

米国の原子力発電所周辺地域の暴風雨等による被害状況調査

Investigation of Damages by Deadly Weather Conditions to Areas of Surrounding NPPs in USA

須山 健 (Takeshi Suyama) *1

要約 地球の気候変動により台風、竜巻、強風などによる暴風雨（暴風雪）の規模は年々増大の傾向であり、今後も増大することが予想される。日本の原子力発電所では原子力規制委員会の「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に基づき、例えば風速 100m/s の強風および竜巻による飛来物を受けても原子力発電所の安全性に影響がないことを確認している。しかし原子力発電所の安全性を確保しても、発電所周辺に暴風雨等が直撃すると居住地域や生活基盤に影響が出て、発電所で働く人やその家族の生活に支障をきたし、原子力発電所の運営にも影響を与える可能性がある。そこで、今後わが国でも台風、竜巻、強風などの規模が増大すると仮定して、それらの規模が日本より大きく、災害の状況が比較的詳しく公表される米国を対象として、その原子力発電所付近の被害状況を調査することにより、今後の気候変動による我が国の原子力発電所周辺への影響を、より現実的に調べることにした。

調査対象は、最近米国で発生したハリケーン 2 事象、竜巻 2 事象、デレーチョ 1 事象、冬の嵐 1 事象およびノーイスター 1 事象として、これらの公開情報を調査した。結果として、米国並みの大規模なハリケーンや竜巻等が我が国の原子力発電所周辺に直ちにすることは考えにくいだが、これらの公開情報は、我が国の原子力発電所周辺の被害状況を今後の気候変動に備えて想像する手段として有効であることが確認できた。

キーワード 暴風雨, ハリケーン, 竜巻, 居住地域

Abstract The scale of deadly weather conditions such as heavy rain storms, snow storms, cyclones, tornados and strong winds caused by climate change on earth is increasing yearly and it is expected to continue to increase. Japanese nuclear power plants (NPPs) are designed to survive assumed wind speeds of 100 m/s by typhoons, tornados, etc. to satisfy the Japanese Nuclear Regulation Authority's Guideline for evaluation of influence by tornados, and the safety of NPPs is expected. But even though their safety is assured, if deadly weather conditions hit areas surrounding NPPs directly, residential areas and infrastructures are influenced. The dairy life of employees of NPPs and their families could be threatened, and operation of NPPs could be influenced.

To prepare for dealing with the increase in scale of deadly weather conditions in Japan, this paper investigated the situation in the USA. The USA was chosen because detailed information about damages caused by storms, tornados, etc. is available in open records and the scale of the damages is relatively greater than in Japan. By using the information from the USA, it was expected that the influence on areas surrounding Japanese NPPs due to climate change can be predicted more realistically.

Information about recent US weather events, two hurricanes, two tornados, one derecho, one winter storm, and one nor'easter were chosen as targets. Information collection like this investigation was concluded to be an effective means to imagine damages to areas surrounding Japanese NPPs in preparation for the future climate change, even though it cannot be considered that such deadly weather conditions will soon come to Japan.

Keywords deadly storm, hurricane, tornado, residential areas

1. はじめに

地球の気候変動により台風、竜巻、強風などによる暴風雨（暴風雪）の規模は年々増大の傾向であり、今後も増大

することが予想される。日本の原子力発電所では原子力規制委員会の「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」⁽¹⁾に基づき、例えば風速 100m/s の強風および竜巻による飛来物を受けても原子力発電所の安全性に影響がないことを確

* 1 (株) 原子力安全システム研究所 技術システム研究所

認している。しかし原子力発電所の安全性を確保しても、発電所周辺に暴風雨等が直撃すると居住地域や生活基盤に影響が出て、発電所で働く人やその家族の生活に支障をきたし、原子力発電所の運営にも影響を与える可能性がある。

そこで、今後わが国でも台風、竜巻、強風などの規模が増大すると仮定して、それらの規模が日本より大きく、災害の状況が比較的詳しく公表される米国を対象として、その原子力発電所付近の被害状況を調査することにより、今後の気候変動による我が国の原子力発電所周辺への影響を、より現実的に調べることにする。

調査対象は最近米国で発生したハリケーン2事象、竜巻2事象、デレーチョ1事象、冬の嵐1事象、ノーイスター1事象とした。

2. 台風、ハリケーン

2.1 我が国の原子力発電所周辺の風速

我が国の原子力発電所のうち、いくつかの発電所周辺における2023年5月10日時点での過去の最大瞬間風速は、気象庁の公表した数値によれば以下の表1のとおりである⁽²⁾。

ここで、最大瞬間風速は「風速計の測定値(0.25秒間隔)を3秒間平均した値(測定値12個の平均値)の最大値」と定義される⁽³⁾。

表1 発電所周辺における過去の最大瞬間風速

| 観測地点(読み仮名) | 風速 ^(*) | 発生日時 |
|---------------|---------------------|-------------|
| 北海道 神恵内(カモイ) | 34.2 | 2012年12月6日 |
| 北海道 余市(ヨイ) | 32.0 | 2018年9月5日 |
| 北海道 共和(キョウ) | 35.6 | 2016年3月1日 |
| 北海道 寿都(スツ) | 53.2 | 1954年9月26日 |
| 福井県 敦賀(ツルガ) | 47.9 | 2018年9月4日 |
| 福井県 美浜(ミハマ) | 35.4 | 2016年4月7日 |
| 福井県 小浜(オハマ) | 38.8 | 2017年10月23日 |
| 京都府 舞鶴(マイヅル) | 51.9 | 2004年10月20日 |
| 愛媛県 長浜(ナガハマ) | 30.4 | 2022年3月26日 |
| 愛媛県 大洲(オス) | 26.2 | 2020年3月19日 |
| 愛媛県 宇和(ウ) | 30.2 ^(*) | 2020年1月27日 |
| 長崎県 松浦(マツウラ) | 35.0 | 2020年9月7日 |
| 佐賀県 唐津(カツ) | 44.1 | 2022年9月18日 |
| 佐賀県 伊万里(イマリ) | 34.4 | 2020年9月2日 |
| 鹿児島県 阿久根(アクネ) | 54.0 | 1965年8月6日 |

