

大気・海洋変動指標と台風特性および気候変動との 関連性に関する研究

Estimation of Climatic Variations in Relation to Large-scale Atmospheric and Oceanic Interaction

泉宮尊司¹・小関達郎²

Takashi IZUMIYA and Tatsuro KOSEKI

Climate variabilities in characteristics of typhoon, annual precipitation and SST are investigated in connection with the indices of atmosphere-ocean interaction such as MEI, PDO, NAO and AO. Spectra of annual time series of the climate indices were analyzed to find a relationship between the climate change and the indices of ocean-atmosphere interaction. A five-year variation in an annual mean minimum pressure of typhoon is found to have the same period of MEI and about one year time lag. The other climate indices are found to change with the indices of large-scale atmosphere-ocean interaction, such as MEI and PDO. The activity of typhoon and climate variations are estimated employing linear system analysis with the impulse response functions and are compared with the measured climate data.

1. 緒論

2007年に発表された気候変動による政府間パネルの4次報告書(気象庁, 2007)によると, 地球温暖化により大型台風や豪雨などの異常気象により自然災害の増加が危惧されている。台風の平均寿命や平均強度, 気温, 降雨等の気象および波浪や海流等の海象現象は, それぞれ温暖化による影響と大気・海洋相互作用の中長期的な変動の影響を受けながら複雑に変化している。地球温暖化による台風特性や極値波浪の変化を数値シミュレーションで行った研究が行われている(安田ら, 2008, 野中ら, 2008)が, これまでの大気海洋の変動に依存した結果を完全には再現できていない。エルニーニョ・南方振動(ENSO: El Niño-Southern Oscillation)や太平洋十年規模振動(PDO: Pacific Decadal Oscillation)に代表される大気・海洋相互作用による大気・海洋の数年から数10年の変動は, 台風や温帯低気圧の特性に影響を及ぼしていることが知られており(三島ら, 2009, 山下ら, 2008), また地球温暖化による変化の数10年の変動にも相当するため(Wood, 2008), 地球温暖化の予測精度を向上させ, 信頼性を高める上においても, その変動特性を調べることは極めて重要である。

これまで, 個々の大気・海洋変動指標と気候との関連性に関しては, 比較的良好に研究されてきたが(川村, 2008), これら変動指標の相互関係に関しては最近になって注目されてきたばかりで, 未だ不明な点が多く, 世

界各地の気象・海象変動との関連性を明らかにすることは重要なことであると考えられる。そこで本研究では, 地球温暖化により強度が増すとされている台風を中心に, それらの特性を含む気象・海象と大気・海洋変動指標との関係を明らかにし, それらの変動指標を用いて, 台風特性や気象・海象等の変化を推定することを研究の目的とする。

2. 大気・海洋変動指標と台風特性等気候変動との関係

大気・海洋相互作用には, 図-1に示すように太平洋熱帯域赤道におけるエルニーニョ・南方振動(ENSO), 北太平洋中央部の太平洋十年規模振動(PDO), 大西洋上の北大西洋振動(NAO), インド洋のインド洋ダイポールモード現象(IOD), 北半球での大気の偏差構造である北極振動(AO), 南半球での南極振動(AAO)等がある。近年これらの変動は, 独立したものではなく, テレコネクション作用により互いに影響を及ぼしながら変化していることが明らかになりつつある(海洋学会編, 2001)。

