気候変動のゆらぎと台風災害に関する研究

Study on the Multi-decadal Fluctuation of Climate Change and Typhoon

三島豊秋¹・山下隆男²・松岡潔照³・駒口友章⁴

Toyoaki MISHIMA, Takao YAMASHITA, Kiyoteru MATSUOKA and Tomoaki KOMAGUCHI

Climate indices such as El Niño-Southern Oscillation in the Pacific Ocean were investigated to find out a relationship between multi-decadal fluctuations of climate change and tropical storms, in particular typhoon in North West Pacific based on the historical record of typhoon-induced disasters. It was found that the ratio of the category.5 typhoon among the all historical typhoon and recorded developed-low pressure systems in the West Pacific was increased in La Niña dominant period. It is foreseeable that attentions on more intensified and frequent tropical storms, typhoon, should be drawn in the forthcoming La Niña dominant period from this study. The similar results were obtained from the historical record of hurricanes in the Atlantic and in the East Pacific Ocean.

1. 緒言

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書（AR4）における将来予測では、地球温暖化に伴い大型台風および豪雨などの異常気象による災害の増加が懸念されることが述べられている。またこの報告書には、各国の研究機関によって実施された最新の地球温暖化による気温の指数的な上昇トレンドの予測結果も示されている。関連する各分野では、それらの予測された地球温暖化に伴う指数的な気候変動によって引き起こされる異常気象による災害の増加に対応するために、100年先を見据えた緩和策および数十年先を見据えた適応策が模索されている。

気候変動には、IPCCにおける地球温暖化の予測結果に見られるような指数的に変化するトレンド以外に、準周期的に変動するゆらぎが存在する。太平洋赤道線上におけるエルニーニョ・南方振動（ENSO：El Niño-Southern Oscillation）はその代表的なものである。それ以外にも、太平洋上における太平洋十年規模振動（PDO：Pacific Decadal Oscillation）、大西洋上における大西洋数十年周期振動（AMO：Atlantic Multi-decadal Oscillation）および北大西洋振動（NAO：North Atlantic Oscillation）、インド洋におけるインド洋ダイポール現象（IOD：Indian Ocean Dipole）などがある。これらの気候変動のゆらぎによる気象場の変化は、沿岸各国の気象災害に影響を及ぼしていることが知られている。

我が国の気象場に影響下に置く ENSO および PDO は太平洋での代表的な気候変動のゆらぎである。山下ら

（2008）は、1950年～76年程度までの約30年間のラニーニャ卓越期には、その後の1976年～現在までの約30年間のエルニーニョ卓越期に比べ、我が国では台風災害および寄り廻り波のような異常気象擾乱による災害が多発していることを明らかにした。さらに、その約30年の準周期的な長期トレンドに着目すると、今後の約30年間はラニーニャ卓越期に入るために1950年～76年程度までの期間と同様に気象災害が頻発する可能性があり、特に数十年先を見据えた地球温暖化に対する適応策を策定する場合にはその気候変動のゆらぎによる影響を考慮する必要があることを提案している。

我が国に襲来する台風以外にも、大西洋および東太平洋におけるハリケーン、インド洋におけるサイクロンなどが知られている。これらのトロピカルサイクロンは、我が国における台風と同様に、各海洋における気候変動のゆらぎの影響を受けていることが予想される。これらのトロピカルサイクロンと気候変動のゆらぎとの相互関係を明らかにすることは、気候変動のゆらぎを考慮した地球温暖化に対する適応策の必要性を示す上で重要な課題の一つであると考えられる。

本研究では、このような観点から、気象災害を引起す代表的な気象擾乱であるトロピカルサイクロンに着目し、気候変動のゆらぎと台風とのより詳細な相互関係の検討と同時に、各海洋での代表的な気候変動のゆらぎとそこでのトロピカルサイクロンとの相互関係について検討する。

