

「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の
創出と融合展開」

H29 年度
実績報告書

平成27年度採択研究代表者

中島 孝

東海大学情報技術センター
教授

分散協調型 EMS における地球科学情報の可用性向上とエネルギー需要モデルの開発

※記載要領

■所属・役職は平成 30 年 3 月時点のものを、正式名称で記載してください((独)、(株)等も記載)。

※注意

- ・本報告書の内容は、**平成 29 年度中かつ CREST 研究が実施されている期間**における CREST 研究の成果を対象としています。
- ・§ 1 及び 2 について、公表する「実績報告書」(年報)として、CREST の HP に掲載します。(H30 年 9 月頃の予定)
- ・§ 3 は、公表を予定していません。
- ・公開する部分の項目は、知的財産等に十分ご配慮のうえ、作成をお願いします。
- ・フォントは、和文:MS P 明朝、10.5 ポイント、英文:Century、10.5 ポイントをお使いください。

§ 1. 研究実施体制 (公開)

※記載要領

- 下記の記載例にならって研究機関毎に記入してください。
- ②の研究項目は簡条書きの簡単なもので構いません。

(1) 東海大グループ

- ① 研究代表者:中島 孝 (東海大学情報技術センター/情報理工学部、教授)
- ② 研究項目
 - ・衛星日射量推定手法の改善と気象変動量解析
 - ・データ・インタフェースの開発

(2) JAXA-東大グループ

- ① 主たる共同研究者: 中島 映至 (宇宙航空研究開発機構、EORC センター長)
- ② 研究項目
 - ・衛星観測に基づく日射量推定システムの高度化
 - ・地球科学モデルによる雲場同化手法の開発
 - ・シナリオデータの構築

(3) 千葉大グループ

- ① 主たる共同研究者: 入江 仁士 (千葉大学環境リモートセンシング研究センター、准教授)
- ② 研究項目
 - ・EMSのための日射データ誤差評価地上システムの構築

(4) 阪大グループ

- ① 主たる共同研究者: 下田 吉之 (大阪大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・分散協調型エネルギー管理システムのためのエネルギー需要モデルの開発

(5) 東大生研グループ

- ① 主たる共同研究者: 岩船 由美子 (東京大学生産技術研究所、特任教授)
- ② 研究項目
 - ・需要データプラットフォームの構築とHEMS実装に向けた研究

(6) 東工大グループ

- ① 主たる共同研究者: 日高 一義 (東京工業大学環境・社会理工学院、教授)
- ② 研究項目
 - ・分散協調エネルギーマネジメントシステムにおける需要家行動モデルの研究・開発

§ 2. 研究実施の概要（公開）

中島最強チームは、地球科学分野とエネルギー需要科学分野の融合チームである。地球科学は地球物理学をベースとする理学分野であり、一方のエネルギー需要科学は工学分野である。すなわち、中島チームは理学と工学の境界領域に軸を置く戦略的なチーム構成となっている。チーム運営においては、以下に示すような5つの課題を設定している。

- Q1. 地球科学データの推定精度はどの程度か
- Q2. エネルギー需要を規定する要因は何であるか
- Q3. EMS における需要家の調整能力にはどのようなものがあるか
- Q4. 地球科学データによってエネルギー需要は如何に影響を受けるか
- Q5. これらは EMS にどのような影響をもたらすのか

これらの課題の解決に資するために、H29 年度は、①衛星データ解析システムの改善、②地球モデルによる地球物理量算定システムの改善、③品質保証とデータ異常検出、④気象データの変動解析、⑤シナリオデータの作成、⑥エネルギー需要モデルの開発、⑦需要データプラットフォーム構築に向けた分析、⑧需要家行動モデル開発、⑨需要家情報の整理、⑩データ・インタフェースの開発、及び⑪異分野交流・国際交流、と多岐にわたる活動を行った。H29 年度に行ったこれらの研究活動のダイジェストを下記に記す。

まず、①衛星データ解析システムの改善において特に大きく進展したのは、ひまわり8号を用いた大気移動ベクトル解析に基づくアンサンブル短時間予測である。近未来の日射量予測は多方面から強い要望があったが、いよいよこれが現実的になってきた。H28 年度の段階でアンサンブル短時間予測手法の開発について報告した。H29 年度は1パターンのアンサンブルメンバーに注目し、ベクトル解析の手順を見直すとともに、全体の評価方法について検討した。今回は特に雲パターンの再現性を評価した。さらに、日射に影響を与えるエアロゾル (Hashimoto and Nakajima, 2017) および水蒸気量の衛星推定を開始した。また、日射量推定の前段階で実施される雲特性解析アルゴリズムの維持管理として、データベースの健全性の確認とデータ解析結果の確認を実施した。当チームで多く使われる衛星データの利便性向上のため、東海大学湘南校舎19号館屋上に完成した新しい衛星受信システムによる衛星データの受信を開始した。次に、②地球モデルによる地球物理量算定システムでは、衛星データから推測される雲水量分布の計算手法の改善のために、衛星雲水量をモデルに取り込む方式を改善した。また、そのモデルを用いた領域モデル実験で境界データとして使用する気象庁の MSM データ(風、気温等)との整合性を調査した。③品質保証とデータ異常検出では、ひまわり8号データの複数年比較解析を行い、高精度な誤差評価を実施した。また、データ異常検出基準の高精度化を継続するとともに異常検出システムの開発に着手した。具体的には、家庭での活用を含め社会に広く異常検出システムが実装できるように、自動かつ低消費電力の異常検出システムの開発を進め、その評価を行うとともに、最短1秒から時間分解能を自在に変えて日射量データを測定できるように改良した。④気象データの変動解析では、気象変動解析のオンライン化に取り組み、さらに気象変動時の電力システムの挙動解析の検討を行った。⑤シナリオデータの作成では、特徴的な気象イベントに対応するシナリオの作成について検討を行った。具体的には、H28 年度までに進捗した猛暑日及び真冬日のシナリオをベースに1

年間のデータセットとした。⑥エネルギー需要モデルの開発では、エネルギー需要の決定構造に関する調査とモデル開発が進捗した。さらに、住宅エネルギー需要のモデル開発と応用研究を実施した(Yamaguchi and Shimoda, 2017)。加えて業務施設のエネルギー需要モデルを開発し、これらを用いてエネルギー需要の推計を行い、各種省エネルギー技術の普及によるエネルギー需要の変化を定量化した。また、コミュニティ、都市などの規模で面的に広がる配電系統の仕様を決定する方法を CREST 林チームと共同で開発した。⑦需要データプラットフォーム構築に向けた分析では、住宅属性情報、保有家電の情報、および気象データの収集を行い、HEMS データと紐付けることでデータベース化を図った(図参照)。

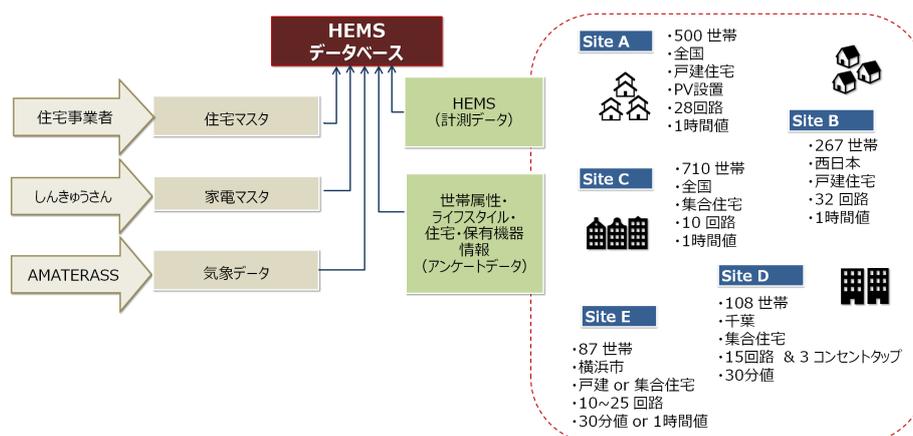


図 HEMS データベースの構造

なお、気象データとして JAXA-東大グループ他で開発された AMATERASS の解析結果を参照するなど、地球科学とエネルギー需要科学の橋渡しを行っている。また、沖縄県宮古島市において、電化やデマンドレスポンスの住民の受容可能性を探索することを目的とした訪問ヒアリング調査を行った。本研究から得られたヒートポンプおよび蓄電池の最適運用モデルの構築は本チームにおける顕著な成果のひとつである(Iwafune et al., 2017)。⑧需要家行動モデル開発では、実証実験環境整備を実施した。H28 年度に九州電力、対馬市役所と対馬の CATV 提供会社である株式会社コミュニティメディアと連携し、実験環境の整備を行った。H29 年度は、実験参加世帯をさらに 50 件増やすために、世帯募集およびシステム整備を行った。これにより H29 年度当初に予定していた実験世帯数 100 世帯を達成した。また、電力消費量見える化実験を実施し現在分析を進めている。⑨需要家情報の整理においては、阪大、東大生研、東工大の 3 グループで 3 年間に 8 回の需要関係グループ会議を実施し、研究分野として「エネルギー需要の計測と分析」、「エネルギー需要モデルの開発」、「エネルギー需要に対する影響要因の解明、介入」の 3 つがあることを整理した。H29 年度はこの活動を国際レベルに展開することを企画した。米国ローレンス・バークレー国立研究所の研究者と連絡を取り、米国においてエネルギーマネジメントにおける需要研究に関する情報交換会を開催する可能性について調整をおこない、H30 年度に 3 グループのメンバーが渡米して情報交換を実施する予定である。なお、この研究はエネルギー需要科学を研究分野として確立することなどを目的としている。⑩データ・インタフェースの開発においては、ソーラーカーレース (WSC2017) のサポートを行うとともに、H28 年度にクラウド上に構築したシステムを実際に運用し、デ

ータ提供の処理速度とクラウド費用について費用対効果を検討した。更に、AMATERASS Webとして GIS 可視化サービスの提供を開始した。⑩異分野交流・国際交流では、本 CREST の他チームとの交流を継続した。また、米国ローレンス・バークレー国立研究所の研究者らとの交流を開始した。さらに、米国航空宇宙局 (NASA) エイムズ研究所との共同研究が開始された。中国科学院とは、エアロゾル同化モデルの構築に向けての研究協力、および衛星データ解析において連携研究を行った。SKYNET 地上観測システムにおいては、NASA や欧州の研究機関における地上観測ネットワークとの連携を継続している。アジア・オセアニア方面における国際展開の足がかりを得るために、気象衛星利用者会議において情報交換を行った。その他にもチーム全体で多数の国際研究発表と論文発表を実施した。

【H29 年度の代表的な原著論文】

- Iwafune, Y., H. Sakakibara, J. Kanamori, "A comparison of the effects of energy management using heat pump water heaters and batteries in photovoltaic -installed houses", Energy Conversion and Management, 148:146-160, Sep 2017. (JST よりプレスリリース)
- Hashimoto, M. and T. Nakajima, "Development of a remote sensing algorithm to retrieve atmospheric aerosol properties using multi-wavelength and multi-pixel information", Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122, 12, 6347-6378, Jun 2017. (掲載誌・学会よりハイライト論文に選定)
- Yamaguchi, Y. & Y. Shimoda, "A stochastic model to predict occupants' activities at home for community-/urban-scale energy demand modelling", Journal of Building Performance Simulation, 10, 565-581. Published online: Jun 2017. (掲載誌に Special issue として掲載)

※記載要領

- 平成 29 年度のチーム全体の研究実施概要について、一般の方向けに簡単に分かり易く、図表等を交えて概ね1ページ程度でまとめてください。
また、今年度で代表的な原著論文を3報以内で記載ください。
- 未公開特許に関する内容など、公開すべきでない研究実施内容は、本セクションには記載せず、§3.研究実施内容に記載してください。

§ 3. 研究実施内容 < 非公開 >

研究総括及び JST が今年度の研究の進捗を把握し、次年度の研究領域のマネジメントに活用することを主な目的としていますので、非公開情報を含む最新の研究情報について記載してください。(※本セクションの公表は予定しておりません。)

(3-1) 顕著な成果

ヒートポンプ給湯機と家庭用蓄電池の活用による太陽光発電システムの自家消費量拡大の効果について検討し、実データに基づいて経済性を評価した。結果、家庭用太陽光発電システムが大量普及していく日本で、ヒートポンプ給湯機と家庭用蓄電池を最適運用させることによって、デマンドレスポンスによる系統の柔軟性向上と省エネ効果を同時に実現することが可能であることが明らかになった。本成果の論文発表に先立ち、JST プレスリリースを実施した(平成 29 年 6 月 7 日「ヒートポンプ給湯機のデマンドレスポンス効果を評価～太陽光発電の2019年度問題解決に期待～」) <https://www.jst.go.jp/pr/info/info1259/index.html>

※記載要領

■今年度の最も顕著な成果について、代表的な論文 1 報を引用し、200 字程度で説明してください。

【H29 年度の最も顕著な成果】原著論文 11)

Iwafune, Y., H. Sakakibara, J. Kanamori, "A comparison of the effects of energy management using heat pump water heaters and batteries in photovoltaic -installed houses", Energy Conversion and Management, 148:146-160, September 2017.

(3-2) 研究実施内容

(文中に論文の引用番号がある場合は H29 成果情報収集シート「(4-1)①原著論文」に対応)

※記載要領

■平成 29 年度の研究実施内容について、研究のねらい、これまでの研究概要、研究進捗状況、研究成果、今後の見通し等の研究実施の具体的内容について、図表等を交えてまとめてください。それぞれの研究グループの研究が、どのようにチーム全体の成果につながったのか分かるように記載してください。

■本文中に、原著論文(平成 29 年度に本 CREST 研究課題の成果として得られたもの)を引用してください。なお、引用した原著論文の書誌事項は H29 成果情報収集シート「(4-1)①原著論文」に列記し、引用した番号と「(4-1)」の番号が合致するようにしてください。(引用例:～の測定手法を開発し¹⁾、～を実証した²⁾。)

■図、表、写真等にも**番号の記載**を、お願いします。(例:図1, 図2, 表1, …)

当チームの研究実施内容を以下のとおり記載する。図表番号は章ごとに連番とした。

文中に論文等の引用番号がある場合は H29 成果情報収集シートに対応し、参考文献(H27-29 年度のチーム成果以外)は脚注として表記した。

3-2-1 第三世代ひまわり観測データに基づく日射量算定システムの開発	8
3-2-2 モデルによる地球物理量算定システム	23
3-2-3 品質保証とデータ異常検出	27
3-2-4 気象データの変動解析	35
3-2-5 地球物理量データによるシナリオデータの作成	40
3-2-6 エネルギー需要モデルの開発	42
3-2-7 需要データプラットフォーム構築に向けた分析	51
3-2-8 需要家行動モデルの開発	61
3-2-9 需要家情報の整理	69
3-2-10 データ・インタフェースの開発	71
3-2-11 異分野交流・国際交流	77

3-2-1 衛星データ解析システム(JAXA-東大、東海大)

(1) 研究計画

期間全体では(i)第三世代ひまわり観測データに基づく日射量推定アルゴリズムの開発と速報システムの構築、(ii)雲とエアロゾル等大気要素の推定アルゴリズム適用高度化を実施する予定である。H27年度は第三世代ひまわり観測データに基づく日射量推定アルゴリズムの開発と速報システムの基礎部分を構築し、雲とエアロゾル、水蒸気の適用高度化について検討を開始した。H28年度は新しいエアロゾル算定アルゴリズムの適用を中心に実施し、雲場解析の応用として衛星観測に基づく短時間予測の適用実験を行った。H29年度はエアロゾル速報システムの試験運用開始、及び水蒸気量の推定を行うとともに、高精度な日射量解析のための新しいアルゴリズムについて開発を開始する。

(2) 基盤整備(JAXA-東大グループ)

H27年度では本研究課題の実施に不可欠な日射量推定用の計算機を導入した。この基盤整備により衛星観測データに基づく日射量の準リアルタイム解析を開始、日射量データを軸としたEMSに不可欠となる気象パラメータ・データの配布を実施している。また、衛星観測及び地球物理量算定モデルによる出力を保持するためのデータアーカイバも設置した。H28年度は27年度に続き120TBのアーカイバを追加した。また、シナリオデータ作成のための計算機も整備した。これを利用して過去の観測事例と将来のモデルシミュレーションデータからシナリオデータセットが作成された。データアーカイバはデータ・インタフェースSGと共有しつつシナリオデータ等の配布準備を進めている。さらに、衛星解析に基づく短時間予測技術として大気の流れ場を解析する手法が開発されたことから大気移動ベクトル解析用の計算サーバを追加予算にて整備した。H29年度は地球科学データアーカイバの整備としてさらに160TBのアーカイバを追加した。これにより計画当初に予定していた300TB超のデータアーカイバの整備を完了した。今後はこれらにてデータの配布等が実行される。また、衛星解析の高度化に伴う進展が認められたため新しい解析アルゴリズム開発用の計算機を整備した。これにより開発は円滑に進められるようになった。

(備考)

追加にて予定されたAMATERASS GISを実現するための予測情報等を広く共有し活用するためのサーバは競争入札を複数連続的に張ることが出来ないルールのためH30年度頭に調達する見通しとなった。

(3) ひまわり8号大気移動ベクトル解析に基づくアンサンブル短時間予測

再生可能エネルギーである太陽光発電は基本的に大気条件に伴う日射量の変化にその出力が左右されることから短時間で大きな変動を伴うため、電力システムの安定的及び経済的運用技術の開発が不可欠とされている。特に経済性を優先するならば変動に対する予備力/調整力を抑制的に保持しなければならないため安定性とのトレードオフが発生する。しかしながら、急速に蓄電池のコストが低下していることを背景としてこの問題は解消される可能性がある。International Renewable Energy Agency (IRENA)は2030年までに蓄電池のコストが最大66%減少する可能性について指摘している[IRENA 2017: Electricity storage and renewables: Costs and

markets to 2030]。これは再生可能エネルギーの普及率に関する大胆な仮定に基づいているが、蓄電池の低価格化によって太陽光発電システムと蓄電池をパッケージした分散型電源の普及が促進される可能性でもあり、近年リチウムイオン電池のコストが実際に急速に減少していることも無視できない事実である。蓄電池を持たない現在の太陽光発電システムは日射量の変動を逐次電力系統側に伝播することから、系統全体の不安定性や経済性の予測困難などが引き起こされる。しかしながら太陽光発電システムと系統の間に蓄電池が介在するのであれば日射量の時間的な変動とは異なり蓄電池から取り出される電力は制御可能であるため大気条件の直接的な影響から開放されるだろう。これにより安定性と経済性に自由度を与えることになる。これは今我々が直面する問題の一つを解決するかもしれないが、一方で新たな問題を提起することにも注意したい。一般家庭を含めた分散電源における蓄電池の容量は消費される電力に対して無限と見なすことは出来ないため、日々の安定的/経済的な運用のためには計画的な充放電プロセス/バッテリーマネジメントが重要な要素となる。また、太陽光をエネルギーソースとする場合 EV の運用にも同じ事が言えるだろう。そのためには大気物理に基づく太陽光発電出力の現況把握及び予測技術が不可欠である。

本研究では衛星観測を利用した日射量推定と観測に基づく短時間予測手法の開発を行っている。H28 年度はアンサンブル短時間予測手法の開発について報告した。アンサンブル予測は不確実性を許容する上で効果的な手法である。しかしながら高精度な予測のためには大気移動ベクトル解析そのものを精査する必要がある。そこで、H29 年度はアンサンブルメンバーを1パターンに絞りベクトル解析の見直しと全体の評価手法について検討した。特に大気移動ベクトルの算出に関してはターゲットとなる雲場の状態に対応した細かい改良が加えられている。今回は日射量の最大不確定要素である雲に着目して雲パターンの再現性を評価した。

