気の流入が強い際には大陸～日本海側で低気圧の発達が卓越し、寒気の流入が弱い際には太平洋側での低気圧の発達が卓越していることが確認できた。

この結果を受けて将来での影響を考える。気象長によれば日本上空を吹く偏西風は温暖化の影響を受けて今後北方に移動していく可能性があると思

れている。このため、現在よりも極域や大陸の寒気の流入が弱まることが予想され、日本海側を通過する爆弾低気圧は今後減少していくことが予想される。

6. 総括

本研究では観測資料から日本海側の気温・海面水温・水位・海洋 PH の変動を確認した。また、熱拡散方程式を用いて現在の海洋内部の水温分布を再現し、このモデルを用いて 100 年後の予測を行った。最後に、新潟港で高波を引き起こす低気圧についてテレコネクション指標を用いて低気圧の移動経路などの環境条件の傾向を確認した。

7. 結果のまとめ

- ・日本海側では気温、海面水温、水位が上昇傾向にあることが確認できた。
- ・熱拡散方程式より海洋内の水温分布を再現した。
- ・再現モデルを用いて現在までの海面水温上昇率が今後も継続すると仮定した場合の 100 年後の水温分布を計算し、海洋熱膨張量を算出した。結果、8 月には 8.8cm 上昇する。
- ・新潟港で高波を生じる爆弾低気圧の発達経路の環境条件による違いを明らかにした。寒気の流入が強い際には日本海側での低気圧の発達が卓越する。寒気の流入が弱い際には太平洋側での低気圧の発達が卓越する。

参考文献

- 1) 山口正隆,大福学：わが国における気象要素の長期変動と周期性に関する考察
- 2) 気象庁,<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 3) 日本海洋データセンター, <http://www.jodc.go.jp/>
- 4) 爆弾低気圧データベース, <http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/>
- 5) 米国海洋大気庁,<http://www.noaa.gov/>