

総合討論 「太陽光発電予測に関するディスカッション」

General discussion on solar power forecasting technology

大竹秀明*

1. はじめに

総合討論では、議論内容をテーマ1とテーマ2に分け、テーマ1では「予測コンテストに関するディスカッション」、テーマ2では予測コンテスト以外の内容を含めた広義の太陽光発電予測の課題整理を目的とした議論「太陽光発電予測技術全体に関するディスカッション」を行った。実際に行われた具体的な議論内容として、表1に示すようなトピックが取り上げられた。また、今回の総合討論では、講演者側からの話題提供、パネルディスカッションという形式ではなく、聴衆からの話題提供、スライドを持ち込んだ飛び入りでの話題提供も歓迎することで議論がスタートした。

2. 発電予測の誤差分析 一大外れ事例ー

北海道電力株式会社総合研究所からは予測コンテストに関連して、夏季と冬季における予測大外れ事例についていくつかトピックを紹介された。その中

には、夏季の背の低い雲（下層雲）や霧の事例と、冬季の積雪事例について話題が挙げられた。下層雲は東北、関東地方の太平洋沿岸にも海側からの冷た

■夏季の大外れ事例 やませ(移流霧/低層雲)の影響①

気象予測を用いた東芝、AIST共に午前中の予測が比較的大きく外れている。

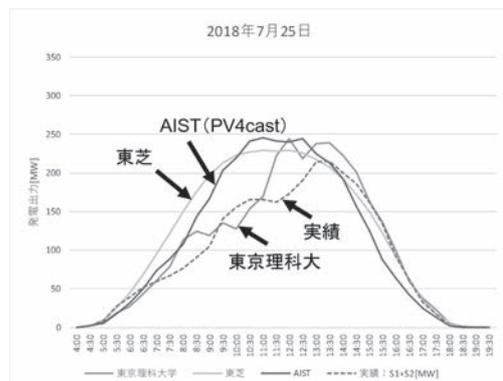


図1 下層雲が発生した事例（2018年7月25日）の発電予測の比較（北海道電力(株)井上彬氏より提供頂き、著者が一部加筆したもの）

■冬季の大外れ事例 PVパネル積雪の影響②

胆振地区(苫小牧)は7日早朝から、道東(白糠)は6日夕方から降雪があり、7日は複数の発電所でパネルに積雪が生じた。また、8日~10日までは、日照はあったが、氷点下の気温が続いたため、パネル積雪が融雪/落雪せず、大きな過大側誤差が継続した可能性がある。

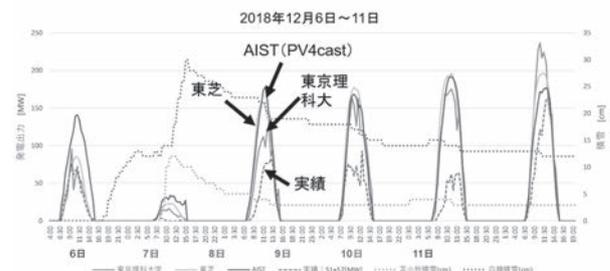


図2 太陽光発電システムに積雪が見られた事例の発電予測の比較（北海道電力(株)井上彬氏より提供頂き、著者が一部加筆したもの）

表1 総合討論で取り上げたテーマの一覧

議論テーマ1	予測コンテストに関するディスカッション
	予測コンテストに参加してのご意見（質問・要望）
	必要なデータ・情報の種類（気象・発電データ、システム情報、未利用データ）
	予測対象エリア（ピンポイント、エリア（電力エリア、マイクログリッドなど））
	予測精度の比較（年間・季節での比較）
	予測機関との比較、複数予測の活用（領域・全球アンサンブル）
	海外予測機関のデータ活用（発電予測も気象庁GPVに偏らないか？）
	望まれる予測情報は？（年間精度？大外れしない？）
議論テーマ2	太陽光発電予測技術全体に関するディスカッション
	予測の高精度化、AI活用と課題
	発電予測の確率情報、信頼度情報をどう活かすか？
	当日予測（気象衛星）と前日予測（数値予報）との最適ブレンド
	アンサンブル予測、海外データの活用
	未利用データの活用（再解析データ、発電実績データの予測への活用）
	最新技術（リモートセンシング技術（衛星）、データ同化）
	発電実績データを広く共有する仕組み・ルール作り

