

線状降水帯予測精度向上に向けた技術開発・研究の取組について

気象庁は、線状降水帯の予測精度向上に向けた技術開発・研究の取組を進めています（令和6年6月13日報道発表¹）。

本日開催した「線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ」において、観測・予測の強化に係る取組や線状降水帯の機構解明研究の成果について議論するとともに、今年度の線状降水帯が発生した気象場の特性や予測精度の検証結果について報告し、今後の改善方策等について学官連携の観点も含め意見交換を行いました。

気象庁は、令和2年12月に「線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ」を設置し、本ワーキンググループでの検討等に基づき、線状降水帯の予測精度向上に向けて、大学や研究機関と連携した機構解明研究、数値予報技術開発を推進しています。今年度のこれまでに得られた主な成果と今後の取組等について、本日、本ワーキンググループの第9回会合を開催し、以下のとおり報告・議論を行いました。

● 観測・予測の強化

線状降水帯予測に必要な水蒸気等の観測を強化するため、アメダスへの湿度観測の追加や二重偏波レーダーへの更新強化、令和6年3月に更新された海洋気象観測船「凌風丸」による水蒸気等の機動観測を実施するとともに、観測能力を強化した次期静止気象衛星「ひまわり」（令和11年度運用開始予定）の整備を進めました。

また、水平解像度2kmの数値予報モデル（局地モデル）について、令和7年度末に予定している高解像度化（水平解像度2kmから1km）及び局地アンサンブル予報システムの運用開始に向け、スーパーコンピュータ「富岳」を活用したリアルタイムシミュレーション実験を実施するとともに、数値予報の予測精度向上や予測計算の高速化に関する開発を進めました。

今後は、次期静止気象衛星の整備等を引き続き進めるとともに、数値予報モデルの高解像度化等に関する開発を更に進めます。

● 令和6年の気象場の特性及び線状降水帯予測の検証

これまでの調査によると、令和6年出水期に線状降水帯が発生した時の気象場と数値予報モデルの精度の特徴は、以下のとおりでした。

¹ https://www.jma.go.jp/jma/press/2406/13b/SLMCS_20240613.html

- 令和6年は令和3～5年と比較して、台風接近時を除くと大気不安定による規模の小さい現象が多く、予測可能性の低い（決定論的予測で現象を捕捉することが困難な）気象場であり、数値予報モデルでの予測が難しい事例が多かった。
- 総観スケールの前線本体や台風に伴う線状降水帯事例について、数値予報モデルでの予測が難しい事例が散見された。

これらの特徴により、令和6年5月から運用を開始した、府県単位での線状降水帯による大雨の半日程度前からの呼びかけの実績においては、運用開始前の想定に比べて、適中率（呼びかけ「あり」のうち発生「あり」の割合）は15ポイント低く、捕捉率（発生「あり」のうち呼びかけ「あり」の割合）は12ポイント低い結果となりましたが、呼びかけ「あり」のうち3時間降水量が100mm以上の大雨となった割合は4割を超えていました。

気象庁では、夜間に線状降水帯による大雨の可能性が予想された場合などに、明るいうちから早めの避難につなげられるよう、引き続き、数値予報モデルの改良等による予測技術の向上等に努めてまいります。

● 線状降水帯の機構解明研究

気象庁では、大学や研究機関と協力して、水蒸気をはじめとする線状降水帯の発生環境や線状降水帯を構成する積乱雲群等の内部構造に着目した集中観測を実施するとともに、高解像度の数値モデルや高頻度・高密度データを用いて、線状降水帯の発生要因や維持等のメカニズムに着目した事例解析を実施しました。主な成果は以下の通りです。

