

## 太陽光発電主力電源化推進技術開発／先進的共通基盤技術開発 翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発

団体名：一般財団法人日本気象協会、国立研究開発法人産業技術総合研究所

### 事業の背景・目的・目標

#### <背景>

- 太陽光発電は気象条件に左右される変動型電源であり、発電した電気を有効活用するには、その発電量を正確に予測することが重要である。**発電量を高精度に予測するには、日射量予測について高精度化を行う必要がある。**
- 気象予測の誤差が電力システムに与える影響として、特に日射量予測が大きく外れる事象のインパクトが甚大であるとされている。再生可能エネルギーの調整に係る社会的なコストを減らすために、**気象予測の大外しを減らすことが重要**である。
- 日射量予測が大きく外れる事象の改善については、発電バランシンググループ（発電BG）や一般送配電事業者（TSO）などが日射量予測情報を利用する際のインバランス量や、それに対応する調整力の確保量に大きく影響するため重要な課題である。
- また、今後太陽光発電の主力電源化を実現するためには、電力システムに連系する電力の安定的かつ効率的な需給運用がこれまで以上に求められる。

#### <目的>

- 太陽光発電の発電量予測誤差による電力システムへの影響を緩和することを目的に、翌日および翌々日程度先の日射量予測の最大誤差を低減する技術を開発する。

#### <目標>

- 現在から翌日および翌々日程度先の日射量予測において、従来の予測手法に比べて最大誤差を20%以上低減する技術を開発する。

### 2024年の主な成果

下記5項目について技術開発を実施した。

- ① 日射量予測に特化した気象モデルに係る技術開発
- ② 複数機関の気象モデル予測値の統合に係る技術開発
- ③ アンサンブル予報に基づく信頼度予測に係る技術開発
- ④ 大外し事象の誤差低減のための領域モデルを補間する各種気象庁GPVを利用した日射量予測の特性分析
- ⑤ 大外し低減予測技術の開発と評価（要素技術の組み合わせと評価）

#### ① 日射量予測に特化した気象モデルに係る技術開発

- 日々のエアロゾルに伴う日射量や雲への影響を考慮可能な気象モデルを開発した。また、部分凝結過程の改良、放射過程における雲の取り扱いの高度化、高解像度海面水温データの活用、地表面過程の改良も実施した（図1）。
- これらにより、既往モデルよりも日射量予測精度が高い気象モデルを開発した（図2、図3）。さらに、開発モデルのガイダンス手法も開発した。

