

Study of interannual variability and future projection of summertime significant wave heights in the western North Pacific

西部北太平洋における夏季の有義波高の経年変動と将来予測に関する研究

佐々木 亘

1. はじめに

波高は船舶の航路の選定や海上の構造物の設置、オペレーションにとって重要なファクターである。過去の波高の変動を理解し、将来予測に応用することによって長期的な海上安全の維持に貢献できると考えられる。Wave and Storm in the North Atlantic (WASA) Project 以降、北大西洋の波高の経年変動の解析、および将来予測は行なわれているが、他の海域についての波高の経年変動についての研究は非常に少ない。気候変動に伴ない、気象擾乱の頻度や強度の変化を通じて波候も変動するため、両者の関係を理解することで波候変動の総合的な理解が深まり、将来予測に関する知見を得ることが可能となる。

特に夏季の西部北太平洋沿岸は台風による高波によって甚大な被害を受けるため、夏季の波候の経年変化の把握とその将来予測は非常に重要な課題である。

本研究では、過去の西部北太平洋における夏季の有義波高の経年変動の特性の解明と、その将来予測への応用を目的とし、(1) 平塚沖における夏季の波高の経年変動と熱帯低気圧の活動度の関係の解明、(2) 西部北太平洋の夏季の波高の経年変動と気候変動の関係の解明、(3) 西部北太平洋における夏季の波高の将来予測を行なった。

2. 平塚沖における夏季の波高の経年変動と熱帯低気圧の活動度の関係

平塚沖観測塔における波浪、海上気象データを用いて夏季の有義波高の経年変動と熱帯低気圧の活動度についての解析を行なった。平塚沖観測塔において夏季の波高の高い年はうねりが卓越するため、波浪エネルギースペクトルの時間変化に対して Snodgrass et al.(1966) の手法を適用し、うねりの波源を推定した(図1)。その結果、うねりの波源は北緯20度付近にあり、その励起源は中心気圧が約980 hPa以下に発達した「強い熱帯低気圧」であることが分かった。平塚沖観測塔の夏季の波高は強い熱帯低気圧の頻度と有意な相関($r=0.6$)をもつが、熱帯低気圧の発生頻度とは相関がない($r=0.2$)。また、この強い熱帯低気圧のトラックが平塚沖の波高の高い年には西部北太平洋全域に分布し、低い年にはまばらとなることから、平塚沖の夏季の波高は西

部北太平洋の波高と同様の経年変動をもつことが示唆された。

3. 西部北太平洋の夏季の波高の経年変動と気候変動の関係

ERA40 再解析データ、および、最適内挿法を施した TOPEX/Poseidon の有義波高データから作成した月間の90パーセントイル値の夏季(6-8月)平均値(H_{90})を用いて、西部北太平洋における H_{90} の経年変動と気候変動の関係を明らかにした。ERA40の H_{90} のEOF第1モードおよびそれに付随する大気海洋偏差を図2に示す。 H_{90} の第1モードは全分散の50.1%を説明し、西部北太平洋全域でエルニーニョが発達する年(1972, 1982, 1986, 1997, 2002年)に波高の高い傾向がある(図2a, b)。第1モードに付随する大気海洋偏差はNiño-3.4のSST正偏差、および西部北太平洋における低気圧性の海上風偏差で特徴づけられ(図2c, d)、特に領域 $5^{\circ}\text{N}-15^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{E}$ で平均した東西風($U_{10\text{N}}$)は H_{90} のPC1の経年変動と非常によく対応している(図2b)。ERA40, TOPEXの H_{90} のEOF第1モード、および回帰分析によって同定された付随する大気海洋偏差はほぼ同じであった。

H_{90} の第1主成分(PC1)が大きい年は小さい年に比較して熱帯低気圧の発生位置が東へ約5度、南へ約3度ずれるとともに中心気圧が980hPa以下に発達した「強い熱帯低気圧」の頻度が増える(図3)。 H_{90} のPC1は強い熱帯低気圧の総継続時間と有意な相関($r=0.63$)をもつが、熱帯低気圧の発生数とは無相関であった($r=0.02$)。これは平塚沖の夏季の波高が強い熱帯低気圧の頻度と有意な相関をもち、熱帯低気圧の発生数とは相関をもたない事実とよく合致している。

4. 西部北太平洋における夏季の波高の将来予測

西部北太平洋における夏季の波高を予測する線形回帰モデルを提案するとともに、その予測可能性に関する評価を行なった。また、温暖化タイムスライス実験で得られた海上風と線形回帰モデルを用いて西部北太平洋における夏季の波高の将来予測を行なった。

