

■ 論 説 ■

地球温暖化と気象災害の動向

Global Warming and Trend of Weather Disaster

山 元 龍 三 郎*

Ryozaburo Yamamoto



1. 緒言

化石燃料の大量燃焼によって大気中の二酸化炭素濃度が増加しているが、その結果として起こる気候変動が懸念されている。二酸化炭素濃度の増加がもたらす気候変動の主な様相は、100年間に数℃以下の割合で徐々に進行する地球規模の温暖化である。しかし、この気候変動は温暖化だけにとどまらないで、災害の主な原因である集中豪雨や台風等を激化させるのではないかとの問題が浮上してきた。

大循環モデルを用いた気候の数値シミュレーションは、地球規模の現象に関して非常に有用な情報を提供している。しかし、現在までの大循環モデルの格子間隔は200~300kmであり、空間スケールの小さい集中豪雨や台風の振る舞いを忠実に再現できていないのが現状である。従って、現在では、集中豪雨や台風等の長期的傾向に関する主な情報源は、過去の観測データの解析である。

今後、最大級の集中豪雨や台風等の激しさが増すようなことがあると、河川堤防等の公共工事の設計基準を見直すことが必要になる。過去の確率分布から導かれる再現期間の強度（例えば100年間に1回の発現確率の大雨）に耐えられるように設計基準が決めているので、降雨強度や台風の暴風の激化傾向が予測されるならば、設計基準の見直しが必要となる。

このように災害を引き起こす天気現象の長期変化傾向は社会的にも重要問題であるが、研究しようとする、後述するように、種々の障害を克服せねばならなかった。その本格的な研究は1990年代にはいつてからやっと始まったばかりである。

2. 気象災害の長期変化傾向

国連は自然災害の軽減・防止のために、「国際防災の10年」(International Decade for Natural Disaster Reduction, 略称, IDNDR)を1990年に発足させた。1967年以降最近までの全世界の災害の被害者数は、年々の著しい変動があるものの長期的に明らかに増加していると報告されており¹⁾、また、自然災害全体(火山噴火・地震・津波等をも含む)のうち、天気現象(熱帯性低気圧・洪水・温帯低気圧・寒波と熱波及び干ばつ)による被災者数の占める割合は95%以上に達し、死者数は65%以上である¹⁾。Bruce²⁾の引用したドイツの保険会社の調査結果では、嵐による被害額及び損害保険金の支払いは、年代毎に明らかに増加している。

気象庁³⁾の行なった統計では、わが国における気象災害の被害者数は、1970年代以降の20数年間では増加傾向は認められない。他方、今世紀の始めまでさかのぼった米国の現象別の統計結果によると、米国本土のハリケーンによる被害額は著しく増加してきた⁴⁾。ま

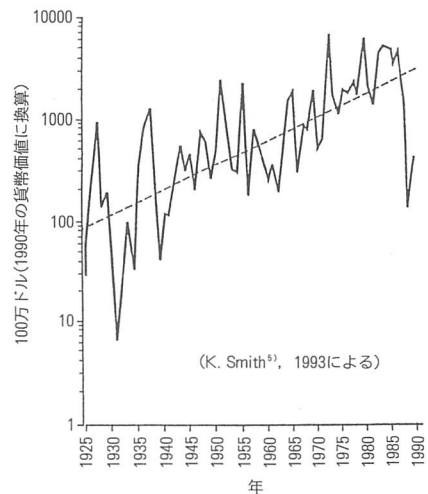


図-1 米国での洪水による年間被害額の推移

* 京大名誉教授

〒615-0054 京都市右京区西院月双町111-1013 (自宅)

た、Smith⁵⁾から再録した図-1で示されているように、1925年以降の米国における洪水による年間被害額は、明らかな増加傾向を示している。

しかし、被害額の増加傾向から、集中豪雨や熱帯性低気圧等の天気現象そのものの激しさや頻度が増加していると直ちに判断することはできない。被害を受ける人間社会の構造変化が被害総額に影響していることが明らかであり、特に大都市への人口集中が最大要因だとされている⁶⁾。その他、報道網が世界規模で充実して辺鄙な地域の災害が記録されるようになったことも、災害統計結果の増加の一因だとの意見も否定できない。しかし、激しい天気現象それ自体の規模や発生頻度の変化はまだ十分正確に把握されていないので、その研究を進めることは重要である。