- 梅雨前線等に伴う降水システムを対象に、「降水粒子撮像ゾンデ」を用いた観測を山口大学により実施し、雲内部の降水粒子の形状や大きさに関する貴重な画像データを取得しました。本取組で得られた降水粒子画像は、降水システムの内部構造の把握や、二重偏波レーダーによる降水粒子判別手法の高精度化に向けた資料として活用されています。
- 東シナ海における海面からの熱・水蒸気供給に関する観測を鹿児島大学により実施し、得られた観測データの品質管理手法を確立しました。今後、線状降水帯の発生環境場となる海上の熱・水蒸気供給量の把握及び数値予報の検証を進めます。
- 線状降水帯に関して集約された知見を、線状降水帯の発生形態の分類や発生環境場、内部構造に着目して整理し、体系的な理解を進めました。本取組は大学や研究機関と連携して進められ、研究成果は日本気象学会等で公表されています。今年度の事例についても整理を行った上で、今後、線状降水帯予測の精度向上に役立てていきます。

本研究で得られた成果を大学や研究機関と共有して線状降水帯のメカニズム解明等に資する知見の集約を図るなど、今後も引き続き機構解明に向けた取組を推進します。

これらの技術開発や研究の概要については、別紙を参照ください。

問合せ先

総務部 企画課 國井（全般に関すること）

電話 03-6758-3900（内線 2232）

情報基盤部 数値予報課 北村（数値予報技術の開発に関すること）

電話 03-6758-3900（内線 3335）

気象研究所 企画室 藤村（機構解明研究に関すること）

電話 029-853-8536（内線 203）

【観測・予測の強化】令和6年度の取組状況

別紙

水蒸気観測等の強化、強化した気象庁スーパーコンピュータや「富岳」を活用した予測技術の開発等を計画通り着実に進めている。これらの成果を順次、予測精度向上、段階的な防災気象情報の改善、住民の早期避難、地域の防災対応につなげる。

観測の強化

観測の整備の強化及び新規観測データを活用した監視・予測の強化

「アメダスへの湿度観測追加」

- 令和5年度までに433地点に整備済み。
- 令和6年度は105地点に整備中。

「気象レーダーの更新強化」

- 令和5年度までに全20地点中14地点で二重偏波レーダーに更新済み。
- 函館は令和7年度運用開始に向け機器の製作中。石垣島は令和6～9年にかけて更新予定。

「洋上の水蒸気等の観測の強化」

- 機動的な気象観測を担う海洋気象観測船「凌風丸」の竣工（令和6年3月）。
- 気象庁観測船2隻、海上保安庁測量船4隻、大型の民間船舶10隻によるGNSS水蒸気観測を継続。

「マイクロ波放射計の整備」

- 令和4年度までに西日本 太平洋南側沿岸域の17箇所に設置完了。

「次期静止気象衛星」

- 令和5年3月に整備に着手、令和11年度の運用開始を目指す。

気象レーダー



海洋気象観測船「凌風丸」



次期静止気象衛星



マイクロ波放射計

水蒸気等の観測データ

予測の強化

スーパーコンピュータの利用及び数値予報モデルの高度化

「スーパーコンピュータ『富岳』を活用した開発」

- 開発中の数値予報モデルによる日本全域を対象としたリアルタイムシミュレーション実験を6～10月に実施。
- 数値予報モデルの精度の改善に関する大学や研究機関との連携を進める（共同研究を継続）。

「気象庁スーパーコンピュータシステムの利用、数値予報モデル改良による予測精度向上」

- 令和7年度に予定している局地モデルの高解像度化（解像度2km→1km）及び局地アンサンブル予報システムの運用開始に向け、開発を継続。

スーパーコンピュータ「富岳」



©RIKEN



気象庁
スーパーコンピュータ



線状降水帯予測
スーパーコンピュータ

【予測の強化】「富岳」を活用した数値予報技術の開発

文部科学省・理化学研究所の全面的な協力を得て、スーパーコンピュータ「富岳」の政策対応枠課題により、高解像度数値予報モデル（水平解像度1kmの局地モデル：富岳1kmLFM）、局地アンサンブル予報システム、全球モデル等の開発を進めている。