図1に 2017 年の 12 ヶ月間から各月 1 日の雲の光学的厚さの予測誤差時間変化を示す。対象領域は 1x1km 日本領域を基本としており面内の誤差積算を行うことで短時間予測における雲パターンの再現性を評価している。どの日の誤差も時間の経過に従って直線的に上昇することはなく、大気ベクトルによる観測に基づく予測が時間方向の誤差上昇を抑え込むように作用していることが分かる。しかしながら誤差の大小は雲パターンに依存し日ごとに異なる傾向が強い。また夕方に向かって誤差のピークが集中する傾向がある。しかしながら太陽放射は日没に向かって減少していくことからこの傾向が大きな問題になることは無いだろう。図2に 5 月 2 日から一週間分の日射量予測の誤差時間変化を示す。正午付近をピークとしているのは南中時にターゲット領域の日射量が最大となるため相対的に誤差が上昇しているためである。夕方に向かって雲の光学的厚さの予測誤差が大きくなっていく傾向は日射の誤差に対しては影響が少ない事が分かる。今後はより誤差を抑え込む方向にチューニングを行うとともにアンサンブルメンバーの有効な展開方法と誤差評価に基づく改良を行う。また、予測の現業化とデータ展開に関して我々は気象業務法に基づく予報許可を持たないことからウェザーニューズ社と連携して作業を行っていく。

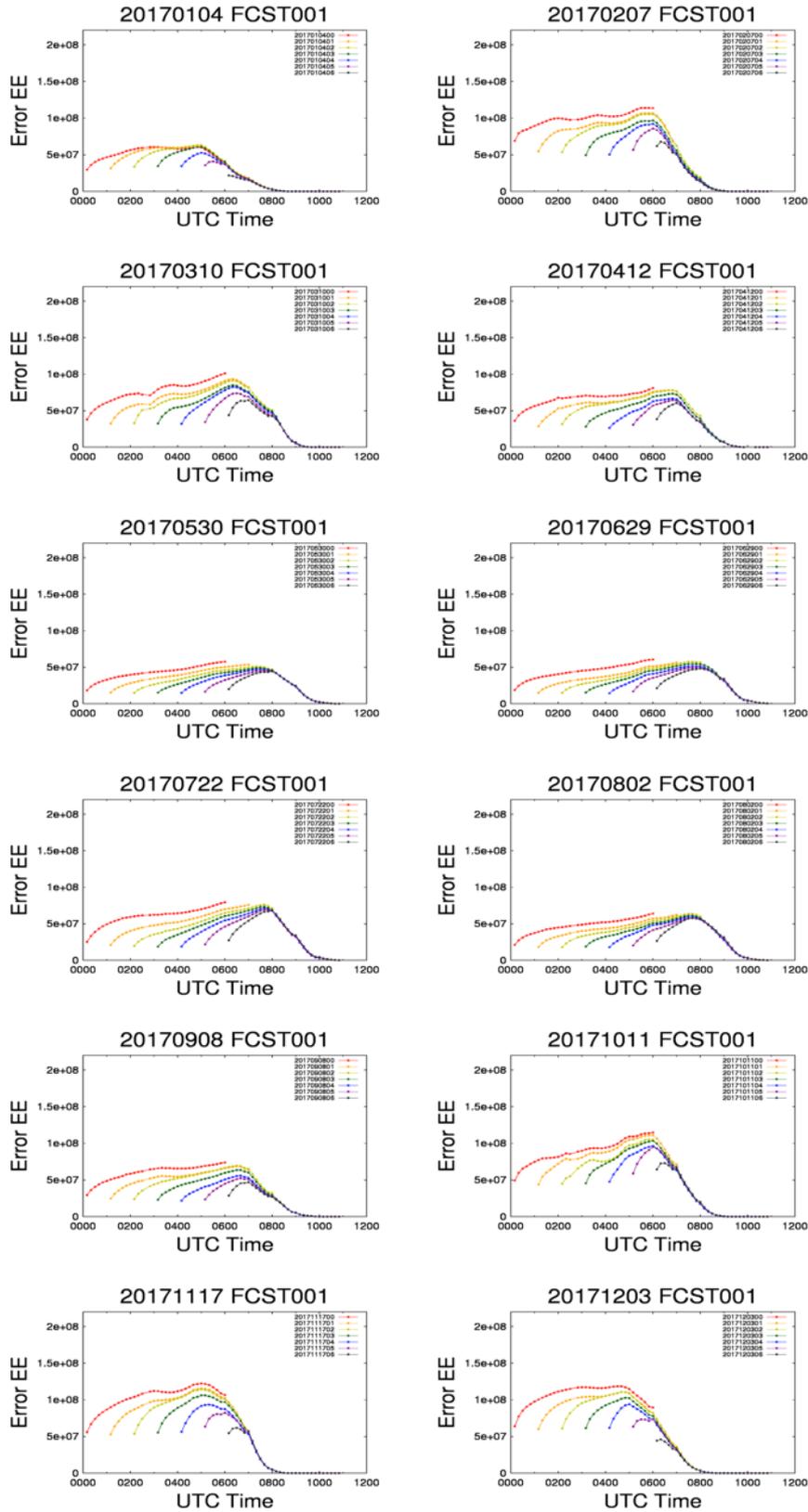


図1：衛星観測に基づく短時間予測の誤差時間変化

1時間毎に予測を行ったときの日内誤差の時間変化を示す。 $EE = \sum |\tau_{fcst} - \tau_{obs}|$
 2017年の各月からランダムに選択された1日をサンプルとして示した。

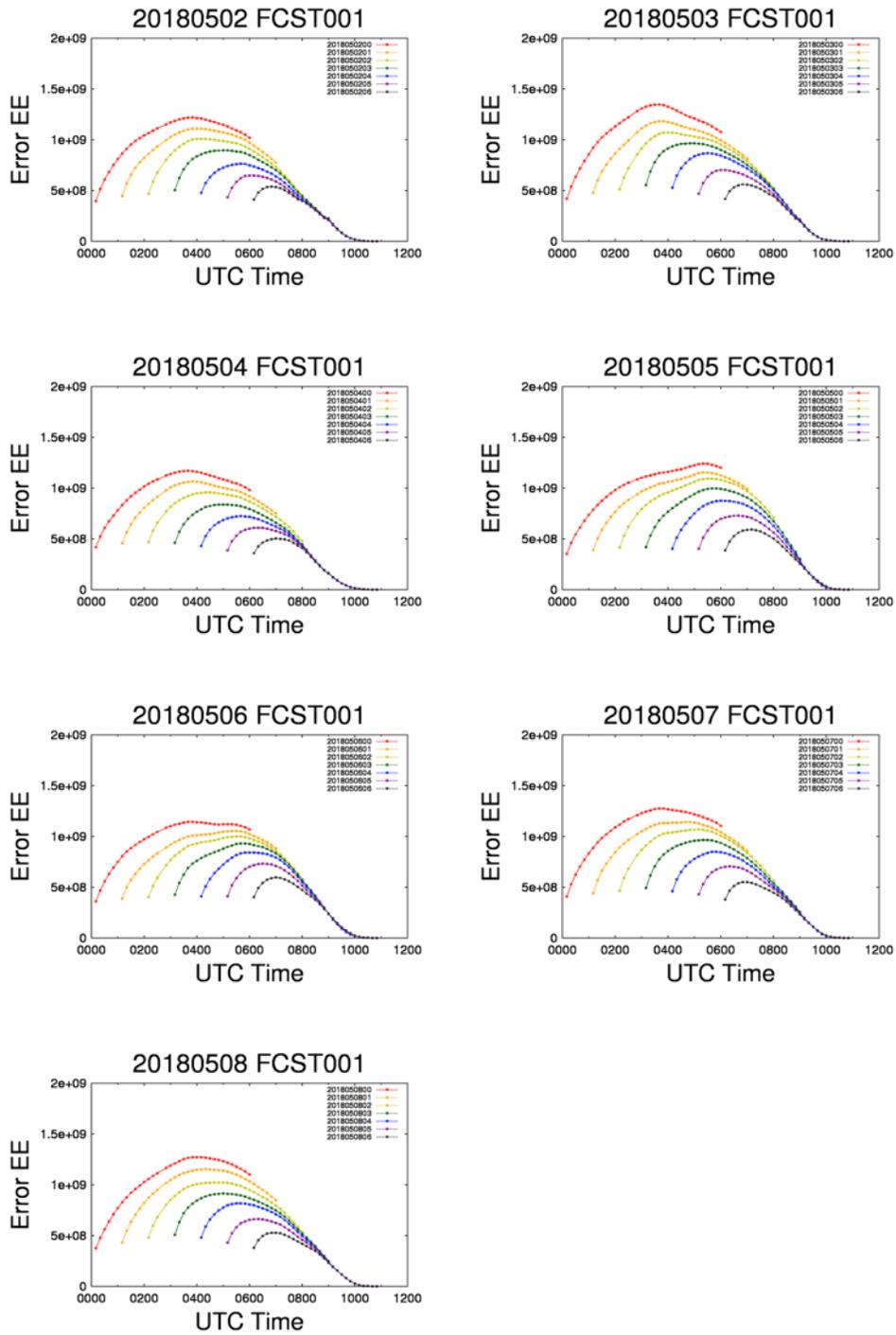


図2：衛星観測に基づく短時間予測の誤差時間変化

1 時間毎に予測を行ったときの日内誤差の時間変化を示す。EE= $\sum |F_{fcst} - F_{obs}|$

2018 年 5 月 2 日から一週間の実際にリアルタイムにて処理された予測結果をサンプルとして示した。

(4) ひまわり 8 号エアロゾル推定アルゴリズム (非公開)

エアロゾルは太陽放射を吸収散乱する効果と雲の凝結核となることで地球の気候に大きな影響力を持つ(直接効果と間接効果)。日射量の最大不確定要素は雲粒だが、エアロゾルもまた重要な要素の一つであり、観測に基づいてその光学特性を得ることは大きな意味をもつ。H28 年度は新しいアルゴリズムである MWMP (Multi-Wavelength, Multi-Pixel) 法[Hashimoto and Nakajima 2017]¹⁹⁾を解析対象全体へ適用する実験を試行した。H29 年度はエアロゾル速報システムの試験を行った。しかしながらその過程で搭載している NN (Neuro-link Network) solver の精度に問題が見られたため、エアロゾル推定及び新しい高精度な日射量解析のための新しいアルゴリズム開発について、まず高速計算ソルバーであるニューラルネットの構造と学習アルゴリズムの改良を試みた。

EXAM SYSTEM に搭載されている NN solver は、学習アルゴリズム Distortion-BP と Neuron survival rule によって実現されている。これは放射フラックス計算を効率よく学習するために開発された。従って本アプローチは経験的手法[Lyu et al., 2018]²⁰⁾とは異なる。しかしながら衛星搭載センサーのシグナルを高精度にシミュレートするには不足であることが分かった。図3及び図4に Distortion-BP による学習結果の例を示す。比較的パラメータ数の少ない簡単な問題は高精度に学習出来るがパラメータ数の多い複雑な問題を与えると学習精度が著しく低下していく事が確認出来る。これは NN solver の利点である LUT が作成出来ない多パラメータ問題、特に極端な多パラメータ状態において問題となることが分かる。従って新しい高精度な学習アルゴリズムの開発が必要である。

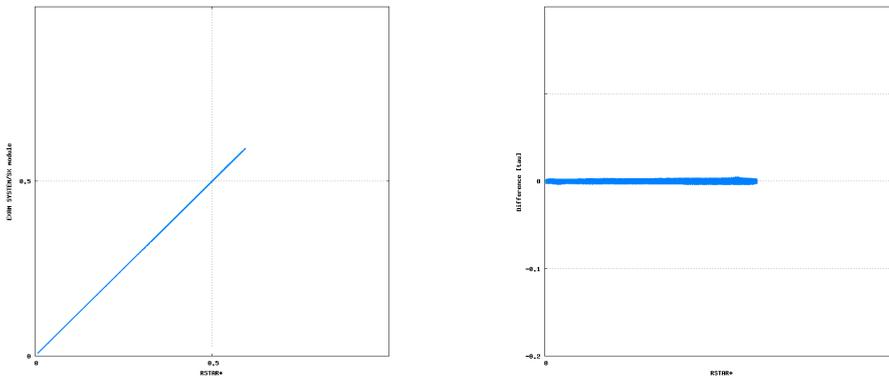


図3 : Distortion-BP による学習結果。パラメータ数の少ない問題の学習を示す。

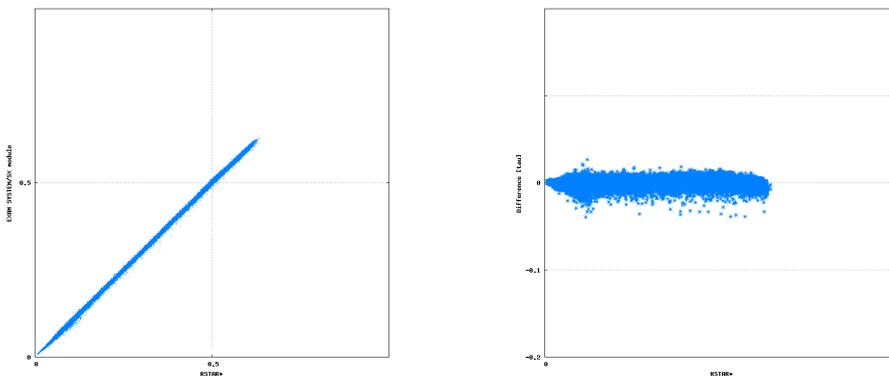


図4 : Distortion-BP による学習結果。パラメータ数の多い問題の学習を示す。

図3、4ともに(左)散布図、(右)誤差

本研究では新たに問題の分類とニューロンの選択的学習の概念を取り入れた。昨今認識の分野で話題となっている Deep learning 手法は広義には中間層の構造を自由に記述することによって単純ニューロンの集合にて複雑な機能を実現する。これは複雑な構造によって複雑な機能を実装しているに他ならない。しかしながらこのアプローチは必然的に中間層の深い構造を前提としていることから複雑な機能を実現するためにはより複雑で深い構造を要求する。それは入力層から出力層へのレイテンシの増加を引き起こすため計算ソルバーとしては問題となる。ここで人間の脳構造を参考にするならば、人間の脳神経ネットワークは必ずしも極端に深くかつ複雑な層構造を持っているわけではないことが計算科学分野における数値モデルとしてのニューラルネットに対する大きな差異である。逆に神経細胞の数そのものはニューラルネットよりも十分に大きな数をもつ。それでは層構造を簡略化してニューロンそのものを増やせば良いかというところではない。脳神経ネットとニューラルネットの根本的な差異はその作動にも見られるためである。ニューラルネットは層構造内のニューロンが構成するネットワーク全体を使用することで複雑な機能を実現しているが、実際の脳は機能の部分分化が行われており、一つの機能に対して必ずしも全体を使用しているわけではない。これはより多くのニューロンを使用しつつ低レイテンシな状態を保つための作動が構造に反映されているのではないかと考えられる。本研究ではこれらの点に着目しつつ問題を分類することで類似した計算パターンの認識/計算をより少ないニューロン数で効果的な学習につなげるように試みた。また、計算における各ニューロンの貢献を評価し貢献度の高いものにより効果的な学習を施す報酬型のアルゴリズムとした。

図5にニューロン単位の貢献度の差を示す。非常に良く作用しているものとほとんど作用していないように見えるものが散見される。旧学習アルゴリズムにおける Neuron survival rule は計算に良く作用していないように見えるものに処理を施す考え方に基づくものである。今回は全く逆の発想でより作用しているものに処理を施すことで改善を促すことを試みた。図6に学習計算コストの変化を示す。選択的に学習することにより計算コストは抑制される方向に作用する。しかしながら抑制の度合いは問題によって異なることと過度に選択幅を狭くした場合は学習が不安定になることが問題の一つとして挙げられる。それでも、特定の問題の要求としてニューロン数や層構造を若干増加させたい場合などは計算コストの抑制は大きな課題となるため重要な要素となるだろう。図7に学習過程における収束状態の一例を示す。これにより旧アルゴリズムよりも良好な収束を得られることが分かった。また、ランダムにニューロンを無視するドロップアウト手法はネットワークのアンサンブル化と汎化能力の向上を狙って行われるが本手法は傾向の異なるものである事が分かる。図8に学習結果の一例を示す。ここでは図4よりも複雑な問題が与えられているがより良い結果を示していることが分かる。これにより放射伝達計算を効率よく近似することで大気パラメータを得るための計算ソルバーを作る事が可能となった。これらは放射計算にまつわる様々な研究[Shi and Nakajima, 2017, 2018, Oikawa et al., 2018, Sekiguchi et al., 2017]^{原著論文 9, 23, 17, 14)} に応用可能である。しかしながら現在の状態は未だ完全なものとは言い難いため今後もより高精度な学習アルゴリズムを模索していく予定である。今後は新しい学習アルゴリズムによって作成された計算ソルバーをエアロゾル推定アルゴリズム及び雲解析アルゴリズム等に実装し EXAM SYS. をアップデートすることでより高精度な日射量推定を行う。

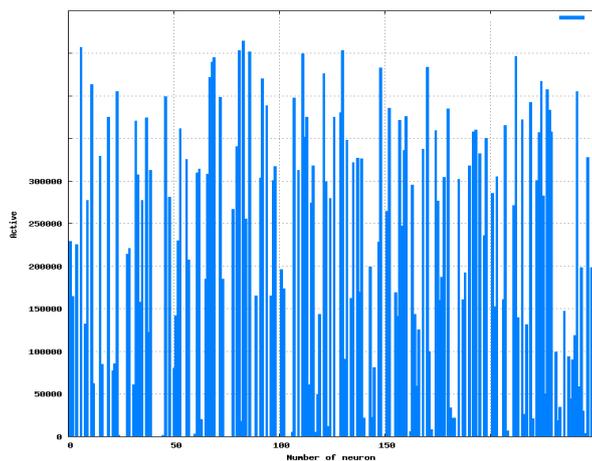


図5： ネットワーク内におけるニューロンの貢献度を評価結果の一例。ニューロンによって計算精度の貢献に大きな差がある事が分かる。

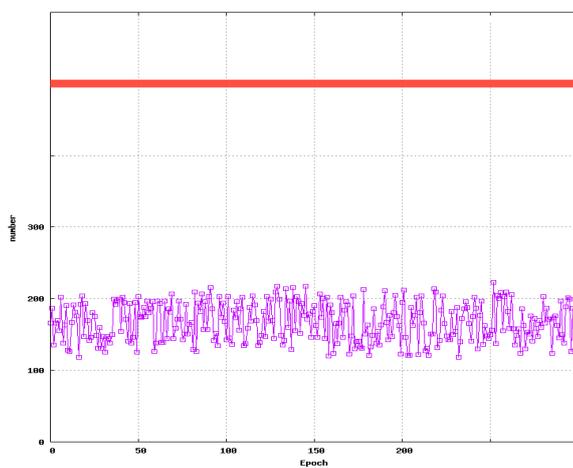


図6： 従来アルゴリズムに対する学習計算コストの変化の一例。選択的に学習することにより計算コストを抑制する方向に作用する。(横軸)Epoch (縦軸)計算コスト評価

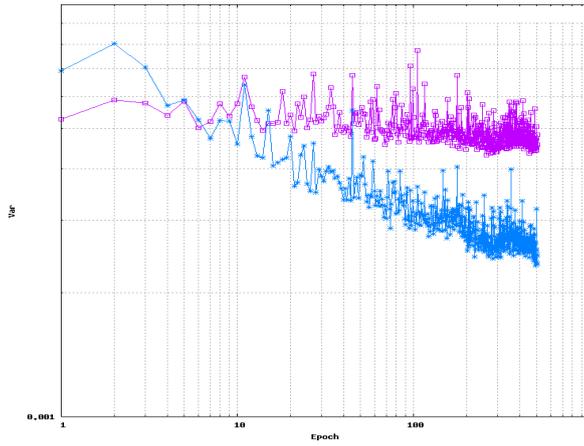


図7：学習過程における収束の一例。旧アルゴリズムに対してより良い収束が得られることが分かる。(横軸)Epoch (縦軸)誤差平均 $(1/N) * \sum |X_{cal} - X_{truth}|$