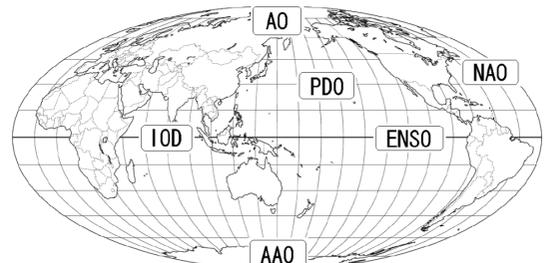


図-1 大気・海洋変動指標とその関連領域

1 正会員 工博 新潟大学教授工学部建設学科
山形県

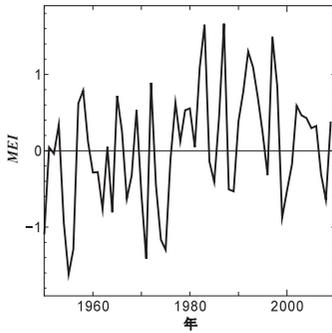


図-2 エルニーニョ・南方振動指標MEIの経年変化

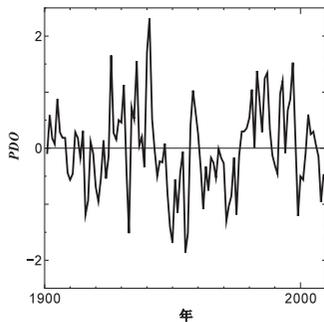


図-3 太平洋十年規模振動指標PDOの経年変化

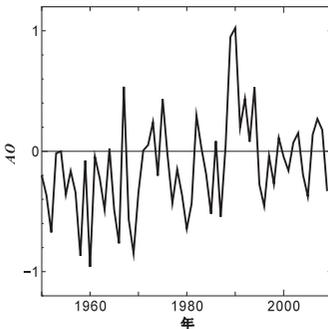


図-4 北極振動指標AOの経年変化

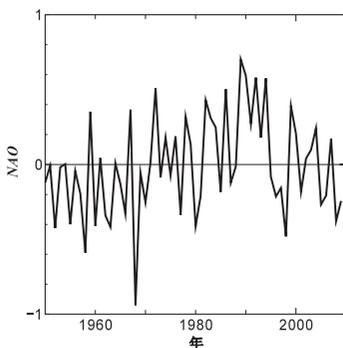


図-5 北大西洋振動指標NAOの経年変化

本研究では、台風の平均強度、年平均寿命、気温、降雨量、降雪量、海水温とMEI（後述）、PDO、AOおよび

NAOの1951年から2009年までの59年分のデータを用いて、これらの大気・海洋変動指標と台風特性を含む気象・海象の変動との関連性を調べることにする。解析手法としては、相互相関解析、スペクトル解析のみならず、多変量ARモデルによって推定したコヒーレンスと位相関係をも調べ、コヒーレンスのより高い大気・海洋変動指標を抽出する。さらに抽出された複数の変動指標を用いて、多次元システム関数を算定することにより、台風の年平均寿命や強度などの気候変動の変化を推定することにする。

エルニーニョ・南方振動（ENSO: El Niño-Southern Oscillation）とは、太平洋熱帯域の現象であるエルニーニョとそれに密接に関係する大気現象である南方振動の2つの現象を総称した呼び名である。ENSOを表す指標は、MEI（Multivariate ENSO Index）と呼ばれるもので、Wolter・Timlin（1998）によって提唱されたものである。海面気圧、緯線方向の風速成分、経線方向の風速成分、海面水温、海面気温、総雲量の6成分に対して、基準データからの変動値を主成分分析することにより導かれた指標で、正值のときにエルニーニョ現象、負値のときにラニーニャ現象を表す。本研究では、NOAAのHP（<http://www.ngdc.noaa.gov/ClimateIndices/>）に公開されている、1950年から2009年までの月平均のMEIのデータを用いた。ここでは、月平均のデータを年平均してMEIを求めた。図-2は、MEIの経年変化を示したものである。1978年以降MEIの値は正の値をとる傾向が強くなり、40年以上の長期的な変動成分も含まれていることが推測される。

太平洋十年規模振動（PDO: Pacific Decadal Oscillation）は、北緯20°以北の海面水温（SST: Sea Surface Temperature）の経年変動の主成分分析により算定されたもので、PDOはENSOと似た分布を示すが、時間スケールははるかに大きく、空間スケールも広域に及び、水温変動の振幅は1～2℃で、最大7～8℃に達するENSOに比べて小さい。図-3に、気象庁HPより得られた1901年から2009年までの月平均値を用いて、PDOの経年変化を示している。

北極振動（AO: Arctic Oscillation）は、冬季北半球の循環で卓越する変動パターンで、北緯20度以北の北半球の海面気圧の第1経験的直交関数（EOF）で定義される。Thompson and Wallace（1998）は北緯20度以北の北半球域で冬季（11月から4月）の月平均海面気圧偏差場の主成分分析を行い最も卓越する第1モードを抽出し、それをその形状からAOと名づけた。AOは北極域の気圧が負の偏差の時、中緯度の海上を中心に正の偏差となる変動である。北極域と中緯度の気圧のほぼ環状のシーソー的な変動である。AO指標は、NOAAのHPより入手し、1950年から2009年のAO指数の月平均値から年平均値算

