

## 北日本沿岸の洋上風況への地形性強風の影響

### Impact of orographically-induced winds to the offshore wind resource around northern Japan

\*島田 照久<sup>1</sup>

\*Teruhisa Shimada<sup>1</sup>

1. 弘前大学大学院理工学研究科

1. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University

北日本の陸上および沿岸海域は、日本の中では、風力エネルギー資源が豊富であることが示されている。そして、風力エネルギーの賦存量が大きい地域では、一般風が強いことに加えて、地形性強風が頻繁に発生していることが示唆されている。しかしながら、局地的に発生する地形性強風の観測はまだ十分でなく、発生メカニズムを扱った研究も少ない。風力エネルギーの利用が進むにつれて、風力エネルギー賦存量の詳細な把握、風力エネルギーの変動要因の理解、風力発電の出力予測の改善が求められるようになっており、地形性強風の気象学的な理解が必要である。

本研究では、津軽海峡や宗谷海峡を中心として、北日本沿岸海域で発生する地形性強風の事例を示し、その分布、発生要因、また経年変動等をまとめ、洋上風況の理解につなげることを目指す。

例えば、夏季にオホーツク海高気圧が発達し、日本海を低気圧が進んでくる気圧配置の時は、東寄りの地形性強風が各地で発生する。特に、津軽海峡や宗谷海峡では、風速は12m/s以上に達することがあり、夏季の高風速発生の主要因は地形性強風である。地形性強風は、北太平洋の亜寒帯海域から下層（せいぜい高度1000m程度）の冷気が押し寄せる時に発生する。そして、海峡・地峡に沿った東西気圧差が、太平洋/オホーツク海側の下層の冷気量および地形性強風の風速の良い指標となる。また、地形性強風の発生頻度の経年変動が大きく、オホーツク海高気圧が発達する年に平均風速が大きくなる。

キーワード：洋上風況、風力エネルギー、北日本、衛星観測

Keywords: offshore wind, wind energy, northern Japan, satellite observation

## 衛星推定日射量と太陽光発電システム導入量を加味した発電量推定 Estimation of photovoltaics power generation in consideration of both its installed capacity and satellite-estimated solar irradiance

\*大竹 秀明<sup>1</sup>、宇野 史睦<sup>1</sup>

\*Hideaki Ohtake<sup>1</sup>, Fumichika Uno<sup>1</sup>

1. 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

1. National Institute of advanced industrial and technology

Recently, in Japan, large photovoltaics (PV) power systems have been penetrated after feed-in-tariff (FIT) in 2012. PV power generations have large variability in both temporal and spatial scales because PV power depended on solar irradiance (or downward shortwave radiation). Solar irradiance has also impact from both clouds and aerosols distributions.

PV power generation from roof-top PV power system on residences, industrial manufactures and small-, medium- and large-scale solar plants have not directly been monitored even by electrical power companies in Japan because monitoring instruments have not been installed even in distributing substations and residences. This is a problematic situation for safety control of electric power grid, because accurate PV power generation from PV power system under various weather conditions were not grasped. Accurate monitoring of PV power generation could be important data for a safety electric power control of power grid in energy management system.

Thus, PV power generation estimation using satellite-estimated solar irradiance data in consideration of PV system capacity for city-wide scale are conducted in Japan in this study for the first time. Furthermore, installed PV power system capacity for each area and future status of PV power will be also discussed.

キーワード：太陽光発電、気象衛星、発電量推定

Keywords: photovoltaics power generation, Meteorological satellite, PV power estimation

## 太陽光発電量予測のためのステレオ計測に基づく雲3次元位置決定

### Evaluation of Cloud locations with Stereo Observations for predicting solar PV temporal variation

\*神山 徹<sup>1</sup>、高瀬 竜一<sup>1</sup>、吉見 隆<sup>1</sup>、大竹 秀明<sup>1</sup>、宇野 史睦<sup>1</sup>、中村 良介<sup>1</sup>

\*Toru Kouyama<sup>1</sup>, Ryuichi Takase<sup>1</sup>, Takashi Yoshimi<sup>1</sup>, Hideaki Ohtake<sup>1</sup>, Fumichika Uno<sup>1</sup>, Ryosuke Nakamura<sup>1</sup>

