

太陽光発電量予測技術コンテスト 「PV in HOKKAIDO」の総括について

“PV in HOKKAIDO” - Contest Seeks Best Models for Predicting
Power Output of Solar Power Plants in Hokkaido, JAPAN

原 亮一^{*1}・真保 崇^{*2}・渡辺 伸央^{*3}

1. はじめに

電力品質の確保を前提とした再生可能エネルギーの大量導入拡大に向けた取り組みの一環として、東京電力ホールディングス株式会社（以下、東京電力）と北海道電力株式会社（以下、北海道電力）では、北海道地域での太陽光発電量予測をテーマとしたコンテスト「PV in HOKKAIDO」を共同開催した（図1）。

本稿ではコンテスト主催者ならび審査員の立場から、実施の背景、コンテストの概要、審査結果を総括する。

2. 太陽光発電を取り巻く現状と課題

2012年7月の固定価格買取制度（FIT）施行以降、事業用・家庭用の太陽光発電の設置・導入が急速に進んでおり、資源エネルギー庁による「エネルギー白書 2019」によると、2017年度までの累計導入量は4,773万kWに及んでいる。このような導入量の増加が太陽光発電の高効率化・低価格化の動きを強烈に後押しし、その結果、火力発電などの既存電源に対して競争力を持ちつつある。また政府も2018

年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、太陽光発電を含む再生可能エネルギーを「経済的に自立し、脱炭素化した主力電源」として位置づけている。地球温暖化の抑制とエネルギー資源確保の両面から、我が国の主要電源の一つとして太陽光発電を超長期に渡り導入・運転を維持する必要があるといえる。

ところで、太陽光発電が接続する電力システムでは、需要（消費）と供給（発電）を瞬時瞬時で一致させていくことが安定的な運用に必須である。そのためには、発電出力を高速に調整可能な電源を用意したり、電力消費量を柔軟に制御するような枠組みを準備したりするなど、幅広いリソースを経済的な形で整備しておくことが肝要である。一方で、太陽光発電は、その発電量が気象条件の影響を受けて変動する、いわゆる「変動型電源」であるため、その大量導入・活用にあたっては、需要と供給のミスマッチ（インバランス）をどのように埋めるか、あるいは、インバランスそのものをいかに減らしていくかが、安定運用の一つの鍵となる。同様のことは、30分単位での同時同量が求められるbalancingグループの運用においても言えるであろう。特に、イ

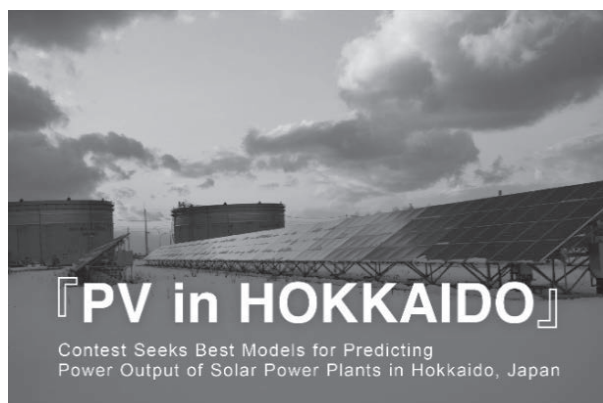


図1 「PV in HOKKAIDO」

^{*1} Ph.D, Associate professor at Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University

北海道大学 大学院情報科学研究院 システム情報科学部門
電力システム研究室 准教授

^{*2} Manager of Open Innovation Group, TEPCO Research Institute, Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所
研究統括室 オープンイノベーション推進グループマネージャー

^{*3} Manager of Energy Utilization Research section, R&D Dept. Hokkaido Electric Power Co., Inc.