* 産業技術総合研究所

い東風の時に観測され、特に東北地方ではヤマセと呼ばれる。

下層雲や霧の事例では、気象予報モデルを中心に用いた参加者は予測を大きく外してしまい、そもそも気象予報モデルによる下層雲の予測精度について確認が必要となった。図1は、2018年7月25日の下層雲が確認された事例の太陽光発電出力の実績と予測の比較である。予測は、予測コンテストに参加した東芝、東京理科大、PV4cast（産総研、東大合同）の各チームの結果である。これによると気象予報モデルをベースとした東芝、PV4castはともに下層雲が確認された時間帯で予測が大きく外れたが、気象予報モデルを用いない東京理科大のチームは予測精度が高かった。用いたデータや手法によって、個別事例では予測精度が異なることも確認された。

また、冬季の積雪事例では、降雪が太陽光発電システム上に確認される場合、日射量予測が高めに予測されたとしても、太陽光発電システム上の積雪に光が遮断されるために、発電量が過大に予測されてしまう事例が紹介された。図2は予測コンテスト期間における積雪事例の一例であり、2018年12月6日に北海道地方に降雪が見られた。その後、翌日は比較的晴れ、日射量予測も高めに推移したものの、太陽光発電システム上に積雪があったために実際に出力が低く、発電予測値が高めに大きく外れてしまった。7日以降も北海道地方は地上気温が比較的低温であり、発電システム上の積雪の落雪、融雪には時間がかかった。これは、東芝、東京理科大、PV4castのいずれのチームも同様に積雪を予測に反

映できていない結果となった。予測アルゴリズムの中にどのように降雪、積雪情報を入れ込むかが課題であることが示された一例である。

本予測コンテストでは、北海道太平洋側での降雪事例数が1年間では数例程度であり、機械学習を取り入れた予測、分析は難しいであろうという開催事務局側からのコメントも寄せられていた。数年分などの事例、発電データ、気象・雪氷データの蓄積や積雪のモニタリング情報も予測精度向上には求められそうである。

3. ヤマセ事例の気象予測の課題

ヤマセについては気象科学事典⁽¹⁾に、「晩春から夏にかけて、東北地方の太平洋岸を中心に吹く、低温の東寄りの風あるいはこれに伴う一連の現象。下層雲や霧を伴うことが多く、低温と日照不足により、稲などの農作物の成長不良などの深刻な被害を広い範囲に引き起こすことがある。やませの定義は、現象を気象学の視点からとらえるか、農業災害の視点からとらえるかによって変わり、普遍的なものは存在しないのが現状である。」と記載がある。北海道では、ヤマセという言葉は使われないようであるが、同様の下層雲はしばしば道東などの太平洋沿岸に確認される。

大竹（産総研）からはヤマセ事例の気象庁メソモデル（MSM、水平解像度5km）、局地モデル（LFM、水平解像度2km）の下層雲の表現や日射量予測の比較結果について紹介された（図3）。東北地方太平洋側における海側からの東風に伴う下層雲の事例