1. 産業技術総合研究所

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

太陽光発電は再生可能エネルギーとして広く普及が進み、メガソーラーだけでなく多くの小・中規模発電施設の建設・稼働が行われてきている。太陽光発電は雲など天気の影響により発電量が変化する不安定な発電であり、単純な太陽高度などに基づく予想とは大きく異なることがしばしば起きる。特に予想が困難な事例として、細かな雲(1 kmスケール)が次々に通過するような天気あげられ、実際雲の通過のたびに発電量が大きく変化し、気象予報による予測と大きく異なってしまった事例が報告されている(板垣ら, 2011, 2012)。日本における現業の気象予報では2, 5kmの空間解像度が用いられ、1km程度の大きさの雲位置把握は困難となっている。またひまわり8号ではこれまでに比べ空間・時間分解能が大きく向上したものの、ひまわり8号の持つ500m分解能は一つ一つの太陽光発電施設のスケール(メガソーラーでも1 x 1 km)と比較するとやはり十分細かいとは言えない。このようにシミュレーション、気象観測データの空間解像度に比べ、太陽光発電に影響を与える雲のスケールがより小さいことが一つ一つの発電施設における発電予測を困難にする要因の一つとなっている。

このような困難に対し、本研究では100mを切るような細かな空間分解能で雲位置を同定し、細かな雲の通過と発電量変化を広域で結びつけることを目標に、複数の位置に全天カメラを数百mの間隔で地上に設置し、地上ステレオ観測網を構築することを計画している。拠点を増やしたとしても雲計測には選んだ2地点での全天カメラによるステレオ計測がデータの基本となる。そこで本研究ではまず産業技術総合研究所・つくばセンター敷地内に約400m離して設置した2つの全天カメラ画像を用い、ステレオ計測に必要なシステムの構築を行った。

まずカメラの姿勢データに基づき、得られた2地点の全天画像をそれぞれ天頂が中心、画像上下方向が南北となるよう変換を行った。この際観測のコストを抑えることを念頭に、設置時のカメラの姿勢を星の位置により決定することにより、特別な姿勢計測を必要とせずとも誤差0.1°程度の精度を達成している。ステレオ計測の結果、1300 m ~ 3000 mの高度に位置する雲の3次元位置が得られた。また時間的に連続した画像組に対して同様の測定を行うことで3次元位置を推定した雲の動きもとらえることができている。

本発表では全天カメラによるステレオ視に関する取り組みについて紹介を行うとともに、陸域探査衛星Landsat-8号などによる観測と同期して行うステレオ計測により、実際に解像できた空間スケールとその位置に対する精度検証について紹介を行う。また観測期間の実際発電量との比較による発電量予測可能性についても議論を行う。

キーワード：太陽光発電、ステレオ計測、雲

Keywords: Solar photovoltaic power generation, Stereo measurement, Clouds

## 複数の予報機関のアンサンブルスプレッドを利用した日射量予測の大外しの予見可能性

### Detection of forecast busts of regional surface solar radiation using ensemble spread with multi numerical weather prediction centers

\*宇野 史睦<sup>1,4</sup>、大竹 秀明<sup>1,4</sup>、松枝 未遠<sup>2,3</sup>、山田 芳則<sup>4</sup>

\*Fumichika Uno<sup>1,4</sup>, Hideaki Ohtake<sup>1,4</sup>, Mio Matuseda<sup>2,3</sup>, Yoshinori Yamada<sup>4</sup>