令和6年度の「富岳」活用の成果

- 令和6年度は、局地モデルの高解像度化（令和7年度末、2km⇒1km）に向けて、6月から10月までの期間、開発中の富岳1kmLFMを用いて日本全域を対象としたリアルタイムシミュレーション実験（実行頻度を昨年度の1日2回から1日4回に増加）を実施。
- 現業運用を見据え、計算機特性に合わせた物理過程の高速化、積分時間間隔の調整やデータ入出力にかかわる高速化を進めることで、構築開始当初比でおおむね半分程度の時間で実行可能になった。安定運用に向けて、引き続き更なる高速化を検討中。
- 水平格子間隔2km、21メンバーの局地アンサンブルの実験を「富岳」上で実施し、線状降水帯の予測の不確実性を捉えるのに適した摂動手法の検討を進めている。

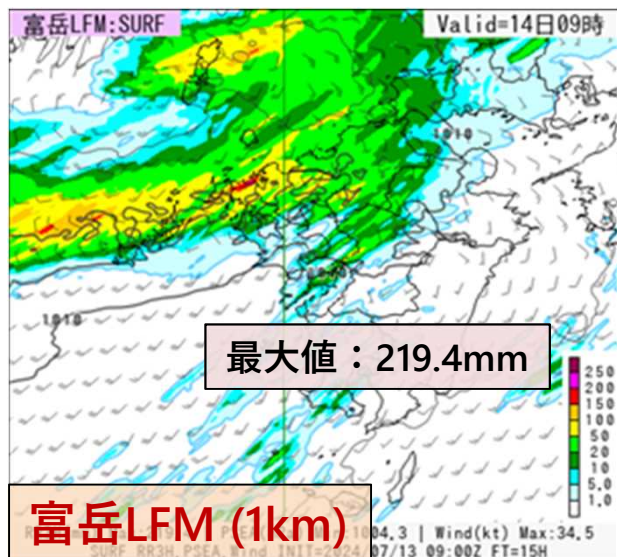
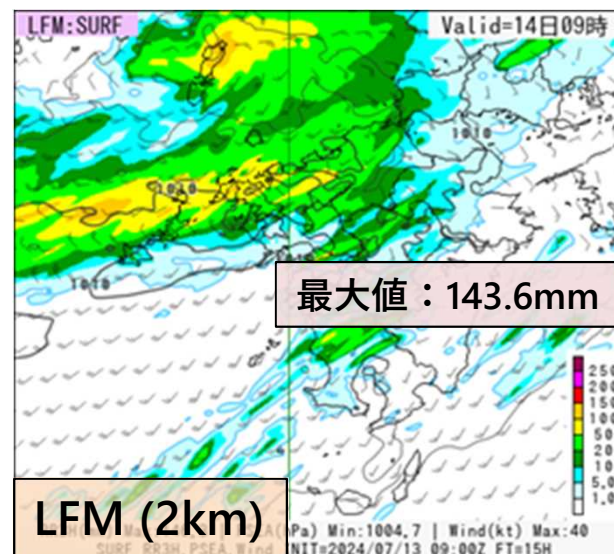
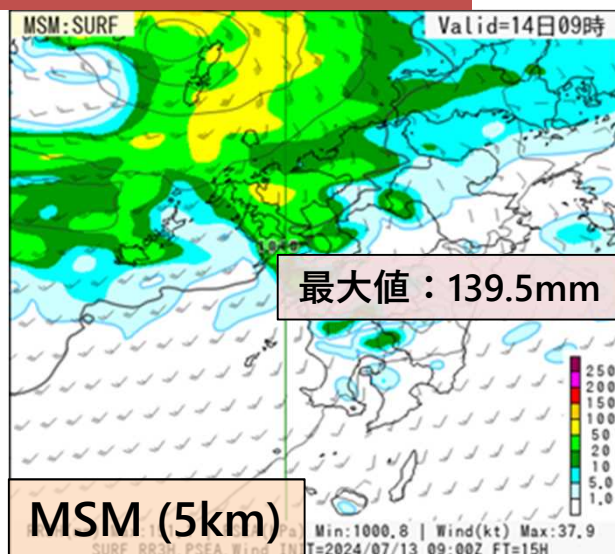
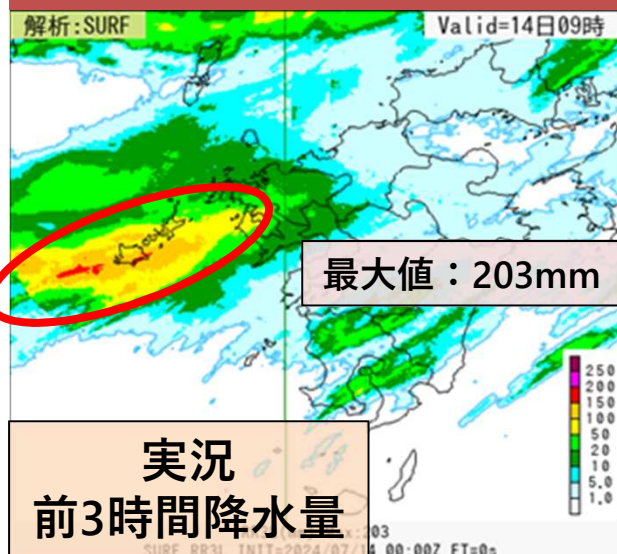
学官連携による観測データの利用高度化

