

海洋気候の長期変動に関する研究

宇都宮好博*・坂井紀之**・岡田弘三***

1. 緒 言

地球温暖化に代表される気候変動の解明は、今や人類共通の重要な課題である。この対応には全球的な気候変動の正確な把握とこれに立脚した科学的な予測が何よりも大切であり、現在各国において、各種データに基づく過去の気候変動の把握と、主に数値モデルを用いた気候変動の予測活動に多くの努力が払われている。

気候変動の研究では、地球表面の 7 割を占める海洋気象の把握が不可欠であり、長期変化を捉えるためには 100 年以上にわたる長期間の観測データが必要である。このような海洋気候の長期変動解明は、地球温暖化に関連する海洋土木活動のあり方を検討する上で、重要な基礎資料をもたらすものと期待される。

本研究では、1 世紀以上にわたる船舶海洋気象観測データセットを用い、海洋気候の長期変動を解明することを目的とする。

2. 海洋気候データセット

世界的な船舶海洋気象観測データセットとして、アメリカ海洋大気庁 (NOAA) の総合海洋気象データセット (COADS; Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) があるが、このデータセットは 1854 年～1992 年の 139 年間のデータがあるものの、古い時代のデータは大西洋のものが大半を占め、而も第一次世界大戦中のデータは極めて少ない。

一方、神戸海洋気象台では民間船舶の協力を得て 1890 年～1960 年の海上気象観測データを収集しており「神戸コレクション」と呼ばれ、約 680 万通の観測シートがマイクロフィルムに保存されている。この「神戸コレクション」の内 1933 年～1960 年のデータ (約 270 万通) については、気象庁と NOAA との協力により既にデジタル化され COADS に格納されているが、それ以前のデータについては未着手であった。

そこで、著者ら (日本気象協会, 1998) は日本財団の

補助を受け、これら未着手のデータの内約 103 万通のデータのデジタル化をおこなった。その後、デジタル化されたデータは気象庁の品質管理 (QC) を受け、気象庁が独自にデジタル化をおこなった 56,550 通と併せて、新たに 1,045,682 通の海洋気象データセット (KoMMeDS-NF; The Kobe Collection Maritime Meteorological Data Set funded by The Nippon Foundation) を作成した。この KoMMeDS-NF の観測位置を示したのが図-1 であり、日本近海、北太平洋航路およびハワイ航路に沿った海域のデータが多いことが分かる。また、図-2 は北太平洋海域の海面水温通報数/年を COADS および KoMMeDS-NF について示したものであり、KoMMeDS-NF がデータの少ない時代の COADS を補っている状況が分かる。

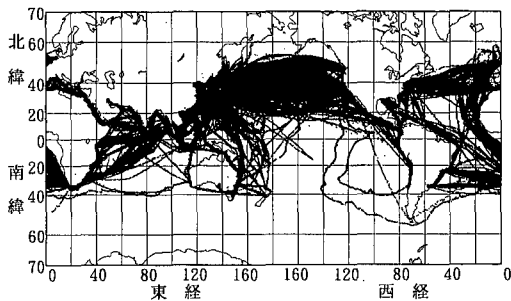


図-1 KoMMeDS-NF の観測位置図

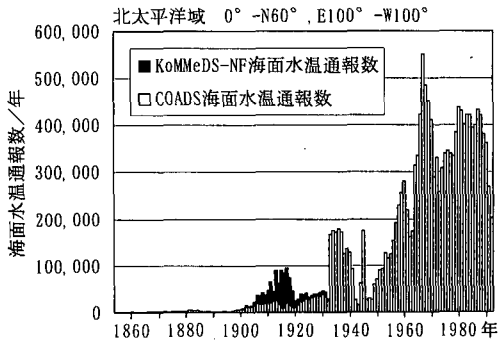


図-2 年別海面水温通報数

* 正会員 工修 日本気象協会関西本部技師
** 学修 日本気象協会関西本部技師
*** 正会員 理博 日本気象協会研究所専任主任研究員

さらに、図-3は北太平洋海域(赤道～北緯70度、東経100度～西経75度)における1890年～1932年の平均海面気圧分布を图示したものである。ここでは、対象海域を緯度経度2度毎の小海域に分け、周辺の9小海域を用いて平滑化をおこなった。なお、上段の図(a)はCOADS、中段の図(b)はKoMMeDS-NFをそれぞれ用いた結果であり、下段の図(c)はこれら2つのデータセットを用いた結果である。これらの図をみると、COADSのみを用いたa図ではペーリング海で海面気圧が高くなる不合理な結果を示しているが、KoMMeDS-NFを加えた結果(bおよびc図)では当該海域で海面気圧が低くなっており、合理的な結果が得られている。しかし、それ以外の海域では2つの海洋気象データセットの間に有意な差はみられない。

