

## 線状対流系の豪雨制御における洋上カーテンの設置設計

## Placement Design of Offshore Curtain for Controlling Heavy Rainfall from Line Shaped Convective System

○西村将真・山口弘誠・中北英一

○Shoma NISHIMURA, Kosei YAMAGUCHI Eiichi NAKAKITA

This study investigates controlling linear precipitation systems to mitigate severe rainfall using Offshore Curtain using numerical simulations of the 2012 Kameoka event. The results demonstrated that appropriate placement could reduce maximum accumulated rainfall by 31.8% by disrupting the back-building structure of the convective system. Sensitivity experiments indicated that positioning 30–35 km upstream was most effective, while distant placement (>50 km) could inadvertently increase rainfall due to wind direction changes. Furthermore, timing proved vital: deploying Offshore Curtain at least 30 minutes before rainfall onset significantly suppressed rain, whereas deployment after onset yielded minimal effects. These findings highlight the potential of Offshore Curtain for weather control when combined with precise forecasting of wind and timing.

## 1. はじめに

激甚化する豪雨災害の被害を抑える新たな方策として気象制御が期待されている。山口ら(2024)は 2008 年の神戸・都賀川のゲリラ豪雨事例を LES モデルで表現し、さらに下層の風速場を操作した。その結果、最大降雨強度が約 27 %抑制されることを示した。一方で、ゲリラ豪雨よりも時空間スケールが大きい豪雨現象である線状対流系の制御については、まだ研究が進んでいない。

本研究では、線状対流系豪雨を対象として、雨域の風上側の風速場を操作することで、降雨量を抑制することが可能かどうかを数値シミュレーションで検討することを目的とする。

## 2. 洋上カーテンの設置位置による変化

## 2.1 水蒸気の経路に対する洋上カーテン設置

豪雨抑制のためのデバイスとして、図-1の洋上カーテンを想定している。船舶とカイトにかかる支持力の限界から考えられるカーテンのサイズが最大でも 1 km 四方であると推定されるのに対し、一般的な線状対流系のサイズは長さ 50~300 km 程度、幅 20~50 km 程度とされており、適切な設置位置の算定が必要である。そこで洋上カーテンの設置位置をずらす感度実験を行った。対象事例は 2012 年亀岡豪雨、大野ら (2024) のメソ気象モデル CReSS を用いた再現実験結果を操作なし実験とした。洋上カーテンを模擬する計算スキームとして、Uchida et al (2020) が開発した風車の抵抗体スキームを採用した。風速場操作を行う位

置は、初期の積乱雲付近の水蒸気に対する後方流跡線追跡にて決定した。水蒸気流入経路と考えられる南西方向に対して風速場操作位置を変化させ、12 ケースの感度実験を実施した。

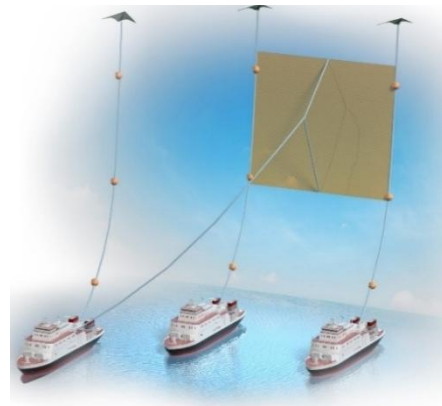


図-1 洋上カーテンのイメージ図

## 2.2 設置位置と雨量の関係

操作なし実験で 190.9 mm だった降雨量が 130.3mm まで減少していた(図-2)。雨量が減少する要因として、渦度に着目した。その結果、風速場操作によって対流発生域が空間的にずれ、線状対流系の維持構造であるバックビルディング構造が失われたことが明らかとなった(図-3)。次に風速場操作位置を変化させた感度実験の結果を図-4に示す。積算雨量の最大値が-31.8%~+22.2%の幅で変化しており、特に雨域からの距離が 30 km - 35 km の位置での風速場操作には大きな抑制効果があることがわかった。しかし雨域から遠い位置(50km以上)でのカーテン設置は雨量を増加さ

せてしまう可能性があることが示された。

雨域から離れた地点での風速場操作に雨量抑制効果がなかった原因として、風向の変化が考えられる。豪雨前半の風向が南西であったが、後半の風向は南南西に変化している。風向の変化を考慮して風速場操作位置をずらした実験では豪雨抑制効果が確認され、特に豪雨後半の雨量が抑制されていた。これらの結果から、降水イベントの前半と後半で風向が変化したため、雨域から遠い位置での風速場操作は豪雨抑制効果が得られなかったと説明できる。

### 3. 洋上カーテンの設置時間による変化

洋上カーテンの設置時間による影響を考察するため、2.2 で最も豪雨抑制効果があった実験に対して、風速場操作の開始時間、終了時間を変化させるアンサンブル実験を行った(図-5)。結果として、豪雨発生の 30 分前以前からカーテンを設置した実験は、全体的に抑制効果が高いことが分かった(平均変化率が 24 %)。一方で豪雨開始以降からのカーテン設置では、30 分設置しようが 3 時間設置しようが-5 ~ +6 %ほどしか雨量抑制効果がないことが明らかとなった。