北海道電力株式会社 総合研究所 エネルギー利用グループリーダー

ンバランスを減らすためのキーテクノロジーの一つとして出力予測技術が挙げられ、その高度化は、電力システムの安定運用や経済性の維持に大きな効果をもたらすと期待される。

3. 「PV in HOKKAIDO」の概要

3.1 背景と目的

太陽光発電は、気象条件に左右される変動型電源のひとつであり、供給力として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。

東京電力、北海道電力では、気象データなどに基づいて太陽光発電や風力発電の発電量を予測する手法を開発・導入し、すでに実業務に活用しており、蓄積した経験・ノウハウを活かした高い水準の予測を行っている。一方で、局所的な天候の変化、冬季における太陽光パネルへの降積雪の影響は、発電量の予測精度を低下させる要因となっている。

両社は、電力の需給状況が複雑化していく中で、外部の技術・知見も取り入れながら再生可能エネルギー導入量の拡大と電力供給の安定性向上に取り組む必要があると考え、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入量が急速に拡大している北海道エリアを対象に、太陽光発電量予測技術をテーマとしたコンテスト「PV in HOKKAIDO」を共同で開催した。電力会社がオープンな場で実データを活用したコンテストを共同開催することは初めてとなる。

東京電力では、「第一回 電力需要予測コンテスト」をはじめオープンイノベーションの取り組みを進めていく中で、北海道電力から提案のあった太陽光発電の予測技術に共通ニーズがあることを見出した。

北海道電力では、積雪影響を考慮に入れた太陽光発電量予測システムを独自に開発・導入し、一定の精度にて実業務に活用している。しかしながら、天候の急変や太陽光パネルへの積雪が予測精度に与える影響について、これまでの延長線上に限定されない様々なアプローチによる予測精度・信頼度向上の研究開発が必要と考えていた。

東京電力においても、エリア内に多くの太陽光発電所が設置されており、発電量の予測を行っているが、比較的稀な気象条件である降雪や積雪の影響により予測精度が低下することが課題であった。このため、更なる精度向上を目指すために積雪の多い北海道を対象にした太陽光発電量予測技術コンテストを共同で行うことは魅力的であった。

また、共通のニーズとして、広域エリアに点在す

る太陽光発電の発電量を一括で予測するなど実用的かつ経済的な予測技術や、AIの活用など最新技術を応用した手法の発掘、これまで接点のない外部技術者との出会いなど、オープンイノベーションによって得られる新たな知見や可能性への期待があった。

3.2 課題・ルールの概要

「PV in HOKKAIDO」の課題は、「北海道エリア内の指定する太陽光発電所の発電量合計値の予測」である。

対象となる太陽光発電所は、北海道エリア内の太陽光発電所のうち、主催者が指定した15箇所、合計407.3 MWとした(図2)。

予測対象期間は2018年1月1日～2019年1月31日までの13ヶ月間とした。冬季の厳気象や発電パネルへの積雪影響の発現が多くなるように配慮したものである。

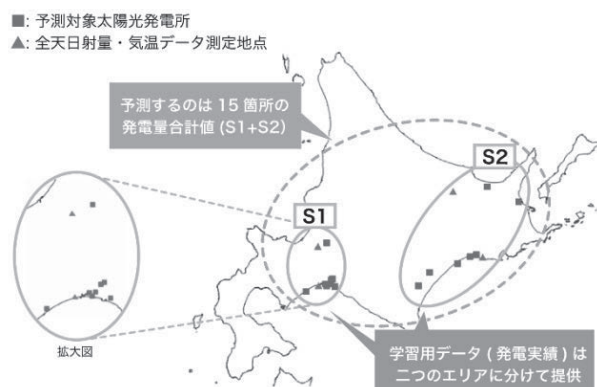


図2 「PV in HOKKAIDO」課題の概要

3.3 予測に使用するデータ

参加者には、学習用データとして過去二年間の発電実績データ、各発電所の位置と定格出力、方位角および傾斜角の平均値、独自に測定した全天日射量と測定位置を提供した。

学習用の発電実績データは北海道地域の気候特性の違いを鑑み、二つのエリア（S1、S2）に分けて提供したが、予測の対象は北海道エリア全体（S1+S2）の合計発電量である。

予測に使用するデータは、参加者が独自に入手するものを含めて自由に選定・組み合わせてよいルールとしているが、実運用時を想定し、①主催者も何らかの形で入手できること、②予測対象日の前日18時までに予報値等が入手できること、などの制約を設けている。