以上のことより、新たに作成したKoMMeDS-NFは、第一次世界大戦前後のCOADSのデータ欠落を補っており、これらを合成した海洋気候データセットの有用性が確認された。本研究では、この2つのデータセットを合成した海洋気候データセットを用いて、海洋気候の長

期変動解析をおこなった。

3. 海洋気候の長期変動解析

1997年から1998年にかけて発生したエルニーニョ現象は今世紀最大と言われているが、気象庁でエルニーニョ現象発生期間を特定しているのは1949年以降である。そこで、それ以前の時代のエルニーニョ現象発生期間の特定をおこなった。

気象庁では図-4に示すように、太平洋赤道域に4つの海域(A～D海域)を設定しており、特にB海域(南緯4度～北緯4度、西経150度～西経90度)をエルニーニョ監視海域としている。気象庁によるエルニーニョ現象の定義は、「B海域の月平均海面水温の平年差の5ヶ月移動平均値が、6ヶ月程度以上連続して $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以上になった場合」としている(気象庁, 1997)。

気象庁の定義に倣い、海洋気候データセットの月平均海面水温を用いた結果を1871年～1992年について图示したのが図-5である。ここで、1961年～1990年の30年間の月平均値を平年値とし、各月の海面水温偏差の5ヶ月移動平均値の経年変化を実線で示している。また、図中の陰影部は、定義に従って求められたエルニーニョ現象発生期間を示している。1920年前後および1940年前後はデータが欠落しているものの、1876年～1992年の間で25回のエルニーニョ現象発生期間を特定した。一般に、A～C海域の海面水温偏差は同位相であり、D海域は逆位相であると云われているが、この図をみると、1960年以降D海域は他の海域と逆位相になっているものの、1960年以前においてはD海域も他の海域と同位相となっており逆転現象が生じている。これは、エルニーニョ現象と西部太平洋赤道域の海面水温とのテレコネクション(遠隔結合)が一般に言われているような単純なものではなく、他の様々な要因が絡み合っているためである。

また、西部太平洋赤道域のD海域において、平均的な

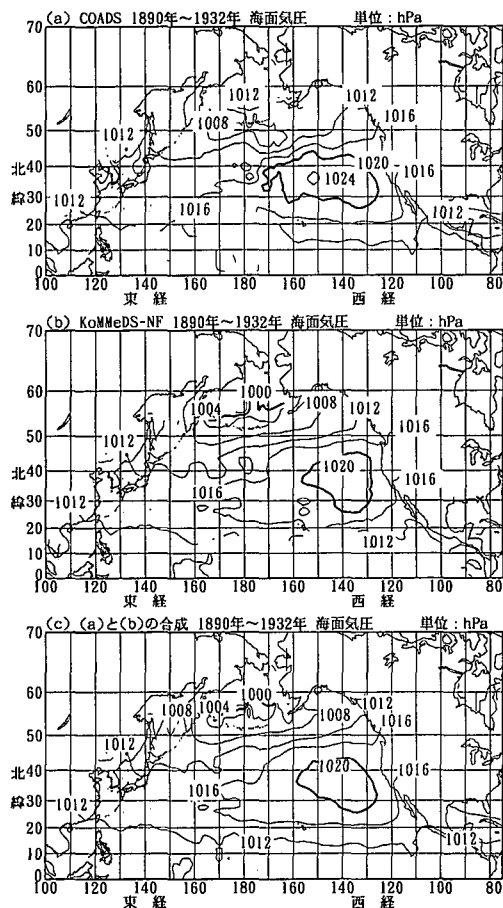


図-3 北太平洋における海面気圧分布図

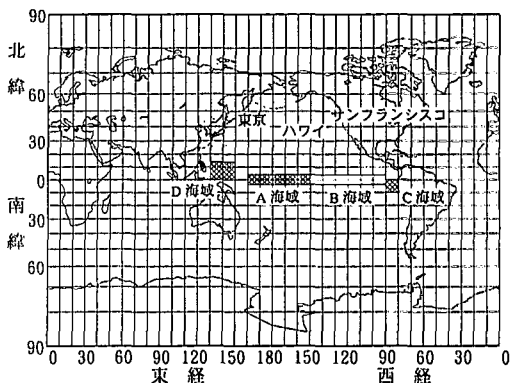


図-4 長期変動解析対象海域位置図

海面水温レベルが1940年～1945年頃を境に0.5℃程度上昇しているが、この現象は中部および東部太平洋赤道域ではみられない。これは、図-1の船舶位置図からも分かるように、1930年以前の太平洋赤道域のデータが少ないため、ここでは原因が特定できない。