- 線状降水帯の予測精度向上に向けて早急に利用高度化を図る必要のある、高解像度ひまわり、二重偏波ドップラー気象レーダーに係る研究提案を広く募り、令和5年9月より共同研究を実施中。
- 「富岳」に構築した現業準拠の数値解析予報実験システムを用いることにより、大学や研究機関の先端的な知見を現業システムに円滑に取り込み、開発を加速化。

【予測の強化】「富岳」リアルタイムシミュレーション実験

2024年7月14日9時対象：長崎県で線状降水帯が発生した事例 ※図は全て前3時間積算雨量を示す。

数値予報モデルの予測ができ、半日程度前からの呼びかけもできた事例



MSM (5km)：水平解像度 5 kmの現業メソモデル
LFM (2km)：水平解像度 2 kmの現業局地モデル
富岳LFM (1km)：「富岳」で開発中の水平解像度 1 kmのLFM

- 初期時刻から15時間後の予測値を示す。
- 長崎県の線状降水帯（赤色円）の降水域について、LFM及び富岳LFMの予測降水量は、最大値の位置がやや北側に位置する傾向がみられたが、MSMに比べて概ね実況に近かった。
- 3時間積算雨量に着目すると、富岳LFMでは降水域の強度が実況に最も近い。

【半日前予測】令和6年度半日前予測の結果

- 令和6年度の半日前予測は、運用開始前の想定に比べて、**適中率は15ポイント低く、捕捉率は12ポイント低かった***。

* 線状降水帯の発生回数は年変動が大きいいため、単年での評価は難しい。

府県単位でのとりまとめ結果	運用開始前の想定 (2023年のデータから検証)	2024年 (11月11日時点)
線状降水帯発生呼びかけ「あり」 のうち 線状降水帯の発生「あり」※2	適中率（高い方が良い） 25%程度 (4回に1回程度)	約10% 81回中8回
線状降水帯の発生「あり」※2 のうち 線状降水帯発生呼びかけ「あり」	捕捉率（高い方が良い） 50%程度 (2回に1回程度)	約38% 21回中8回

※1 線状降水帯の事例の数え方は、線状降水帯の雨域は複数の県にまたがる場合もあるため、令和5年度以前と同様に地方予報区（全国を11ブロックに分けた地域）単位としており、令和6年の事例数は19事例（11月11日時点）だった。

※2 線状降水帯の事例数と、府県単位での線状降水帯の発生「あり」の数は異なる場合がある。

- 線状降水帯発生呼びかけを行った81回中、線状降水帯の発生「あり」は8回であるが、それ以外にも、3時間降水量が100mm以上の大雨となったのは27回あることから、**この呼びかけが行われたときには、大雨災害への心構えを一段高めていただくことが重要**である。