1. 産業技術総合研究所、2. 筑波大学計算科学研究センター、3. オックスフォード大学、4. 気象庁/気象研究所

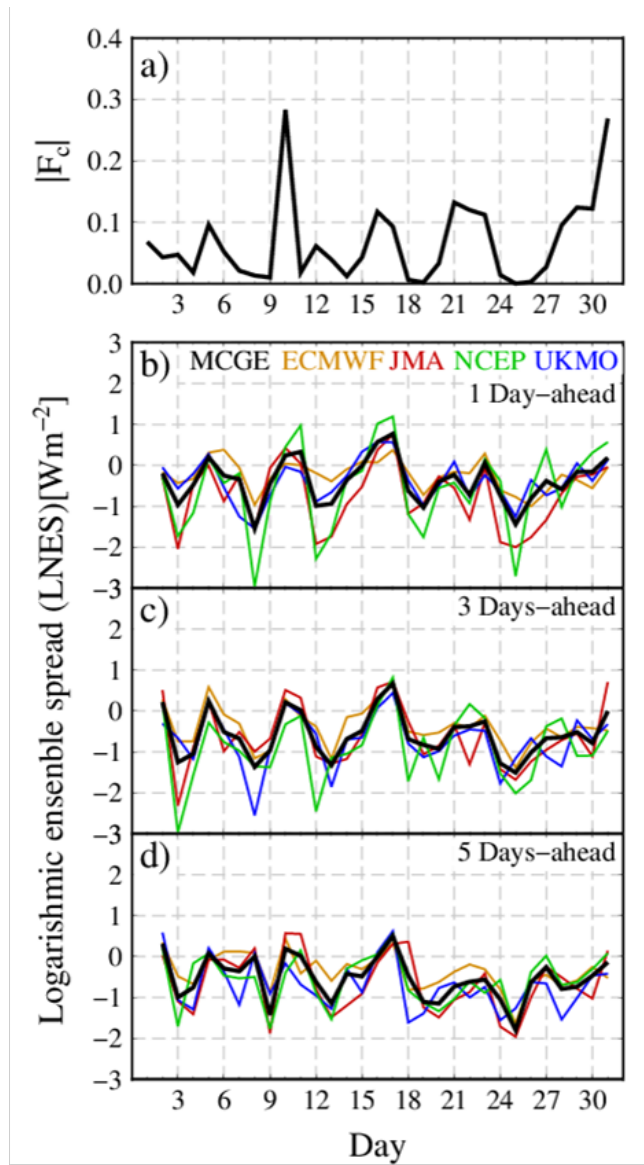
1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, Japan, 3. Department of Physics, University of Oxford, UK., 4. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, Tsukuba, Japan.

Energy management using weather forecast of numerical weather prediction (NWP) center is exposed to blackout risks and production of excessive surplus power owing to the large forecast errors (forecast busts) of NWP models. The detection of forecast busts is important for stable electricity provisions. Dispersion of ensemble forecast (ensemble spread: ES) relate to forecast skill. Multi-center grand ensemble (MCGE) has higher forecast skill than single-NWP center ensemble forecast. It is considered that the ES and ES of MCGE ( $ES_g$ ) can be used as the predictor of the forecast busts. We investigate the detectability of forecast busts on operational regional forecast predicted by Japan Meteorological Agency (JMA-MSM) using lognormal ES (LNES) and ES of MCGE ( $LNES_g$ ) in Kanto Plain, Japan. One- to six-day ahead global forecast at four leading NWP centers (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF, Japan Meteorological Agency: JMA, National Centers for Environmental Prediction: NCEP, and Met Office, UKMO) were used to detect of daily surface solar radiation of regional forecast in 2015.

Root mean square error for the ensemble mean of MCGE ( $EM_g$ ) and 5km regional forecast of JMA-MSM are 27.6 and 28.6  $Wm^{-2}$  for the one-day ahead forecast, respectively. The forecast skill of the  $EM_g$  was found to be comparable with that of the JMA-MSM. In October 2015, the correlation between the absolute value of forecast error coefficient ( $|F_c|$ ) on the operational regional forecast and  $LNES_g$  for the one-, three-, and five-day ahead forecasts are 0.68, 0.63, and 0.45, respectively (see Figure). The correlation for one- and six-day ahead forecast was found to have statistical significance at ten and seven months, respectively. The  $LNES_g$  can be, therefore, a valuable predictor for detection of forecast busts in the regional forecast.

キーワード：アンサンブル予測、予測の大外し、TIGGE、地表面日射量

Keywords: Ensemble forecast, Forecast busts, TIGGE, Surface solar radiation



Figure, Time series of  $F_c$  in JMA-MSM and ensemble spread in October 2015. (a)  $|F_c|$  in JMA-MSM one day-ahead forecast, and (b, c, d) LNES and  $\text{LNES}_g$  in one (b), three (c), and five (d) day-ahead forecast. Colored thin lines indicate the LNES each NWP centers as shown in the legend. Thick line indicates  $\text{LNES}_g$  in MCGE.

# 再生可能エネルギー大量導入下における需給運用のための確率的気象予測手法

## Probabilistic Weather Prediction for Power Demand/Supply Operation Management under the High Penetration of Renewable Energy Power

\*野原 大輔<sup>1</sup>、大庭 雅道<sup>1</sup>、橋本 篤<sup>1</sup>、門倉 真二<sup>1</sup>

\*Daisuke Nohara<sup>1</sup>, Masamichi Ohba<sup>1</sup>, Atsushi Hashimoto<sup>1</sup>, Shinji Kadokura<sup>1</sup>