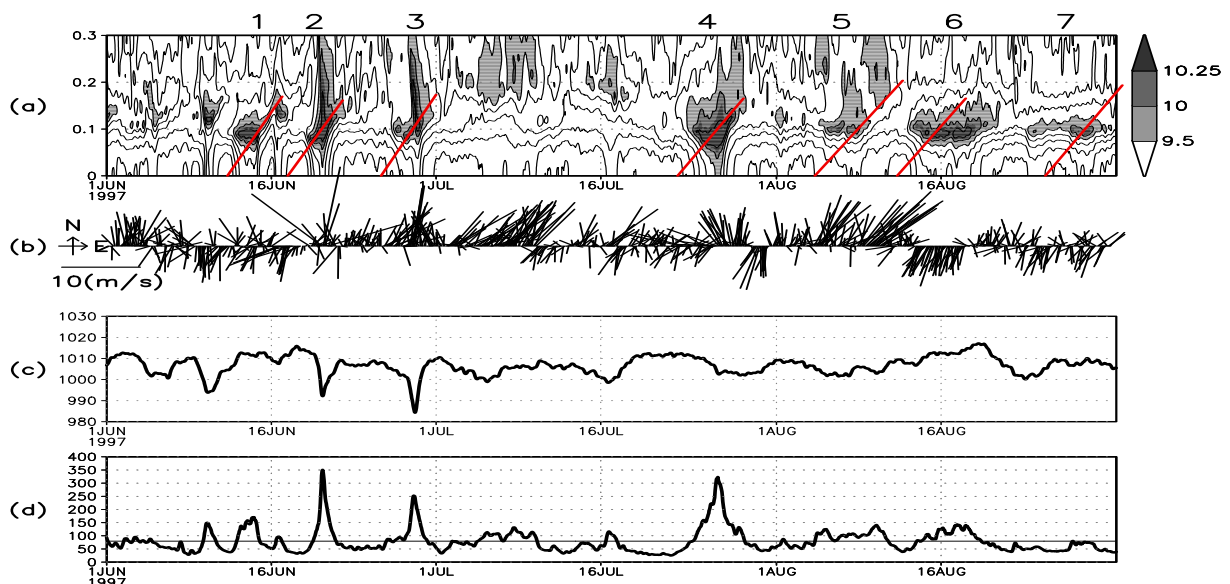


図1: 平塚沖観測塔における1997年6-8月の(a) 波浪エネルギースペクトル E ($\log E$, cm^2/s), (b) 風向風速, (c) 気圧 (hPa), (d) 有義波高 (cm). (a) の赤線は Snodgrass et al. (1966) による波源推定。

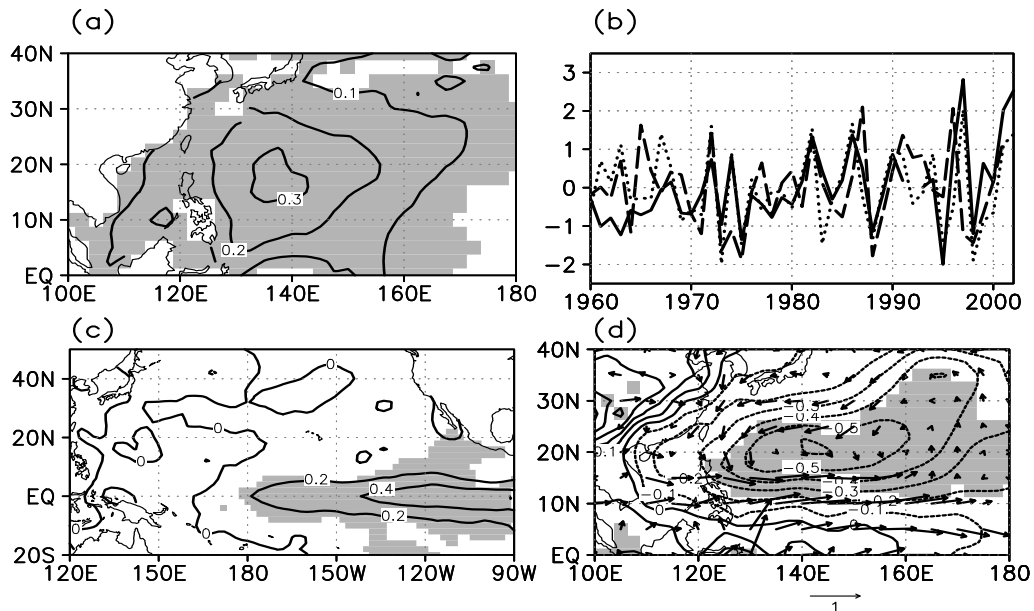


図 2: (a) H_{90} の EOF 第 1 モードの空間パターン (m) . (b) H_{90} の PC1(実線) と U_{10N} (点線) . (c) H_{90} の PC1 と SST の回帰係数 (degC) . (d) H_{90} の PC1 に対する海上風 (m/s), 海面気圧 (hPa) の回帰係数 . 陰影は 1% 信頼限界で有意な領域を示す .