【要因分析】

- ① 令和6年出水期は令和3～5年と比較して、台風接近時を除くと大気不安定による規模の小さい現象が多く、予測可能性の低い（決定論的予測で現象を捕捉することが困難な）気象場であり、数値予報モデルでの予測が難しい事例が多かった。
- ② 総観スケールの前線本体や台風に伴う線状降水帯事例について、数値予報モデルでの予測が難しい事例が散見された。

2021–2024年出水期（6–8月）の線状降水帯（台風本体除く）

	2021年	2022年	2023年	2024年
事例数	8	9	14	7
平均持続時間（h）	5.8	6.4	7.3	5.3
平均の長さ（km）	147	117	131	108
平均面積（km ² ）	3189	2803	3456	2421
最大R1（mm）	83.8	94.0	87.5	83.1
最大R3（mm）	185.0	193.0	192.1	174.5
平均総降水量（mm）	262.8	265.0	306.3	219.5

① 規模の小さい現象、予測可能性の低い気象場の予測の改善

数値予報システムの改善

- LFM（局地モデル）の高解像度化（水平解像度 2km⇒1km）（令和 7 年度末）
⇒ **規模の小さい現象の予測精度向上**
- LEPS（局地アンサンブル予報システム；水平解像度 2 km）（令和 7 年度末）
⇒ **現象の不確実性を表現できる確率予測の実現**

② 総観スケールの前線本体や台風に伴う現象の予測の改善

数値予報モデルの改良、観測データの高度利用

- メソモデル（MSM）：物理過程の改良等を実施（来年度の出水期前）、以降も降水予測の改善の向け着実に開発を継続
- 地上・極軌道衛星による水蒸気量等の観測データの利用の高度化
⇒ **数値予報モデルの予測精度向上**
⇒ **環境場の予測の改善によりLFM・LEPSの改善にも寄与**

【線状降水帯の機構解明研究】概要

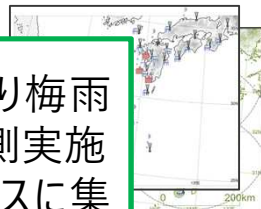
- 大学や研究機関との連携のもと、集中観測等によって線状降水帯の発生・停滞・維持等の機構解明を加速するとともに、それら観測データや知見を用いて数値予報の精度向上に繋がるような研究を実施。
- 本研究を推進するため、参画機関との協力・データ共有のための協定を締結。

集中観測

発生環境場と内部構造を観測
成果を機構解明・予測技術向上の研究に共有

- ・ 連携により、R4年度より梅雨期西日本中心に集中観測実施
- ・ 観測データはデータベースに集約し、参画機関にも共有

観測データ



気象研究所

参加機関と協力・データ共有

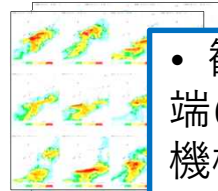
宇宙航空研究開発機構、海洋研究開発機構、**鹿児島大学**、**京都大学**、**高知大学**、**情報通信研究機構**、**東海大学**、東京大学、**長崎大学**、名古屋大学、**日本アンテナ株式会社**、福岡大学、**防災科学技術研究所**、**三重大学**、**山口大学**、琉球大学

(五十音順、**赤字**は令和6年度集中観測実施機関)