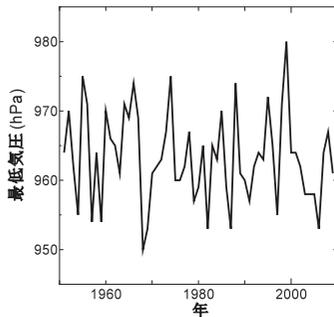


図-6 台風の平均強度の経年変化

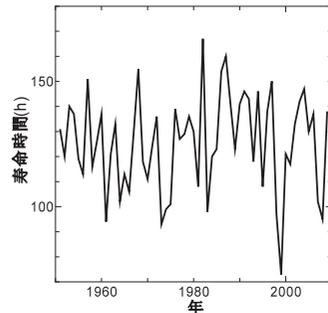


図-7 台風の平均寿命の経年変化

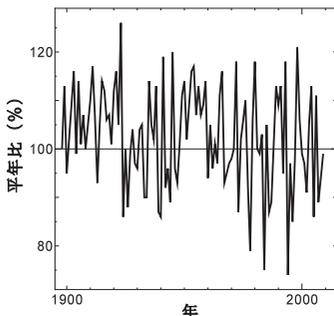


図-8 日本の51地点の年降水量の平年比の変化

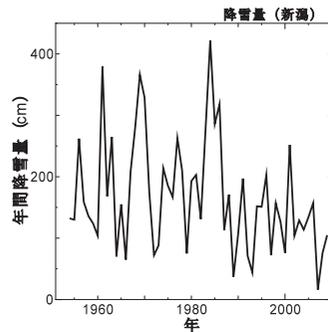


図-9 新潟市の年降雪量の経年変化

出したものを、図-4に示している。この指標は、1990前後に大きく変動し、これまでとはやや異なる変化を示している。

北大西洋振動NAO (North Atlantic Oscillation) とは、

北のアイスランド低気圧と南のアゾレス高気圧との南北気圧差の増減現象として特徴付けられている。北大西洋ではアイスランド低気圧とアゾレス高気圧が周辺地域の気候を支配している。NAO指数は、NOAAのHPに公開されている、1950年から2009年までの月平均値を、年平均値に計算して用いている。図-5にNAO指数の経年変化を示す。このNAO指標とAO指標とは、図-4および図-5を見ても分かるようになりに類似な変化を示しており、有意な相関をもつことが知られている。

本研究では、気候変動に関する気象・海象として、台風の年平均寿命および年平均最低気圧、日本の年平均気温、降水量、年間降雪量を選定し、海象として黒潮の流路、海面水温について調査した。

台風の寿命時間および最低気圧のデータは、国立情報学研究所のHPのデジタル台風に公開されているデータを用いた。ここでは、年平均台風寿命、年平均台風最低気圧として、1951年から2009年について年毎に平均したデータを用いた。図-6に台風の年平均強度を、図-7には年平均台風寿命の経年変化を示している。これらの図より、台風特性の長期トレンドは明確には見られないが、5年、10年程度の中期的な変動が卓越していることが読み取れる。また、台風の年平均強度が強い年には、年平均寿命も長くなっていることが認められる。

降水量については、気象庁のHPに公開されている年降水量の平年比（平年値に対する比で、%で表す）の1898年から2009年のデータを用いた。使用したデータは1898年からのものであり、観測地点は、長期間にわたって観測を継続している全国の51地点のデータである。年降水量の平年比とは、年降水量を平年値で割った値であり、平年値とは1971年から2000年の平均値である。図-8は、日本の51地点の年降水量の平年比の経年変化を示している。年降水量の場合には、年々変動が大きく、ノイズ成分と見なされる3~4年変動が卓越しているようであるが、10年以上の変動も存在しているようである。また、近年降水量が多少減少傾向にあるようである。

降雪現象に関しては、新潟および高田の年間降雪量について調査した。観測データは、1953年から2009年のデータで、新潟の年間降雪量の経年変化を、図-9に示す。この図より、10年または20年程度の変動が見られ、特に1990年以降の降雪量の減少が顕著に見られる。このような変化傾向は、高田の降雪量に関してもほぼ同様であった。