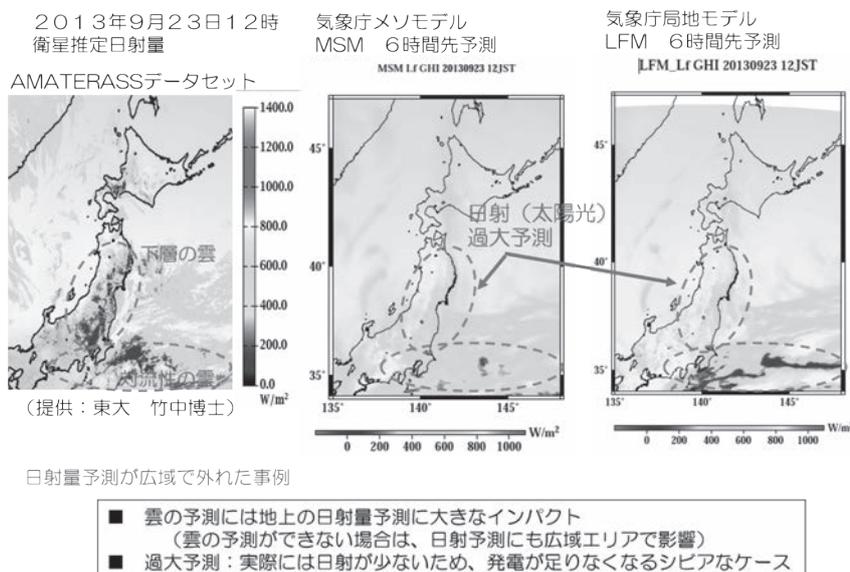


図3 東北地方のヤマセ時（2013年9月23日）の気象庁MSMとLFMによる日射量予測の比較の例

では、MSM, LFM 内で下層雲に相当する雲が表現できておらず、その結果、日射量予測の過大予測の誤差が生じる事例があることが述べられた。予測コンテストの分析期間を対象とした事例分析でも北海道地方に下層雲が発生する事例では、日射量予測が前日の予測から当日の数時間先予測においても改善されておらず、気象予報モデルでは下層雲の予測にまだ課題があることが述べられた。

フロアーからは伊藤忠テクノソリューションズ株式会社においては、夏季の霧の予測の対応についてモデル化を検討されているが、予測の改善にはまだ検討の余地があることも意見がなされた。

また、本セミナーに聴衆者として参加された気象庁担当者からのコメントとしては、MSMは現在のモデルでは下層雲を作りづらいところが現状ではまだあるものの、現在モデル開発を進めており、下層雲の予測の精度向上が今後期待できる知見が得られていることも述べられた。今後の気象庁日射量予測データの精度向上に期待が持てるコメントがなされた。

下層雲の予測に関する開発状況として、今後モデル開発が進んだプロダクトが提供される見込みであること、巻雲が発生するときの日射量予測の外れがあることも述べられた。基本的な予測誤差については、MSMの夏季の過小予測、冬季の過大予測はすでに先行研究によって示されている^(2, 3)。予測誤差の分析結果をもとに、気象庁の数値予報モデルのモ

デル開発、改良を常に進めていることが述べられた。

4. 再解析データ・データ同化技術の活用

隈健一氏（東京大学）からは、再解析データの紹介と利活用、気象データ、発電データの同化手法による発電予測精度の向上の期待とその利用可能性について、飛び入りによるスライドを持ち込んだ話題提供（図4）がなされた。再解析データとは、過去の予報の再現を行うもので、過去の気象による電力リスク事例を網羅的に調査、対応策提案に利用が見込まれる。気象庁では気象庁55年長期再解析（JRA-55）（1958年から現在までの均質・高品質な全球気候データセット）をここ数年で作成され、一般にも公開している新しいデータセットである^(4, 5)。データには、日射量データ（プロダクトの中では、「下向き短波フラックス」と呼ばれる）も含まれる。太陽光発電や風力発電ポテンシャルの推定マップの再作成や地域・季節性を面的に評価するデータセットとしても期待される。また、気象衛星ひまわり8・9号のプロダクトや発電データを観測データとして活用し、データ同化を行うことで予測精度の改善も期待される。質疑においては、過去の日射量データなどの精度の良いものがあることは別途検討の余地がある点が意見されたこと、下層雲などの予測が良くなっているのかなどの指摘もあった。

本予測コンテストでは、北海道太平洋側での降雪事例など1年間では事例数が少なく（数例）、機械



図4 再解析データの活用例（東京大学 隈健一氏提供）

■ 予測結果の上位アンサンブル

気象予報値を用いてコンテストに応募した上位3社の結果を単純平均

【利用した気象予報】

東芝※1 ⇒ 米国NCEP

AIST※2 ⇒ 日本JMA

Iチーム ⇒ 米国NOAA, 欧州ECMWF

※1: WRFで領域モデルを再計算

※2: 日射量予測値は利用していない

■ 通期(13ヶ月)のRMSEが向上した。

■ 異なる気象モデルから求めた予測値を平均した結果、固有の気象モデルが持つ大外れを回避できたと考えられる。

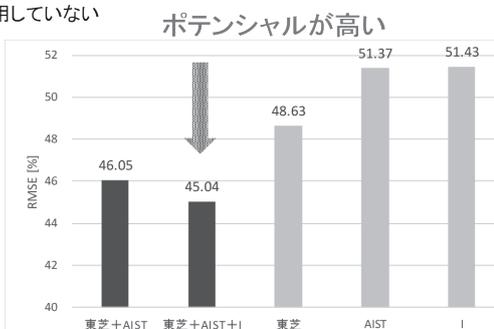


図5 コンテスト参加者(一部)のアンサンブル平均での予測誤差の比較(北海道電力(株) 井上彬氏提供)