また、気象データなど前日18時までに予報値が

入手できるのであれば、発電量予測には対象日当日の実績データを使用可能とし、気象予報誤差を極力排除できるようにしている。

3.4 評価方法

評価は、予測精度の高さと手法の実用性・発展性により行った。予測精度は、期間全体の平均二乗誤差（RMSE）を指標とした。手法の評価は手法説明レポートやプレゼンテーションビデオを基に、実用性（膨大な手間や計算時間を要しない手法、使用するデータ種類が少ない手法、広域エリアを直接予測する手法など）、発展性（参加者の独自の視点や発想に基づく手法・データを使用するなど独創的なアイデア）の両面から評価した。

審査にあたっては、北海道にて電力システムや再生可能エネルギーに関する研究を進めている外部有識者、主催者において発電量予測や需給運用などの経験がある実務者等による審査委員会を設置した。

審査委員会は、北海道大学 北 裕幸教授を審査

委員長とし、審査員を北海道科学大学 矢神雅規教授、北海道大学 原 亮一准教授、主催者の研究開発部門・需給運用部門のメンバーによる全7名で構成した。

4. 「PV in HOKKAIDO」審査結果

最終的なエントリーは66チーム（日本国内35件、海外31件）となり、海外からも高い関心を集めた。まず主催者にて予測精度の誤差、手法説明レポート内容を精査のうえ一次審査を行い、最終審査の対象者13チーム（日本国内10件、海外3件）を選定した。

最終審査対象の13チームには、各自の予測手法の詳細やオリジナリティなどをまとめた5分間のプレゼンテーションビデオと、正解データとの比較考察などを加えた詳細レポートを改めて提出してもらった。

最終審査会は6月13日に札幌で開催された。表1に各入賞者と受賞理由を示す。

表1 「PV in HOKKAIDO」受賞者一覧

賞	受賞者(敬称略)	受賞理由
グランプリ	株式会社東芝 研究開発センター	○独自の数値予報モデルと機械学習の組み合わせなどで高精度を実現。予測に必要な要素を自前の技術でカバーするなど精度と実用性の面で総合力の高さが評価された。 ○精度向上に関する考察を定量的に説明したビデオ、レポートも高評価を得た。
準グランプリ	東京理科大学 工学部 電気工学科 植田研究室	○入手が容易な気象庁の予測値を使用する手法を徹底的に追求し高い精度を実現。 ○実業務への取込みや、精度向上などの方向性が得やすいモデルにより、実用性、発展性ともに高い。提案手法のオリジナリティや考察をわかりやすくまとめたビデオ、レポートも高評価を得た。
精度賞 1 位	Tangent Works	○モデルを自動的かつ即時に構築する高度な機械学習により、応募者の中で最も高い精度を達成した。
精度賞 2 位	東京理科大学 工学部 電気工学科 植田研究室	準グランプリの欄参照
精度賞 3 位	株式会社 Synspective	○パネルへの日射入射角を学習用の入力として導入するなど工夫と機械学習の活用により高精度を実現した。
手法賞 (実用性)	チーム『PV-4cast』 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター システムチーム、東京大学 生産技術研究所 荻本研究室)	○入手が容易な気象庁の予測値のみを使い、複数の機械学習を組み合わせる手法は実用性が高い。
手法賞 (発展性)	北見工業大学 前田康成	○エリア一括予測にチャレンジ。北海道外の気象データ活用など興味深い工夫がなされ、今後の発展性が期待できる。
特別賞	慶応義塾大学 理工学部 滑川研究室	○天気予報データのみで予測する非常に簡易なモデルが特徴的。
	伊藤忠テクノソリューションズ 株式会社 エネルギービジネス推進部	○北海道東部地域で発生しやすい霧の影響を考慮した点が特徴的。