開発モデル（WRF-GSM、WRF-EC）は既往モデルに比べて予測誤差が小さい

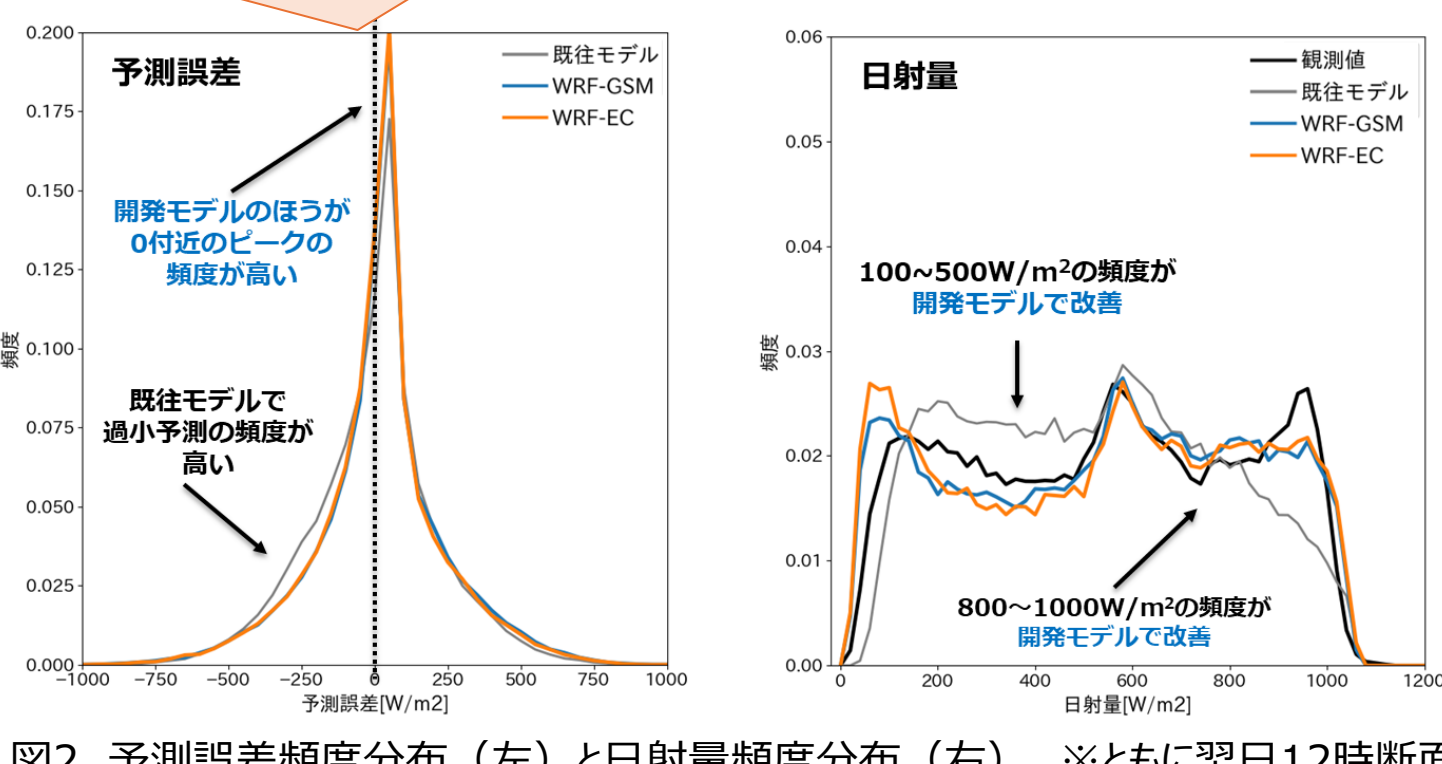


図2 予測誤差頻度分布（左）と日射量頻度分布（右） ※ともに翌日12時断面

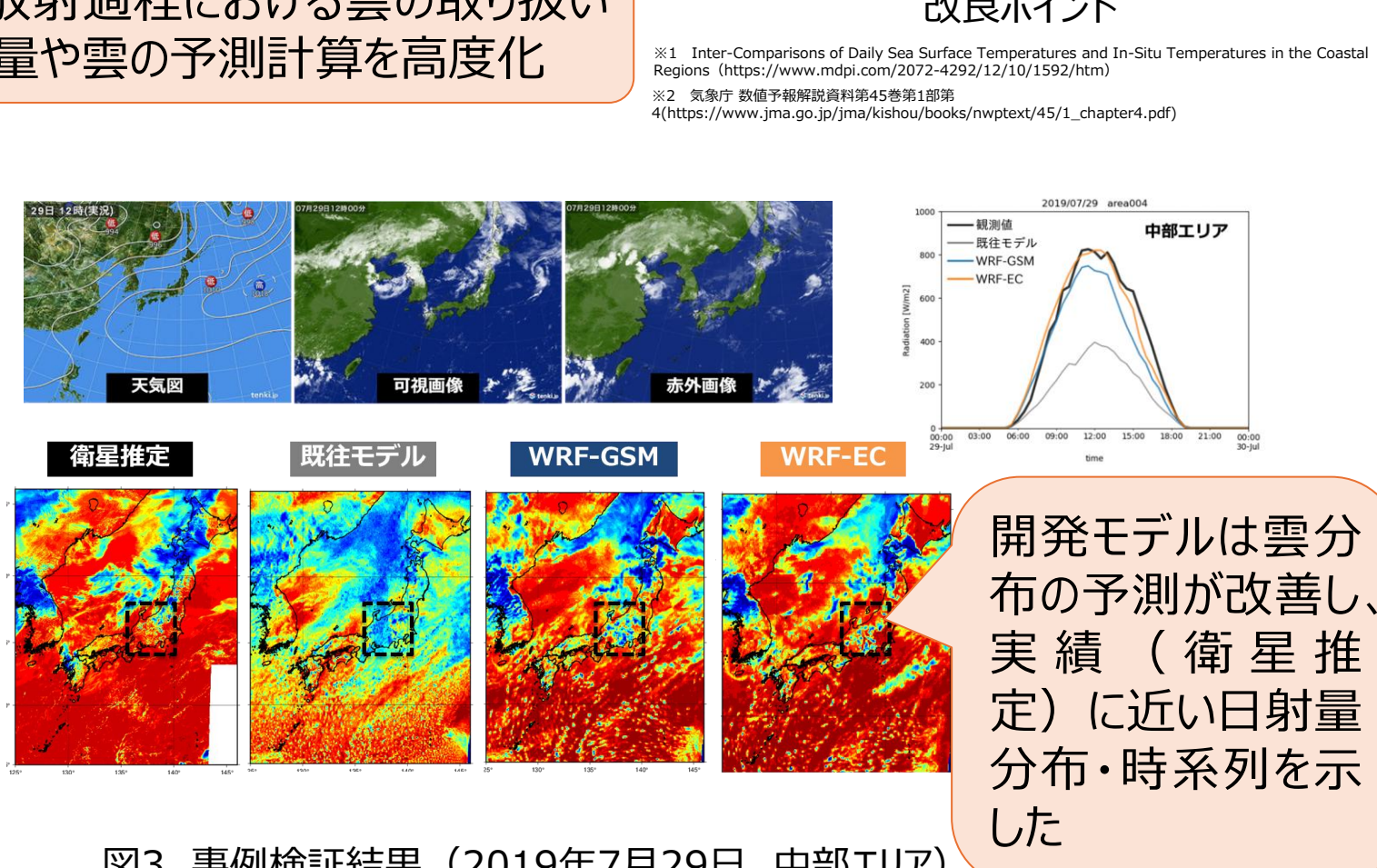


図3 事例検証結果（2019年7月29日、中部エリア）

#### ② 複数機関の気象モデル予測値の統合に係る技術開発

- 統合に用いるモデル予測値自体を高度化する。