2. 気候変動のゆらぎの指標

気候変動のゆらぎの代表的なものとして、太平洋上における ENSO および PDO、大西洋上における AMO および NAO、さらにインド洋上における IOD などがある。これらのゆらぎを表す指標は、それぞれ MEI (Multivariate

1 正会員 博(工) (株) 碧浪技術研究所 技術部長
広島大学産学連携センター客員研究員
2 正会員 博(工) 広島大学教授 大学院国際協力研究科
3 (株) 長谷工コーポレーション
4 正会員 博(工) (株) 碧浪技術研究所 代表取締役

図-1 MEI, PDOおよびAMOの経年変化

ENSO Index), PDO, AMO, NAO, およびDMI (Dipole Mode Index) と呼ばれている。図-1にMEI, PDOおよびAMOの経年変化を示す。検討ではENSOからIODまでの5種類の気候変動のゆらぎと各海洋でのトロピカルサイクロンとの関係について検討したが、一定の関係が見いだせたものは太平洋上におけるENSOおよびPDO, 大西洋上におけるAMOであったことから、図-1にはこれら3種類のゆらぎの指標のみを示す。

ENSO指標であるMEIは、この値が正值のときエルニーニョであることを、負値のときラニーニャであることを表す。PDOでは、この値が正值のときはwarm phaseと、負値のときはcool phaseと呼ばれる。ENSOおよびPDO共に1976年辺りを境に、それより以前はラニーニャもしくはcool phaseの卓越期であり、またその後はエルニーニョもしくはwarm phase卓越期であることが見て取れる。MEIは1950年以降の値が、またPDOは1948年以降の値がNOAAのHPで公開されている (NOAA ESRL HP)。

ENSOおよびPDOが太平洋上での気候変動のゆらぎであるのに対して、AMOは北大西洋上での海面水温の中期の変動を表す指標である。PDOの場合と同様に、AMOが正值のときはwarm phaseと、負値のときはcool phaseと呼ばれる。図-1の最下段に示されているように、30～40年程度の周期で変動しており、またENSOおよびPDOの卓越期の周期を30年程度とすると、AMOの変動周期は1/4周期程度位相がずれているのも特徴的である。MEIおよびPDOと同様に、1856年以降のAMOの値はNOAAのHPで公開されている。

図-2 各ゆらぎの指標と海面水温との相関係数

3. 気候変動のゆらぎによる海面水温の変動

トロピカルサイクロンの発生域、発生数、強度、および経路などの特性は多くの気象要因の影響を受けていると推測されるが、最も影響を受けやすいものとして海面水温が挙げられる。図-2に、1950年～2007年までのMEI, PDOおよびAMOの各気候変動のゆらぎの指標の時系列と各地点の海面水温の時系列変動との相関係数の分布を示す。このとき、海面水温データにはICOADSを補正・補完することにより求めたERSSTデータを用いている (Smith・Reynolds, 2004)。なお、ここでの海面水温の変動は各地点での月平均からの偏差であり、また全球平均の変化のトレンドも除かれている。

図-2に示すMEIおよびPDOと海面水温の変動との相関

係数の分布は両者とも類似した傾向を示すが、MEIでは赤道付近で、PDOでは北太平洋上での相関がより強い傾向にある。また、両指標共に日本近海では負の相関であり、ENSOにおけるラニーニャもしくはPDOにおけるcool phaseのときには日本近海のこの海域の水温が高くなる。一方、AMOでは北大西洋の赤道付近に高い正の相関をもつ海域があり、この海域ではAMOがwarm phaseのときに海面水温が高くなる。

図-3は、図-2に示す相関係数の分布に各点の海面水温の変動の標準偏差を乗じたものである。この分布は温度の次元を持ち、各気候変動のゆらぎによって起こる海面水温の変動の平均的な振幅を表すと考えられる。この図におけるMEIおよびPDOに着目すると、これらの指標によって起こる日本近海から赤道付近までの海域における