なお、表-1は本研究で特定したエルニーニョ現象発生期間を一覧表にしたもので、Rasmussonら(1982, 1983)の結果も併せて表示している。この2つの結果は、データ欠落期間を除けば、定義の差により多少の差は認められるが、ほぼ一致している。

次に、主に北太平洋の海域を緯度経度10度の海域に区分し、海面水温、海面気温、海面気圧、風速および風浪

波高の長期変動解析を行った。ここでは、図-4に示す3海域(東京、ハワイ、サンフランシスコ)の結果について示す。

解析はエルニーニョ現象発生期間の特定と同様、1961年～1990年の30年間の平均値を平年値とし、各要素の平年値からの偏差を用いておこなった。なお、風浪波高についてはCOADSにデータが無く、KoMMeDS-NF(1890年～1932年)にのみデータが存在するため、1901年～1930年の30年間の平均を平年値とした。

図-6～10は、海面水温、気温、海面気圧、風速および風浪波高の各々の要素について、1871年～1992年の月平均偏差の時系列を示したものである。図中の細線は各月

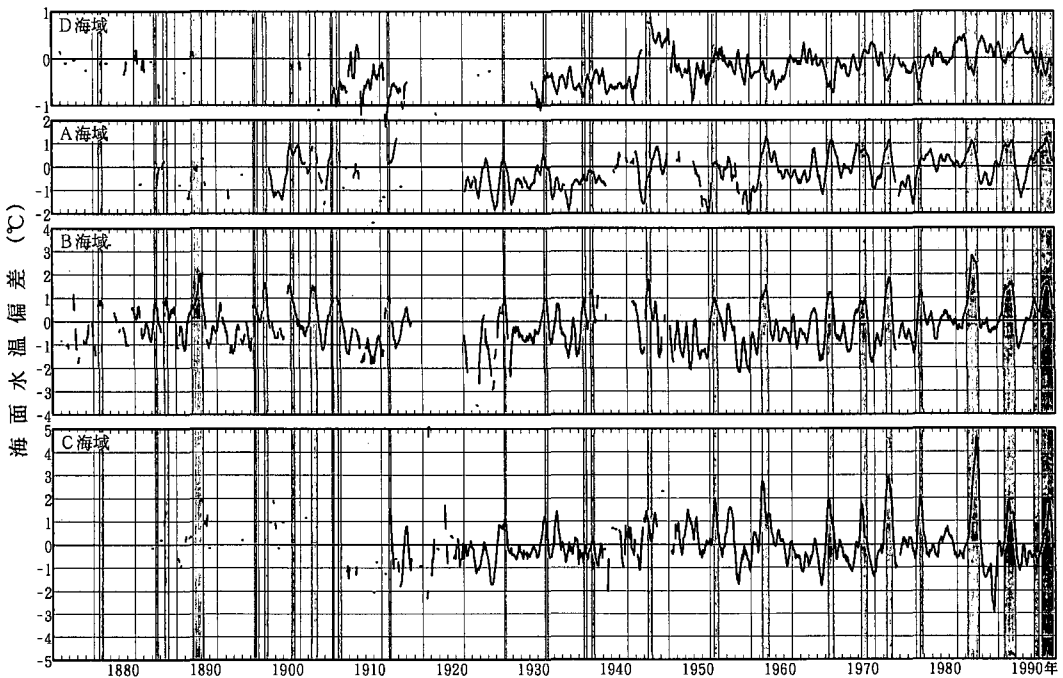


図-5 月平均海面水温偏差の経月変化図

表-1 エルニーニョ現象発生期間一覧表

エルニーニョ発生年 (本研究)			
1876 年夏～1876 年冬	1902 年春～1902 年冬	1943 年春～1943 年冬	1982 年春～1983 年秋
1883 年春～1883 年秋	1904 年秋～1905 年冬	1951 年春～1951 年冬	1986 年夏～1987 年冬
1884 年夏～1884 年冬	1911 年秋～1911 年冬	1957 年春～1958 年春	1990 年春～1990 年秋
1887 年秋～1889 年春	1925 年秋～1926 年春	1965 年春～1965 年冬	1991 年春～1992 年秋
1895 年春～1895 年秋	1930 年秋～1931 年春	1969 年春～1969 年冬	
1896 年夏～1896 年冬	1935 年夏～1935 年秋	1972 年春～1972 年冬	
1899 年秋～1900 年春	1936 年夏～1936 年冬	1976 年春～1976 年秋	