| | | |
|-----------------|------|------------|
| 鹿児島県 川内(セグアイ) | 45.0 | 2015年8月25日 |
| 鹿児島県 東市来(ヒガシイキ) | 36.8 | 2015年8月25日 |

^(*) 風速は最大瞬間風速、単位はm/s。

⁽²⁾ 宇和よりも原子力発電所からさらに約20km離れた宇和島では、1964年9月25日に台風として観測史上第7位の72.3m/sを記録⁽⁴⁾したが、発電所付近から遠いと考えて除外した。

最大瞬間風速については、表1の17地点のうち2地点を除いて21世紀の記録、8地点がデータを確認した2023年5月10日から5年以内の記録である。

また、表1の17地点のうち11地点が40m/s未満、3地点が40m/s台、3地点が50m/s台であり、最大は54.0m/sである。

2.2 米国のハリケーンの風速の考え方

米国のハリケーンは、台風やサイクロンと現象としては同じものであるが、北東太平洋または北大西洋で発生した時にはハリケーン、北太平洋で発生した時には台風、北インド洋で発生した時にはサイクロンと呼ばれ、発生地域により名称が異なり、局所的に発生する激しい風のうず巻きである竜巻とは区別される⁽⁵⁾。

ハリケーン等の風速については、米国気象学会(AMS, American Meteorological Society)によれば、通常1分間の平均で表される⁽⁶⁾が、20秒未満の最大瞬間風速をgustと記載して用いることもある⁽⁷⁾。風速の測定方法や測定間隔について、日米の相違は確認できていないが、仮に同じ測定方法かつ同じ測定間隔の風速データの1分間平均とその1分間の中の3秒間の平均を比較する場合は、3秒間の平均風速の最大値が1分間の平均風速以上となる。

この理由としては、背理法を用いるのがわかりやすい。特定の観測期間においてある1分間の区間を抽出し、その1分間の風速を3秒ごとに20等分したとすると、20個の3秒間平均風速を加算して20で割った値が1分間の平均風速となる。しかし3秒間の平均風速の最大値が1分間の平均風速よりも小さい場合は、最大値以外の3秒間の平均風速はすべて1分間の平均風速より小さくなり、20個の3秒間平均風速を加算して20で割った値も元の1分間の平均風速より小さくなり矛盾する。したがって、3秒間の平均風速の最大値が1分間の平均風速を下回ることはない。

なお、1分間の風速が一定であったり、3秒ごとの風速20個分がすべて正弦波の1周期であったりする時は、3秒

間の平均風速の最大値が 1 分間の平均風速と同じ値になる。

2.3 2021年のハリケーンアイダによる被害

2021年8月26日に発生したハリケーンアイダは、8月29日にルイジアナ州に上陸し、上陸後の最大風速(1分間平均)は150mph (miles per hour) (67m/s)を記録し⁽⁸⁾、その影響でルイジアナ州にあるウォーターフォード原子力発電所3号機が外部電源を喪失した⁽⁹⁾。これにより、周辺地域を含めて人体や環境への影響が生じたという報告は確認できていない。この時のウォーターフォード原子力発電所付近の被害状況を調査した結果を以下に記述する。

ウォーターフォード発電所はルイジアナ州の南側、ミシシッピ川沿いのメキシコ湾に近いところに立地し、セントチャールズ郡(パリッシュ)キロナにある。東側へ数十km離れたところにはニューオーリンズがあり、発電所の周辺は平坦な地形で海拔は15m未満である⁽¹⁰⁾。ハリケーンアイダの進路と風速については、米国の雑誌The Advocateによれば、地図で見る限りハリケーンがウォーターフォード発電所から10km以内に接近⁽¹¹⁾しており、周辺のgust風速(20秒未満の最大瞬間風速)は122mph (54.5m/s)~138mph (61.7m/s)を記録している。

被害状況については、前述のThe Advocateによれば、ポートフォーションに上陸する際のgust風速(20秒未満の最大瞬間風速)は172mph (76.9m/s)であり、米国CNNの動画⁽¹²⁾から上陸時の強風の凄まじさと、この強風により歩行も困難である様子がわかる。セントチャールズにおけるハリケーン通過時の動画は発見できなかったが、ハリケーンの通過から72時間後の被害状況では、家屋の著しい損傷や大木の倒壊を確認できた⁽¹³⁾。セントチャールズから南に約40km離れたラックポートの動画では住宅の屋根が剥がれたり、電柱が倒れたりする様子が撮影されており⁽¹⁴⁾、セントチャールズでも同程度の状況であったと推定される。