1. 電力中央研究所

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

太陽光や風力などの再生可能エネルギーは、天候の変化により発電出力が不安定となる性質を持つ。電力は、常に発電と需要をバランスさせる必要があるため、再生可能エネルギーによる発電出力量に直接関係する日射量や風速などを高い精度で予測することが求められている。一方、予測が外れた場合にも需要を満たせるよう、常に火力発電などの制御可能な電源に余裕を持たせた予備力が必要となる。この予備力は、火力発電の不経済運転を生じさせることになるが、確率的な気象予測を活用することで、必要最小限に抑えることが期待できる。

このような背景の元、領域気象モデルWRF(Weather Research and Forecasting)を用いたメソアンサンプル予測手法を開発した。初期値・境界値に気象庁週間アンサンプル予報を利用する。メソアンサンプル予測は、水平解像度15km、予測値の出力間隔30分、コントロールを含む11個のアンサンプルメンバーで75時間先まで予測する。太陽光発電出力予測に利用する日射量予測は、雲の生成や移動といった大気的非線形応答による予測誤差が増大しやすい性質を持つ。メソアンサンプル予測を用いることで、予測した総観場の違いによる日射量予測の不確実性を推定することが可能となった。風力発電では、低気圧や前線の通過の際などに発生する発電出力量の急変化（ランプ現象）が問題となっている。ランプ現象への対応のため、風速の変化の振幅、変化時刻、変化速度などの予測の高精度化が必要とされるが、メソアンサンプル予測を活用することで、ランプ現象の見逃しリスクの低減や、それらの予測の不確実性の評価が可能となった。

キーワード：再生可能エネルギー、確率予測、アンサンプル

Keywords: Renewable energy, probabilistic prediction, ensemble

## Study on the freezer system with solar energy source

\*Onon Bayasgalan<sup>1</sup>, Amarbayar Adiyabat<sup>2</sup>

1. Graduate student , 2. Assoc.Prof

Many countries started to use renewable energy resource as an alternative energy source for electricity production because of environmental issues such as global warming and greenhouse gas concentration as a result of burning fossil fuels. Out of 5 main renewable energy resources, solar energy utilization is constantly increasing because of its mature technology and equally distributed resource throughout the world. Therefore, solar energy is used in many fields and in this study, photovoltaic system performance for meat freezer in rural areas of Mongolia is investigated. The main facilities are movable freezing container, grid connected 3kW photovoltaic modules, inverter, diesel generator and data logger to measure the parameters of this system. Starting from November 2015, we collected a year round site measurement which includes solar irradiation, outside and inside temperature of the container, electricity production and consumption. We use HOMER software to calculate the energy production by photovoltaic system and energy consumption of freezer system. Then, we compared this calculation with the real value and calculated the solar energy share of total electricity consumption. Also, we modeled an E-nose to monitor the freshness of meat preserved in the freezer. The result suggests that it is suitable to use photovoltaic system for meat storage in rural areas where grid electricity interrupts often.

Keywords: solar energy, photovoltaic system, freezing system

## 全天空カメラ画像からの空割合時系列データの抽出

### Derivation of time series of the sky-cloud ratio from omnidirectional camera images for predicting sky conditions

\*園田 哲平<sup>1</sup>、小郷原 一智<sup>1</sup>、畑中 裕司<sup>1</sup>、砂山 渡<sup>1</sup>

\*Teppei Sonoda<sup>1</sup>, Kazunori Ogohara<sup>1</sup>, Yuji Hatanaka<sup>1</sup>, Wataru Sunayama<sup>1</sup>

1. 滋賀県立大学

1. University of Shiga Prefecture

Prediction of photovoltaic output is necessary to efficiently control photovoltaic systems. In order to make a prediction about the output, it is necessary to predict the variations of the sky conditions. Therefore, the purpose of this study is to prepare a system that can always continue to take sky images using an omnidirectional camera, and to develop algorithms for calculating the time series of the sky ratio. First, we take sky images once every minute by the camera and store them as JPEG images. Next, we train a classifier using R and B of some images. Finally, we calculate the sky ratio of images, which we did not use for the training, using the classifier. F-measure in the cases of cloudy day is  $>0.9$  and that in the cases of clear day is approximately 0.9 at daytime. Although F-measure tends to decrease drastically in the images with dark sky at dawn and evening, we are able to extract variations in sky ratio over the observation period, especially accurately in cloudy and mostly sunny days.