機械学習を利用したダウンスケーリング手法と複数の気象要素を活用するガイダンス手法を開発した（図4～図6）。
- さらに、機械学習を活用し、大外し誤差を低減するための統合予測の補正手法を開発した（図4、図7）。
- これらの開発手法を組み合わせることで、 $\pm 3\sigma$ 誤差が低減することを確認した（図8）。

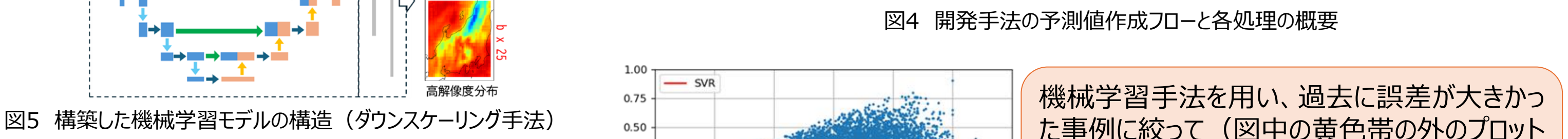
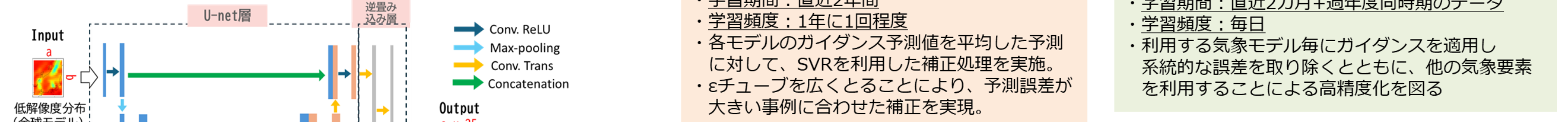