2.4 2022年のハリケーンイアンによる被害

2022年9月23日に発生したハリケーンイアンは、9月28日にフロリダ州に上陸し、上陸後の最大風速(1分間の平均)は160mph (71.5m/s)を記録した⁽¹⁵⁾。フロリダ州のセントルーシー原子力発電所への影響や周辺地域を含めて人体や環境への影響が生じたという報告は、公表された情報からは確認できていない。この時のセントルーシー原子力発電所付近の被害状況を調査した結果を以下に記述す

る。

セントルーシー発電所はフロリダ州南東部のセントルーシー郡ポートセントルーシーにあり、フロリダ半島から幅数km程度の海を隔てたバリアー島(Barrier island, 細長く狭い主に砂や礫でできた島)であるノースハッチンソン島およびサウスハッチンソン島のうちノースハッチンソン島にある⁽¹⁶⁾。発電所の周辺は平坦な地形で海拔は20m未満である⁽¹⁷⁾。ハリケーンイアンの進路と風速については、FOX35(フロリダ州オーランドにあるテレビ局)の提供する動画⁽¹⁸⁾によれば、9月28日(水)のPM8:00に125mph (55.9m/s)であった風速は12時間後にはさらに70mph (31.3m/s)まで低下しており、ハリケーン中心部はポートセントルーシーから150km程度またはそれ以上離れていることから、セントルーシー発電所は強風の直撃は受けなかったと考えられる。これらの風速は、動画の音声から20秒未満の最大瞬間風速(gust)と推定される。

別の動画では、西側に上陸した際の海岸付近の強風の様子⁽¹⁹⁾、浸水の様子⁽²⁰⁾、ハリケーン通過後のボートの陸への乗り上げ、木々の倒壊、家屋や道路の損壊⁽²¹⁾が確認できる。セントルーシー郡を含むフロリダ州東海岸のトレジャーコーストの新聞TC Palmでは、ポートセントルーシーから約10km北側のフォートピアースにおいてボートが沈んでいる様子などを示しており⁽²²⁾、ポートセントルーシーにおいても想像以上の強風であったと推定される。Yahooでは、ハリケーン通過後のセントルーシー郡の木々の倒壊、道路標識の損傷、道路の浸水の様子などを写真で示している⁽²³⁾。

2.5 米国のハリケーンから得た知見

ハリケーンアイダとハリケーンイアンの被害状況の記録からだけでは、それぞれの被害状況の全貌を把握することは容易ではないが、被害状況の記録を多く集めることにより、被害の全貌をより正確に想像することが可能となる。

このような大規模のハリケーンが我が国の原子力発電所周辺に直ちにすることは考えにくい、今後の気候変動に備えて、この規模の暴風雨に見舞われた場合に、我が国の原子力発電所周辺に実際に存在する木々、家屋、電線などがどのようなようになるのかあらかじめ想像しておくことはリスク管理として有効である。

3. 竜巻

3.1 藤田スケールについて

竜巻等の強さについては、建物等の被害状況から風速を

推定し、風速によって竜巻の規模を示す「藤田スケール」が用いられているため、藤田スケールの変遷等を理解することが重要である。これらは、「日本版改良藤田スケールに関するガイドライン（平成27年12月）」（以下、「藤田スケールガイドライン」という。）⁽²⁴⁾に詳しく記載されており、以下にその概要を示す。

「藤田スケールガイドライン」の p.3「表1」においては、Fujita(1971)により考案された、竜巻やダウンバーストなどの風速を、建築物等の被害状況から推定する「藤田スケール」に対して、日本向けに解説を加えた「藤田スケール（藤田1973）」が示されている。以下の表2に「藤田スケール（藤田1973）」の階級と風速を示す。

表2 「藤田スケール（藤田1973）」の階級と風速

| 階級 | 風速 |
|----|-------------------------|
| F0 | 17~32m/s (約15秒間の平均) |
| F1 | 33~49m/s (約10秒間の平均) |
| F2 | 50~69m/s (約7秒間の平均) |
| F3 | 70~92m/s (約5秒間の平均) |
| F4 | 93~116m/s (約4秒間の平均) |
| F5 | 117~142m/s (約3秒間の平均) |

「藤田スケールガイドライン」p.4によれば、「藤田スケール（藤田1973）」は「被害状況と風速の対応が十分に検証されていない」などの課題があったため、米国では2006年に「改良藤田スケール」（Enhanced Fujita scale, 以下「EFスケール」という。）が策定され(McDonald and Mehta 2006), 2007年から米国気象局により運用されている。EFスケールを表3に示す⁽²⁵⁾。

表3 「EFスケール」の階級と風速

| 階級 | 風速 (3秒間の平均) |
|-----|---------------------------------|
| EF0 | 65~85mph (29.1m/s~38.0m/s) |
| EF1 | 86~110mph (38.4m/s~49.2m/s) |
| EF2 | 111~135mph (49.6m/s~60.4m/s) |
| EF3 | 136~165mph (60.8m/s~73.8m/s) |
| EF4 | 166~200mph (74.2m/s~89.4m/s) |
| EF5 | 200mph 超過 (89.4m/s 超過) |

「藤田スケールガイドライン」p.7によれば、日本国内で発生する竜巻等突風の強さをよりの確に把握できるようにするため、米国のEFスケールを参考にしつつ、最新の風工学の知見を取り入れて日本版改良藤田スケール（Japanese Enhanced Fujita scale, 以下「JEFスケール」という。）が策定された。また、「藤田スケールガイドライン」p.9によれば、JEFスケールの階級と風速の対応については、藤田スケール（藤田1973）とJEFスケールの統計的な継続性を持たせるため、現象のスケールの評価結果が両スケールでできる限り同じ階級となるように決定された。「藤田スケールガイドライン」p.10およびp.11の表3に示す「JEFスケール」と風速の関係を表4に示す。