キーワード：太陽光発電、全天空画像

Keywords: Photovoltaic generation, All-sky images



# 日本における風力ランプ現象の総観気候学的な要因分析と中期予報マルチモデルアンサンブルに基づく確率予測手法の開発

## Climatological attribution of wind power ramp events in East Japan and their probabilistic forecast based on multi-model ensembles

\*大庭 雅道<sup>1</sup>、野原 大輔<sup>1</sup>、門倉 真二<sup>1</sup>

\*Masamichi Ohba<sup>1</sup>, Daisuke Nohara<sup>1</sup>, Shinji Kadokura<sup>1</sup>

1. 電力中央研究所

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

天候によって出力が変動する風力・太陽光といった再生可能エネルギーは、大きな出力変動によって電力の安定供給に悪影響を及ぼす可能性がある。本研究では、東北電力管内における過去の風力発電量推定値を作成し、長期大気再解析データの総観気象場と風力発電の大きな出力変動（ランプ現象）発生との関連性を自己組織化マップにより調査するとともに、風力発電量の中期予測（1-2週間程度）手法を開発した。自己組織化マップにより圧縮された過去の総観気象場の情報を発電量の確率予測のためのアナログ（モデル）として使用することにより、5つの予報機関（日本、欧州、イギリス、アメリカ、カナダ）の中期アンサンブル予報データから風力発電量の確率的週間予報を行い、その精度検証を行った。その結果、5つの予報モデルに基づく積算風力発電量の週間確率予報の精度は、それぞれのモデル単一の予報結果に比べ、有意に予報成績を向上させることがわかった。また、気象パターンのトラジェクトリー気候値から、それぞれのモデルの予報精度は総観気象場の日々の変化の再現性と関連していることが示された。

キーワード：風力発電、ランプ現象、自己組織化マップ、気象パターン、総観気候学、再生可能エネルギー  
Keywords: Wind power, Ramp events, Self-organizing maps, Weather patterns, Synoptic climatology, Renewable energy

# オープン方式地中熱ヒートポンプシステムのための浅層地下水水質評価 Evaluation of shallow groundwater quality for use in open-loop type groundwater-based heat pump system

\*井岡 聖一郎<sup>1</sup>、町田 功<sup>2</sup>、村岡 洋文<sup>1</sup>、鈴木 陽大<sup>3</sup>

\*Seiichiro Ioka<sup>1</sup>, Isao Machida<sup>2</sup>, Hirofumi Muraoka<sup>1</sup>, Yota Suzuki<sup>3</sup>

1. 弘前大学北日本新エネルギー研究所、2. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、3. 弘前大学理工学研究科

1. North Japan Reserach Institute for Sustainable Energy, Hirosaki University, 2. AIST, 3. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University

積雪寒冷地域では、冬季の暖房融雪のために灯油を利用しているが温室効果ガス排出抑制の観点からは地中熱の利用が望まれる。地中熱利用ヒートポンプシステムでは、クローズド方式とオープン方式があり、クローズド方式では地中熱交換器の設置に高額の初期コストが必要であるが、浅層地下水を利用したオープン方式の場合、初期コストを抑制することが可能であると考えられる。したがって、浅層地下水を利用したオープン方式の普及拡大を推進することが重要であると考えられる。しかしながら、農地や宅地として利用されている沖積低地の扇状地を除く氾濫原や三角州では、浅層地下水がヒートポンプの利用に影響を与える可能性がある鉄分や遊離炭酸を多く含有している場合がある。特に、遊離炭酸濃度について浅層地下水中で常に一定の濃度なのか、あるいは濃度が大きく変動するのか明らかではない。したがって、本研究では特に浅層地下水における遊離炭酸濃度の変動特性を明らかにすることを目的とする。本研究では、青森県津軽平野の浅瀬石川下流域において深度約3m、8m、18mの3深度から地下水をほぼ1年間採取した。採取時に現地でpH、電気伝導率、水温を測定した。分析項目は、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、Fe、Mn、Sr、Ba、Si、アルカリ度である。遊離炭酸濃度は測定結果を用いてPHREEQCで算出した。遊離炭酸濃度は、深度3mの地下水は約50~100mg/L、深度8mは約40~80mg/L、深度18mでは約10~30mg/Lの範囲で変動し、深度が深くなるほど遊離炭酸濃度の変動が小さくなることが明らかになった。これは、地下水の深度が深くなればなるほど、地表面で生じている事象の影響が及ばなくなるからであると考えられた。

キーワード：オープン方式地中熱ヒートポンプシステム、浅層地下水、水質

Keywords: open-loop type groundwater-based heat pump system, shallow groundwater, water quality