図5 構築した機械学習モデルの構造（ダウンスケーリング手法）

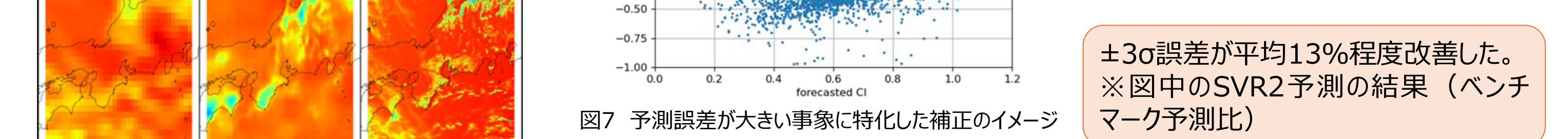


図6 ダウンスケーリングモデルの出力例

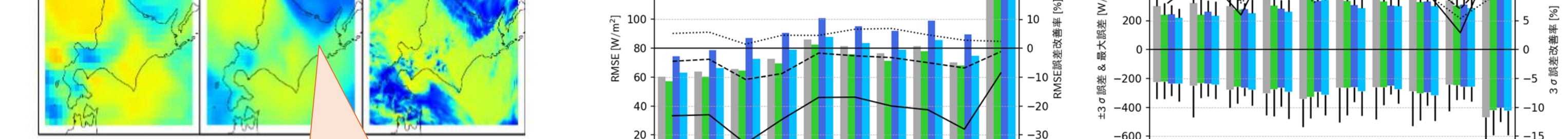


図7 予測誤差が大きい事象に特化した補正のイメージ

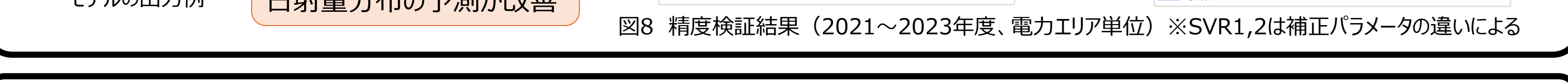


図8 精度検証結果（2021～2023年度、電力エリア単位）※SVR1,2は補正パラメータの違いによる

#### ④ 大外し事象の誤差低減のための領域モデルを補間する各種気象庁GPVを利用した日射量予測の特性分析

- 気象庁のアンサンブル予報およびそれを初期値とする領域モデルの計算結果を活用し、大外し事例の要因を分析した（図12）。
- メソアンサンブル予報を用いて大外し抑制の可能性を検討した。この結果、機械学習モデルにより、ベンチマーク予測と比べて平均的な精度を維持しつつ大外し誤差を抑制することができた（図13、図14）。
- 新たな誤差抑制のためのアプローチとして、メソアンサンブル予報をメソスケールモデル予報から生成する手法を検討し、観測値を学習しない手法でも予報精度の改善が可能であることが示された（図15）。

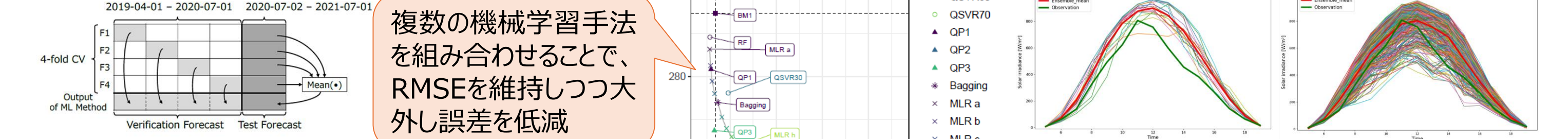


図12 相対湿度のGEPS予報とラジオゾンデ観測の相関プロット

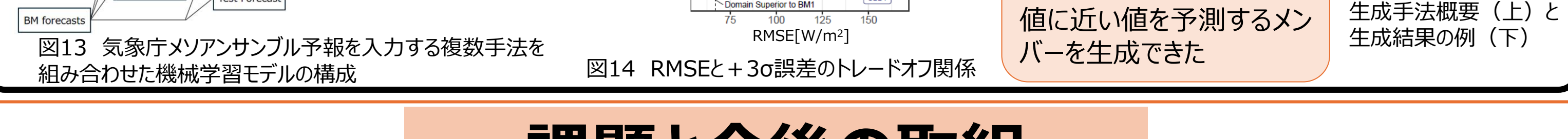


図13 気象庁メソアンサンブル予報を入力する複数手法を組み合わせた機械学習モデルの構成

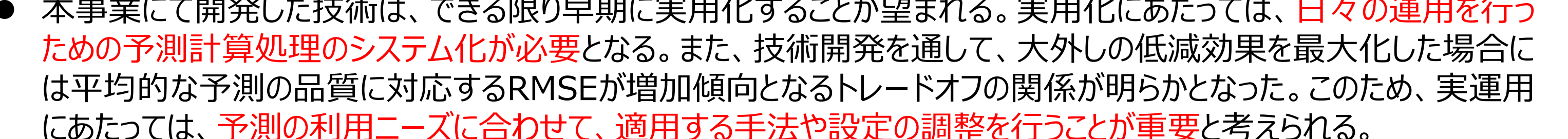


図14 RMSEと+3σ誤差のトレードオフ関係

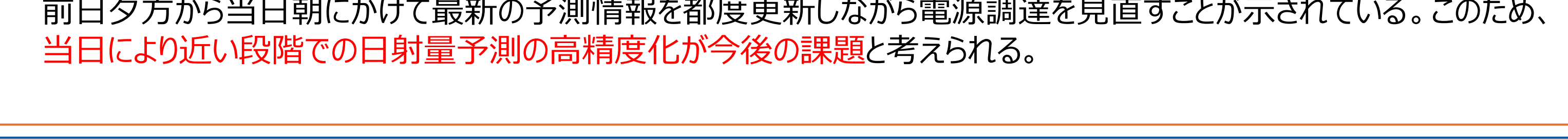


図15 機械学習モデルによるアンサンブル予報生成手法概要（上）と生成結果の例（下）

#### ⑤ 大外し低減予測技術の開発と評価（要素技術の組み合わせと評価）

- 開発した要素技術を組み合わせ、日射量予測が大きく外れる事象の改善効果を検証した（図16、表1）。
- 複数モデルの統合予測において信頼度が高いと予測した場合の $\pm 3\sigma$ 誤差が23.0%低減、最大誤差が29.8%低減し、本事業の最終目標である「従来の予測手法に比べて最大誤差を20%以上低減する技術を開発する」の達成を確認した（図17）。