学習を取り入れた予測、分析は難しいという議論も交わされていた。長期間の再解析データで過去の事例数を稼ぐことも重要であろう。再解析データのようにまだ国内の再生可能エネルギー分野では利用が十分ではないものやデータ同化などの新しい予測技術を再生可能エネルギー分野にももっと取り込み、気象分野とのコミュニティーの連携、データ共有による新しいコミュニティーの創出、オールジャパン体制での取り組みも大事な視点であることが隈氏より提言された。

5. アンサンブル予測

気象予報(数値予報)の分野では、予測モデルを実行するときに、少しずつ異なる複数の初期値データを用意し、多数の予測計算を行い、その平均値やばらつき情報などの統計的な情報を用いて最も起こりやすい現象を予報する手法を近年取り入れている。これをアンサンブル予報とよんでいる⁽⁶⁾。

北海道電力株式会社総合研究所からは今回の予測コンテストの参加者のうち、東芝、Iチーム、AIST(PV4cast)の三者のアンサンブル平均を行うことでどの程度予測精度が向上するのか、追加分析も報告された。個別の予測より三社を単純なアンサンブル平均をして予測精度を確認すると精度が高まる結果が得られたことが報告され、アンサンブル平均の有用性が確認された(図5)。しかし、個別の予測でも実際に予測結果が良い事例もあるため、アンサンブル平均のみに頼らず、各モデルの予測も着目する必要があることも議論された。

今回は、予測コンテストに参加した機関は国内外含め60社以上である。それぞれ、あるケースには得意のスキームを持っている場合もある。そのため、モデル開発については完璧なモデルを作る方向よりも、イベントに応じた多様なモデルの構築を行い、場合によって使い分けるなどの検討が必要ではないかというフロアーからの指摘もなされた。

また、デマンドリスポンス(DR: Demand Response)⁽⁷⁾などの需要側の制御や太陽光発電の自家消費を行った場合の求める予測精度とはどのようなものかについても議論が行われた。モデル開発の方向性、予測データの利用、運用の在り方について考える必要がある。

6. データ・情報の集約と公開

現状は固定価格買取制度(FIT)により役所に太陽光発電システムの仕様や導入量などの情報が集まっているものの、今後住宅などで売電を目的としない太陽光発電システムの利用が増える可能性がある。太陽光の発電データや発電システムの情報の把握と公開について、植田譲准教授(東京理科大)からは、役所では把握しきれない発電システムが増え、その情報の一元的な集約・管理が必要であり、それをどこが担ってすべきか、制度・ルール作りも含めて今後議論すべきであると問題提起がなされた。発電予測を高精度化するためには、発電システムの情報や発電データそのものも有効であるが、そのようなデータ集約のルール作りや研究機関、予測事業者への公開についても議論を進める必要がある。

また、予測精度向上に期待される未利用データがまだまだ沢山あることがフロアからの意見として出された。防災用監視カメラデータ、ドローン（無人航空機）、高解像度の気象衛星（極軌道衛星）データなどもIoT（Internet of Things）を介して有効利用できないかとの議論も出た。霧の予測精度の向上に関しては、観測データとしてすでに何があるのかも質疑がなされた。気象庁では空港における霧の観測では視程計なども使われている。

これらを利用するにはプライバシーや法規制などの制約をどのように乗り越え、改めてルールを整備しながらデータを集約、公開していくかといった作業も必要となってくる。発電データは予測精度向上にとっては実績データとして重要であるが、発電データは個別には売電情報、経営状況の裏返しとしても見て取れることから、規格化したデータの整理、エリア集約したデータ管理など個別情報がわからないような形でデータの公開もされると予測分野に役立てられる可能性もある。