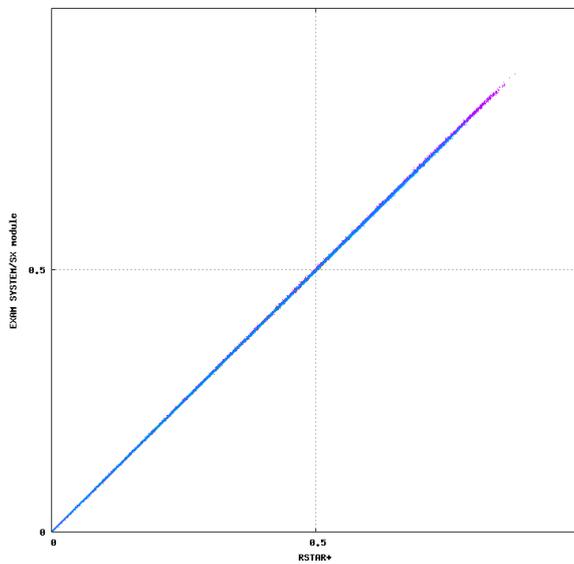


図8：学習結果の一例。図4よりも複雑な問題が与えられているがより良い結果を示していることが分かる。

(5) ひまわり 8 号可降水量推定アルゴリズム

日射量の最大不確定要素は雲であるが、水蒸気(可降水量)は雲に次ぐ日射量の大きな不確定要素である。本研究では「ひまわり」8号観測データに基づく可降水量の推定を検討する。

H27年度は「ひまわり」7号に適用されたものと同様の手法で可降水量の推定を試みた。「ひまわり」8号は10 μm 帯の波長域に8.6、10、11、12 μm に中心波長をもつ4つのチャンネルが搭載されている。これらのチャンネルの主な吸収気体は水蒸気であり、その吸収特性は各チャンネルで異なる。H29年度はH28年度に引き続き、「ひまわり」8号の多チャンネル化に伴い従来の赤外2チャンネルの輝度温度差(BTD [Inoue T., 1987]¹)の多パラメータ化を検討し可降水量の解析を試行し広域の空間分布を得た。ターゲット期間は2016年5月から10月とし、基準とする可降水量データはH27年度と同様国土地理院の電子基準点等観測データを用いてカリフォルニア工科大学によるソフトウェア GYPSY-OASISII を使用して算出された気象庁 GPS 可降水量データである。本手法は衛星搭載赤外センサーの輝度温度差情報を直接用いることから光学的に薄い氷雲や光学的に厚いエアロゾルなどの混濁には弱い。また、H29年度は「ひまわり」8号の可視データにセンサディテクタの校正値に起因するストライプノイズ等問題点が見つかったため赤外データのみから晴天画素判定可能性を調査した。図9左に可視データを基に晴天と判別されたデータの10 μm (T1)と12 μm (T3)の輝度温度の散布図を示す。また、雲解析モデルで薄い巻雲と判別されたデータの散布図を右に示す。12 μm での巻雲による吸収が大きく10 μm の輝度より低めになっていることが分かる。このように本解析に用いたチャンネルの吸収特性は可降水量だけではなく氷晶で構成されている巻雲の影響を受けることが分かる。この特徴を利用して晴天画素の判定を向上させることができたが、可降水量推定精度は期待しているほどには向上しなかった。

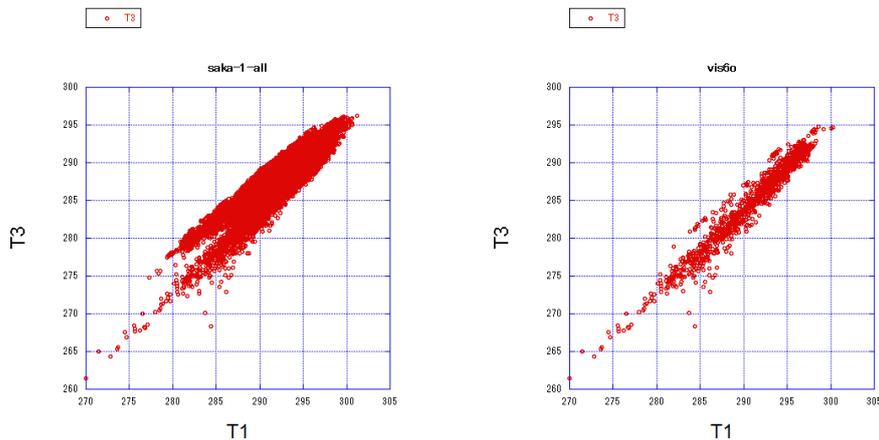
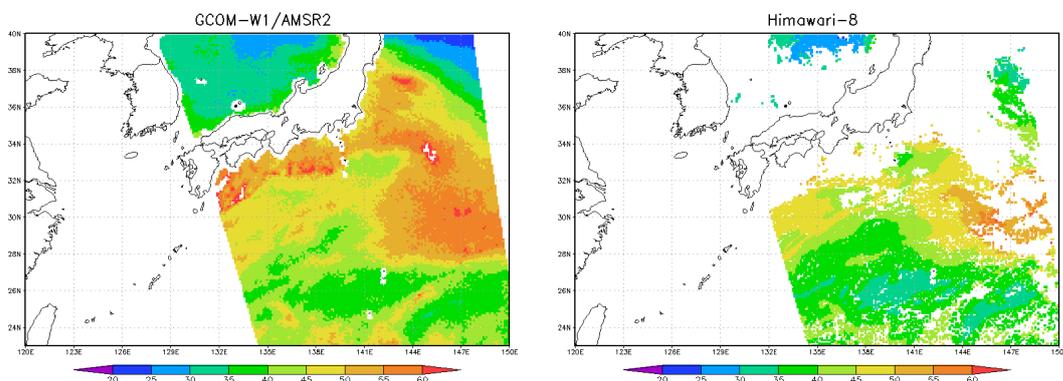


図9：晴天及び巻雲観測時における輝度温度の関係。(左)可視データに基づく晴天判別点と輝度温度差10 μm :12 μm の輝度温度差散布図 (右)薄い巻雲と判別される雲の散布図

¹ Inoue, T., 1987, “A cloud type classification with NOAA-7 split-window measurements”, J. Geophys. Res., 92, 3991-4000

また、BTD の多パラメータを用いて、GPS による観測された可降水量を真として簡単な重回帰式を構築した。複数の BTD を利用することで可降水量をより捉えやすくなる可能性がある。重回帰式を基に GCOM-W に搭載されたマイクロ波放射計による可降水量の観測との比較を行った。図10 に 2016 年 6 月 30 日と 17 日のマイクロ波放射計による可降水量の観測と「ひまわり」8 号で推定された観測値をマイクロ波放射計の観測領域に合わせて切り出したものを示す。マイクロ波放射計では梅雨前線等の雲域でも可降水量が算定されているが「ひまわり」8 号では残念ながら雲域では算定できない。空間パターンは太平洋域でも可降水量の分布は一様でないことや梅雨前線の北側では水蒸気が少ないこと等を良く表現していることが分かる。両者の RMS 誤差は 2.1 mm 程度であった。図11に広域の解析例を示す。「ひまわり」8 号による可降水量の算定ではより広域に、短時間の変動をモニターできるメリットがある。今後はより高精度化の可能性を探りつつ日射量計算への適用について検討する。

2016.06.30



2016.06.17

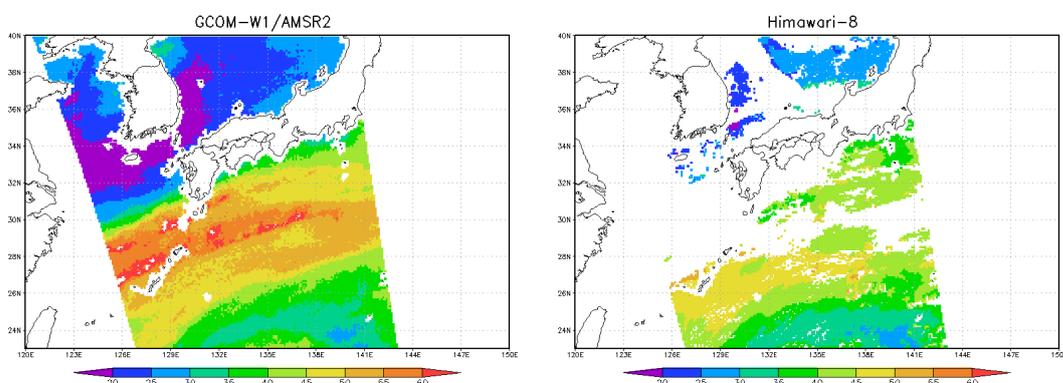


図10 : GCOM-W/AMSR2 可降水量(左)及びひまわり 8 号可降水量推定結果(右)。

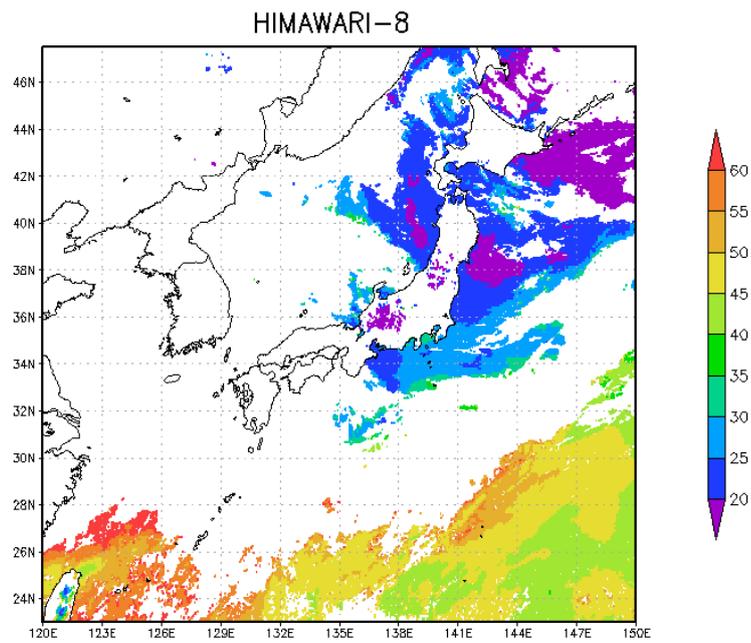


図11：ひまわり8号による2016年06月27日03時(UTC)における可降水量の広域分布解析の例。

(6) 雲解析アルゴリズムの高度化

日本の静止気象衛星は2015年7月に「ひまわり8号」に移行され、2018年3月現在も観測が継続している。本研究課題における主力アウトプットのひとつである衛星日射の処理で用いられる雲特性解析アルゴリズムは、衛星搭載センサー毎に最適化されたデータベース(ルックアップテーブル)を必要とする。H27年度の研究では気象衛星の切り替えに伴うルックアップテーブルの作成を行った。H28年度はルックアップテーブルの健全性の確認とデータ解析結果の確認を実施した。H29年度は、氷雲解析の改善のために、新しいルックアップテーブル(ボロノイ粒子を想定したルックアップテーブル)の試作と導入を図ることとした。そのため、ひまわり衛星のみならず、日本の主力衛星であるGCOM-C, EarthCARE, Terra, Aqua衛星用のルックアップテーブルを計算し、さらに放射伝達方程式を用いて得られた模擬観測輝度から雲物理特性(光学的厚さ τ 、雲粒有効半径 r_{eff})を推定する試験計算を行った。この試験では、設定した雲特性が既知であるため、いわゆるリトリバルの精度の確認が可能となる。

図12~16に、GCOM-C SGLI 水雲(図12)、EarthCARE MSI 水雲(図13)、Terra MODIS 水雲(図14)、Aqua MODIS 水雲(図15) Himawari8 AHI 水雲(図16)の精度確認の結果を掲載する。雲の光学的厚さ(τ)については設定した光学的厚さがリトリブされている結果が得られていることが分かる。一方の雲粒有効半径(r_{eff})であるが、概ね正確にリトリブされているが、一部の結果については1対1の関係からずれていることが分かる。このずれの原因は雲光学的厚さが小さいときに発生する多重解によるものであると考えられる。多重解の発生は推定原理に起因するものなので(Nakajima and Nakajima, 1995)²、現在のところ、この多重解を解消する方法はない。ただし、雲の成長過程においては雲の光学的厚さと雲粒有効半径に正の相関があることを考えると、現実の雲特性観測において多重解に陥る危険性はあまり高くないと考えられる。図17は Himawari8 AHI 氷雲の精度確認の結果である。水雲の場合と異なり、雲粒有効半径(r_{eff})は1対1の関係を保っているが、雲光学的厚さ(τ)が過小評価となっている。単散乱データベースにまだ問題があることが示唆されるため、H30年度はこの問題について検証を行う予定である。

上記の研究成果の他にも、衛星画像から雲を特定する新しいアルゴリズムを開発して論文発表を行った(Ishida et al. 2017, Oishi et al. 2017)^{原著論文 15, 12)}。本手法ではサポート・ベクター・マシンという一種の機械学習を用いている。また、ひまわり 8 号を用いた雲識別手法の応用としてチベット高原における雲量の日変化の研究に関しても成果が得られている(Shang et al. 2018)^{原著論文 16)}。

² Nakajima, T. Y. and T. Nakajima, 1995: Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 52, 4043-4059.

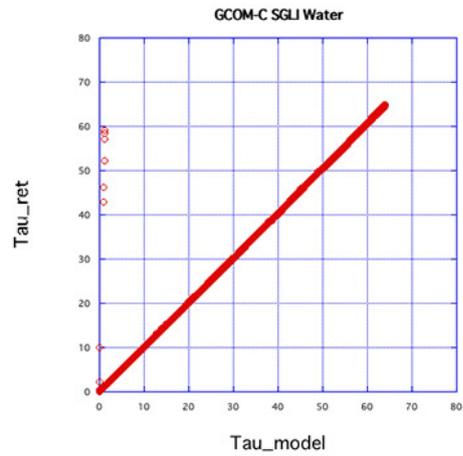
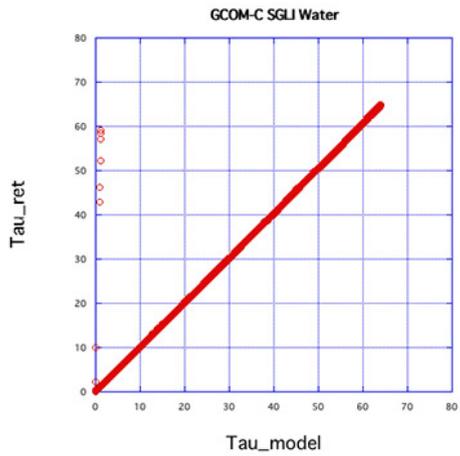


図12 GCOM-C SGLI 水雲を想定したインバージョン試験の結果

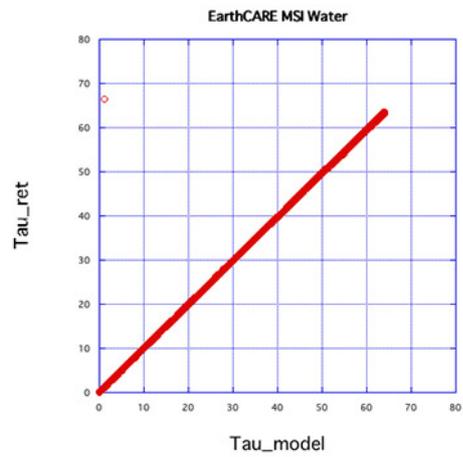
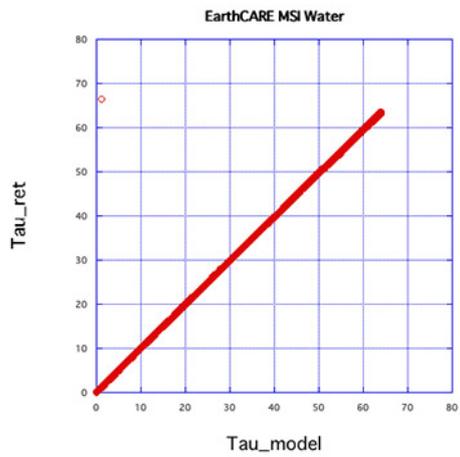