3. 集中豪雨の長期的激化傾向

気象災害の長期変化傾向は古くからの課題である。1980年代に、英国王立気象学会の月刊誌Weatherの誌上で「大雨の発生が昔に比べて最近では頻繁になったのではないか」との問題が出された。それまで英国のSussex地方では日降水量が100mmを越すようなことは滅多に起こらなかった。1か所の30年間の観測データを用いて計算した結果では、1000年に1回の発現確率の大雨は日雨量にして約90mmであった。しかし、この地方で約100mmの日降水量の大雨が、1980年9月から翌年1981年6月までの僅か10か月間に実際に4回も発生した⁷⁾。このように「統計がうそをつく」ことになったのは、再現期間の算定に用いたデータセットの標本サイズが小さいために、結果の信頼度が極めて低いことに起因している。

日降水量の年最大値のデータを統計解析すれば、最大級の集中豪雨の長期傾向の検出を試みることができる。しかし、標本サイズを十分に大きくする何らかの工夫が必要である。さらに、年最大値のような極値の統計に対して、通常用いられる正規分布の適合しないことも看過できないことである。

筆者ら⁸⁾は、non-parametricな方法により、この問題に挑戦した。取り上げたのは、複数の観測点における100年間における最大日降水量の発現時期のデータであり、次のような作業仮説を設定した。「各観測点での最大値の発現時期の頻度が年代と共に増加(減少)している場合、最大級の激しさが長期的に増加(低下)している。逆もまた正しい」。実際に採用したデータは、100年間の第1位の最大値の他に第2位、

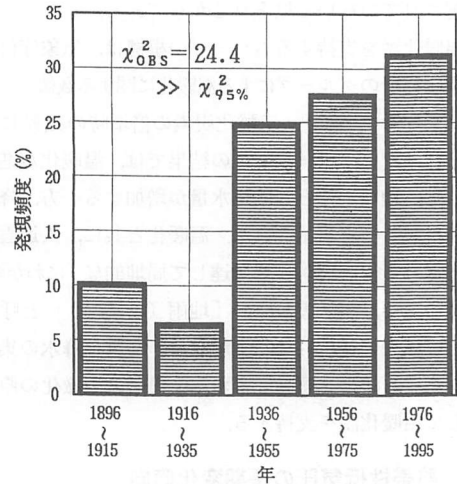


図-2 日本の30か所の観測所における過去100年間の日降水量の最大値(第1位~第4位)の発現時期の頻度分布⁸⁾

第3位及び第4位の最大値である。このように第4位の最大値まで採用した理由は、極値統計で検出の困難が予想される誤りのデータの影響を、少しでも軽減するためである。

日本全国の30の気象台や測候所の100年間(1896~1995)のデータを統計処理して、最大値の発現頻度が1936年以降の各20年間では1935年以前の2倍以上であるとの結果を得た(図-2)。その結果、日本各地の日降水量の最大級の強さが、1896~1935年に比べて1936年以降では明らかに増加したことが結論できた。上記の作業仮説の正当性は、データの相互独立性を前提として、Monte Carlo法によって確認されている⁹⁾。最大級の豪雨の強さの量的変化を把握するために、正規分布とは異なるGumbel分布¹⁰⁾を利用して50年の再現期間に対する日降水量を求めた。その結果は、東京では1935年以前の約240mmからそれ以後の約270mmに増加し、宮崎では約370mmから約420mmに増加している¹¹⁾。

集中豪雨の最大級の激化の原因として、地球温暖化説が最有力である。この推測には複数の根拠があり、その1つは昇温の事実である。日本の田園地帯にある11観測所でのデータから求めた平均気温は、1896年~1935年の間の12.6℃に対して1936年~1995年の13.1℃に温暖化していることが判った。この昇温は日本全域の平均的状況を示していると見てよい。その理由は、これらの観測所は全て人口10万人以下の市町村(1992年現在)にあり、そこでは局地的ヒートアイランドに