表4 「JEFスケール」の階級と風速

| 階級 | 風速 (3秒間の平均) |
|------|-------------|
| JEF0 | 25m/s~38m/s |
| JEF1 | 39m/s~52m/s |
| JEF2 | 53m/s~66m/s |
| JEF3 | 67m/s~80m/s |
| JEF4 | 81m/s~94m/s |
| JEF5 | 95m/s |

藤田スケール、EFスケール、JEFスケールの統計的な継続性については、「藤田スケールガイドライン」の付録C「日本版改良藤田スケールの階級と風速の対応の決定方法」において示されている。

3.2 竜巻の規模について日米の比較

「藤田スケールガイドライン」の p.3, p.4によれば、我が国で確認された竜巻の最大のスケールはF3 (=JEF3) であり、スケールが特定できなかった現象を除いて2007年から2014年に発生が確認された竜巻等突風は、F3が1件、F2が5件、F1が97件、F0が379件、F0未満が172件である。「日本版改良藤田スケール導入後の評価状況」⁽²⁶⁾の p.5によれば、2016年4月から2022年12月の「突風発生確認数」は、JEF3が1件、JEF2が10件、JEF1が70件、JEF0が211件、JEF0未満が5件、不明が95件である。

米国で過去に発生した竜巻は、EF5相当については気象庁が2件（1925年3月18日に、ミズーリ州、イリノイ州、インディアナ州の3州にまたがって移動した竜巻、および2011年5月22日に、ミズーリ州で発生した竜巻）を掲載⁽²⁷⁾している。EF4については、2020年1月1日から2023年5月10日までに、2020年に6件、2021年に4件、

2022年に4件、2023年に2件発生している⁽²⁸⁾。EF3相当以上については、アリゾナ大学の資料によれば2005年から2021年において年ごとに発生件数のばらつきはあるものの、年平均31.6件発生しているとしている⁽²⁹⁾。

以上から、日米で国土の面積に大きな差はあるものの、我が国では今までJEF4相当以上の竜巻を確認した例はなく、JEF3相当についても2007年から2014年に1件、2016年4月から2022年12月に1件であることから、発生している竜巻の規模は米国の方が大きいと考えられる。

竜巻の発生確認数については、気象庁のホームページによれば、「日本では、平均して年に25個程度、竜巻の発生が確認されています(2007~2015年、海上竜巻を除く)。米国では、年平均で約1,300個(2004~2006年の統計)もの竜巻が確認されていますが、単位面積に換算すると日本での竜巻の発生確認数は米国の半分程度で決して少ないとは言えません。」とのことである⁽³⁰⁾。

3.3 日本の原子力発電所で想定する竜巻

日本の原子力発電所では原子力規制委員会の「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」⁽¹⁾に基づき、表2に示す「藤田1973」のF3の風速(70~92m/s)から、例えば風速100m/sの強風および竜巻を想定し、竜巻による飛来物を受けても原子力発電所の安全性に影響がないことを確認しているが、100m/sを想定する場合は、JEF5に相当する非常に保守的な風速を想定していることになる。

3.4 2021年12月10日の竜巻による被害

2021年12月10日深夜から11日未明にかけて、米国の中部・南部を複数の竜巻が襲った。ケンタッキー州など少なくとも8州で、50以上の竜巻が確認され、米国で発生した竜巻のうち、2023年5月10日時点でその10年以内に発生した竜巻では最大規模と考えられる⁽³¹⁾。この竜巻を含めて、米国で2020年1月1日から2023年5月10日までに発生したEF4の竜巻⁽²⁸⁾の地区名とその地区から最も近い位置にある原子力発電所の距離を地図上で確認したが、少なくとも40~50km以上は離れているものと考えられる。この竜巻による原子力発電所への公表された影響は確認できなかった。竜巻は局所的な現象であるため、原子力発電所から40~50km以上離れた地点を通過する竜巻が原子力発電所の周辺に影響を与えることは考えにくい。

竜巻後の被害状況としては、家屋やその他の建物の大破、大きく変形した自動車、電柱の倒壊、倒木、横転した列車

などを撮影した記録はある⁽³²⁾が、夜間に発生したため見通しが悪いこともあり、竜巻による強風をリアルタイムで撮影した記録は確認できなかった。

3.5 2023年3月下旬の竜巻による被害

2023年5月10日時点で最も至近に発生したEF4の2件の竜巻のうち、2023年3月24日に発生した竜巻は、ミシシッピ州の3地区でEF4規模が観測された⁽²⁸⁾。被害状況としては、夜間の発生ではあるが車中から強風や雷の様子を中継したり、家屋の大破、倒木、車の損傷を撮影したりした記録が確認できた⁽³³⁾⁽³⁴⁾。これ以外に校舎内に強風が浸入してきた時の動画も確認できた⁽³⁵⁾。

2023年3月31日に発生した竜巻は、アイオワ州の2地区でEF4規模が観測された⁽²⁸⁾。被害状況としては、日中の発生であるため見通しがよく、車中から遠方の竜巻を動画で中継したり⁽³⁶⁾、大破した家屋や車を撮影したり⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾した記録が確認できた。