7. 総合討論を終えて

今回の予測コンテストは単なる予測技術の競争だけでなく、発電予測の現状の成果と技術課題を抽出する機会としても十分な役割を果たしている。

総合討論では、予測開発側だけの議論ではなく、予測を使う側からも意見が多く出た。本誌面で取り上げなかった他の話題としては、1km メッシュ日射量プロダクトの誤差、積雪時のアルベド（反射日射）対策（プロジェクト研究で実施されたホタテを使ったアルベド向上）、気象衛星から推定された日射量の推定値と誤差情報、直達・散乱データセットの有無、直達・散乱成分の分離手法の最近の開発動向、全天日射からの傾斜面変換モデルの最新情報、放射計算、発電量推定への太陽電池材料情報の考慮など多様な方面からの質疑が行われた。（特定非営利活動法人 太陽放射コンソーシアムから提供されるひまわり8号から推定された地上日射量のデータセットの精度については、先行研究⁽⁸⁾に報告がある。）

予測技術の現状のレベルと課題、課題解決に必要なデータの種類や期間などについて議論することができた。これを機会に大学・研究機関の研究者や企業などが予測精度向上や予測データ利活用促進のため、オープンデータが増えることが望まれる。

総合討論の反省点としては、今回は80分という議論時間を確保したが、発電予測値の信頼度情報、

予測区間の系統運用などへの利用の議論まで進むことができなかった点がある。

良い点としては、今回は予測データ作成側、利用側、政策側に関わる多様な立場の方が一堂に会して議論が行えたことから予測の可能性や課題、精度向上への伸び代についての認識を共有することができたことが挙げられる。また現状の課題のみならず、将来を見据えた課題を先取りし、さらに問題を掘り下げた議論も必要であることが認識された。

今後はこのような発電予測コンテストを時代やニーズに合わせた形で継続して実施され、現状の実力の認識と課題抽出を進め、継続的な技術の高度化に努めることが大事であろう。実際の系統運用では太陽光発電、風力発電が共存している環境にあるため、太陽光発電や風力発電を含めた統合評価も期待される。

本セミナーが発電予測分野における新しいオープン・イノベーションを起こすきっかけとしても役割が果たせれば幸いである。

8. 謝辞

北海道電力株式会社総合研究所 井上 彬氏と東京大学生産技術研究所の隈 健一氏よりスライドの一部を提供頂いた。ここに感謝の意を表す。

9. 参考文献

- 1) 気象科学事典, 日本気象学会編, 1998.
- 2) 大竹秀明, 宇野史陸, 大関崇, 山田芳則, 2018: 最新の気象庁現業数値予報モデルの日射量予測の検証. 電気学会論文誌B, Vol. 138, No. 11, 881-892.
- 3) Ohtake, H., Joao Gari da Silva Fonseca Jr, T. Takashima, T. Oozeki, K-I. Shimose and Y. Yamada, 2015: Regional and seasonal characteristics of global horizontal irradiance forecasts obtained from the Japan Meteorological Agency mesoscale model. Solar Energy, 116, 83-99.
- 4) 原田やよい, 古林慎哉, 太田行哉, 海老田綾貴, 守谷昌己, 小野田浩克, 大野木和敏, 釜堀弘隆, 小林ちあき, 遠藤洋和, 「気象庁55年長期再解析 (JRA-55)」, 天気, Vol.61, No.4. pp.269-275. https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2014/2014_04_0043.pdf
- 5) JRA-55: 気象庁55年長期再解析 https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_ja.html#manual1.1

(2019年12月6日閲覧)

- 6) 気象庁「アンサンブル予報」 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-8.html> (2019年12月6日閲覧)
- 7) 経済産業省 ニュースリリース 「「ダイヤモンドリスポンス（ネガワット取引）ハンドブック」を作成しました～スマートな節電を行うための入門書を公開いたします～」 <https://www.meti.go.jp/press/2016/12/20161228004/20161228004.html> (2019年12月6日閲覧)
- 8) Damiani A, Irie H, Horio T, et al. Evaluation of Himawari-8 surface downwelling solar radiation by SKYNET observations. Atmos Meas Tech Discuss. 2018; 11: 2501-2521.

略歴



大竹秀明

2001年3月弘前大学理学部地球科学科卒業。2009年3月北海道大学大学院地球環境科学研究科博士後期課程修了。同年4月気象庁気象研究所入所。2011年4月（独）産業技術総合研究所入所。現在、主に数値予報モデルや太陽光発電予測・推定に関する研究に従事。博士（地球環境科学）。気象予報士。防災士。