機構解明・予測技術向上

発生・停滞・維持等メカニズムの解明
数値予報技術の高度化

数値モデルデータ



- ・ 観測データや「富岳」等の最先端のスパコンを活用し、連携して機構解明研究を実施
- ・ 得られた知見を活用した数値予報の予測 精度向上のための研究を実施

機構解明については、
複数の大学や研究機関と連携して実施中

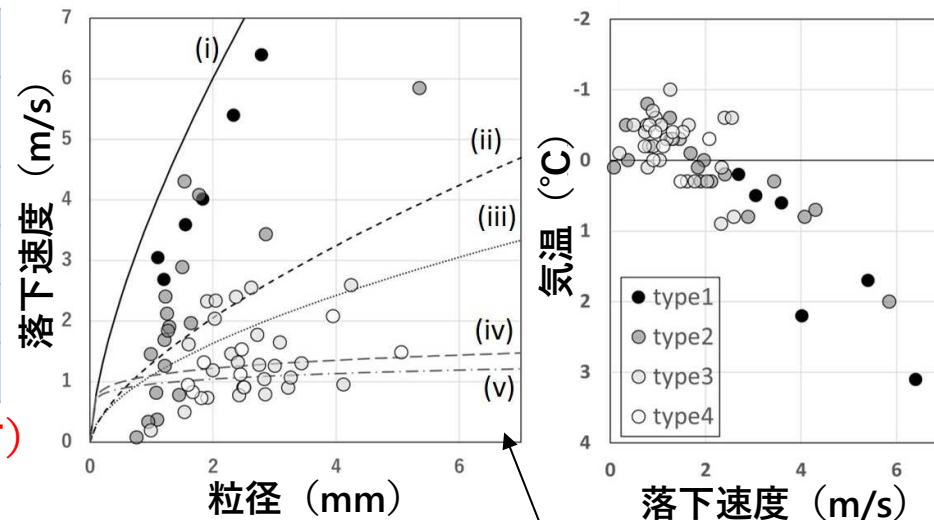
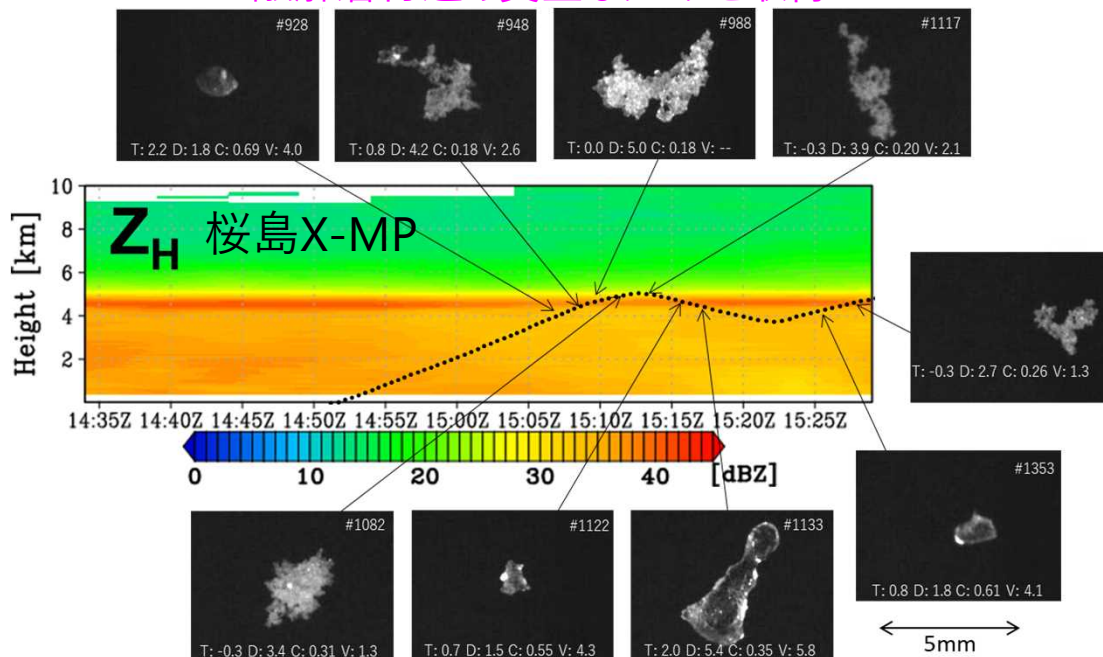
【集中観測】観測成果例（Rainscope観測）

降水粒子撮像ゾンデ観測により、融解層付近の降水粒子の貴重なデータを取得。

観測年月日	放球時刻	備考
2024/6/20	14:51	浮力が足りず融解層前後で水平飛行 ↑ 降雪がRainscopeに降り積もったため
2023/6/20	16:51	雲頂高度11.4km（1724画像）
2023/6/26	13:49	高度5kmで落下（桜島噴煙の影響？）
2023/6/27	19:38	雲頂高度12.5km（1380画像）
2023/6/27	22:03	高度9kmで送信停止（データ5kmまで）