実績データと機械学習を活用して高精度を追求したチーム、実運用と同様に予測日前日の予報データを用いて高い精度を実現したチーム、広域一括予測に挑戦したチーム、気象予測データを使用しない手法を試みたチームなど、多種多様な予測手法の提案があったが、厳正な審査の結果、予測精度・手法の実用性における総合力の高さから株式会社東芝がグランプリを受賞し、精度賞2位にもランクインした東京理科大学が準グランプリを受賞した。

予測精度誤差の少なさを競う精度賞にはスロバキアの Tangent Works 社が1位、2位が前述の東京理科大学、3位には小型衛星によるリモートセンシングを手掛ける株式会社 Synspective が入った。

予測手法の実用性と発展性を評価する手法賞には、産業技術総合研究所／東京大学の合同チームと北見工業大学が選ばれ、特別賞には慶応義塾大学と伊藤忠テクノソリューション株式会社が選ばれている。

入賞者には賞典に応じてあらかじめ設定した賞金を贈呈している。

審査委員長の 北海道大学 北教授からは「PV 発電量予測は多種多様であり、各手法を横並びに評価する本コンテストは学術的な価値も大きい。今回、多岐に渡る提案があったが、それぞれに工夫がなされ、オーソドックスな手法であっても精度を高めるよう試行錯誤した参加者や、機械学習と組み合わせた新しい手法に取り組む参加者もいるなど、有益な提案が集まるとともに更なる向上が期待できる結果と評価している。本取組みが今後より良い予測手法の実現に発展することを期待する。」とのコメントを頂いた。

また、主催者である東京電力、北海道電力の審査委員からのコメントは以下のとおりである。

「今後、AI 等の技術が進展すると、説明は出来ないが精度が高いなどの予測手法が出てくるのが想定され、それらの技術とどう向き合い、どのように扱っていくかが重要となってくる。これまで培ったオーソドックスな手法と AI 等の新技術をツーストリームで進めていくことが必要と考える。」(東京電力 フェロー 姉川経営技術戦略研究所長)

「同じテーマで横並びに評価でき、意義深い取組みとなった。特に、各提案を分析すると、予測精度の分布が手法毎にほぼ分類できる結果となり、各手法の限界ラインが見えてくるなど興味深い知見が得られた。今後は AI とオーソドックスな手法を組み

合わせ、さらに人の経験等も含めた仕組みを構築することで、より良い手法に発展できるのではと考えている。」(北海道電力 執行役員 皆川総合研究所長)

5. 結果の総括

本企画にあたり、最終審査対象の13チームの結果について全体俯瞰を試みた。

図3は、13チームの予測誤差と誤差のばらつきの関係をプロットしたものである。

縦軸は今回の評価指標である予測誤差 (RMSE) を示し、横軸は予測誤差のばらつき (標準偏差) を示している。標準偏差は、チーム毎に一日単位の予測誤差を算出し、期間全体の予測誤差に対するばらつきとして表している。