(a) MEI

(b) PDO

(c) AMO

図-3 各ゆらぎによる海面水温の変動

図-4 経路図の一例 (1980年～89年)

図-5 MEIおよびPDOと台風発生数の関係

海面水温の変動は、 $\pm 0.1 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 程度であることが分かる。また、これらの気候変動のゆらぎによって起こる東太平洋の赤道付近の海域での海面水温の変動は、 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ を超える。一方、AMOによって起こる北大西洋における海面水温の変動は、赤道付近で $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 程度であることが分かる。日本近海から赤道付近までの海域は台風の発生域に、東太平洋の赤道付近の海域は東太平洋におけるハリケーンの発生域に、また北大西洋の赤道付近の海域は、大西洋におけるハリケーンの発生域に対応している。

4. 気候変動のゆらぎと台風特性

各海洋でのトロピカルサイクロンデータには、Unisys Weather HPで公開されているベストトラックデータ、および気象庁RSMC Tokyo HPで公開されているそれを用いる (Unisys Weather HP; 気象庁RSMC Tokyo HP)。図-4にUnisys Weather HPで公開されているベストトラックデータの経路図の一例を示す。このUnisys Weather HPには、大西洋、東太平洋、西太平洋、南太平洋、南インド洋、および北インド洋の6海域でのトロピカルサイクロンのベストトラックデータが公開されている。実際には南太平洋を除く5つの海洋に対して検討を行い、西太平洋の

台風，東太平洋および大西洋のハリケーンの3種類のトロピカルサイクロンとそれぞれの海域に対応する気候変動のゆらぎに対して有意な結果が見られた。

図-5は，ENSO指標のMEIおよびPDO，台風発生数およびカテゴリー別の台風発生数の比率を示したものである。なお，図中での台風のカテゴリーはUnisys Weatherでの分類（Tropical Storm, Category1-5）に従っている。この図によると，1950年～76年のENSOにおけるラニーニャもしくはPDOにおけるcool phase卓越期には，年間発生する台風に占めるカテゴリー1-5の比率は，1977～2007年のENSOにおけるエルニーニョもしくはPDOにおけるwarm phase卓越期に比べ高くなっているのが分かる。また，それはカテゴリー5の大型台風の比率が高くなったためであることが分かる。すなわち，ラニーニャ卓越期にはカテゴリー5の大型台風の発生比率が高くなる。

図-6に卓越期別のカテゴリー5の台風に対する経路密度を示す。この図における台風経路密度は，空間をメッシュ $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ に分割したときに，各メッシュを通過する台風個数の台風発生数に対する比率として定義されている。この図に示されているカテゴリー5の台風経路密度は，ラニーニャ卓越期にはエルニーニョ卓越期に比べ西側へ片寄り，北側へ広がる傾向になっている。これは，台風の発生域が日本に近くなると同時に，日本本土を縦断し易くなることを表している。図-7には，ENSOにおけるエルニーニョおよびラニーニャ，もしくはPDOにおけるcool phaseおよびwarm phaseの卓越期別に，日本へ上陸した台風の最低気圧順の頻度が示されている。実際に，最低気

(a) ラニーニャ卓越期（1951年～76年）

(b) エルニーニョ卓越期（1977年～2007年）

図-6 卓越期別のカテゴリー5台風の経路密度

図-7 最低気圧順の上陸台風の頻度

(a) AMOと大西洋のハリケーン

(b) MEIおよびPDOと東太平洋のハリケーン

図-8 気候変動のゆらぎとハリケーン発生数の関係

圧順の上位30位までの大型台風に関してはラニーニャ卓越期の頻度は高く，この期間には大型台風が上陸しやすいことが分かる。

5. 気候変動のゆらぎとハリケーン特性

図-8には，気候変動のゆらぎと大西洋および東太平洋におけるハリケーンの発生数が示されている。それぞれの海域に対応する気候変動のゆらぎとして，大西洋ではAMOが，また東太平洋ではENSO指標のMEIおよびPDOが示されている。図-8 (a) に示された大西洋におけるAMOとハリケーンの発生数では，若干ではあるがAMOの変動傾向とハリケーンの発生数の変動傾向に対応が見られ，warm phaseのときにハリケーンの発生数が増加する傾向にある。特に，1970年以降のハリケーンの発生数の増加傾向は，その期間でのAMOの増加傾向に対応している。