3. 大気・海洋変動指標と気候変動との関連性

大気・海洋変動指標と気象・海象の変動周期を調べるために、最大エントロピー法 (MEM) を用いて、スペクトル解析を行った。2つの変動量の間の線形性の程度と

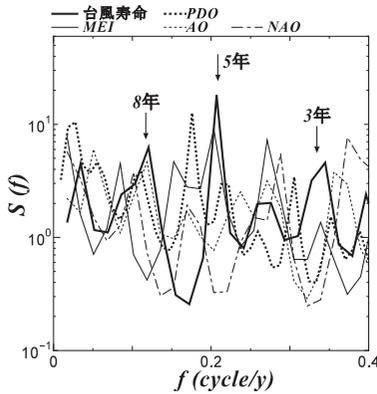


図-10 台風寿命と大気・海洋変動指標のスペクトルの比較

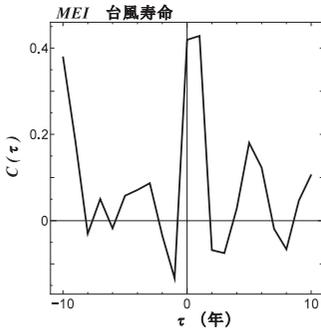


図-11 台風寿命とMEIとの相互相関関数

表-1 大気海洋変動指標および気候変動の周期

指標または 気象・海象	スペクトルピークの年数 (years)										
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	18	35
MEI		4	5								59
PDO	3			6	9			18	35		
AO	3	4		6	8			20			
NAO	3	4		6				10			59
台風寿命	3	4	5					10			30
台風強度	3	4	5	6				10			
気温	3	4		6				10	16		56
降水量	3	4						10	16		56
降雪量(新潟)	3					8			14		
黒潮流路	3	4		6	8						
海水温	3	4	5					10			58

時間遅れを調べるために、統計数理研究所で開発されたTIMSACを用いて、多次元AR解析によりコヒーレンスおよびフェイズを算定した。

図-10は、台風寿命と大気・海洋変動指標であるMEI, PDO, AO, NAOのスペクトルの比較を行ったものである。台風の寿命は30年, 8年, 5年, 3年周期の変動にピークが存在している。またMEIには5年, 3年のピークが、PDOは5年, 3年, AOは8年および3年で、NAOはおおよそ3年で、それぞれ台風の寿命のスペクトルと共通していることが分かる。特に、MEIと台風寿命の5年周期の変動のスペクトルが大きく、ピークもほぼ一致しており、関連性が高いと考えられる。

大気海洋変動指標および気象・海象変動のスペクトル

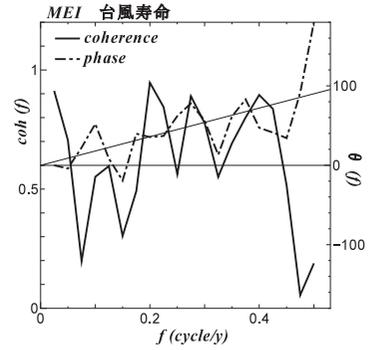


図-12 台風寿命とMEIとのコヒーレンスとフェイズ

のピークの年数を一覧表にしたものが、表-1である。これらには、3年変動が一番多く現れているが、この変動はランダムな過程で生じる見掛けの周期が3年であるので、この変動はノイズ成分と見なしてよい。共通な周期として、4年, 6年および10年が挙げられ、56年から59年というかなり長い周期も、MEI, NAO, 気温, 降水量および海水温のデータに存在している。これらのことから、気象・海象の変動は大気海洋変動の特性を代表する指標に依存していることが示唆される。

ここで、もう少し気候変動と大気海洋変動指標との関係を明らかにするために、相互相関関数、コヒーレンスおよびフェイズの関係をみることにする。図-11は、台風の平均寿命とMEIとの相互相関関数を示したものである。台風寿命は、MEIに対して約1年遅れて変化する傾向にある。約10年のところにも大きな値が存在しているが、これはいずれも10年から12年程度の変動周期を持っているためと考えられる。

台風の平均寿命とMEIとのコヒーレンスとフェイズに関しては、図-12に示すように、周期20年, 10年, 5年, 4年, 3年でコヒーレンスが高いことが分かる。これらの周期のコヒーレンスは0.5を超えており、かなり相関性が高いといえる。次にフェイズに関しては、周期40年から20年の変動には、位相のずれはほとんどない。10年, 5年, 4年, 3年の変動には、半年から1年程度の位相のずれがあることが分かる。

4. 大気海洋変動指標を用いた予測とその結果

前節で説明したように、大気海洋変動指標と気象・海象の変動との間には、共通の周期性およびかなり高い相関性があり、線形システムとして気候変動が予測できる可能性があると考えられる。本研究では、大気海洋変動指標の中でも地球規模の影響を与えるMEIとPDO指数を用いて、多次元システム応答関数を算定することにより、台風強度や寿命の変化、および四国・東海沖南部の海面水温等を推定することにした。