これらの竜巻による原子力発電所への影響について、公表された情報は確認できなかった。

3.6 米国の竜巻被害状況から得た知見

2021年12月10日および2023年3月下旬の被害状況の記録からだけでは、それぞれの竜巻の規模の大小関係を比較することは必ずしも容易ではないが、被害状況の記録を多く集めることにより、被害の大きさをより正確に想像することが可能となる。

このような大規模の竜巻が我が国の原子力発電所周辺に直ちに来ることは考えにくいだが、この規模であっても我が国の原子力発電所で想定している竜巻よりも規模は小さい。この規模の竜巻が発電所周辺の居住地域に來たととしても、被害がどれほど大きくなるのか、あらかじめ想像しておくことはリスク管理として有効である。

4 デレーチョ

4.1 デレーチョについて

デレーチョ(Derecho)は、真つすぐ1方向に進行し、240mile(386km)を超える範囲に渡って58mph(25.9m/s)以上のgust風速(20秒未満の最大瞬間風速)を有する現象と定義されている⁽³⁹⁾。

北米(米国、カナダ)における発生件数としては、2010年以上は毎年1件以上の発生が確認されており、最近では

2020年に7件、2021年に1件、2022年に4件、2023年（5月10日時点）に1件の発生が確認されている⁽⁴⁰⁾。次項では、2020年8月10日に発生したデレーチョに関して調査した結果を記載する。

4.2 2020年8月のデレーチョによる被害

2020年8月10日に発生したデレーチョはアイオワ州の中央部を通過して、東側に移動した⁽⁴¹⁾が、この日にアイオワ州のデュアンアーノルド原子力発電所では強風により外部電源が喪失した⁽⁴²⁾。周辺地域を含めて人体や環境への影響が生じたという報告は確認できていない。20秒未満の最大瞬間風速の最大値が観測された地点は、デュアンアーノルド発電所から20km弱離れたシーダーラピッツの140mph (62.6m/s)、2番目に大きな値を観測した地点は、シーダーラピッツの北東側に隣接して発電所から20km弱離れたマリオンの130mph (58.1m/s)と記録されており⁽⁴³⁾、居住地にハリケーン並みの強風が襲来している。強風による被害状況としては、トモロコシ畑の壊滅、家屋やその他施設の損傷、電波塔の倒壊などの写真、木が倒れるまでの動画⁽⁴⁴⁾、暴風雨の凄まじさを撮影した動画⁽⁴⁵⁾⁽⁴⁶⁾などが確認できた。暴風雨以外に直径1~2インチのひょうも降ったことが確認されている⁽⁴⁷⁾。

デレーチョという現象が我が国に発生することは極めて考えにくい、この規模の強風が原子力発電所周辺に来た場合に何が起こるのか、あらかじめ想像しておくことはリスク管理として有効である。

5 2022年12月の冬の嵐

米国では、冬季に雪や冷たい雨を伴う大規模な嵐が発生することがある。以下は、冬の嵐のうち2022年12月21日から26日にかけて米国の大多数の地域に影響を与えた⁽⁴⁸⁾冬の嵐を調査した結果を示す。

この冬の嵐によって、デビスベッセ原子力発電所は取水側の水位が低下したため一時的に原子炉の停止が必要な状態となり⁽⁴⁹⁾、セーラム原子力発電所2号機は蒸気発生器の差圧の異常により原子炉が自動トリップした⁽⁵⁰⁾。周辺地域を含めて人体や環境への影響が生じたという報告は確認できていない。

デビスベッセ原子力発電所は米国五大湖のうちエリー湖の西南側に位置し、オハイオ州のオタワ郡キャロルに属し、オークハーバーなどの居住地から北側に約10kmの距離にある。冬の嵐の状況としては、デビスベッセ発電所から西に約40km離れたトリードの動画が公表されて

おり、音声は聞こえないが嵐の激しさが伝わる⁽⁵¹⁾。この冬の嵐の20秒未満の最大瞬間風速は79mph (35.3m/s)⁽⁴⁸⁾と前述の2020年8月10日のデレーチョに比べて弱いが、冬季特有の吹雪により屋外は過酷な状況となっている。

なお、デビスベッセ発電所から東側に約400km離れておりエリー湖北東側に位置するクリスタルビーチでは、エリー湖岸にある家が湖の水を被った後に凍結して、家の湖側が非常に珍しい外観となっている⁽⁵²⁾。これとは別に、米国五大湖のうちミシガン湖では冬になるとパンケーキ形状の氷が形成されるようであり⁽⁵³⁾、我が国では見たこともない自然の風景が観察されている。

セーラム原子力発電所は、米国北東部のデラウェア湾の奥、デラウェア川の河口に位置し、ニュージャージー州のセーラム郡ローワーアロウエイズクリークに属し、デラウェア州と隣接する。セーラム原子力発電所の周辺地域の状況について、公表された写真や動画は確認できなかった。

このような大規模な冬の嵐が我が国の原子力発電所周辺に来ることは考えにくい、全米規模の冬の嵐であったため、ここに記載した地域以外の状況も見て、我が国の原子力発電所の周辺地域においても、冬季特有の厳しい自然現象を調べておくことはリスク管理として有効である。