図13 EarthCARE MSI 水雲を想定したインバージョン試験の結果

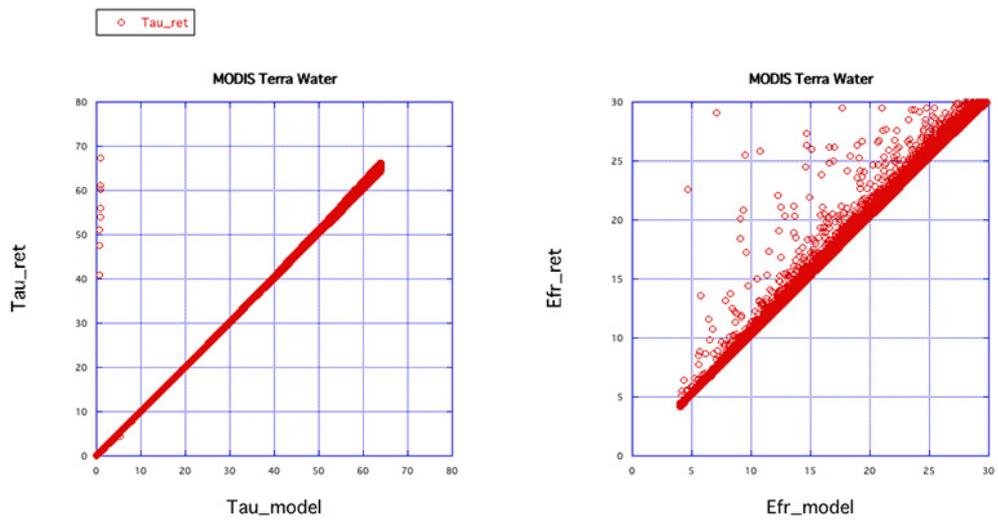


図14 Terra MODIS 水雲を想定したインバージョン試験の結果

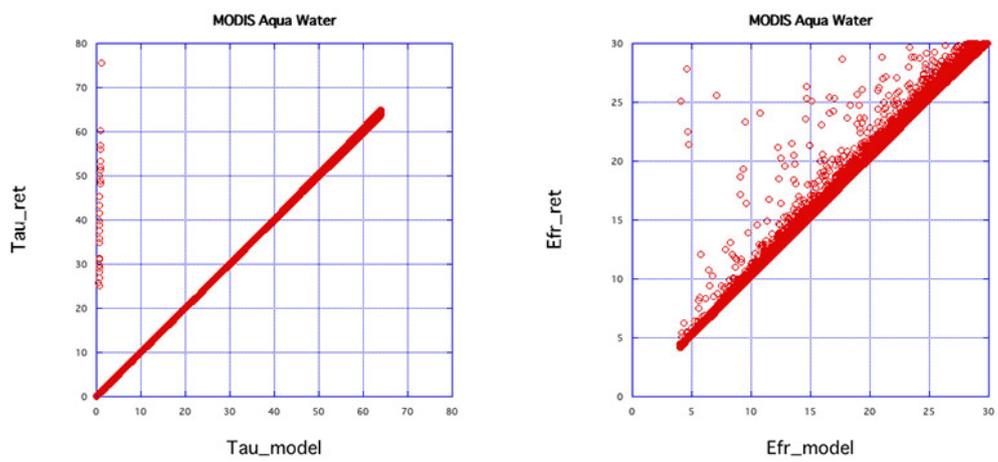


図15 Aqua MODIS 水雲を想定したインバージョン試験の結果

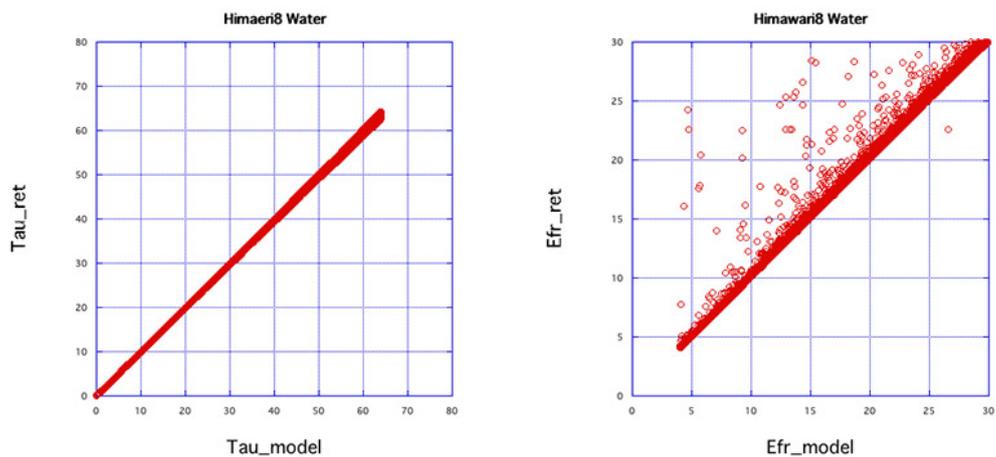


図16 Himawari8 AHI 水雲を想定したインバージョン試験の結果

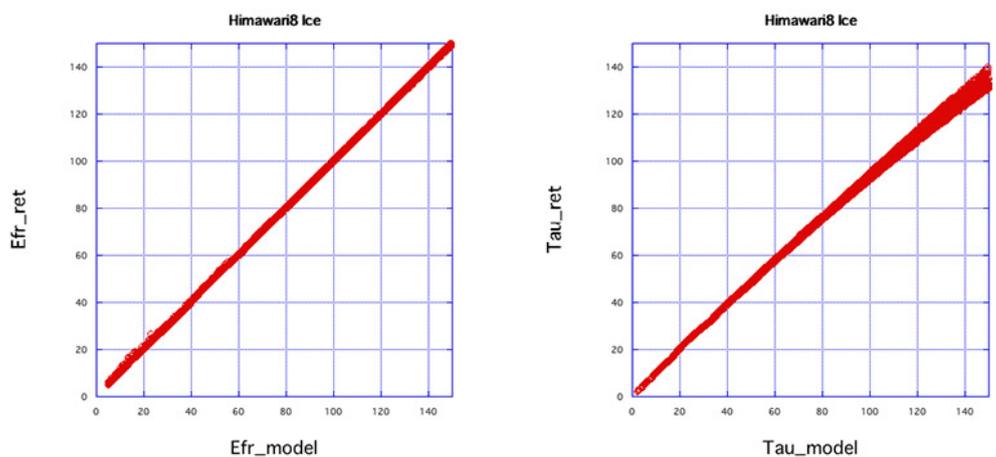


図17 Himawari8 AHI 氷雲を想定したインバージョン試験の結果

(7) 衛星データの利便性向上

H29年度は、H28年度末に東海大学湘南校舎19号館屋上に完成した新しい衛星受信システムで受信したMODISやVIIRSとひまわり8号データの統合利用のシステム開発を進め、衛星データ利用の利便性の向上を図った。また、東海大学のソーラーカーチームがオーストラリアで開催された国際レースWSC2017に参戦した際、ひまわり8号のデータから、オーストラリア大陸の領域を切り出し、トゥルーカラー合成画像を作成し、その画像に東海大学のソーラーカーの走行経路をプロットしたものを10分毎に同チームにネット配信した³。この様子は、2017年11月11日に放送されたBSジャパンの番組「マゼランの遺伝子」で紹介された。

³ <http://www.tric.u-tokai.ac.jp/rsite/r1/jsolar.html>

3-2-2 モデルによる地球物理量算定システム(JAXA-東大)

(1) 研究計画

期間全体では(i)日射量短時間予測技術構築のための新しい雲場同化手法の検討、(ii)多様な大気場への適用性実験と検証、(iii)シナリオデータに基づく短時間予測実験を行う予定である。H27年度は、本CREST第一期において検討された新しい雲場同化手法を用いて問題点の抽出を中心とし、多様な大気場への適用手法の検討を行った。H28年度からは四季による雲場の傾向変化に対する適用性の検討を中心に実施している。また、衛星側の短時間予測の結果を用いて雲場同化を行うための初期検討を開始する。H29年度は、これまでに開発したシステムの性能テストを行い、モデル予測値に誤差パラメータを付与する作業を行う。さらに気象場に関するアンサンブル実験を通して、日射量の推定精度の向上を目指す。

(2) はじめに

太陽光発電は再生エネルギーの一端を担うリソースとして注目を浴びているが、その出力は天候に左右されやすいなど安定性に欠ける面が問題点として挙げられている。安定的な供給の観点から他の発電方法との併用が必要不可欠になるが、大気予報モデルから地表面日射量の近未来予測を行ない、太陽光発電のアウトプット予報を可能とすることはコスト面の効率化を図ることからも大切な指標となる。

本研究の目的は地表面日射量が個々の雲の分布と密接に繋がっていることから、詳細な衛星データを大気モデルに組み込む事でより精度の高い日射量推定を可能とする事にある。このような衛星データから推定される雲の分布を大気予報モデルに同化しての数値モデル実験の手法は他にあまり見られないことから学術的にも意義が有ると思われる。ここで使用する領域大気モデルは全球雲解像モデルNICAMの特定一領域だけを部分的に稼働させた領域モデルD-NICAM(Uchida et al., 2017)^{未発行論文⁵⁾}で、その特徴は計算資源の節約に伴って全球モデルNICAMに比べ容易に高解像度実験を行うことが可能である。また、本モデルはエアロゾル輸送や雲形成におけるエアロゾル効果(Sato et al., 2018)^{原著論文²²⁾}も考慮されているために、エアロゾルの影響も詳細に取り込んだ日射量推定を行う際にも優位性を発揮できると考えられる。

(3) H29年度の成果

H28年度までの研究では、四季による日本近郊での雲の特性の変化に注目し、雲の種類によつての同化の適応性について分析した。一例として、対流性の雲の頻度が多い夏季は、水平風の同化では対応出来ない為、衛星データから推定される雲の同化が効果的となる。その反面、対流性の雲が少ない冬季では、雲の同化よりも水平風の同化が地表面日射量の再現性に対し、より効果的である事が検証された。

H29年度の研究では、衛星データから推測される雲水量分布の計算手法の改善のために、まず、衛星雲水量をモデルに取り込む方式を改善した。それを用いて、領域モデル実験で境界データとして使用する気象庁のMSMデータ(風、気温等)との整合性を調査した。その結果を下の図1に示す。

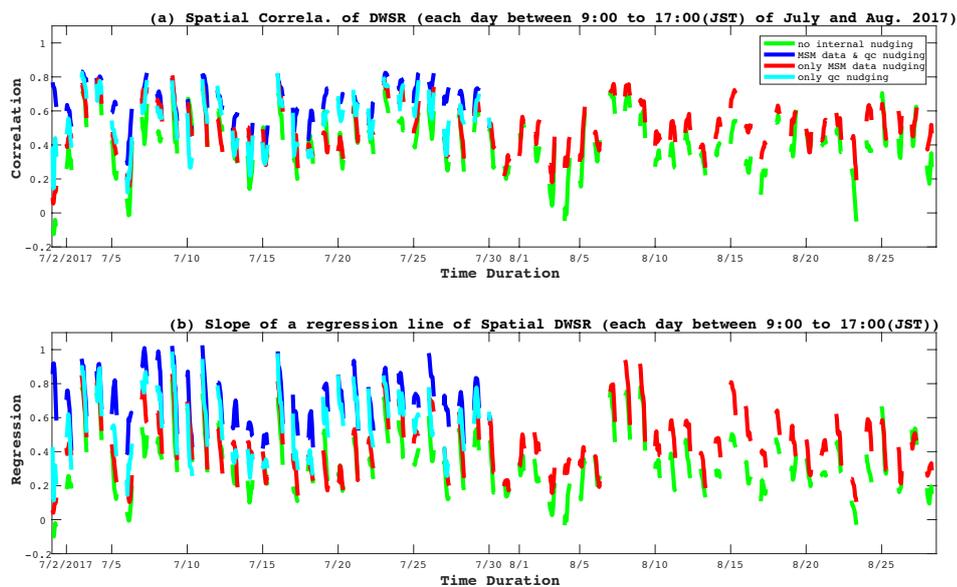


図1. モデルと衛星から算出した地表面日射量の(a)空間相関係数と(b)回帰直線の傾き。領域内での同化なし(緑色)、水平風(MSM データ)の同化あり(赤色)、水平風(MSM データ)と雲水(衛星データ)の両方の同化あり(青色)、雲水(衛星データ)の同化のみ(空色)の実験結果を示す。2017年7月から8月の2ヶ月間。

図1では2017年7月から8月の2ヶ月間の領域モデル実験を領域内同化(ナッジ)有りとなしの数パターン行ない、それを衛星データから直接算出した地表面日射量推定との(a) spatial correlation(空間相関)と(b) slope of the regression line(回帰直線の傾き)を衛星データが存在する朝9時から夕刻17時までの時間帯で算出した。領域内での同化なし(緑色)、水平風(MSM データ)の同化あり(赤色)、水平風(MSM データ)と雲水(衛星データ)の両方の同化あり(青色)、雲水(衛星データ)の同化のみ(空色)の実験結果を示している。図から確認されるのは、水平風と雲水量の両方の同化がある場合(青)が、他の実験に比べて全体的に(a)と(b)の両方で数値が1に近く、もっとも現実に近い形の再現がなされている点である。これは風の場の同化だけでは難しい、細かな対流性の雲の再現が雲水量の同化によって補われるという相互作用が働いていると考えられる。また、雲水だけ同化(空色)と水平風だけ同化(赤)の比較では、空色の線の相関係数がより1に近い日が頻繁に見られることから、雲水量の同化がこの夏季の実験でも非常に効果的である事が確認できる。

図2は朝9時から夕刻17時までの時間帯の実験結果と衛星データの地表面日射量の領域内のそれぞれの地点での時間相関(a-d)と回帰直線の傾き(e-h)を示しており、同化の効果を場所単位で確認することが出来る。

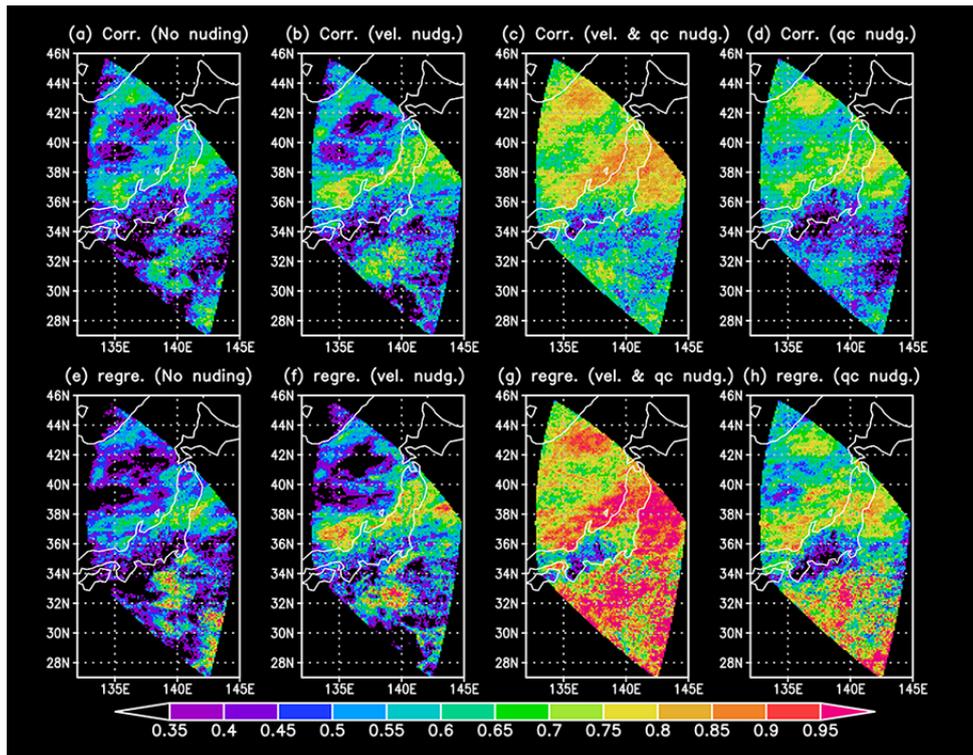


図2. 図1の実験においてモデルと衛星による地表面日射量の領域内のそれぞれの地点での時間相関(a-d)と回帰直線の傾き(e-h)。

左から右に、同化なし、水平風(MSM データ)の同化あり、水平風(MSM データ)と雲水(衛星データ)の両方の同化あり、雲水(衛星データ)の同化のみを表示している。水平風の同化(図2b, f)では全体的に地表面日射量の再現性が少々高まるのに対し、水平風と雲水量を同時に同化(図2c, g)すると、その再現性がどの地点でも大幅に改善することがわかる。また、雲水の同化を含める事で、特に日本海上での時間相関(図2c, d)の改善が顕著に示される。

H29年度はさらに、境界データの選択によるモデル値改善の有無を調査するために、MSMに代わって、H29年度から東京大学とJAXA共同で実施されているNICAM-LETKF(Local Ensemble Transform Kalman Filter)気象場アンサンブル実験で計算された100メンバーそれぞれの水平風を境界データとして適用する準備を行った。まず、NICAM-LETKFのアンサンブルメンバーの整合性を確認する為、LETKFで算出された100メンバー平均の水平風を使用しての同化実験を行ない、その結果をMSM水平風データでの同化実験の再現性と比較した(図3)。

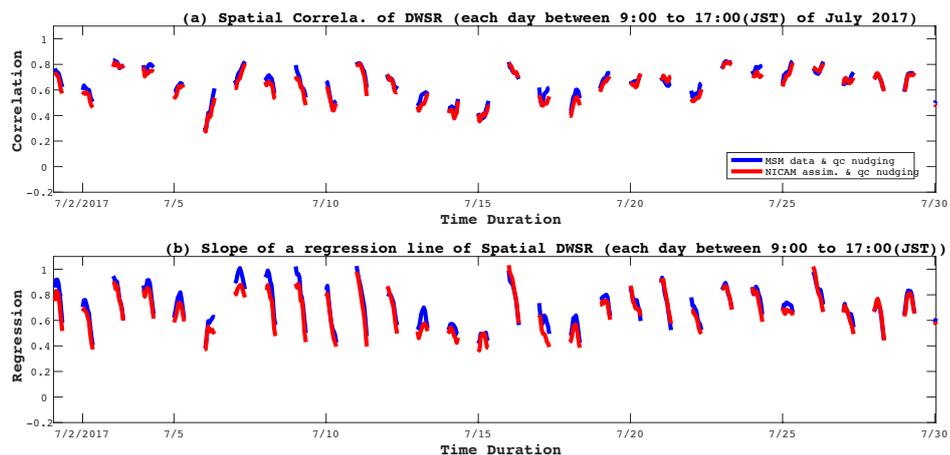


図3. MSM データ水平風と衛星雲水の両方の同化あり(青色)と、NICAM-LETKF アンサンブル平均水平風と衛星雲水の両方の同化あり(赤色)の場合の a) 空間相関係数と b) 回帰直線の傾き。

図3は図1(a, b)と同様のグラフであるが、水平風(MSM データ)と雲水(衛星データ)両方の同化あり(青色)と水平風(NICAM-LETKF 平均値データ)と雲水(衛星データ)両方の同化あり(赤色)を表示している。図から示唆されるのは、赤色の方が青色よりも若干数値が高いものの、あまり差が見られず、またその傾向も似ている事から、NICAM-LETKF 気象場アンサンブルデータを本日射量同化に利用することに関しては、MSM とアンサンブル平均的には整合性が取れていると考えられる。

現在のところ、気象庁の MSM 気象場アンサンブルデータは平均値のみでこのメンバーが公開されていないために、アンサンブルメンバー個々を境界データとして利用することによって、本日射量アンサンブル同化計算は行うことができない。一方、NICAM-LETKF 実験の 100 アンサンブルメンバーは利用できるため、今後、このアンサンブルメンバーを利用した日射量同化の精度向上を試みる予定である。

3-2-3 品質保証とデータ異常検出(千葉大)

(1)はじめに

新しい気象衛星の打ち上げにより、従来に比べて時間的に連続、かつ、空間的に高密度な衛星日射量データが取得されはじめたが、そのデータ質(系統誤差、偶然誤差等)の検証は全くなされていないといえる状況である。本研究では、その初期および定常的なデータ質検証に加え、想定外の異常検出も可能とする衛星データ質評価のための地上システムを構築する。地上システムの構築は国際展開等も視野に入れ実施する。上記の衛星データ質評価は、データ利用者が科学的に裏付けられたデータを定常的に安心して利用することにつながるため、社会実装された形で持続的なEMSシステムの一部を担うと期待される。これまでの研究から、大気中の雲やエアロゾル等の時空間的に不均一な変動が衛星データ質に及ぼす影響が極めて重要であることが浮き彫りとなった。このことを踏まえ、雲やエアロゾル等による大気科学現象が衛星データ質に与える想定内誤差を定量化するとともに、それにより可能となる高度な想定外データ異常検出結果の速報システムを確立させる。また、地球科学に関する地上観測データのデータベースを構築する。本研究は、誤差の定量化・要因解明による衛星データやモデルデータの高精度化を通じて、本CREST/EMSプロジェクトに貢献する。

本研究グループは、(a) EMSのための地上システム・データベースの最適化、(b) 衛星およびモデルの日射データの誤差評価・誤差要因解明・高精度化、(c) 高度な異常検出システムの構築、を主な項目として研究を進める。各項目の実施内容を以下に述べる。

(2)EMSのための地上システム・データベースの最適化

本項目において、H27年度は、本研究に最適な重点地上検証観測サイトを、国内は本CREST/EMSプロジェクトの他チーム/グループとの連携、特に地球科学とエネルギー需要科学の関連研究を強化する観点において、国際的には効果的な国際展開も考慮し、選定した。それを基に、地上観測装置群の再配置等を行った。H28年度は、これら地上システムの最適化を継続するとともに、試験連続観測を行った。また、オンラインデータ処理・提供システムを構築した。H29年度は、定常観測へ移行するとともに、地上観測の過去データのアーカイブ化を進めた。このことについて、具体的な研究進捗状況、研究成果、今後の見通しを以下に述べる。

本研究では、地上観測の過去データのアーカイブ化の一環として、H28年度に SKYRAD.pack を核として開発したスカイラジオメーターの共通自動解析アルゴリズム(SR-CEReS, version 1; Mok et al., 2017)^{未発行論文⁸⁾}を試験運用し、その評価を実施した。特筆すべき開発要素は、スカイラジオメーターのオンサイトキャリブレーション手法である Improved Langley 法と Solar Disk Scan 法を最適化したことである。具体的には、これまでは月毎に検定定数(F_0)を半自動的に算出していたために準リアルタイム解析は困難であったが、SR-CEReS では過去90日のデータを使って Improved Langley 法で日毎に F_0 を算出するように改訂したことにより、準リアルタイム解析が可能となった。また、Solar Disk Scan 法については、連続観測時に定期的実施される Solar Disk Scan において求められる立体視野角(Solid View Angle; SVA)を客観的な条件でスクリーニングできるよう改良した。これらは、従来は一定の時間(月から年の時間スケール)を要していたエアロゾルの地上観測のキャリブレーションを準リアルタイム(一日以内)で行える画期的な進展であり、迅速な衛星データの補

正・評価に役立つ。

F_0 については、2016年5-9月に韓国・ソウルの延世大学においてNASAの集中観測キャンペーン(KORUS-AQ)の一部として実施されたスカイラジオメーターの千葉大学標準機と米国メリーランド大学の Multifilter rotating shadow-band radiometer (MFRSR)等との同時観測の解析を進め、特に両者のエアロゾル特性の相互比較を通じて評価を行った。図1は、延世大学での観測の全期間におけるスカイラジオメーターと MFRSR のエアロゾルの単一散乱アルベド(SSA)データの相関プロットを示す。スカイラジオメーターの SSA データは、 F_0 の確度に強く依存する(Khatri et al., 2016)^{H27}年度原著論文¹⁵⁾。しかしながら、両者の値は概ね±0.03 以内で一致したことが分かった。このことから、SR-CEReS で算出した F_0 には機器の温度等による特性が十分に考慮され、精度良く F_0 が導出できていることが示唆された。この成果は Atmospheric Measurement Techniques に投稿済み(Mok et al., 2017)^{未発行論文⁸⁾}である。