(a) warm phase (AMO)

(b) cool phase (AMO)

図-9 大西洋でのカテゴリ-4-5ハリケーンの経路密度

一方, 図-8 (b) に示された東太平洋におけるMEIおよびPDOとハリケーンの発生数に対しては, MEIおよびPDOの変動に対応してハリケーンの発生数は増減する傾向が見られ, ENSOにおけるエルニーニョ卓越期もしくはPDOにおけるwarm phase卓越期にはハリケーンの発生数は増加する傾向にある。また, 大西洋のAMOとハリケーンの発生数との関係に比べてもより明確な傾向が表れている。これは, 図-5に示したMEIおよびPDOと台風の発生数との関係と比べても, 発生数に直接影響を及ぼしている点でより明確な傾向であると言える。この結果には, 図-3で示したように, それぞれの海域での気候変動のゆらぎによる海面水温の変動は東太平洋でのハリケーンの発生域が最も大きく, 次いで大西洋におけるその発生域および西太平洋での台風発生域の順に小さくなることが反映されていると推測される。

図-9には, AMOの2つのphase別に整理した大西洋でのカテゴリ-4および5のハリケーンの経路密度が示されている。同様に, 図-10には, エルニーニョ・ラニーニャ別に整理した東太平洋でのカテゴリ-4および5のハリケーンの経路密度が示されている。大西洋のハリケーンは, AMOのwarm phaseのときにはcool phaseのときに比べ全体的に広い範囲に経路密度が分布する傾向にあり, 上陸し易い傾向にあると推測される。同様に, 東太平洋のハリケーンにおいても, エルニーニョ時には経路密度が広い範囲に分布する傾向にあり, 日本近海まで到達するハリケーン数が増加する傾向が見られる。

(a) エルニーニョ (ENSO)

(b) ラニーニャ (ENSO)

図-10 東太平洋でのカテゴリ-4-5ハリケーンの経路密度

6. 結語

各海洋における気候変動のゆらぎとトロピカルサイクロン特性との関係について検討を行った。その結果, 日本へ来襲する台風は, ラニーニャ卓越期 (PDOのcool phase) にはエルニーニョ卓越期 (PDOのwarm phase) に比べ大型台風の発生比率が増加し, またそれらは上陸し易くなることが明らかになった。さらに, 大西洋でのハリケーンはAMOのwarm phaseのときにcool phaseに比べ発生数が増加し, また上陸し易くなることが, 東太平洋でのそれはエルニーニョ期にはラニーニャ期に比べ発生数が増加し, また広い範囲に広がる傾向にあることが明らかになった。

各海洋における気候変動のゆらぎは30年～40年程度の周期で変動しており, 各海洋でのトロピカルサイクロン災害に影響を及ぼしていると推測される。地球温暖化に対する適応策を策定するには, それらのゆらぎによる気象災害への影響を考慮する必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 気象庁 RSMC Tokyo HP: http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/RSMC_HP.htm.
- 山下隆男・胸口友章・三島豊秋 (2008): 気候変動のゆらぎを考慮した海岸保全の適応策への一考察, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1341-1345.
- NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL) HP: <http://www.cdc.noaa.gov/data/climateindices/>.
- Smith, T.M. and R.W. Reynolds (2004): Improved extended reconstruction of SST (1854-1997), J. Climate, Vol.17, pp.2466-2477.
- Unisys Weather HP: <http://www.weather.unisys.com/hurricane/>.