影響されていないと見られるからである。

温暖化説を支持するもう一つの根拠は、気象庁付属気象研究所のグループによる温暖化に関する数値シミュレーションである¹²⁾。二酸化炭素の倍増時の気候に関する数値シミュレーションの結果では、温暖化が進行すると、地球全体として降水量が増加する一方、降水面積は減ることが示された。温暖化と共に、入道雲に代表される対流雲が一層発達して局地的な「にわか雨」が増えるが、層状雲からの「地雨（ちあめ）」と呼ばれる広域での連続的な降水が減る。これは降水の集中性が高まることを意味しており、集中豪雨激化の原因として温暖化説を支持する。

4. 熱帯性低気圧の長期変化傾向

地球温暖化に伴って台風等の熱帯性低気圧の活動がどのように変化するかは、科学的にも社会的にも大きい関心事である。熱帯性低気圧の発生は、海面水温が27℃以上の熱帯海洋上に限られているという衆知の事実から推測して、地球温暖化に伴う海面の昇温を通じて台風活動の活発化が懸念される。

この種の問題に関する最初の論文はEmanuel¹³⁾によるものであった。彼は台風内の空気の流れを熱機関としてモデル化し、議論を進めた。空気は大気下層を渦を巻きながら台風中心へ吹き込んでいるが、その途中で比較的高温状態の空気は海面から加熱される。その後、空気は中心付近で上昇して断熱膨張のために低温となる。上層に達した空気は、赤外線の放射を通じて冷却する。このような熱機関としての台風の最大可能な勢力は、地球温暖化に伴う海面水温上昇と共に増強するというのが、Emanuelの結論であった。

Emanuelの単純な熱機関モデルは、台風の複雑な諸過程の本質を見失っているのではないかの疑問が出された。1993年に開催された国際シンポジウム「全球的気候変動と熱帯性低気圧」で、この問題が本格的に議論された。Lighthillら¹⁴⁾はこの会議の議論を次のように要約している。「温暖化に伴う熱帯海面水温の上昇により、熱帯性低気圧が多少とも影響されることは、疑問の余地がない。しかし、熱帯性低気圧の諸過程の複雑さを考慮すると、温暖化と熱帯性低気圧の活発化とを単純に関係付けることはできない。また過去のデータの解析結果では、熱帯性低気圧の発生数や強度等に対する地球温暖化の影響は、著しい年々変化の中に埋没している。」

台風の勢力と海面水温との関係に関する最近の研究

は、Emanuel理論を支持する事実を明らかにしている^{15, 16)}。それらの研究では、多数の台風について、その勢力の程度を表す中心気圧と海面水温との関係の統計解析を行なった。同じ海面水温に対して、個々の台風の中心気圧は著しくばらついているが、中心気圧を減少する順序（勢力の増加する順序）にデータを並べたパーセントイル解析で、興味ある事実が認められた（図-3¹⁵⁾）。50パーセントイルの中心気圧と海面水温との間にはそれほど明白な関係は認められないという結果はLighthillら¹²⁾の報告と一致している。他方、最大級の勢力を表す95パーセントイルの中心気圧は、25℃の水温で約960hPaであるのに対して、水温28℃では920hPaであり、明らかにEmanuel理論¹³⁾を支持する。ハリケーンに関する同様な統計結果は、DeMaria & Kaplan¹⁷⁾により報告されている。

地球温暖化に伴って熱帯海洋の海面水温の上昇が不可避と考えられるので、このような海面水温との間の明白な関連性は、温暖化時の台風の最大級の勢力の増強を示唆するものである。

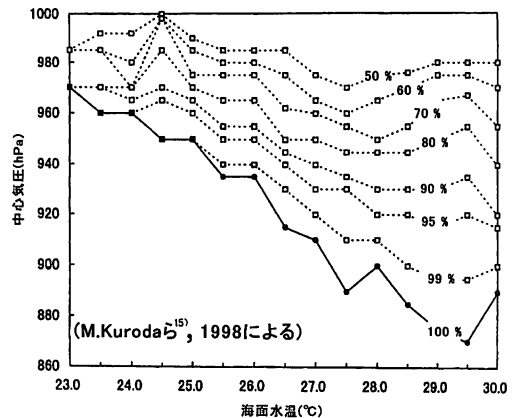


図-3 北西太平洋での台風に関して、海面水温に対する中心気圧のパーセントイル解析結果。

5. 結語

地球温暖化に伴って、集中豪雨や台風の動向がどのように変化かという問題を取り上げた。観測データ解析による最近の研究結果に基づき、最大級の災害気象の激化の懸念が濃厚であることを示唆した。