| 項目   | 内容                                         |
|------|--------------------------------------------|
| 予測値  | 各日3時ごろ発表想定の日射量（30分値）                       |
| 実測値  | 気象庁日射量実測値（30分値）※日射量を観測していない気象官署は日射量推定値を使用。 |
| 予測対象 | 電力エリア平均日射量（エリア内観測地点平均）                     |
| 検証期間 | 2021年4月から2024年3月（3年間）                      |

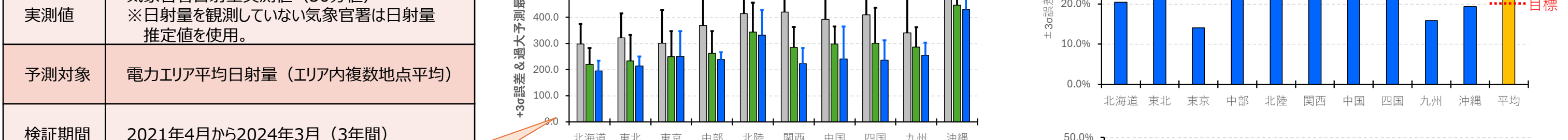


図16 要素技術を組み合わせ大外し低減予測のイメージ

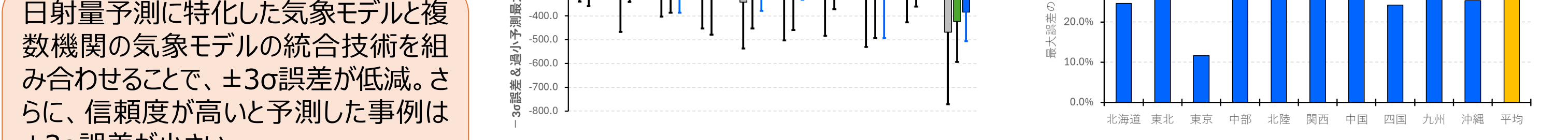


図17  $\pm 3\sigma$ 誤差および最大誤差の検証結果（左）と $\pm 3\sigma$ 誤差の改善率（右上）・最大誤差の改善率（右下）

### 課題と今後の取組

- 本事業にて開発した技術は、できる限り早期に実用化することが望まれる。実用化にあたっては、**日々の運用を行うための予測計算処理のシステム化が必要**となる。また、技術開発を通して、大外しの低減効果を最大化した場合には平均的な予測の品質に対応するRMSEが増加傾向となるトレードオフの関係が明らかとなった。このため、実運用にあたっては、**予測の利用ニーズに合わせて、適用する手法や設定の調整を行うことが重要**と考えられる。
- 近年では調整力を効率的に調達するための観点より、大外し誤差に加えて平均的な誤差（RMSEなど）の低減も重要とされている。加えて、三次調整力②に関しては、近年検討が進められている同時市場が導入された場合には、前日夕方から当日朝にかけて最新の予測情報を都度更新しながら電源調達を見直すことが示されている。このため、**当日により近い段階での日射量予測の高精度化が今後の課題**と考えられる。

### 実用化・事業化の見通し

- 日本気象協会は、日射量予測サービスを商品化し、日々運用している。今後、**本技術開発の成果を反映した高精度な日射量予測サービスを実用化し、順次販売する計画**である。日射量予測に特化した気象モデルの実用化には計算環境の整備が必要であるため、2026年度以降早期のサービス開始を目指す。海外モデルを活用した複数モデル予測値の統合技術、アンサンブル予報に基づく信頼度予測技術は、2026年度中の本格的なサービス開始を予定する。なお、一部技術については事業途中に社会実装し、一般送配電事業者の調整力調達量の低減に寄与した。
- 産業技術総合研究所は、**本技術開発により得られた成果を気象庁にフィードバックしている**。中長期的には気象庁モデルの精度向上を通じた予測性能の向上が期待され、特に、日射予報の大外しリスクの低減につながる可能性がある。また、機械学習を用いた予測技術や、複数モデルの統合的活用、機械学習モデルによるアンサンブル予報の生成に關する成果の一部は、日本気象協会をはじめとする気象サービスプロバイダーなどへの技術移転を通じて、早期の実用化が可能であると見込まれる。