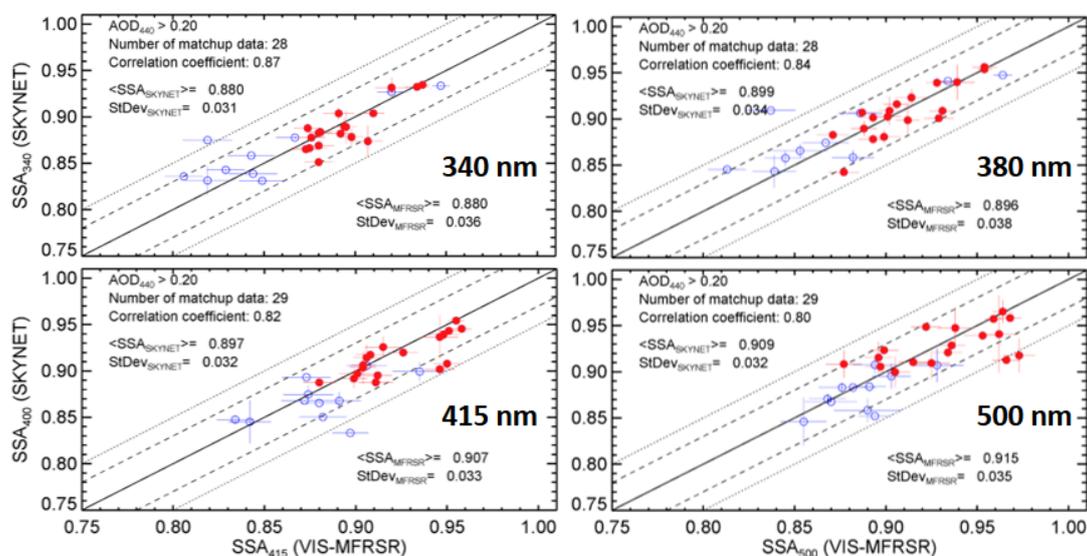


図1 2016年5-9月に韓国・ソウルの延世大学で実施したスカイラジオメーターとMFRSR(米国メリーランド大学の測器)の同時観測の比較結果。波長毎にエアロゾル単一散乱アルベド(SSA)データの相関プロットを示す。波長440 nmにおけるエアロゾル光学的厚さ(AOD)が0.4よりも大きいデータが赤で、0.2-0.4のデータが青で示されている。

SVAについては、2017年7月と11-12月に千葉大学において集中観測(千葉キャンペーン2017)を開催し、その中でSolar Disk Scanを実際の天気を目視でも観測しながら注意深く、集中的に実施した。図2は、2017年7月13日に実施したSolar Disk Scanで得られた太陽光強度(太陽中心の値で規格化)が散乱角の関数として示されている。これを積分し、SVAは0.24 msrと見積もられた。このような晴天日の典型的なケースを調べたところ、太陽およびその周辺に雲が無いときは、太陽光強度が太陽の中心付近ではフラットで、その外側では散乱角の増加に伴って減少し続けるという条件を満たしていることが分かった。これを客観的な条件とすることで、図3のように適切にスクリーニングを行えることが分かった。このスクリーニングを施すことで、SVAは±0.01 msrの精度で求まることが分かった。上記のように本研究で最適化したImproved Langley法とSolar Disk Scan法

を用いて、これまで得られた SKYNET 観測の過去データの再解析を実施し、そのプロダクトをアーカイブ化、SKYNET ホームページ(<http://atmos3.cr.chiba-u.jp/skynet/>)で公開した。

千葉キャンペーン 2017 ではまた、全天日射計、マイクロ波放射計などとの同時連続観測も行った。全天日射量については、日射計3台による同時観測を実施した。キャンペーン期間中に雲量が比較的多かった 2017 年 7 月 23 日における全天日射量(3台)、可降水量、および雲水量の日変化を図4に示す。

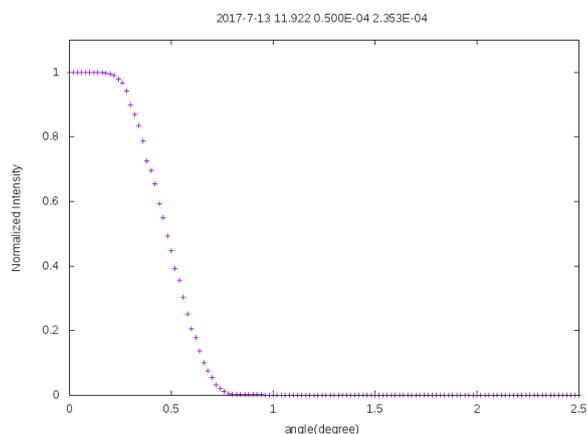


図2 2017 年 7 月 13 日に SKYNET 千葉サイトで実施した Solar Disk Scan で得られた太陽光強度(太陽中心の値で規格化)の分布の例。散乱角の関数として示されている。

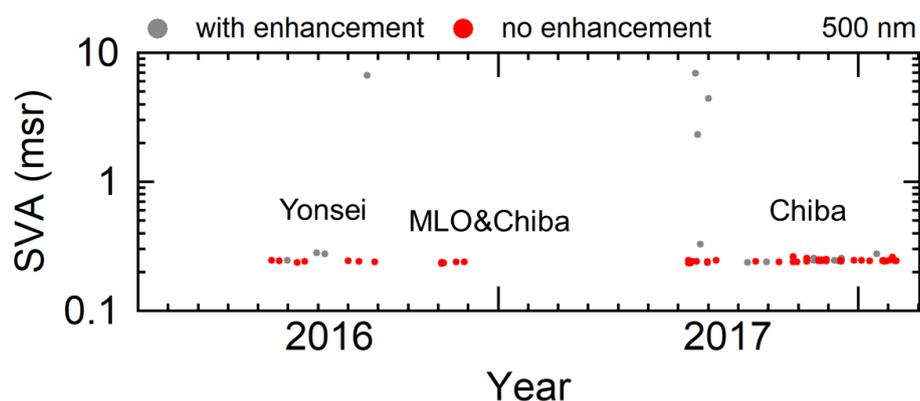


図3 Solar Disk Scan 法で見積もられた SVA(波長 500 nm)の時系列。延世大学(韓国)、マウナロア(アメリカ)、SKYNET 千葉サイトにおいて同一のスカイラジオメーターによる観測で得られたデータがプロットされている。千葉では、2017 年 7 月と 11-12 月の千葉キャンペーンにおいて集中的に Solar Disk Scan を実施した。加えて、他の期間に通常観測で得られたデータも示されている。赤い点は、図2のように、太陽光強度が太陽の中心付近ではフラットで、散乱角の増加に伴って減少し続けるという晴天条件を満たしたデータを示す。その他のデータは灰色で示されている。

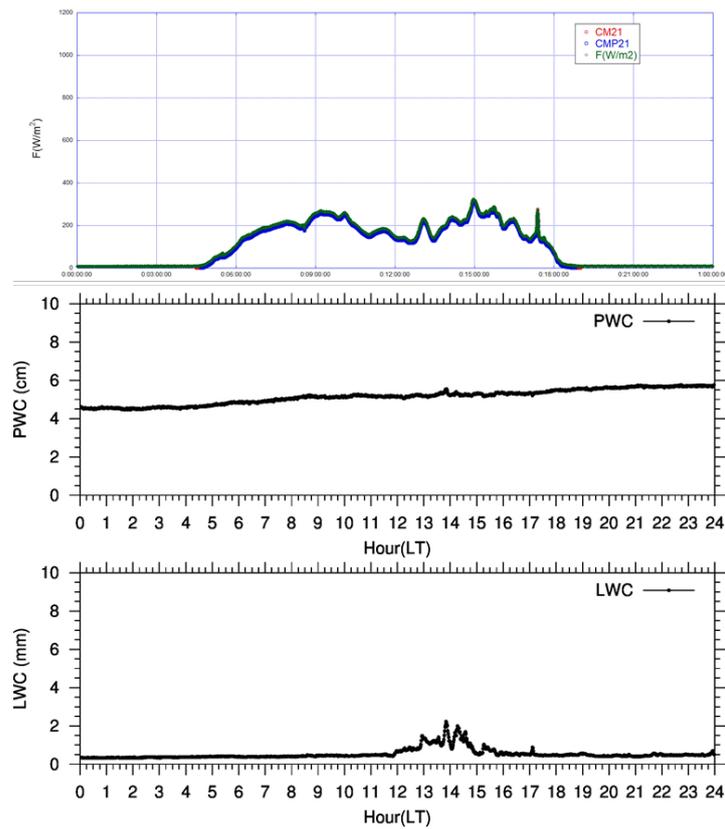


図4 千葉キャンペーン 2017 集中観測期間中の 2017 年 7 月 23 日における SKYNET 千葉サイトでの全天日射量、可降水量、および雲水量の日変化。全天日射量については、日射計3台(CM21, CMP21, CMP21+ラズベリーパイ)のデータがそれぞれ赤、青、緑で示されている。可降水量(PWC)と雲水量(LWC)はマイクロ波放射計によって測定された。

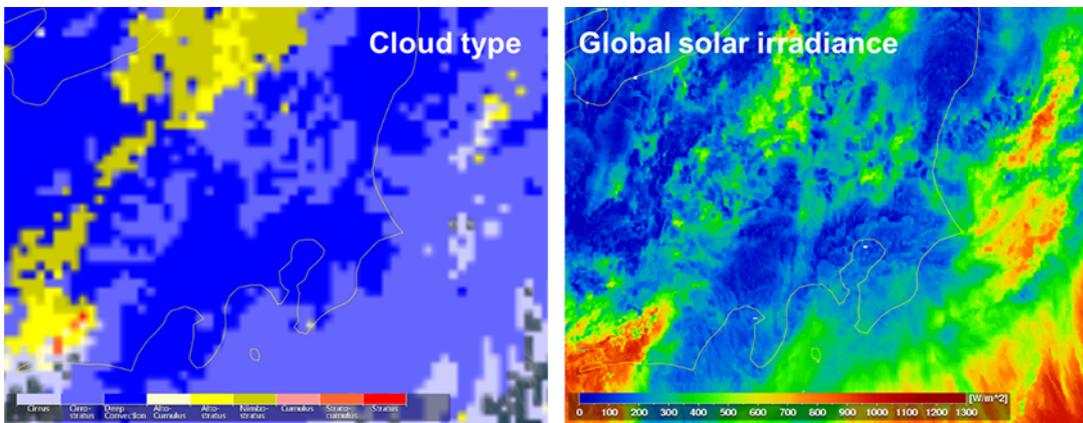


図5 千葉キャンペーン 2017 集中観測期間中の 2017 年 7 月 23 日正午におけるひまわり 8 号の(左)雲種別と(右)全天日射量のデータ。

図4には、日射計3台(CM21, CMP21, CMP21+ラズベリーパイ)の全天日射量データが異なる色で示されている。図から分かるように、3台の全天日射量データは概ね 10 W/m^2 以内で一致したことが分かった。これは日射計の仕様と整合することを確認した。同時に測定された可降水量(PWC)や雲水量(LWC) (図4)、および、ひまわり8号のデータ(図5)には大きな時空間変動がみられず、雲の分布は比較的均一であったことが分かる。ひまわり8号の全天日射量推定において用いられる雲の水平分布の情報はひまわり8号による観測から得られるが、その雲データの検証研究も進められた (Khatri et al., 2018)^{未発行論文 4)}。

同日のひまわり8号のデータ(図5)によれば、例えば正午ごろの SKYNET 千葉サイト周辺の全天日射量は $100\text{--}300 \text{ W/m}^2$ であり、SKYNET の日射計のデータと整合することが分かった。SKYNET とひまわり8号の詳細な比較については、Atmospheric Measurement Techniques に投稿済み (Damiani et al., 2018)^{未発行論文 10)} である。また、その研究をさらに複数年解析に拡張した結果については、次章で紹介する。

上述のように、これまでの研究を踏まえて地上観測の過去データのアーカイブ化を行うとともに、ユーザーの利便性が向上するよう SKYNET ホームページを改良し、関連の各種 SKYNET データの公開を進めた。スカイラジオメーターのエアロゾルデータについては、本研究で最適化した Improved Langley 法と Solar Disk Scan 法を用いた SR-CEReS による自動解析が毎日実施され、観測翌日には一般に公開されるように改良した。このシステムをベースに、全天日射計のデータの提供も継続するとともに、全天カメラ、マイクロ波放射計のデータの提供も開始した。今後は、地上定常観測を継続するとともに、JAXA-東大グループやデータ・インタフェース SG と連携しながら、地上観測の過去データのアーカイブ方法を改善し、データを公開する。

(3) 衛星およびモデルの日射データの誤差評価・誤差要因解明・高精度化

本項目において、H27年度は、2014年10月に打ち上げられた「ひまわり8号」の観測に基づく日射量データを評価するために、地上システムのグラウンドトゥールズデータとの比較に着手した。その継続として、H28年度は、「ひまわり8号」と地上システムによる通年データを活用した比較解析等に基づいた「ひまわり8号」データの誤差評価を実施した。H29年度は、「ひまわり8号」の複数年比較解析を実施した。また、それに基づき、想定内誤差の高精度な評価を実施した。このことについて、具体的な研究進捗状況、研究成果、今後の見通しを以下に述べる。

図6では、千葉サイトにおけるひまわり8号の全天日射量推定値と全天日射計の相関プロットが月毎に示されている。ひまわり8号の膨大なデータの解析を 2016 年だけでなく 2017 年にも拡張して実施した。2016 年の二乗平均平方根(RMS)は $36\text{--}108 \text{ W/m}^2$ だったのに対し、2017 年も $36\text{--}108 \text{ W/m}^2$ だったことが分かった。それぞれの年で、相関係数(R^2)は $0.84\text{--}0.97$ と $0.87\text{--}0.97$ だった。このように、H28年度に実施した通年データの比較解析結果を強く支持する結果を得ることできた。また、2017 年も 2016 年と同様の相関関係が得られたことは、ひまわり 8 号の全天日射量推定値が複数年においても安定して高品質なデータを提供したことを実証する。

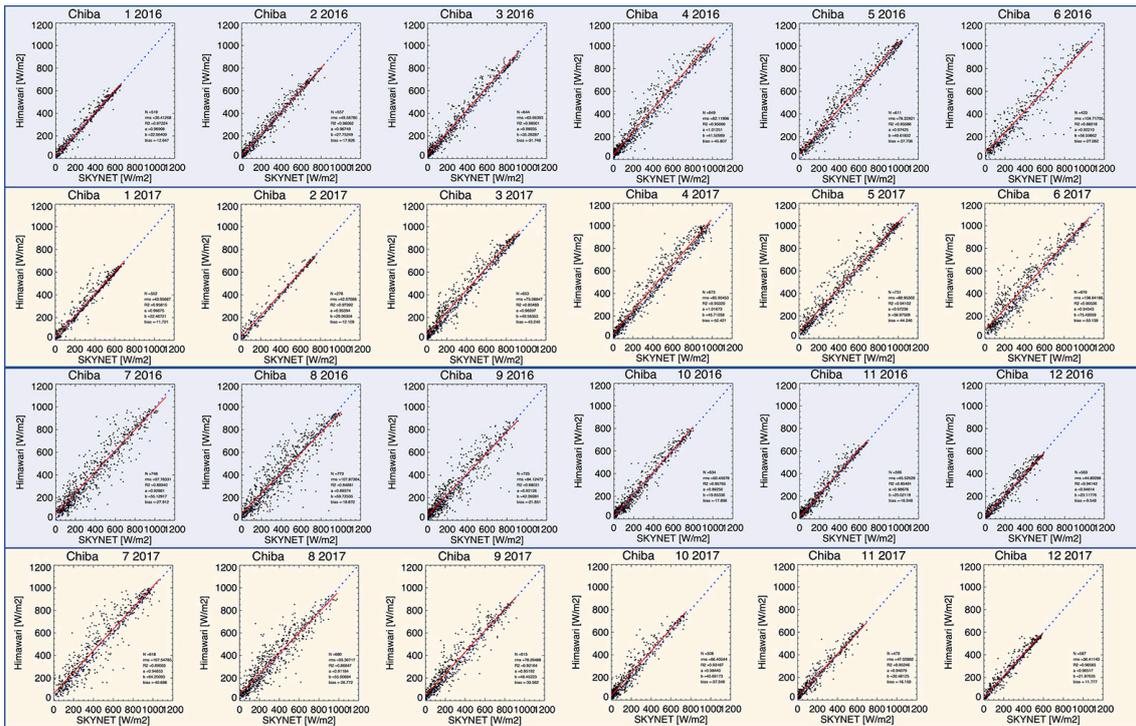


図6 千葉サイトにおけるひまわり8号の全天日射量推定値と全天日射計の相関プロット。月毎の相関プロットが示されている。上段から、2016年1-6月、2017年1-6月、2016年7-12月、2017年7-12月のプロットが並べられている。赤線は回帰直線を、黒の点線は1対1の直線を示す。

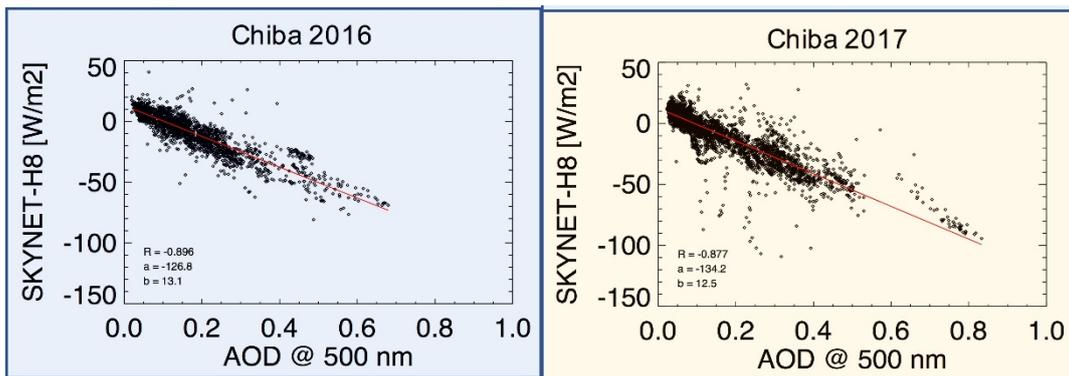


図7 千葉サイトの(左)2016年1月1日から12月31日までの1年間、および、(右)2017年1月1日から12月31日までの1年間における、ひまわり8号の全天日射量推定値と全天日射計の地上観測値の差とスカイラジオメーターのAODデータの相関プロット。千葉サイトを中心とした40 km × 40 kmの領域におけるひまわり8号データの標準偏差が10 W/m²以下と小さく、晴天とみなせるデータのみが示されている。

H29 年度も含めてこれまで本研究で実施したケーススタディーや複数年解析より、全天日射量は観測点上空だけでなく近傍の雲・エアロゾル・水蒸気等の影響も受けることが明確となった。このことに基づき、地上観測点を中心とした 40 km×40 km の領域におけるひまわり8号の全天日射量データの標準偏差を計算し、その標準偏差が 10 W/m² 以下と小さいときに、晴天であるとみなした。図7には、この晴天条件下におけるデータについて、ひまわり8号の全天日射量推定値と全天日射計の地上観測値の差がスカイラジオメーターのエアロゾル光学的厚さ(AOD)データの関数としてプロットされている。2016 年 1-12 月の相関関係の傾きから、AOD が 0.2 増加するとひまわり8号の値が約 25 W/m²、過大になる傾向があることが分かった。また、2017 年についても同様に、AOD が 0.2 増加するとひまわり8号の値が約 27 W/m²、過大になる傾向があることが分かった。このような過大傾向は、放射伝達モデルによるシミュレーション結果と定量的にも良く一致する(Irie et al., 2017) 原著論文²⁾。このことから、ひまわり8号のデータに考慮されていないエアロゾルの効果によって、ひまわり8号の値が過大となっていることが確認された。近年は PM2.5 エアロゾルが減少傾向にある(Uno et al., 2017) 原著論文¹²⁾ が、依然として AOD の平均レベルは顕著に高く、さらには越境汚染などのイベントではさらに AOD が増大するなど、エアロゾルの効果は重要である。この誤差を想定誤差とし、図7の相関関係を使ってひまわり8号のデータを補正すると、ほとんどのデータは地上観測値と 20 W/m² 以内で一致することが明確となった。今後は、JAXA-東大グループと連携し、社会実装を見据えた形で、ひまわり8号等のデータの誤差評価のさらなる精緻化を図る。