### 4. 結論

本研究では、洋上カーテンによる線状対流系の豪雨制御について、設置位置と設置時間に着目して考察を行ってきた。

洋上カーテンの効果を風速弱体化と仮定し、水蒸気の経路上に 1 km 四方の風速場を弱体化させる実験を行った。その結果、3 時間積算雨量の最大値が-31.8 %減少した。また、風速場操作位置を変化させたアンサンブル実験の結果、-31.8 % ~ +22.2 %の幅で変化することが分かった。

また、風速場操作時間を変化させるアンサンブル実験の結果、洋上カーテンは豪雨開始の 30 分前の設置が重要であり、線状対流系の発生以降の洋上カーテン設置には大きな雨量抑制効果がないことが明らかとなった。

今後は線状対流系の予報と合わせて、洋上カーテンの設置位置を決定するために、観測と合わせた仕組みを考察していきたい。

### 参考文献

- 1) 山口弘誠, 西村太一, 中北英一(2024): 2008 年神戸都賀川豪雨を対象とした風速場操作によ

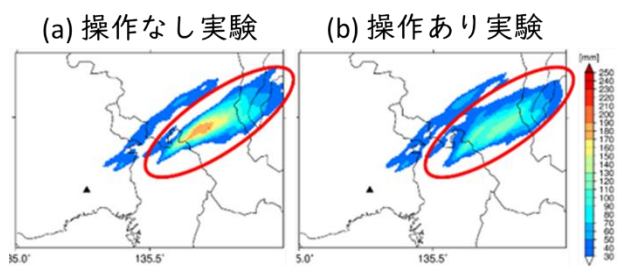


図-2 3 時間積算雨量 [mm] [15000 (s)-25800(s)]

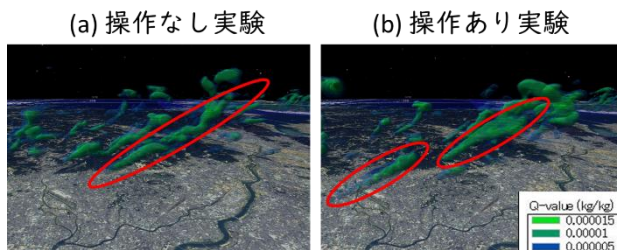


図-3 16200 (s) における Q 値

| 雨域と設置位置の距離[km]  | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3時間積算雨量の最大値[mm] | 182.22 | 169.48 | 203.87 | 177.38 | 130.11 |
| カーテン無しとの差[mm]   | -8.65  | -21.39 | 13     | -13.49 | -60.76 |

|  | 35     | 40     | 45     | 50     | 55     | 60     | 65     | 操作無    |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 169.89 | 178.92 | 180.41 | 215.45 | 228.88 | 210.52 | 232.88 | 190.87 |
|  | -20.98 | -11.95 | -10.46 | 24.58  | 38.01  | 19.65  | 42.01  | 0      |

抑制  促進

-40mm 0 40mm

図-4 雨域と操作位置の距離による最大雨量の変化[mm]

|             |        | 設置開始時間(s) |        |        |        | 豪雨開始時間 |        |        |        |        |  |  |
|-------------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|
|             |        | 9600      | 11400  | 13200  | 15000  | 16800  | 18600  | 20400  | 22200  | 24000  |  |  |
| 継続時間<br>(s) | 1800   | -4.526    | -3.405 | -15.51 | -19.33 | -2.101 | -0.183 | 6.9932 | 1.1891 | 0.0031 |  |  |
|             | 3600   | -3.939    | -16.2  | -11.89 | -12.22 | -4.568 | 1.7758 | 6.2651 | 1.1839 | 0.0031 |  |  |
|             | 5400   | -16.13    | -19.85 | -17.34 | -18.29 | -2.179 | 0.6967 | 6.2546 | 1.1839 |        |  |  |
|             | 7200   | -25.34    | -20.54 | -24.4  | -19.65 | -3.814 | 0.88   | 6.2546 |        |        |  |  |
|             | 9000   | -27.5     | -22.39 | -28.37 | -19.85 | -4.096 | 0.9429 |        |        |        |  |  |
|             | 10800  | -23.28    | -28.98 | -28.01 | -19.93 | -4.233 |        |        |        |        |  |  |
|             | 12600  | -30.73    | -29.87 | -27.24 | -19.71 |        |        |        |        |        |  |  |
|             | 14400  | -32.85    | -30.67 | -27.72 |        |        |        |        |        |        |  |  |
|             | 16200  | -29.73    | -30.67 |        |        |        |        |        |        |        |  |  |
| 18000       | -29.73 |           |        |        |        |        |        |        |        |        |  |  |

図-5 風速場操作期間による最大雨量の変化率[%]

赤で囲まれた範囲は 15000(s)-16800(s)の期間で風速場操作をしている実験

る気象制御 LES 実験, 土木学会論文集 B1 (水工学) 第 80 巻 16 号

- 2) 大野哲之, 山口 弘誠, 中北 英一(2024): 線状対流系豪雨の組織化に先行する大気場のマルチフラクタル的変動, 土木学会論文集, 土木学会論文集 B1 (水工学) 80 巻 10 号
- 3) Uchida, T., Taniyama, Y., Fukutani, Y., Nakano, M., Bai, Z., Yoshida, T. and Inui, M.(2020): A New Wind Turbine CFD Modeling Method Based on a Porous Disk Approach for Practical Wind Farm Design. Energies, Vol. 13, No. 12, 3197-1-3197-27.