6 2023年3月のノーイースター

米国国立気象局 (National Weather Service) によれば、ノーイースター (Nor'easter) とは米国東海岸の嵐で、名称は風が北東から吹いてくることに由来する⁽⁵⁴⁾。過去に大きな被害をもたらしたノーイースターとして、米国国立気象局は1888年3月の事例⁽⁵⁵⁾、1962年3月の事例⁽⁵⁶⁾、1978年2月の事例⁽⁵⁷⁾、1993年3月の事例⁽⁵⁸⁾および2015年1月の事例⁽⁵⁹⁾等を挙げている。以下では2023年3月13日に米国北東部で発生したノーイースター⁽⁶⁰⁾について調査した結果を示す。

このノーイースターによって、ヤンキーロウ原子力発電所 (2007年に廃止措置完了⁽⁶¹⁾) の使用済燃料貯蔵施設が大雪により外部電源を喪失し、一時的に通常の経路でアクセスできなくなった⁽⁶²⁾。周辺地域を含めて人体や環境への影響が生じたという報告は確認できていない。

ヤンキーロウ原子力発電所はマサチューセッツ州北西部のニューハンプシャー州 (北側) との境界近くに位置し、フランクリン郡ロウに属しており、ロウの居住地から北に約5kmの距離にある。ノーイースターの影響としては、積雪が多いところで43インチ (109cm)、20秒未満の最大瞬間風速は強いところで50mph (22.4m/s)であった⁽⁶³⁾。ロウでは35インチ (76cm) の積雪が確認されている⁽⁶⁴⁾。

なお、内陸では大雪が降った一方で、海岸では岸にぶつ

かった波が高くまで跳ね上がっており、海もかなり荒れていたことがわかる⁽⁶⁵⁾⁽⁶⁶⁾。

このノーイースターに関して、ヤンキーロウ原子力発電所付近の写真や動画は確認できなかったが、影響を受けた地域の写真は公表されており、吹雪の状況や倒木の状況⁽⁶⁷⁾が確認できる。

ノーイースターは米国特有の事象であるが、このような写真や動画だけ見ると我が国の原子力発電所周辺でもしばしば起こっているように見える一方で、大荒れの海はあまり見かけない状況であると考えられる。今後のリスク管理としては、ノーイースターと同様の吹雪や積雪が我が国の原子力発電所の周辺地域で起こった場合に、どのような被害が考えられるか、想像しておくことが有効である。

7 まとめ

今後わが国でも気候変動により台風、竜巻、強風などの規模が増大するものとして、それらの規模が日本より大きく、状況が比較的詳しく公表される米国を対象として、その原子力発電所付近の被害状況を調査した。調査対象は最近米国で発生したハリケーン2事象、竜巻2事象、デレーチョ1事象、冬の嵐1事象およびノーイースター1事象とした。

結果として、米国並みの大規模なハリケーンや竜巻等が我が国の原子力発電所周辺に直ちにすることは考えにくい。これらの公開情報の収集は、我が国の原子力発電所周辺の被害状況を、今後の気候変動に備えて想像するリスク管理として有効であることが確認できた。

各事象から得たリスク管理のための効果的な情報は以下のとおり。

- (1) ハリケーンからは、上陸時の強風の凄まじさ、詳細な経路と原子力発電所への接近状況、木々の倒壊や家屋の損壊、ボートの陸への乗り上げ。
- (2) 竜巻からは、大破した家屋や車、電柱の倒壊や倒木、遠方からの状況観察、付随する雷。
- (3) デレーチョからは、強風による農地、家屋、施設の損傷、倒木までの様子、大きなひょう。
- (4) 冬の嵐については、全米に渡る大規模な被害、吹雪の様子、湖岸の特異な風景。
- (5) ノーイースターからは、吹雪の状況、大雪の様子、海岸付近の大荒れの海。

謝辞

本資料の完成までに文書指導をいただいた方に、ここで謝意を表す。

引用文献

- (1) 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成25年6月19日制定，令和元年9月6日改定）.
<https://www.nra.go.jp/data/000297056.pdf>
- (2) 気象庁，各観測地点の最大瞬間風速の最大値.
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/wind_rct/alltable/gust00.html
- (3) 気象庁，最大瞬間風速の定義.
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kaze.html
- (4) Wikipedia，1964年に愛媛県宇和島を直撃した台風20号.
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%98%AD%E5%92%8C39%E5%B9%B4%E5%8F%B0%E9%A2%A8%E7%AC%AC20%E5%8F%B7>
- (5) 気象庁，「台風，ハリケーン，サイクロン」の区別.
https://www.jma.go.jp/jma/kids/kids/faq/a3_12.html
- (6) 米国気象学会，ハリケーン等の風速が1分間の平均であること.
https://glossary.ametsoc.org/wiki/Sustained_wind_speed
- (7) 米国気象学会，「GUST」について.
<https://glossary.ametsoc.org/wiki/Gust>
- (8) Wikipedia，ハリケーンアイダについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Ida
- (9) 米国NRC，ハリケーンアイダによるウォーターフォード発電所の外部電源喪失，Event Number 55436.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2021/20211026en.html#en55436>
- (10) topographic-map，ウォーターフォード原子力発電所付近の地形図.
<https://en-gb.topographic-map.com/map-rjbt/Louisiana/?center=29.99523%2C-90.46799&zoom=14&popup=29.9846%2C-90.50898>
- (11) The Advocate，ハリケーンアイダの進路と風速.
https://www.theadvocate.com/baton_rouge/news/article_0cc1dc86-0a90-11ec-827e-6342102b8d5d.html
- (12) CNN，ハリケーンアイダの上陸時の動画。