(4) 高度な異常検出システムの構築

本項目において、H27年度は、衛星観測データと地上観測データの比較結果をもとに、想定外の異常を検出する予備的な基準を導出した。H28年度は通年データを活用した比較解析等により異常検出基準を高精度化した。H29年度は、異常検出基準の高精度化を継続するとともに、異常検出システムの開発に着手した。このことについて、具体的な研究進捗状況、研究成果、今後の見通しを以下に述べる。

上述の通り、本研究で H28年度までに実施したひまわり8号の検証比較の結果に基づき、H29年度は、ひまわり8号の 40 km×40 km の面データの全天日射量の標準偏差が 10 W/m² 以下の時に晴天とみなし、その条件下において、地上の全天日射計のデータとの比較において差が 20 W/m² を上回った場合を、想定外異常の予備的基準とした。

これに加えて、家庭を含め社会に広く異常検出システムが実装できるように、自動かつ低消費電力の異常検出システム開発のための予備研究を進めた。H28年度では、安価なシングルボード PC であるラズベリーパイに着目し、独自で電源制御基板を開発し、インターネットにも接続されていない環境においても、時刻を保持できるよう改良を施した。また、毎日定時にシステムの自動シャットダウン・起動や、システムに入力される電流や電圧も計測する機能も付加した。H29年度は、ラズベリーパイに全天日射計を接続し、既存の複数の全天日射計との同時観測を実施した。比較解析を実施したところ、全天日射量データは概ね 10 W/m² 以内で一致したことが分かった(図4)。これは日射計の仕様と整合することを確認した。この評価に加え、最短1秒から時間分解能を自在に変えて日射量データを測定できるように改良した。また、リアルタイムに可視化されたひまわり8号データ(Murata et al., 2017) 原著論文¹⁰⁾ も活用しながら、本研究のひまわり8号の面データを利用し

た異常検出をリアルタイムで実施する妥当性の評価を開始した。

これらの機能を付加したラズベリーパイは、太陽光発電やバッテリーと連結することによって、自立した異常検出システム構築の基盤として活用できる見通しを高めることができた。今後は、地球科学 SG/需要科学 SG/データ・インタフェース SG から構成されるユニークな研究体制を活用して、異常検出基準の高精度化をさらに進めつつ、異常検出システムを改良する。

(5)まとめ

本研究は、太陽光発電量を左右する全天日射量の時間的・空間的に高密度な把握に有効と考えられている気象衛星データについて、雲やエアロゾル等による大気現象の影響に伴う想定内誤差を定量化するとともに、それにより可能となる想定外データ異常検出システムの構築を目指す。H29年度は、衛星データ質評価のための地上システムについて、従来は一定の時間(月から年の時間スケール)を要していたエアロゾルの地上観測のオンサイトキャリブレーション手法を準リアルタイム(一日以内)で行えるよう画期的な進展を図った。これは、迅速な衛星データの補正・評価に役立つ。また、本研究で最適化したオンサイトキャリブレーション手法を用いて、これまで得られた SKYNET 観測の過去データの再解析を実施し、そのプロダクトをアーカイブ化、SKYNET ホームページで公開した。H29年度ではまた、ひまわり8号データの複数年比較解析を行い、想定内誤差の高精度な評価を実施した。前年度まで実施した通年データの比較解析結果を強く支持する結果を得ることができた。この結果はまた、ひまわり8号の全天日射量推定値が複数年においても安定して高品質なデータを提供したことを実証する。ひまわり8号のデータに考慮されていないエアロゾルの効果については、ひまわり8号の値が過大となっていることが確認された。この誤差を想定誤差とし、図7の相関関係を使ってひまわり8号のデータを補正すると、ほとんどのデータは地上観測値と 20 W/m^2 以内で一致することが明確となった。このことから、これらの結果に基づき、系統誤差を補正したひまわり8号のデータと地上の全天日射計のデータの差が 20 W/m^2 が上回った場合を想定外異常の予備的基準とした。家庭を含め社会に広く異常検出システムが実装できるように、自動かつ低消費電力の異常検出システムの開発を進め、その評価を行うとともに、最短1秒から時間分解能を自在に変えて日射量データを測定できるように改良した。

本研究の衛星データ質評価は、データ利用者が科学的に裏付けられたデータを定常的に安心して利用することにつながるため、社会実装された形で持続的なEMSシステム的一端を担うと期待される。

3-2-4 気象データの変動解析(東海大)

(1)はじめに

国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)においてパリ協定が採択されたことから、2015年時点で世界の再生可能エネルギー発電への投資額が化石燃料を用いた発電への投資額を上回るなど、近年、世界におけるエネルギー需要の低炭素化・脱炭素化の動きが加速している。そのため、世界的に太陽光発電システムの導入が急速に拡大しており、国際再生可能エネルギー機関(IRENA)によれば、2030年時点で、世界全体の発電供給量7%が太陽光発電システムによって賄われるという推計がなされている^{4, 5}。

太陽光発電システムは、主に、太陽電池パネル、電力変換システム、蓄電池から構成されており、太陽電池パネルに入射された日射によって生成された電子と正孔を外部の電子回路に接続することで、電力を生み出し、昇圧チョッパ回路などの電力変換システムを介して、内部蓄電池や送配電システムへ給電を行うシステムである。特に、電力変換システムは、日射によって発生した太陽電池パネルの電流・電圧に応じて昇圧チョッパ回路内部のスイッチのON/OFFの周期(通流率)の調整を行うといった制御手法などが用いられており、入射光の変動が制御機器の動作に影響を与える。また、発電量が日射量に大きく依存することから、太陽光発電が接続された送配電システムでは、日射によって変動する系統内電力と需要の同時同量制約を満足するために、調整用電源の稼働・停止やデマンドレスポンスなどによる需要調整などが行われることとなる。

太陽光発電システムが大規模に導入された場合、日射の長期的な変動が揚水発電システムなどの大規模ESS(Energy Storage System)や定常運転を前提とした大型火力発電機の運用計画などに影響を与えるのに加え、中期から短期的な日射変動は水力発電や小型火力発電などの調整用電源の運転や変動から生じた送配電システムの擾乱を抑制する制御装置や太陽光発電システム内部の電力変換回路の動作に影響を与える。さらに、近年では、N2EX, EPEX Spot, Nord Pool, PJMやJEPXなどの電力市場においてエネルギー取引が活発に行われるようになっており、太陽光発電が大量に導入された電力系統において、日射変動がこれらの市場取引へ与える影響も大きいものとなることが予想される。

このことから、日射変動の特性及び変動が電力システムへ及ぼす影響の解析を行うことは、太陽光発電システムが大量に導入された電力システムを構築する際に、重要となる。例えば、このような解析の応用として、リアルタイムでの日射変動特性の推定に応じた電力システムの制御機器や運用計画の調整が可能となることなどが考えられる。

H29年度では、本研究項目において、「気象変動解析のオンライン化の取り組み」及び「気象変動時の電力システムの挙動解析の検討」を行った。

(2)気象変動解析のオンライン化の取り組み

太陽光発電システムなどの再生可能エネルギーが導入された電力システムにおいて、系統内における電力と需要の同時同量制約の達成が安定な系統運用のために必要となる。このことから、

⁴ 太陽光発電協会, JPEA PV Outlook, 2017

⁵ IRENA, REmap: Roadmap for a Renewable Energy Future, 2016

気象学が主として対象とする数ヶ月から数年以上の長周期の気象変動だけでなく、数時間から数分以内といった短周期の気象変動について解析を行うことによって、電力システムの安定化に有益な情報を提供することが可能となるものと期待される。

H28年度では、過去の衛星観測データから推定された日射データの解析によって、日射変動特性の区分によって地域的なクラスタリングが行えることに加え、日射の強い変動性とその時の総観規模気象場の関係について研究を行い、気象場から日射変動が予測可能であることを示唆した。

H29年度では、電力システムの安定運用に際し、気象情報に関する解析の即時性が強く求められることから、気象変動解析に用いたサンプルエントロピー解析手法についてオンライン化することを検討した。

気象変動解析手法のオンライン化について、以下に述べる。

1. 対象データについて解析窓サイズを設定し、初期条件としてサンプルエントロピーを計算。サンプルエントロピー計算時に、遅れ時間系への埋め込みによって生成されるベクトル間距離からリカレンスプロットを生成し、計算領域に格納。
2. 時間経過とともに、解析窓をシフトさせ、解析窓内のデータを破棄・追加し、計算領域上に保存されたリカレンスプロットの一部を逐次的に更新するとともに、サンプルエントロピーを逐次計算。(図1)

このような手法で逐次的に計算されたサンプルエントロピーを図2に表す。信号の変動が不規則的である領域において、逐次的に計算されるサンプルエントロピーは増加していることが確認できる。このように、本手法により、オンラインで高速に衛星から推定された日射量の時系列データの複雑性を逐次的に定量化することが可能となった。今後、オンライン化されたサンプルエントロピー解析結果をユーザーインタフェース上で参照できるシステムに関して検討を進めるとともに、電力系統運用に益する有用な情報を提供することを目的として、逐次的な日射時系列データの短時間解析を進めていく予定である。

さらに、電力システムに接続される太陽光発電は分散型電源として空間的に広く分布することから、単一地点の日照の時系列データの解析だけでなく空間的な変動の相互相関を解析することは、ならし効果の評価や検証のために重要となると考えられる。このことから、今後、本研究において行った日射変動のオンライン解析を拡張し、空間的な日射変動の相関の即時的な定量化・可視化について、現況値だけでなく予測日射量の活用も含めて検討を行っていく予定である。

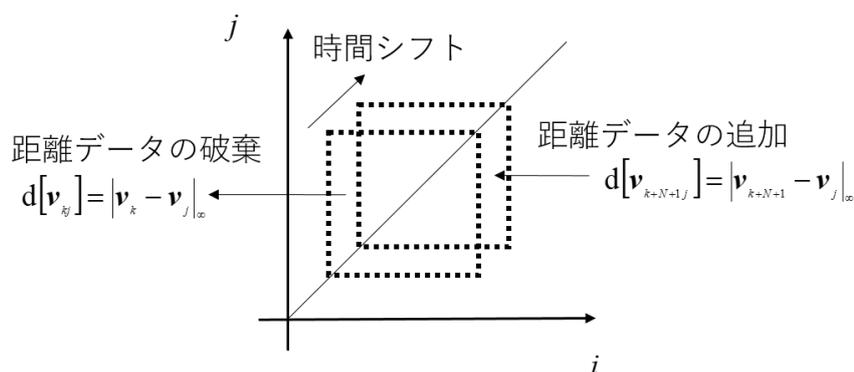
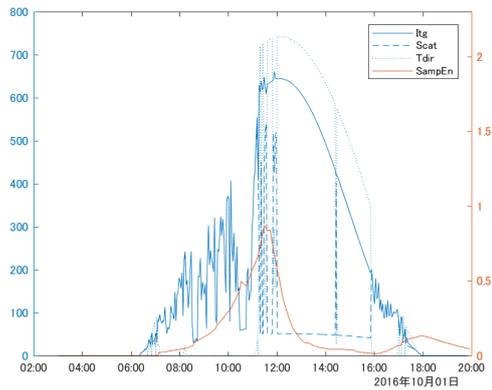
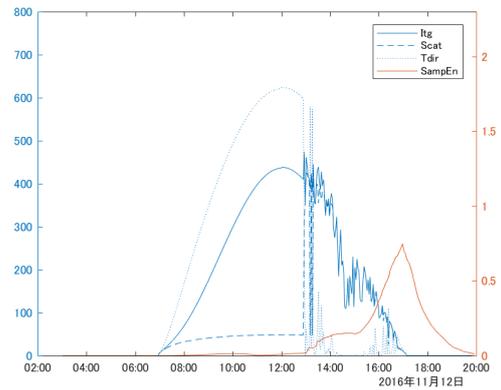


図1 リカレンスプロットの更新

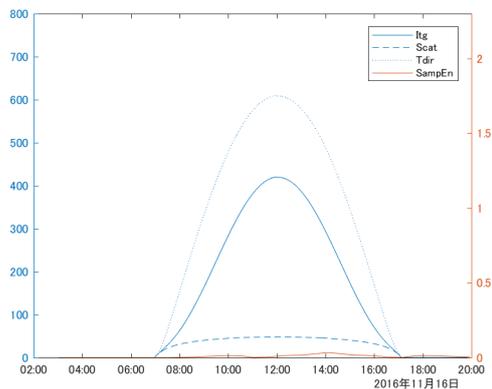
(a) 2016年10月01日



(b) 2016年11月12日



(c) 2016年11月16日



(d) 2016年11月19日

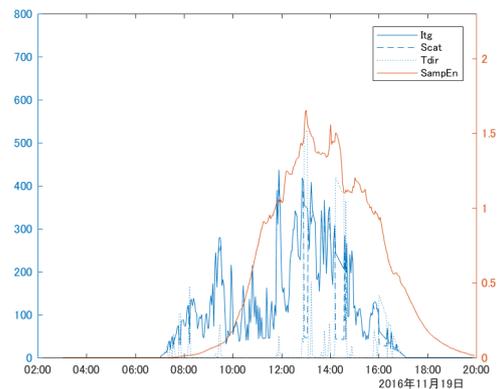


図2 日射量とサンプルエントロピー

(3) 気象変動時の電力変換システムの挙動解析の検討

太陽光発電システムは日射を電気エネルギーへと変換するシステムであり、電力変換回路を介して生み出された電力は送配電系統やシステム内部の蓄電池へと出力される。このことから、日射変動が電力システムへ与える影響をみるためには、電力変換回路や送電系統への電流・電圧出力を解析することが必要となる。このことから、地球科学情報としての日射の解析に加えて電力システムの挙動についての解析を行うために、気象学とパワーエレクトロニクスとの分野横断的なアプローチが必要となることが考えられる。

H28年度までは、気象学の分野においてデータの解析を進めてきた。H29年度では、本研究において、変動する日射がシステムに入力されたときの電力変換システムの挙動について解析を行った。

図3と図4に解析対象とする太陽光発電システムの概要を表す。解析対象とした太陽光発電システムは、PVセル、電力変換システム(昇圧チョップ回路と制御装置)、蓄電池から構成されており、PVセルに入力された日照に応じ、制御装置が昇圧チョップ回路内のスイッチのON/OFFの比率(通流率)を調整することで、最大電力を取り出せるようにPVセルの電圧を制御するシステムとなっ

ている。局所時間平均化を用いて回路方程式を状態空間方程式として表すことにより、このシステムの挙動の解析を行うことが可能となる。

図5に、2016年10月28日の福岡市における衛星推定日射量(2.5分間隔データ)がPVセルに入力されたときの太陽光発電システムの挙動をあらわす。ここで、電力変換システムの制御方式としてMPPT(Maximum Power Point Tracking)制御を解析モデルに用いた。日射の強度に応じて、制御装置が通流率を細かく調整し、それに伴いシステム内部のコンデンサ電圧やインダクタ電流が変動していることが確認できる。今回用いた解析では、2.5分間隔の衛星推定日射量を用いたことから、日射変動に対し制御器が適切に通流率を調整できていることが確認できたが、千葉大学によって計測・評価が行われている地上観測日射量(10秒間隔)を入力データとして用いた場合との比較もまた進めていく予定である。また、今回の解析のために、方位角・傾斜角を有するPVに入射される斜面日射量の推定アルゴリズムに加えて、電力変換回路を含めた詳細な太陽光発電システムの解析モデルを構築できたことから、今後、システムの制御方式やPVの設置条件等のパラメータが出力側電気信号の変動に与える影響の感度解析などを行う事が可能となることが期待される。

また、本解析に付随した成果として、衛星から推定された日射量とパワーコンバータの電気出力から、PVパネルのパラメータを遠隔的にオンラインで推定する手法の開発と提案を行った。図6に衛星推定日射量から推定したPVパネルパラメータの推定結果を示す。図6(左側)から提案手法を用いることで平均化処理によりPVパネルのパラメータの一部を衛星データとパワーコンバータの出力から推定できることを示した。本成果に関して平成29年度電気学会全国大会にて発表が行われた(高松と中島, 2018)^{口頭発表9090}。衛星データを用いた推定日射量の精度向上と本手法のパラメータ推定アルゴリズムの改良によるパラメータ推定精度向上により、将来的に、遠隔地も含めて各地に大量導入されたPVパネルの劣化状況を遠隔的にオンラインで把握することが可能となることが期待できる。