地球温暖化に関する気候の数値シミュレーションに用いられてきたモデルが、最近のコンピュータの発達により改善されてきた。二酸化炭素倍増時には、集中豪雨の激しさが増加傾向を持つことが、気候のシミュ

レーションの出力に示されているが、未だ、定量的一致には程遠い状況である。

最近、空間解像度の著しく改善された数値モデル(約40kmの格子間隔)を用いて、台風の動向に関する数値シミュレーションの結果が報告された。従来のモデル(約300kmの格子間隔)では、シミュレーションの出力における最低中心気圧が957hPa程度であり、実際に観測されている値870hPaとは差異があまりにも大きかった。格子間隔が約1/10に改善されたHamiltonら¹⁸⁾の高分解能モデルでは905hPaの最大勢力が得られた。さらに、格子間隔を狭めるなど改善されたモデルが利用可能な時には、観測事実に近い結果が得られると期待される。研究がそのような段階に到達した時には、21世紀の気象災害の動向に関するシナリオを描くことができるだろう。

引用文献

- 1) Obasi, G. O. P. : WMO's role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. Bull. Amer. Met. Soc., vol.75 (1994), 1655-1661.
- 2) Bruce, J. P. : Natural disaster reduction and global change. Bull. Amer. Met. Soc., vol.75, (1994) 1831-1835.
- 3) 気象庁 (1994) : 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し (v). 大蔵省印刷局444頁.
- 4) Goss, E. G. : The hurricane dilemma in the United States. Episodes, vol.14, (1991) 36-45.
- 5) Smith, K. : Riverine flood hazard. Geography, vol.78 (1993), 182-185.
- 6) Carlowitz, M. : Natural hazards need not lead to natural disasters. EOS Transactions, American Geophys. Union, vol.77, (1996), 149-153.
- 7) Potts, A. S. : A preliminary study of some recent heavy rainfalls in the Worthing area of Sussex. Weather, vol. 37 (1982), 220-227.
- 8) Iwashima, T. and Yamamoto, R. : A statistical analysis of the extreme events : Long-term trend of heavy daily precipitation. J. Meteor. Soc., Japan, vol.71, (1993) 637-640.
- 9) Yamamoto, R. : Validation of the method of detecting long-term trend of extremely heavy rain-fall by using the Monte Carlo method. J. Meteor. Soc., Japan, vol.74, (1996), 387-391.
- 10) Yamamoto, R., Sakurai, Y. : Long-term intensification of extremely heavy rainfall in recent 100 years. To be presented at 9th Global Warming International Conference at Hongkong, June 8-11, 1998.
- 11) Gumbel, E. J. (1958) : Statistics of Extremes. Columbia Univ. Press, 375 pp.
- 12) Noda, A., Tokioka, T. : The effect of doubling the CO₂ concentration on convective and non-convective precipitation in a general circulation model coupled with a simple mixed layer ocean. J. Meteor. Soc., Japan, vol.67, (1989), 1055-1067.
- 13) Emanuel, K. A. : The dependence of hurricane intensity on climate. Nature, vol.326, (1987), 483-485.
- 14) Lighthill, J., Holland, G., Gray, W., Landsea, C., Craig, G., Evans, J., Kurihara, Y., Guard, C. : Global climate change and tropical cyclones. Bull. Amer. Meteor. Soc., vol.75 (1994), 2147-2157.
- 15) Kuroda, M., Harada, A., Tomie, K. : Some aspects on sensitivity of typhoon intensity to sea-surface temperature. Journ. Meteor. Soc., Japan, vol.76 (1998), 145-151.
- 16) Baik, J.-j., Pack, J.-S. : A climatology of sea surface temperature and the maximum intensity of western north Pacific tropical cyclones. Journ. Meteor. Soc. Japan, vol.76, (1998), 129-137.
- 17) DeMaria, M., Kaplan, J. : Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones. J. Climate, vol.7, (1994), 1324-1334.
- 18) Hamilton, K. and R. S. Hemler : Appearance of a supertyphoon in a global climate model simulation. Bull. Amer. Meteor. Soc., vol.78 (1997), 2874-2876.