U_{10N} と H_{90} の PC1 との関係は ERA40, TOPEX の 2 つの異なるデータでほぼ同じであった (図 4) . U_{10N} と H_{90} の PC1 が非常に強い関係をもつことから, U_{10N} をその予測子とし, 線形回帰モデルによる再構成値と真値との間の二乗平均平方根 (RMS) 誤差をもとにその予測可能性を評価した . その結果, RMS 誤差は東シナ海において 0.3 m を越えるものの, H_{90} の標準偏差と比べ, ERA40 再解析データでは最大 40%, TOPEX 波高データでは最大 70% 減少することが分かった .

現在の SST, および, 二酸化炭素倍増時の SST のもとでの海上風は大気大循環モデルを用いたタイムスライス実験によって算出した . すなわち, 現在の SST は ERSST の 1985–1995 年の気候値, 二酸化炭素倍増時の SST は GFDL による Greenhouse-gases Plus Sulfates (GPS) 実験から得られた SST の 2055–2065 年の気候値を用いてそれぞれ大気大循環モデルを 11 年分駆動した . このタイムスライス実験により得られた大気海洋偏差は西部北太平洋における H_{90} の第 1 モードに付随する大気海洋偏差とよく似たパターンを示し, U_{10N} インデックスの値は約 2 m/s 増大した . これによれば西部北太平洋における夏季の 10 年平均の H_{90} が最大で 45 cm 程度上昇することが予測された (図 5) .

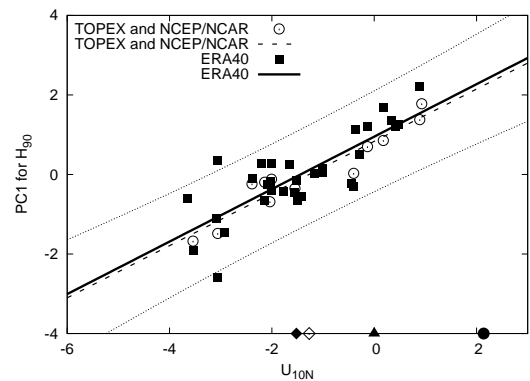


図 4: H_{90} の PC1 と U_{10N} の関係 . \square は ERA40 再解析データ, \circ は TOPEX の有義波高データと NCEP/NCAR 再解析データに基づく U_{10N} . 実線と破線は最小二乗法によって得られる ERA40, TOPEX の回帰直線 . \triangle はそれぞれ ERA40 再解析データ, NCEP/NCAR 再解析データによる U_{10N} の夏季気候値 . \blacktriangle はそれぞれコントロールラン, $2 \times CO_2$ ランによる 10 年平均の U_{10N} .

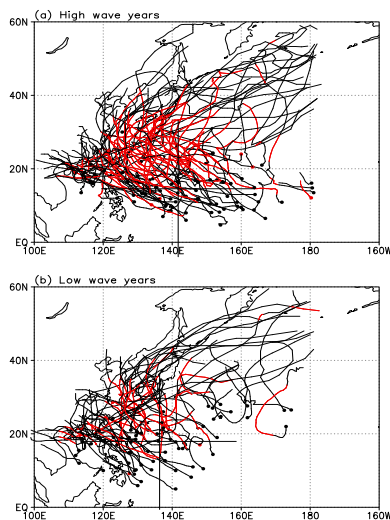


図 3: H_{90} の PC1 が (a) 大きい 7 年と (b) 小さい 7 年での熱帯低気圧の伝播経路 . 丸印は熱帯低気圧の発生位置, トラックの赤い部分は中心気圧が 980 hPa 以下となった区間を示す .

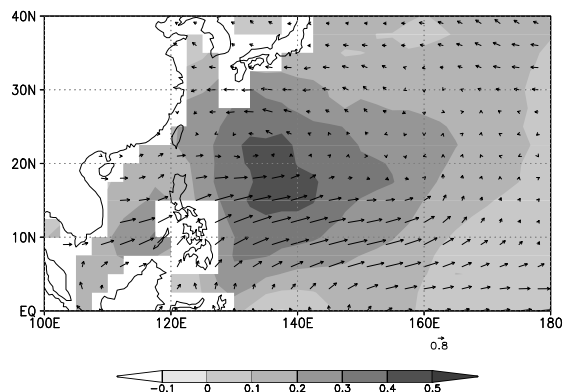


図 5: タイムスライス実験, および, 統計モデルによって予測された 10 年平均の H_{90} の変化 (2065–2055 minus 1985–1995) . 矢印は海上風の変化を表す .