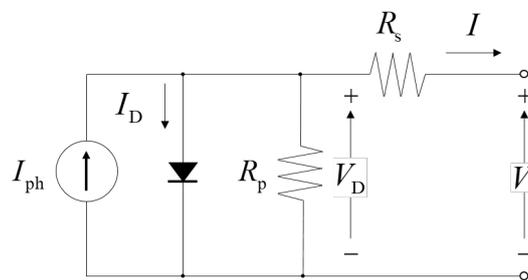


図3 PVセルの等価回路モデル

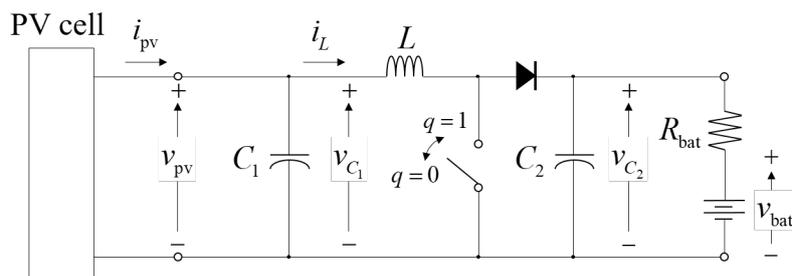


図4 太陽光発電システムの構成

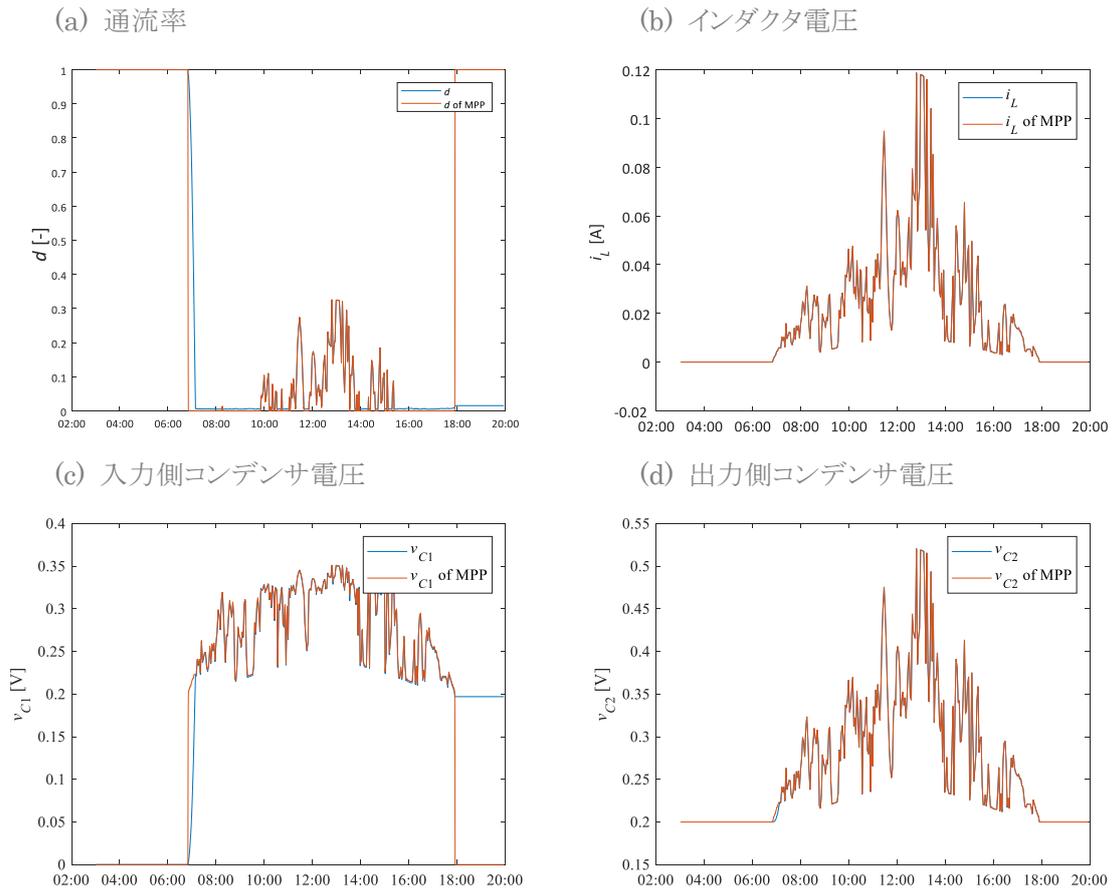


図5 変動する日射量が与えられたときの太陽光発電システムの挙動

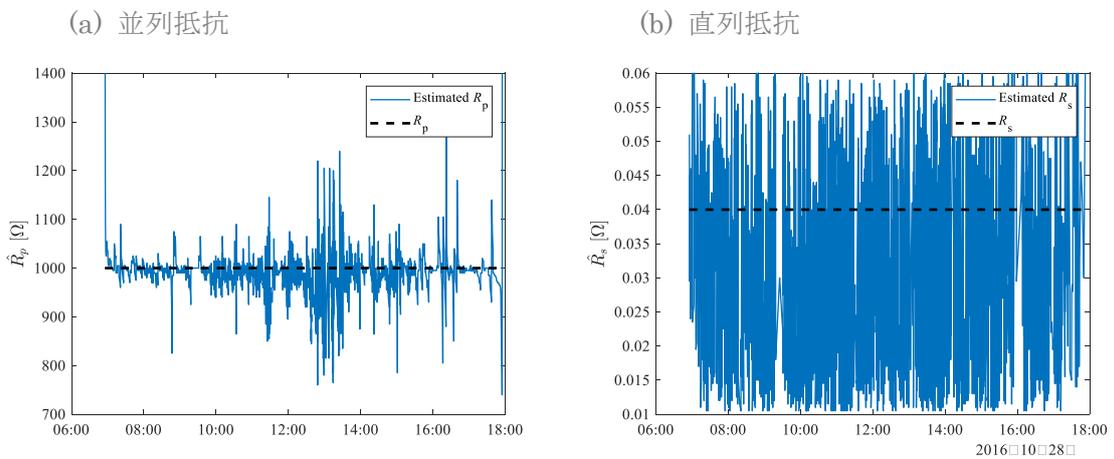


図6 衛星推定日射量から計算された PV パネルのパラメータ推定結果

3-2-5 地球物理量データによるシナリオデータの作成 (JAXA-東大)

(1) 研究計画

期間全体では(i)EMS の有効性評価に資するシナリオ構築のための予備的検討、(ii)状況シナリオ設定、(iii)地球科学データに基づくシナリオデータの構築を行う予定である。H27年度はシナリオ構築のための予備的検討として、他分野/他チームとの意見交換に基づき、有効なパラメータや時間解像度等の選定に関する予備的検討を行った。H28年度は具体的に猛暑/厳冬の状況シナリオ設定を行い衛星解析/地上観測/気候モデルの将来予測結果等を活用してシナリオデータの試作を実施した。H29年度は猛暑/厳冬などに分類されないものの特徴的な気象イベントに対応するシナリオの作成について検討を行う。

(2) 地球物理量データによるシナリオデータの作成

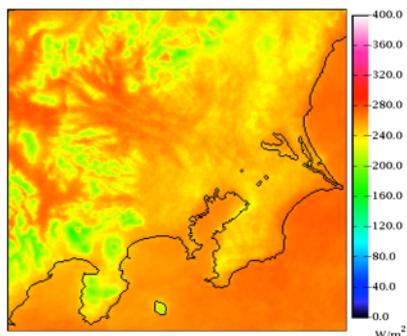
EMS に資する地球物理量データは過去の観測事実から特徴的なイベントを抽出する手法と地球物理モデルによる擬似温暖化実験による将来シミュレーションデータをベースとしたシナリオが作成された。H27年度はEMS に資するシナリオ設計が行われた。ターゲット領域を東京電力管区及び関西電力管区と定めエネルギー需要が逼迫すると考えられる猛暑日及び真冬日観測が集中した期間を過去10年間の観測事実から精査し猛暑日シナリオと真冬日シナリオと定義した。また、需要科学とのチーム内連携のため東工大日高教授からの要請に基づき対馬領域を別途設定した。H28年度はこれらのシナリオ設定に基づくデータセットの作成を行った。この段階ではシナリオデータの期間は一ヶ月を想定していた。また、平行して擬似温暖化実験に基づく将来シナリオデータの作成が行われた。これは気候変動適応戦略イニシアチブ気候変動適応研究推進プログラムSALSAの成果物であるStretch NICAMに2030年代の擬似温暖化実験データに基づくシナリオでありターゲット期間は2031-2033の三年間である。これにより過去の観測事実に基づく猛暑日及び真冬日シナリオと擬似温暖化シミュレーションに基づく将来シナリオの整備が整った。H29年度は猛暑などに分類されないものの特徴的な気象イベントに対応するシナリオの作成について検討を行った。これまでの議論の中から東大生研グループ岩船特任教授よりシミュレーションにおいて春季のデータが重要であることが強く要望された。これは需要のあまり大きくない時期に電力会社の発電量も絞られることに対して予想よりも気温が大きく振れた場合需要も予測より大きくなることなどにより需要と供給のアンバランスが発生しやすいためである。従って猛暑日及び真冬日シナリオを12ヶ月に拡張し1年間のデータセットとした。これにより猛暑/真冬のイベントを含みつつ四季の情報を持つ強固なデータセットとなった。また、このデータセットは拡張されたことで様々な知見を取り出すことが出来る。

図1に猛暑日及び真冬日シナリオにおける8月の日射量月平均値を示す。関西電力管区及び対馬は猛暑日を含む2013年の日射量が2012年よりも高い値を示している。しかしながら東京電力管区は逆の傾向を持っている。もっとも過酷であった2013年8月11日に着目するならば三地域において傾向は同様であり関東の一部を除いて日射量は高い値を示している。従ってこれら平均値が示す傾向は実際の電力需要の状態を表現してはならず統計によって重要な情報が失われていることが分かる。

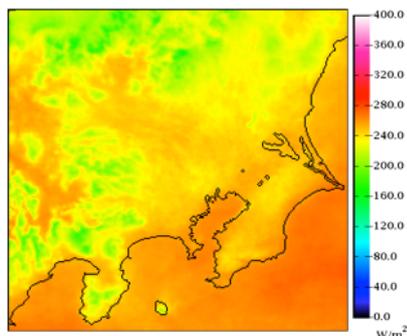
International Electrotechnical Commission (IEC)は Typical Solar Year など典型的な事例を統

計から算出し基礎データとして使用することを前提としているが、分散型電源等を含む電力網の安定的な運用に資するデータセットとして統計値は必ずしも実態を示さないことがシナリオデータの対比から簡単に導く事が出来る。このことから時々刻々と変化する観測事実に基づくデータが有効であることは自明である。これまでの本研究活動により必要なシナリオは既に整備されているが、今後はデータ・インタフェース SG のデータ展開のフィードバックを待ちシナリオデータの拡充について検討する。

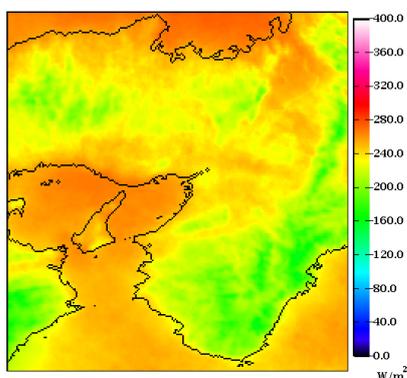
201208



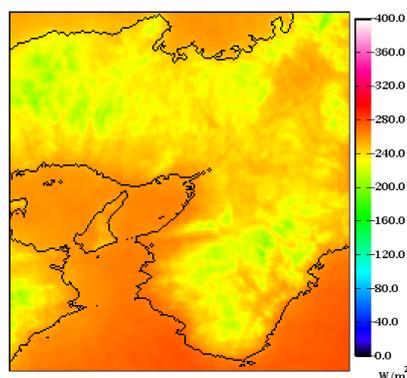
201308



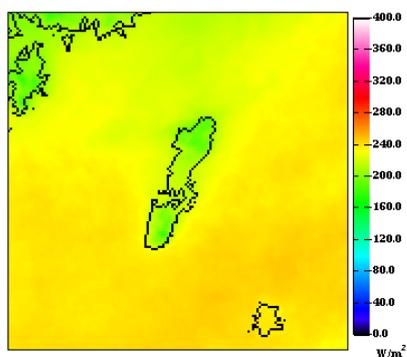
201208



201308



201208



201308

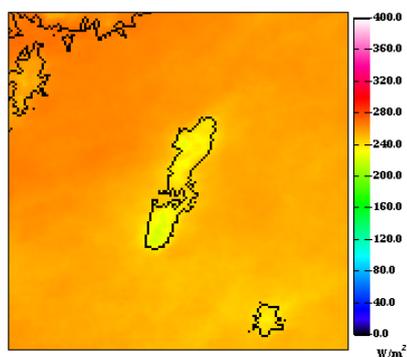


図 1：猛暑日及び真冬日シナリオにおける 8 月の日射量月平均値。関東のみ 2012 年と 2013 年の傾向が逆転して見られる。

3-2-6 エネルギー需要モデルの開発(阪大)

(1)はじめに

本研究では住宅・業務施設群を対象として、電力ロードカーブを中心とするエネルギー需要、とりわけ分散協調型エネルギー管理システムにおいて調整が可能な可制御負荷の大きさ・応答速度を分オーダーで推計するエネルギー需要モデルの開発を進めている。

住宅・業務施設のエネルギー需要の決定要因は①住宅居住者および建物利用者の生活行為・活動、②生活行為・活動に伴う機器・設備の操作、③機器・設備の仕様、④機器・設備の所有・設置状況、⑤住宅・建築仕様、⑥気象条件等外界条件の 6 要因に分類することができる。本研究では、このようなエネルギー需要が決定される構造そのものを理解し、数値情報と数学モデルによって記述することを目指す。

(2)エネルギー需要の決定構造に関する調査とモデル開発

1. 居住者生活行為生成モデルの開発

住宅居住者の生活行為は住宅エネルギー需要の時刻的变化を生じさせる最も重要な因子である。一方で、エネルギー需要の解析、モデル化においては十分な蓄積が行われておらず、特に、エネルギー需要推計の時間・空間解像度を向上させる方法について十分に検討が行われてこなかった。この一つの要因は、既存のモデルでは多数の世帯・人から収集した生活時間データを集計してモデル入力データを生成することであり、これによって地域や世帯の特徴による影響が消失していた。本研究では以上の背景に基づいて、地域や世帯の特徴を反映した上で日本全国の国民の時間の使い方を推計する方法を開発した。ここでは、時刻別に行為を実施している確率、開始する確率、開始された行為の継続時間を説明変数とするロジスティック回帰を使用した。回帰モデルはライフステージと性別・就業状況によって分類される 6 つのセグメント、平日、休日それぞれの 24 時間の計 288 区分で構築され、年齢や世帯属性、居住地域情報などを説明変数として持つ。これにより地域や世帯の特徴を反映した上で時間の使い方を模擬することができるようになった。(増額により研究加速)

これに加えて、居住者生活行為生成モデルを開発した。本モデルは、住宅居住者の生活行為の推移を確率モデルにより模擬するものである。既往研究では世帯特有の時間の使い方、居住者間の相互影響を考慮することができなかったが、開発モデルはそれを可能とし、エネルギー需要の時刻的集中や世帯間のばらつきの表現を可能とした。本論文は *Journal of Building Performance Simulation* 誌の Special issue に掲載され(Yamaguchi & Shimoda, 2017)^{原著論文⁵⁾}、特にコミュニティ、都市圏スケールのモデルに有効であると紹介されている。

2. 機器操作モデルのレビューとモデル開発

住宅のエネルギー需要は個々の機器のエネルギー消費の合計値であり、多くの機器は生活行為に伴って操作される。本研究では、Dr. Selin Yilmaz(Geneva 大学)との共同で、機器の操作に関するモデルをレビューするとともに、既存モデルの比較評価を行った。比較評価ではモデル開発に使用可能なデータ、モデルの適用先などの条件を合わせ、モデルが開発される文脈を共通化することによって、モデルの仕様の差異がもたらす影響を定量的に評価可能とした。なお、得

られた成果は *Journal of Building Performance Simulation* に投稿済みである (Yamaguchi et al., 2017) ^{未発行論文¹¹⁾}。得られた知見は以下のとおりである。

- 文献レビューにより、機器別のエネルギー消費を推計するモデルには大きく 4 つの種類があることを明らかにした。4 つのモデルは、実測されたデータから時刻別の機器稼働確率を算出し、時刻別に乱数を与えて機器の稼働を再現するデータ駆動型モデルと、人の時間の使い方を表す生活時間データを用いて機器の稼働を模擬する生活時間データベースモデルに分類される。生活時間データベースモデルでは、時刻別行為実施確率に基づいて機器稼働確率を算出するモデル、同様に時刻別機器稼働確率を算出するが世帯構成員の在宅状況を考慮するモデル、時刻別の機器稼働確率を使用せずに、世帯構成員全員の生活行為を模擬し、それに伴う機器稼働の生起を模擬するモデルに分類される。
- データ駆動型モデルは個々の世帯の電力消費の挙動を正確に模擬することが可能である。一方、生活時間データベースモデルは平均的な挙動を模擬することができるものの、世帯間のばらつきや、世帯内での稼働時刻の集中を模擬することができない。
- データ駆動型モデルを開発するために必要な実測データの取得には大きな費用が必要となるため、世帯構成などの要因がエネルギー消費にもたらす影響を模擬することができない場合が多い。一方、生活時間データベースモデルは、生活時間データでは世帯構成などの多様な因子が付与されていることから、モデルにおいてその影響を考慮することが可能である。この点では、世帯構成員全員の生活行為を模擬するモデルが最も優れている。
- 上記のような性質により、データ駆動型モデルでは地域差などを再現することができない。一方、生活時間データベースモデルでは、世帯構成等を設定することによりコミュニティや都市圏の単位でエネルギー需要を推計することができる。

このように、モデル化手法とモデルの精度・性質の関係について体系的な整理を行うことができた。このように複数のモデルを同じ条件の下で比較した研究はこれまでに実施されておらず、エネルギー需要研究に大きく貢献すると考えられる。(国際強化支援により研究加速)

3. 世帯属性情報に基づく湯はり頻度予測モデルの構築

湯はり頻度に関するアンケート調査の分析結果に基づき湯はり頻度予測モデルを構築した。湯はり頻度の予測結果を入力条件としたエネルギー消費推計結果を実世帯群の計測データと比較し、予測モデルおよびエネルギー消費推計の妥当性を確認した。

まず季節別の湯はり頻度(1週間あたりの回数)について K-means 法によるクラスター解析を行った。図1に示すように 5 つのクラスターに分類できた。この湯はり頻度クラスターを目的変数として、多項ロジスティック回帰分析を行った。説明変数はステップワイズ法により選択した。この分析から、次の傾向が明らかになった。単身男性、単身女性世帯は、週 1 未満型である確率が顕著に高い。北海道の世帯は、湯はり頻度の低いクラスターである確率が高い。また、世帯年収 600 万円以上、戸建住宅、3 世代以上、末子年齢が未就学児、小学生、中高生、浴室暖房ありの世帯では、毎日型である確率が相対的に高い。

この多項ロジスティック回帰モデルを大阪府の分譲集合住宅 1 棟に住む 118 世帯に適用した。各世帯の湯はり頻度クラスターの確率を予測し、この確率から各世帯の季節別湯はり頻度を決定

した。この各世帯の季節別湯はり頻度を入力条件とし、家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いて給湯ガス消費量をシミュレーション推計した。各世帯における年間の日平均給湯ガス消費量と標準偏差の関係を図 2 に示す。シミュレーション結果は実測データが多く分布している領域に位置しており、ばらつきの再現性は良好であると言える。

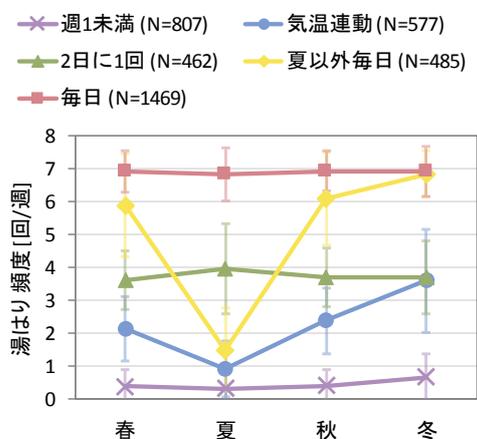


図 1 湯はり頻度のクラスター解析結果

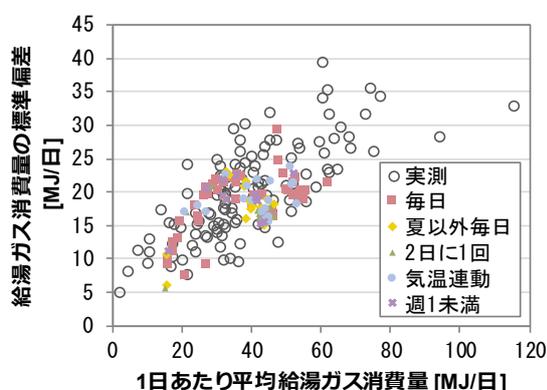


図 2 年間平均給湯ガス消費量と標準偏差

4. スマートメータデータの用途分解による暖冷房使用状況の分析

スマートメータデータと外気温との相関(気温感応度)を分析することにより、スマートメータデータを気温感応分(暖冷房用途)とその他に分離する手法を開発した。本手法を 2011 年～2013 年に近畿地方で計測された 1200 世帯以上のスマートメータデータの時刻別平均値に適用し、節電キャンペーンが実施された前後で暖冷房使用状況がどのように変化したかを、暖房および冷房を使い始める・使い終わる閾値気温、電力消費の気温感応度を指標として分析した。本研究は日本建築学会環境系論文集に掲載された(井上ら、2018)^{原著論文 19)}。本研究で求めた暖房および冷房使用の閾値気温は家庭用エネルギーエンドユースモデルに実装され、季節の変わり目における本モデルの暖冷房電力消費推計をより現実に近いものとすることができた。

(3) 住宅エネルギー需要のモデル開発・応用

5. エアコンの製造時期による COP 部分負荷特性の違いの考慮

暖冷房に関する最もメジャーな省エネルギー対策として設定温度の緩和が奨励されている。この対策による省エネルギー効果は、熱負荷の変化だけでなくエアコンの COP(成績係数)の部分負荷特性にも依存する。省エネルギー法におけるエアコンの性能評価指標が 2006 年を境に定格 COP から APF(通年エネルギー消費効率)へ変更されたことにより、製造されるエアコンの COP の部分負荷特性が大きく変化した。両者の COP 部分負荷特性のイメージを図 3 に示す。本研究では、それぞれの製造時期の機種に対応した 2 種類のエアコンモデルを家庭用エネルギーエンドユースモデルに接続し、設定温度緩和による省エネルギー効果がエアコンの製造時期によってどの程度異なるかを明らかにした。定格 COP 時代のエアコンモデルとして、建築環境・省エネルギー機構によるルームエアコンディショナの最大処理能力と COP の算出式(以下、IBEC モデル)を用