本企画にあたり掲載の許可を得た東芝、東京理科大学、産業総合技術研究所 (AIST) 以外は匿名表記としている。

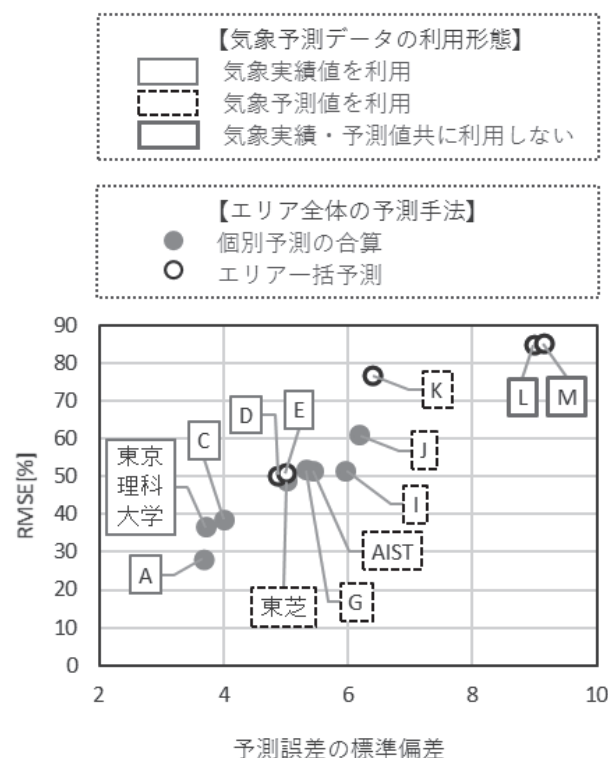


図3 予測誤差とばらつきの関係

全体傾向として予測誤差が小さい方が誤差のばらつきも小さいが、ここでは予測手法のアプローチの違いに着目してみたい。

まず、気象データの使用形態では、今回のルールに則り気象データの実績値を用いて予測したチームが概ね高精度を実現している中、自ら作成した気象モデルによる予測データを用いた東芝が健闘してい

ることがわかる。

気象データを使用せずにチャレンジした2チームは、残念ながら精度面では一歩及ばずという結果である。

次に、エリア全体の予測方法に着目してみる。

個別地点の予測結果を積上げる手法が予測精度の上位を占める結果となった、中位以降ではエリア一括予測のチームも健闘しているが、精度面では個別地点の積上げが一歩有利である傾向が伺えた。

「PV in HOKKAIDO」の結果を以下のとおり総括する。

- ・多種多様な手法を横並びで評価できたことに大きな価値があった。
- ・気象予測データを利用しない手法へのチャレンジなど、斬新な発想に出会うことができた。
- ・ルールに則り実績値を使用したチームが高精度だが、予報値を使用したチームも健闘した。
- ・エリア一括予測よりも個別地点予測を積み上げた方が精度的には若干有利であった。
- ・積雪影響予測には全体的に課題が残った。様々なモデルを提案いただいたが、サンプルとなる学習データ自体が不足している。
- ・必要なデータが少ないなどシンプルな手法、複数の機械学習の組み合わせなど複雑な手法があるが、精度面ではどちらが有利とはいえなかった。
- ・従来物理モデル×機械学習の組み合わせが現実的なアプローチと考えられた。

現在、主催者では「PV in HOKKAIDO」を通じて得られた知見の実務への活用等について検討を進めているところである。

6. おわりに

「PV in HOKKAIDO」の試みは、主催者にとって、多種多様な予測手法との出会いにとどまらず、オープンイノベーションを効果的に進めるためのコンテスト設計のあり方など、数多くの「気づき」が得られている。参加者にとっても今回のコンテストによって各自の予測技術の進展や新たな発見があれば幸いである。

太陽光発電をはじめとする変動型電源の発電量予測技術は今後ますます重要になることが予想される。今回の取り組みにより、予測技術に関わる技術者・研究者間の交流がこれまで以上に活性化し、さらなるイノベーションに繋がることを期待する。

7. 謝辞

本コンテストの開催にあたり、エントリー頂いた全ての参加者に感謝の意を表する。

本コンテストの運営にあたっては、株式会社CUUSOO SYSTEM には Web サイト "TEPCO CUUSOO" の運営やエントリー受付や各種情報発信を、東電タウンプランニング株式会社および株式会社リブには参加者との情報連絡および提出物の受け取りを、ナインシグマ・アジアパシフィック株式会社にはエントリー誘導を支援・協力して頂いた。また、電気学会 新エネルギー・環境技術委員会の後援を頂いた。ここに感謝の意を表する。

著者略歴



原 亮一 (ハラ リョウイチ)

2003年3月北海道大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)

2003年4月～2006年3月横浜国立大学大学院工学研究院助手

2006年4月より北海道大学大学院情報科学研究科助教授、その後職制変更・改組を経て、現在は同大学大学院情報科学研究院准教授



真保 崇 (シンポ タカシ)

1995年4月東京電力株式会社入社。

2017年6月より 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 研究総括室 オープンイノベーション推進グループマネージャー



渡辺伸央 (ワタナベ ノブヒロ)

1993年4月北海道電力株式会社入社。

2019年4月より総合研究所 エネルギー利用グループリーダー