- <https://edition.cnn.com/2021/08/30/weather/hurricane-ida-monday/index.html>
- (13) You Tube, ハリケーンアイダ通過 72 時間後のセントチャールズでの被害状況.
https://www.youtube.com/watch?v=3quM_MT1Rt8
- (14) You Tube, ハリケーンアイダによるラックポートでの被害状況の動画.
https://www.youtube.com/watch?v=f7HfJd_Ikja
- (15) Wikipedia, ハリケーンイアンについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Ian
- (16) Wikipedia, フロリダ州ハッチンソン島.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Hutchinson_Island_\(Florida\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Hutchinson_Island_(Florida))
- (17) topographic-map, セントルーシー原子力発電所付近の地形図.
<https://en-gb.topographic-map.com/map-5w818/Florida/?zoom=14¢er=27.35035%2C-80.27573>
- (18) FOX 35, ハリケーンイアンの風速の表示.
<https://www.fox35orlando.com/news/hurricane-ian-strengthens-into-major-category-3-storm-on-path-to-florida>
- (19) BBC, ハリケーンイアンがフロリダ半島西側に上陸した時の強風の動画など.
https://www.google.com/search?q=hurricane+ian+bbc&rlz=1C1GCEA_enJP922JP922&oq=hurricane+ian%E3%80%80bbc&aqs=chrome..69i57.8450j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:78bd7714,vid:Cz0P26imEXI
- (20) BBC, ハリケーンイアンがフロリダ半島西側に上陸した時の浸水の動画など.
https://www.google.com/search?q=hurricane+ian+bbc&rlz=1C1GCEA_enJP922JP922&oq=hurricane+ian%E3%80%80bbc&aqs=chrome..69i57.8450j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:0b821442,vid:peaduVRIZ-k
- (21) BBC, ハリケーンイアン通過後のフロリダ半島西側の被害状況として, ボートの陸への乗り上げ, 木々の倒壊, 家屋や道路の損壊など.
https://www.google.com/search?q=hurricane+ian+bbc&rlz=1C1GCEA_enJP922JP922&oq=hurricane+ian%E3%80%80bbc&aqs=chrome..69i57.8450j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:47a4327a,vid:LW9BL2tmmoY
- (22) TC Palm, ポートセントルーシーの近くでボートが沈んでいる様子など.
<https://www.tcpalm.com/story/weather/hurricanes/2022/09/29/florida-fl-hurricane-ian-september-29-2022-port-st-lucie-county-fort-pierce-tropical-storm-warning/10453641002/>
- (23) Yahoo!, ハリケーンイアン通過後のセントルーシーの被害状況.
<https://sports.yahoo.com/st-lucie-county-updates-hurricane-090403374.html>
- (24) 気象庁, 日本版改良藤田スケールに関するガイドライン (平成 27 年 12 月) .
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/kentoukai/kaigi/2015/1221_kentoukai/guideline.pdf
- (25) 米国国立気象局, 「改良藤田スケール」 (「Enhanced Fujita scale」=「EF スケール」) .
<https://www.weather.gov/oun/efscale>
- (26) 気象庁, 「竜巻等突風強さの評定に関する検討会 (第 12 回資料) 資料 2 「日本版改良藤田スケール導入後の評定状況」 .
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/kentoukai/kaigi/2023/0315_kentoukai/doc_2.pdf
- (27) 気象庁, 米国で発生した EF5 相当の竜巻の例.
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado1-3.html#:~:text=%E8%A8%98%E9%8C%B2%E4%B8%8A%E6%9C%80%E5%A4%A7%E3%81%AE%E4%BA,%E8%A8%98%E9%8C%B2%E3%81%8C%E6%AE%8B%E3%81%A3%E3%81%A6%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>
- (28) Wikipedia, 米国で発生した EF4 の竜巻 (2020 年 1 月 1 日~2023 年 5 日 10 日) .
[https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_F4_and_EF4_tornadoes_\(2020%E2%80%93present\)](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_F4_and_EF4_tornadoes_(2020%E2%80%93present))
- (29) アリゾナ大学資料, 米国で発生した EF3 相当以上の竜巻件数 (2005 年~2021 年) .
<http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo336s2/lectures/sec2/tornadoes.html>
- (30) 気象庁, 竜巻発生確認数の日米比較.
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado1-3.html#:~:text=%E8%A7%A3%E8%AA%AC%E3%81%97%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82,%E7%99%BA%E7%94%9F%E7%A2%BA%E8%AA%8D%E>