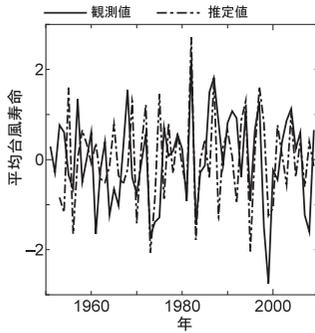


図-13 MEI, PDO指数を用いて推定された台風寿命の変化

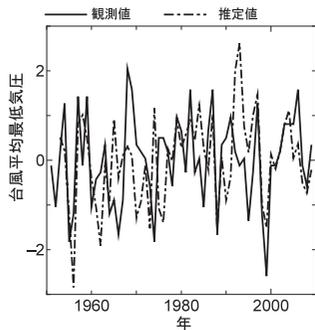


図-14 MEI, PDO指数を用いて推定された台風最低気圧の変化

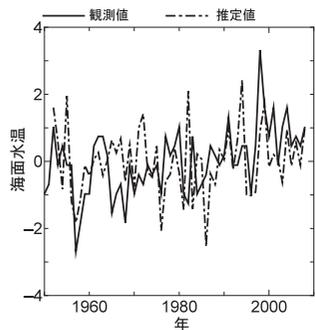


図-15 MEI, PDO指数を用いて推定された四国・東海沖南部の海面水温

図-13から図-15は、MEI, PDO指数を用いて推定された台風寿命の変化、平均気圧の変化および四国・東海沖南部の海面水温を観測値と比較したものである。これらの図において、観測値は実線、推定値は一点鎖線で示しているが、簡便な推定モデルによっても大局的な変化はほぼ再現されており、その有効性が示された。

5. 結論

本研究では、台風特性を含む気象・海象と大気・海洋変動指標との関係を明らかにすべく、多変量ARモデルによって詳細な関係を調べた結果、以下の事柄が明らかとなった。

(1) 台風の平均寿命には、30年、8年、5年、3年周期の

変動にピークが存在している。MEIには5年、3年のピークがあり、PDOは5年、3年のピークがあり、それぞれ台風の平均寿命のスペクトルと共通した周期を有している。特に、MEIと台風寿命の5年周期の変動のスペクトルが大きく、ピークもほぼ一致しており、台風の発達と関連性が高いと考えられる。

- (2) 台風の平均寿命とMEIおよびPDOとの相互相関関数を算定したところ、いずれも相関が高く、約1年のタイムラグが存在していた。約10年の間にも高い相関が見られたが、これはそれぞれの変動周期に依存したものである。
- (3) 台風の平均寿命と変動指標とのクロススペクトル、コヒーレンスおよび位相関係を調べた結果、コヒーレンスは高い変動周期で0.5~0.7程度もあった。このことは、これらの変動指標を用いて線形システム予測が可能であることを示している。
- (4) 多次元システム解析により、MEIおよびPDO指数を用いて推定された台風寿命の変化は、実測値と完全には一致していないが、変動の傾向はよく再現されており、台風の平均寿命には、MEIおよびPDO指数が大きく影響を及ぼしていることが明らかとなった。
- (5) 台風の平均最低気圧、および四国・東海沖南部の海面水温の変化は、MEIおよびPDO指数とのコヒーレンスが高く、それらを用いて推定された結果は、観測値の変化傾向を比較的よく表している結果が得られた。

参考文献

川村隆一 (2008) : 大気海洋相互作用からみた気候変動, 地学雑誌, Vol. 117, No.6, pp. 1063-1076.
 気象庁 (2008) : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書, 技術要約, 150 p.
 国立情報学研究所デジタル台風HP : <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>
 日本海洋学会編 (2001) : 海と環境, 講談社サイエンティフィク, 244 p.
 野中浩一・山口正隆・畑田佳男 (2008) : 地球温暖化シナリオに伴う北西太平洋での波高極値の変化, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1321-1325.
 三島豊秋・山下隆男・松岡潔照・駒口友章 (2009) : 気候変動のゆらぎと台風災害に関する研究, 海岸工学論文集, 第56巻, pp.1276-1280.
 安田誠宏・高田理絵・金 洙列・間瀬 肇 (2008) : 地球温暖化予測データに基づく台風極端化特性の評価と高潮シミュレーション, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1331-1335.
 山下隆男・駒口友章・三島豊秋 (2008) : 気候変動のゆらぎを考慮した海岸保全の対応策への一考察, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1341-1345.
 NOAA Earth System Research Laboratory HP: <http://www.cdc.noaa.gov/data/climateindices/>
 Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. Geophys. Res.Lett., 25, 1297-1300.
 Wood, R. (2008) : Natural ups and downs, Nature, Vol. 453, No.1, pp. 43-44.