6月20日14:51放球事例（層状性降水雲融解層内の粒子分布）

融解層付近の貴重なデータを取得



(i)～(v)：経験曲線。(i) 水滴 (Atlas et al. 1973),
(ii) 塊状霰 & (iii) 六花霰 (Locatelli and Hobbs 1974),
(iv) 濃密雲粒付雪片 & (v) 雲粒付雪片 (Ishizaka 1995)

- 粒子形状、透明度などから経験的に、融解度合いをtype1～4に分類
 - type1：ほとんど融けている粒子
 - Type4：元の形状をほぼ残している粒子
- 元の形状がわからなくなる程度に融解が進むと落下速度が急激に大きくなる傾向を確認
- 気温が高くなるほど落下速度が大きくなる傾向を確認

【集中観測】観測成果例（顕熱・潜熱フラックス観測）

海面から大気への水蒸気供給量の観測データの品質管理手法を確立するとともに、モデル検証に着手。

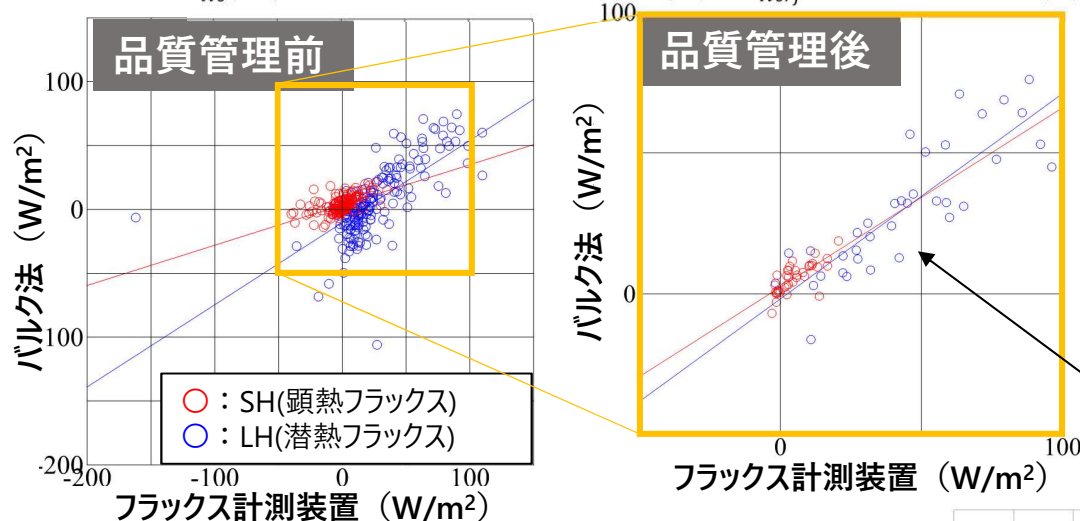
バルク法（潜熱フラックス/MSMに導入）

2024年

6月8-21日

$$LH = L_v C_q V_{srf} (q_{vs}(SST) - q_{vsrf})$$

L_v : 水から水蒸気への蒸発熱、 C_q : 水蒸気のパルク係数、 V_{srf} : 海上の風速(m s^{-1})、 $q_{vs}(SST)$: 海面水温 SST に対する飽和混合比(g kg^{-1})、 q_{vsrf} : 海上の大気の混合比(g kg^{-1})



LHの観測値が0付近であるにも関わらず、MSM予報値が 100 W/m^2 以上

SSTの分布の違いに加えて、その分布が水平風速に与える影響により予報値の過大に繋がっている可能性



船舶搭載乱流フラックス計測装置

超音波風速計で測定した水平・鉛直の風3成分と、赤外線 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ アナライザで測定した水蒸気量の変動(20 Hz)を用いた大気乱流理論に基づく渦相関法で算出

回帰直線上におおむね乗っており、問題なく観測されていることが確認できる。