- 6%95%B0,%E3%81%A8%E3%81%AF%E8%A8%80
%E3%81%88%E3%81%BE%E3%81%9B%E3%82%9
3%E3%80%82
- (31) Wikipedia, 2021年12月10日に発生した竜巻につ
いて.
<https://ja.wikipedia.org/wiki/2021%E5%B9%B412%E6%9C%88%E3%81%AE%E3%82%A2%E3%83%A1%E3%83%AA%E3%82%AB%E5%90%88%E8%A1%86%E5%9B%BD%E3%81%AE%E7%AB%9C%E5%B7%BB>
- (32) You Tube, 2021年12月10日に発生した竜巻の
被害状況の例.
<https://www.youtube.com/watch?v=wsYu88vblwU>
- (33) Magnolia Tribune, 2023年3月24日に発生した竜巻
の被害状況の例1
<https://magnoliatribune.com/2023/03/25/mississippi-tornado-carves-100-mile-path-destruction-23-dead/>
- (34) BBC, 2023年3月24日に発生した竜巻の被害状況
の例2.
<https://www.bbc.com/news/in-pictures-65079578>
- (35) BBC, 2023年3月24日に発生した竜巻の被害状況
の例3.
<https://www.bbc.com/news/world-us-canada-65078588>
- (36) You Tube, 2023年3月31日に発生した竜巻の被
害状況の例1.
<https://www.youtube.com/watch?v=eVznrYmS6G8>
- (37) WDRB, 2023年3月31日に発生した竜巻の被害状
況の例2.
https://www.wdrb.com/cars-damaged-from-tornado-in-coralville-iowa-3-31-23-ap-jpg/image_2da3ec04-d097-11ed-9e9c-1710cc5911c1.html
- (38) KWQC, 2023年3月31日に発生した竜巻の被害状
況の例3.
<https://www.kwqc.com/2023/04/05/nws-confirms-least-23-tornadoes-march-31-storms/>
- (39) CNN, デレーチョについて.
<https://edition.cnn.com/2023/02/27/weather/derecho-damaging-wind-event-xpn/index.html>
- (40) Wikipedia, デレーチョの発生件数.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_derecho_events
- (41) Wikipedia, 2020年8月10日に発生したデレーチョ
の移動経路.
https://en.wikipedia.org/wiki/August_2020_Midwest_derecho#/media/File:NWS-2020Aug10-Derecho-Radar-Map.png
- (42) 米国 NRC, デレーチョによるデュアンアーノルド
原子力発電所の外部電源喪失, Event Number
54826.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2020/20200811en.html#en54826>
- (43) Wikipedia, 2020年8月10日に発生したデレーチョ
による最高風速の記録など.
https://en.wikipedia.org/wiki/August_2020_Midwest_derecho
- (44) 米国国立気象局, アイオワ州シーダーラピッズで木
が倒れるまでの動画.
https://www.weather.gov/dvn/summary_081020
- (45) You Tube, デレーチョによる強風の凄まじさを撮影
した動画1
<https://www.youtube.com/watch?v=1U3OK9F5TH0>
- (46) You Tube, デレーチョによる強風の凄まじさを撮影
した動画2
<https://www.youtube.com/watch?v=n-Z83cn9sck>
- (47) ArcGIS StoryMaps, デレーチョにより直径1~2
インチのひょうが確認された例.
<https://storymaps.arcgis.com/stories/f98352e2153b4865b99ba53b86021b65>
- (48) Wikipedia, 2022年12月に発生した冬の嵐.
https://en.wikipedia.org/wiki/December_2022_North_American_winter_storm
- (49) 米国 NRC, 冬の嵐によるデイビスバッセ発電所の
取水側水位低下, Event Number 56284.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2022/20221227en.html#en56284>
- (50) 米国 NRC, 冬の嵐によるセーラム発電所の原子炉
自動トリップ, Event Number 56286.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2022/20221227en.html#en56286>
- (51) You Tube, オハイオ州トリードの冬の嵐.
<https://www.youtube.com/watch?v=9hFehzRvH9Q>
- (52) CNN, エリー湖岸で家が湖水を被り部分的に凍
結.
<https://edition.cnn.com/2022/12/29/us/homes-ice-blizzard-lake-erie-climate/index.html>
- (53) You Tube, ミシガン湖に形成されるパンケーキ状の
氷.

- <https://www.youtube.com/watch?v=i1NdS0hbL0E>
- (54) 米国国立気象局, ノーイースターとは.
<https://www.weather.gov/safety/winter-noreaster>
- (55) Wikipedia, 1888年3月に発生したノーイースターについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Blizzard_of_1888
- (56) Wikipedia, 1962年3月に発生したノーイースターについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ash_Wednesday_Storm_of_1962
- (57) Wikipedia, 1978年2月に発生したノーイースターについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/Northeastern_United_States_blizzard_of_1978
- (58) Wikipedia, 1993年3月に発生したノーイースターについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/1993_Storm_of_the_Century
- (59) Wikipedia, 2015年1月に発生したノーイースターについて.
https://en.wikipedia.org/wiki/January_2015_North_American_blizzard
- (60) CNN, 2023年3月13日に米国北東部で発生したノーイースターについて.
<https://edition.cnn.com/2023/03/13/weather/noreaster-northeast-snow-monday-wxn/index.html>
- (61) Wikipedia, ヤンキーロー原子力発電所.
https://en.wikipedia.org/wiki/Yankee_Rowe_Nuclear_Power_Station
- (62) 米国NRC, ヤンキーロー原子力発電所の使用済燃料貯蔵施設の外部電源喪失等, Event Number 56410.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2023/20230320en.html#en56410>
- (63) CNN, 2023年3月15日時点のノーイースターの状況
<https://edition.cnn.com/2023/03/15/weather/noreaster-northeast-snow-wednesday/index.html>
- (64) MassLive, 2023年3月15日時点のノーイースターによる積雪量.
<https://www.masslive.com/weather/2023/03/noreaster-snowfall-totals-see-how-much-snow-fell-in-massachusetts.html>
- (65) You Tube, ノーイースターにより海が荒れている様子を示す動画.
<https://www.youtube.com/watch?v=UxCRgARFWag>
- (66) BOSTON, 2023年3月14日時点のノーイースターの状況.
<https://www.boston.com/weather/weather/2023/03/14/photos-march-noreaster-sweeps-through-massachusetts/>
- (67) Weather Company, 2023年3月15日時点のノーイースターによる被害状況.
<https://weather.com/news/news/2023-03-14-winter-storm-sage-live-updates>