エルニーニョ発生年 (Rasmusson ら, 1982, 1983)				
1877	1896	1914	1932	1957
1880	1899	1918	1939	1965
1884	1902	1923	1941	1969
1887	1905	1925	1951	1972
1891	1911	1930	1953	1976

の平均値を、太線は各月の5年移動平均値の95%信頼限界を示している。

図-6の海面水温についてみると、図-5の西部太平洋赤道海域(D海域)の変動と同様、1940年頃を境に東京海域およびサンフランシスコ海域では約 $+2^{\circ}\text{C}$ 、ハワイ海域では約 $+1^{\circ}\text{C}$ の急激な水温レベル上昇が現れている。これは、山元ら(1986)の提唱している「気候ジャンプ」に相当しているものと思われるが、サンフランシスコ海域をみると1905年頃約 -2°C の急激な水温レベル下降が現れている。これらの「気候ジャンプ」が周期的に現れているのか、あるいは20世紀前半が異常気象なのかは判断できない。

また、1940年～1945年にかけてハワイ海域で瘤のように海面水温が上昇しているが、これは、第二次世界大戦

中の夜間の観測は敵の攻撃を避けるため船室内でおこなわれていたことにより系統的に高い値となっていることが原因である(Follandら, 1984)。

次いで、図-7の気温についてみると、海面水温の変動と同様な変動を示しており、東京海域およびサンフランシスコ海域で1900年頃約 -2°C の急激な気温レベル下降、1945年頃約 $+2^{\circ}\text{C}$ の急激な気温レベル上昇の「気候ジャンプ」がみられるが、ハワイ海域では第二次世界大戦中の観測手法の不備によるノイズを除いて顕著な変動はみられない。

また、図-8の海面気圧についてみると、第二次世界大戦中のノイズを除けば、月々の変動と比べて有意な系統の変動は見いだせない。

さらに、図-9の風速について見てみると、どの海域も1940年～1950年頃を境に約 $+2\text{ m/s}$ の風速増加が認められる。また、第二次世界大戦中の観測手法の不備によるノイズもみられる。

最後に、図-10の風浪波高については、KoMMeDS-NFのデータだけではデータ期間が短いこと、データ密度も日本近海を除いて疎であること等から、顕著な特徴は見いだせないが、東京周辺海域では1915年頃、わずかな減少傾向が見られる。この東京周辺海域における風浪波高のわずかな変動は、図-9の東京周辺海域における風速でも見られ、風浪波高の変動と風速の変動は1対1の対応をしている。

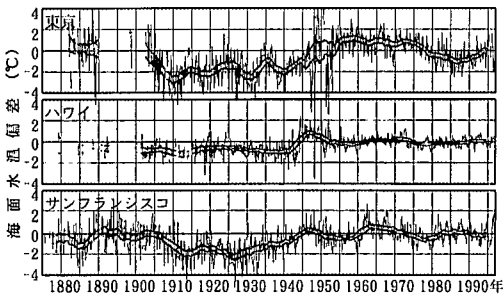


図-6 月平均海面水温偏差の経年変化図

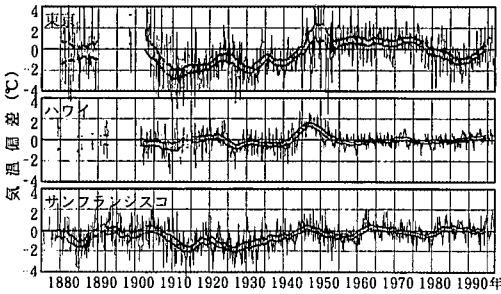


図-7 月平均気温偏差の経年変化図

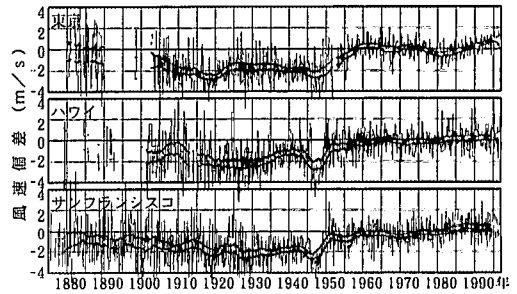


図-9 月平均風速偏差の経年変化図

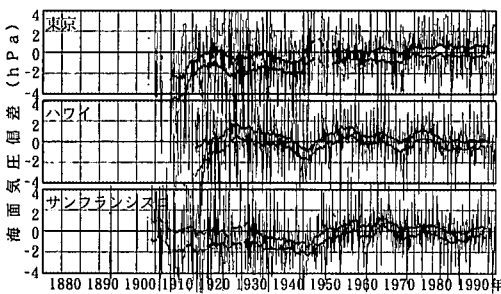


図-8 月平均海面気圧偏差の経年変化図

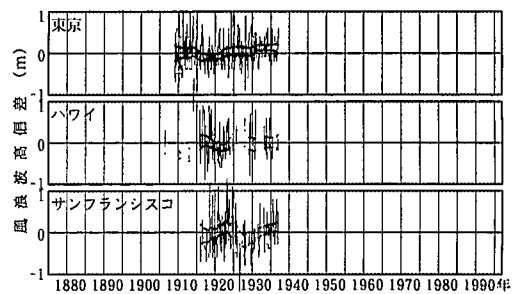


図-10 月平均風浪波高偏差の経年変化図

さらに、図-10の東京周辺海域では、1975年頃以降風速が単調増加を示しているが、これは、沿岸波浪計および第三世代全球波浪追算(JWA3G)結果に基づいた最近の十数年の月平均有義波高が年間約2cm増加していることを示した宇都宮ら(1997)の結果と1対1の対応をしている。

これらのことから、風速の変動と密接に関係している風浪波高においても、「気候ジャンプ」が発生している可能性が示唆される。

4. 結 語

本研究では、神戸海洋気象台が蓄積してきた貴重な船舶海上気象観測データ「神戸コレクション」をデジタル化し、COADSと併せて使用することにより、第一次世界大戦時代のデータを補った。

その結果、年代によっては推定精度に問題はあがるが、1876年～1992年の間で25回のエルニーニョ現象発生期間を特定した。

さらに、風速、気温および海面水温において、1940年～1950年を境に「気候ジャンプ」が起きていることを示し、月平均波高についても「気候ジャンプ」が起きている可能性を示唆した。なお、この「気候ジャンプ」が周期的に発生している現象であるか、あるいは、20世紀前半の異常気象に起因する現象であるかの検証は、さらなる歴史的観測データの発掘を待たねばならない。

最後に、1997年12月に京都で開催されたCOP3(気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議)と同時に神戸で開催された「気候変動の監視・予測及び情報の利用に関する国際ワークショップ」で採択された「神戸ステートメント」において、「神戸コレクションに代表される歴史的観測データのデジタル化や公開は、気候系の変動の理解及び気候変動の検出のために必要不可欠で

ある」ことが唱われていることを受け、未だデジタル化をおこなっていない約200万通あまりの「神戸コレクション」を早急にデジタル化する必要がある。さらに、デジタル化をおこなったデータは、世界気象機関(WMO)の品質管理基準に基づいた十分な品質管理をおこなった後、利用者が簡単に入手できるよう準備する必要がある。

謝辞：COADSのデータおよび「神戸コレクション」のマイクロフィルムを気象庁海上気象課から提供していただき、デジタル化したデータの品質管理も実施して頂きました。また、本研究は日本財団の補助を受けて実施いたしました。さらに、山元龍三郎京都大学名誉教授を委員長とする委員各位には貴重なご助言を頂きました。ここに謹んで関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 宇都宮好博・岡田弘三・鈴木 靖(1997): 波候の変動特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1246-1250.
- 気象庁(1997): エルニーニョ現象の予測に向けて, 平成9年度季節予報研修テキスト, 73 p.
- 日本気象協会(1998): 全球の船舶観測データセットの整備とそれを用いた海洋気候の長期変動の解明報告書(平成9年度事業), 220 p.
- 山元龍三郎・岩嶋樹也・サンガ N.K・星合 誠(1986): 気候ジャンプ, 京都大学防災研究所年報, 第29号, B-1, pp. 297-313.
- Folland C. K., D. E. Parker and F. E. Kates (1984): Worldwide marine temperature fluctuations 1856-1981, *Nature*, Vol. 310, 23, pp. 670-673.
- Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter (1982): Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Nino, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 110, pp. 354-384.
- Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter (1983): The relationship between Eastern Equatorial Pacific sea surface temperature and rainfall over India and Sri Lanka, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 111, pp. 517-528.