いた。また、APF 時代のエアコンモデルとして、電力中央研究所の上野らによる家庭用エアコンの熱源特性モデル(以下、CRIEPI モデル)を用いた。

設定温度緩和によるエアコン電力消費量および COP の変化を図 4 に示す。IBEC モデル(図 4 左側)では、設定温度を緩和すると暖房・冷房ともに COP が低下する。これにより熱負荷の減少分が相殺され、設定温度緩和によるエアコン電力消費量の削減効果は小さく抑えられている。一方 CRIEPI モデル(図 4 右側)では、設定温度を緩和すると COP が向上する場合が多い。この検討により、エアコンの製造時期によって設定温度緩和による効果は大きく異なることが明らかとなった。2006 年以前に製造されたエアコンの場合は、設定温度を緩和しても十分な効果が得られない場合があるため、設定温度緩和の奨励にあたっては保有するエアコンの製造時期に応じた情報発信が重要である。

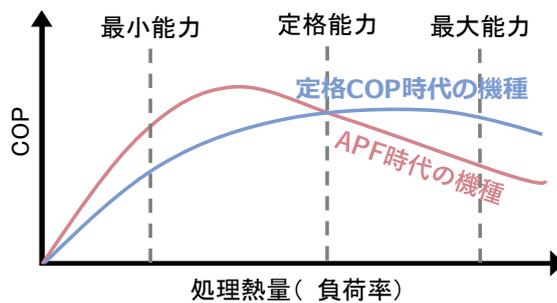


図 3 エアコンの COP 部分負荷特性

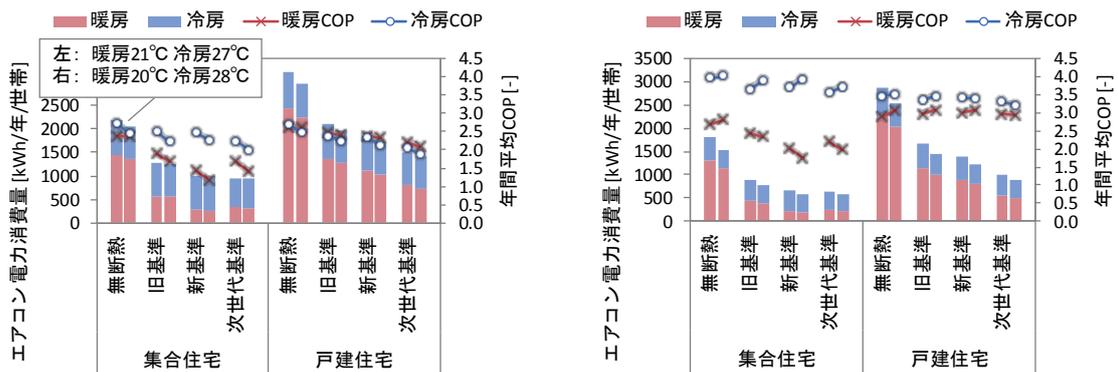


図 4 エアコン電力消費量・COP(左:IBEC モデル、右:CRIEPI モデル)

6. Practice theory に基づくエネルギー需要決定要因の変化構造分析

以上のようにエネルギー需要を決定する構造について理解を深めることができた。これに加えて、①住宅居住者および建物利用者の生活行為・活動、②生活行為・活動に伴う機器・設備の操作、③機器・設備の仕様、④機器・設備の所有・設置状況、⑤住宅・建築仕様が過去どのように変化し、変化がどのような要因によって生み出されたものであるか文献レビューを行った。本レビューでは、Social Theory of Practice という枠組みを用いた。本枠組みは人々の行動を Practice という単位でとらえ、Practice は Material、Meaning、Competence という 3 つの要素で説明されることを前提としている。これまで日常生活の分析には本枠組みが有効であることが理解されているが、本研

究では、長期的な視点から結婚や就業、住宅所有・仕様、時間・機器の使い方の変化を説明することを試みたものである。この分析により、社会の変化と、上記①～⑤の変化、エネルギー需要の変化を関連付けて整理することが可能となった。本成果は、*Technological Forecasting & Social Change* 誌に掲載された(Yamaguchi, 2018)^{原著論文 21)}。

7. 2030 年の CO₂ 排出削減に向けた対策の定量的評価

日本の約束草案に掲げられている家庭部門 CO₂ 排出量の中期目標は 122 百万 t-CO₂(2013 年度比 39%減)である。長期エネルギー需給見通しにおいて、新築住宅の省エネルギー基準への適合、高効率給湯器の導入、照明や家電の省エネルギー性能向上等の対策が示されている。これらの対策による効果が政府により試算されており、中期目標が達成できるとされている。しかしながら、政府による削減効果の試算は、1 単位あたりの導入効果に導入量を乗じることで削減見込み量を求めるという単純な手法によるものである。家庭部門エネルギー消費に由来する CO₂ 排出量は、気象条件、家族構成、住宅の仕様など、様々な条件によって大きく異なることが知られているが、政府試算ではこれらの条件が対策効果に与える影響が考慮されていない。そこで、家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いて、上記の様々な条件を考慮した上での家庭部門 CO₂ 排出削減効果を推計した(Momonoki et al., 2017)^{原著論文 6)}。

長期エネルギー需給見通し関連資料に記載の対策に基づき設定した計算条件を表 1 に示す。各対策による CO₂ 排出削減効果を図 5 に示す。政府試算の削減効果は本研究推計よりも 8.3 Mt-CO₂ 少ない。特に高効率照明の導入で差が大きい。照明使用時間の想定が両者で異なることが主な原因である。両者の照明使用時間を図 6 に示す。本研究では居住者の在室スケジュール、日の出・日の入時間に基づいて一年間の照明使用時間を決定している一方、政府試算では部屋によらず全ての照明について年間 2000 時間(=1 日あたり約 5.5 時間)使用すると想定されている。居住者の行動や外部条件に即している本研究に比べて、政府の想定は過大であることが分かる。このことから、図 5 における政府試算の高効率照明の導入による削減効果は過大に見込まれており、実際に得られる効果と乖離している可能性が高いと言える。

図 7 に東京電力エリアにおける家庭部門電力需要の予測結果を示す。夏期においては、現状ケース(2013)から対策ケースにかけて 21 時頃のピークが大きく削減されており、削減幅が 4 GW に及ぶ日も見られる。このような大幅な省エネルギーが進んだ将来における電力需要予測ができることは本モデルの特徴であり、今後各種のエネルギーマネジメント計画に利用可能である。

表 1 対策の内容と計算条件

計算条件	現状ケース	対策ケース
総世帯数 類型別世帯数分布	国勢調査(2010年)より設定	国立社会保障・人口問題研究所推計結果(2030年)より設定
暖房機器のシェア	エアコン、電気ヒーター、ガスストーブ、灯油ストーブのシェアを考慮	現状ケースと同様のシェアと仮定
給湯器のシェア	電気温水器、ガス給湯器、石油給湯器、HP給湯機、潜熱回収型給湯器のシェアを考慮	長期エネルギー需給見通しの目標普及台数を各地域に割り振り(現在の電化率を考慮) ・HP給湯機:1400万台 ・潜熱回収型給湯器:2700万台 ・燃料電池:530万台
照明のエネルギー効率	全ての世帯で蛍光灯照明を使用	全ての世帯でLED照明を使用
家電機器保有数量	全国消費実態調査、消費動向調査に基づき設定	過去の傾向を回帰して設定
家電機器のエネルギー効率	家電機器ストックモデルにより設定	家電機器ストックモデルにより設定
住宅ストックの熱性能	住宅熱性能ストックモデルにより設定	長期エネルギー需給見通しの設定(新築住宅の省エネ基準達成率は2020年以降100%)に倣い、住宅熱性能ストックモデルを用いて設定

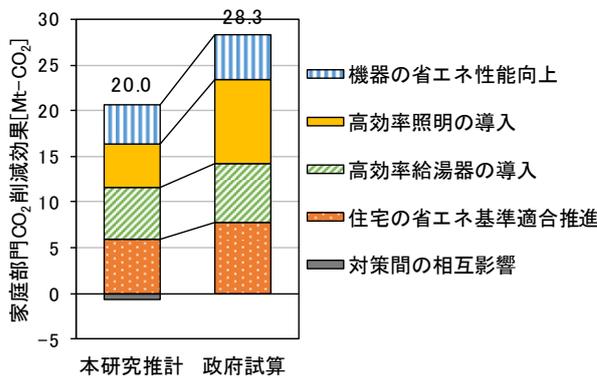


図 5 各種対策による削減効果の推計結果

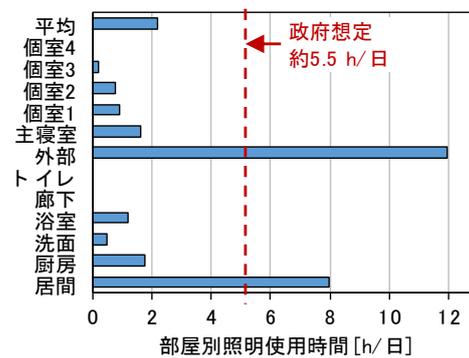


図 6 照明使用時間の推計結果

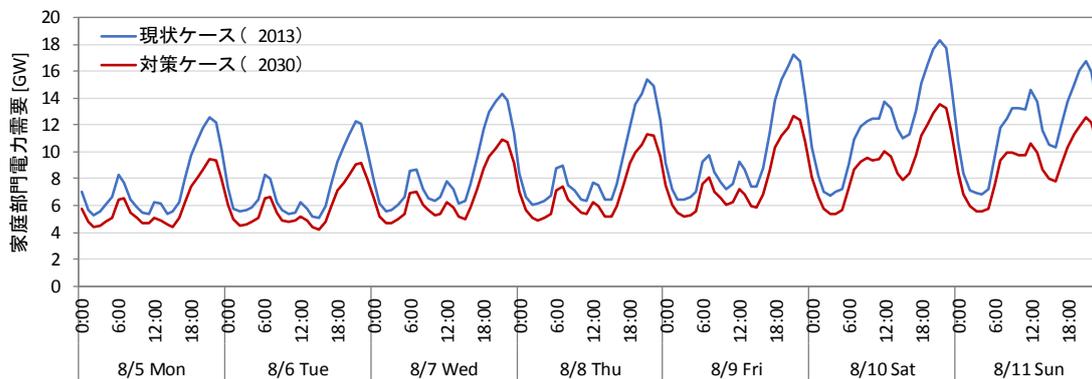


図 7 東京電力エリアにおける家庭部門電力需要の予測

8. 給湯器種類に応じた暖房システム導入時のエネルギー消費推計

各世帯で導入される給湯器と暖房機器はある程度組み合わせに偏りがある傾向がある。例えば、ヒートポンプ給湯機を保有する世帯はオール電化住宅であることが多く、暖房にも電気熱源のものが使用されることが多い。また、燃料電池コージェネレーションシステムは温水床暖房とセット販売

されることが多い。前項のように、2030 年度に向けて各種の高効率給湯器の大規模な普及が進んでいくと予想されるが、政府の計画では高効率給湯器の普及に伴う暖房機器の保有状況の変化は考慮されていない。そこで、本研究では初期的検討として、給湯・暖房システムの組み合わせによるエネルギー消費量の世帯単位での差異を明らかにした。

各種高効率給湯器を導入した場合の一次エネルギー消費量のシミュレーション結果を図 8 に示す。暖房には全てエアコンを使用した場合としている。固体酸化物型燃料電池 (SOFC) を導入した場合で一次エネルギー消費量が小さく抑えられている。一方、各種高効率給湯器について、よく一緒に採用されている暖房機器を組み合わせた場合の一次エネルギー消費量のシミュレーション結果を図 9 に示す。SOFC+温水床暖房ケースでは、エアコンによる電力需要が減少したことによる発電効率の低下に加え、エアコンよりもエネルギー効率の低い温水床暖房の採用により、一次エネルギー消費量が増加した。特に戸建住宅において増加が顕著であり、HP ケース+エアコンケースが一次エネルギー消費量最小となる場合も見られる。一方集合住宅においては、一次エネルギー消費量が増加してもなお SOFC+温水床暖房が一次エネルギー消費量最小となる。

以上の検討により、高効率給湯器の大規模普及による省エネルギー効果や CO₂ 排出削減効果を評価する場合、それに伴う暖房機器の保有状況の変化を考慮しなければ効果を過大に見込んでしまう可能性があることが示された。

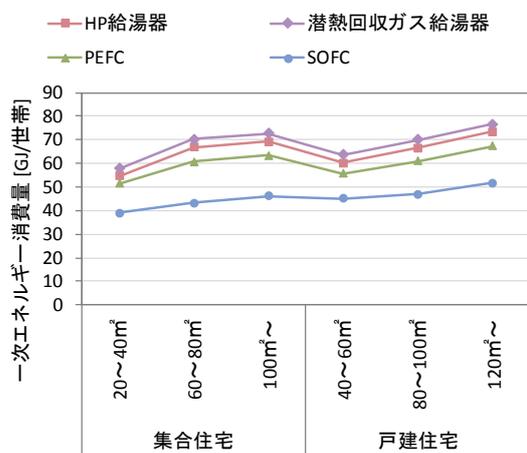


図 8 高効率給湯器導入時の一次エネルギー消費量(暖房:エアコン)

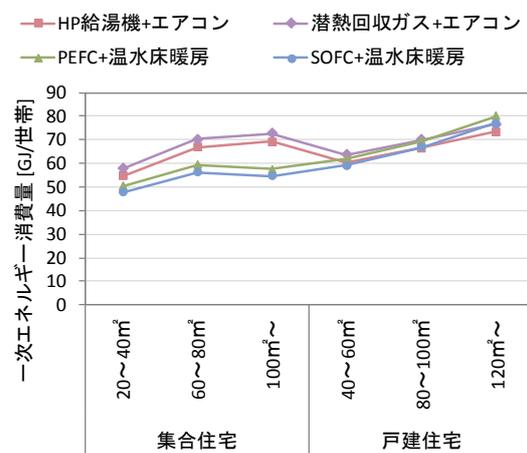


図 9 高効率給湯器導入時の一次エネルギー消費量(暖房:給湯器に応じたシステム)

9. デマンドレスポンス(DR)による電力需要調整ポテンシャルの定量化

本研究で開発しているエネルギー需要モデルの最大の特徴はエネルギー需要が決定される構造そのものが再現されていることにある。このような構造により、生活行為を与条件として、エネルギー需要の調整力を定量化することが可能である。本研究ではこの特性を生かして手動 DR と自動 DR を想定し、それぞれによってもたらしうる電力需要の調整力を定量化した。対象とした機器は蓄熱槽を利用するヒートポンプ給湯機、設定温度調整により電力需要を制御可能であるエアコン、タイマーによる操作が可能である洗濯機、衣類乾燥機、炊飯器、食器洗い乾燥機とし、それぞれについて手動 DR、自動 DR 実施時に生じる現実的な制約を考慮した。加えて、配電線電圧モデ

ルを用いて、太陽光発電の大量連系による電圧上昇問題に対して、上記の機器によりどの程度貢献しうるかを評価した。本成果は *Energy and Buildings* 誌に掲載された(Fujimoto et al., 2017) 原著論文 4)。

10. 洗濯乾燥機を用いた DR による電力需要調整力の推計

(2)で述べた生活行為モデル、機器操作モデルを用いた応用研究として、Tennessee 大学の Dr. Chien-fei Chen との国際共同研究を実施し、洗濯乾燥機を用いた DR により調整可能な電力需要を推計した。まず、2016 年度に共同で実施したアンケート調査によって世帯構成や年齢、就業状況などの属性情報と、DR への参加意思、参加時の洗濯乾燥機、食器洗い乾燥機の使い方に関する選好の対応関係を収集した。次に、この関係を模擬する統計モデルを開発した。上記の生活時間データベースモデルにより都市圏単位で特定機器の電力消費を模擬する場合、対象とする地域に居住する世帯を生成し、各生成世帯に属性情報を付与する。この情報を電力消費モデル、DR への参加意思、使い方の統計モデルに入力することにより、各生成世帯によって提供される電力消費の調整力を推計することができる。また、世帯別の調整力を対象全世帯で合計することによって、対象地域全体における調整力を定量化することができる。共同研究ではこの手法を確立した。また、確立した手法を関東地方に適用し、住宅用洗濯乾燥機による DR 調整力を定量化した。現在、共著論文を執筆中である。(国際強化支援により研究加速)

(4) 業務施設エネルギー需要のモデル開発

日本に立地する事務所、宿泊、医療、文教、飲食施設ストックを対象としてエネルギー需要を推計するモデルを開発した。まず、用途、規模、空気調和設備種別、都道府県によって業務施設を類型化し、各類型を代表する業務施設モデルを作成した。業務施設モデルは建築仕様、設備仕様、運用について具体的な条件を持つもので、代表モデルを入力条件としてアメリカ DOE が開発している EnergyPlus を用いてエネルギー需要を推計した。この結果を延床面積により原単位化し、類型別延床面積との積和により業務施設全体のエネルギー需要を定量化した(Kimura et al., 2017) 原著論文 7)。本モデルを開発するにあたり、空気調和設備の選択を模擬するロジスティック回帰モデルを開発し、対象ストック全体に適用した。この結果、規模が小さい業務施設ほどパッケージエアコンやビル用マルチエアコンなどの個別方式のシステムの採用率が増加すること、経年的に規模の大きい業務施設でも個別方式の比率が高くなってきていることなどが明らかとなった。本成果は *Energy and Buildings* 誌に掲載された(Yamaguchi et al., 2017)⁶。また、開発したエネルギー需要モデルを用いてエネルギー需要の推計を行い、各種省エネルギー技術の普及によるエネルギー需要の変化を定量化した。

(5) 他の CREST チームへのエネルギー需要推計結果の提供

コミュニティ、都市などの規模で面的に広がる配電システムの仕様を決定する方法を林チームと共

⁶ Yamaguchi Y., Miyachi Y., and Shimoda Y.: "Stock modelling of HVAC systems in Japanese commercial building sector using logistic regression", *Energy and Buildings* (2017) 152, pp. 458-471. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.007>

同で開発した。本手法はモデル配電線における代表 2 日の電力負荷と契約電力等の契約情報から需要家構成(モデル配電線に接続されている需要家の業務施設用途や住宅軒数など)を決定する。次に、対象とする地域における需要家構成と最も近い需要家構成を持つモデル配電線を選択し、配電線の仕様を決定する。最後に、各配電線の接続関係を決定し、配電網全体の仕様を決定する。開発するモデルは都市規模解析モデルと呼ばれ、配電線、バンク、変電所、営業所の階層的な構造を持つ配電システムを包括し、それぞれの単位で物理的な構成や挙動を模擬するものである。H29 年度は国勢調査データを用いて、小地域単位で世帯を生成し、個々の住宅のエネルギー需要を推計する方法論を開発した。これに基づき、個々の需要家に年間時刻別の電力需要、エネルギー管理の資源である調整力を推計した。この成果は、*Proceedings of the IEEE*(Hayashi et al., 2017)⁷に掲載されている。これまで、太陽光発電の普及と住宅における省エネルギーが同時に起こることを想定して配電システム性能の評価を行い、両者を同時に考慮することが重要であることを示した。

(6)まとめ

以上の阪大グループの研究は、エネルギー需要予測モデルの開発および応用、実態データ分析の 2 つに大別できる。

エネルギー需要予測モデルの開発および応用((3)住宅エネルギー需要のモデル開発、(4)業務施設エネルギー需要のモデル開発)については、あらゆるタイプのエネルギーマネジメント計画のテストベッドとして使用することができる。実際のエネルギー消費が発生するプロセスをモデル上で再現したボトムアップモデルであるため需要の内訳を説明することが可能である。この特徴を利用し、可制御負荷の定量評価((3)-9、(3)-10)に応用した。また、配電システムスケール((5))、電力システムスケール、国単位((3)-7)など、任意の空間スケールでの需要予測が可能であり、配電計画((5))や電源設備計画、温暖化対策の政策評価((3)-7)など、それぞれのスケールにおけるエネルギーマネジメント計画への応用を進めている。さらに、入力条件を整備することで、人口構成が変化し省エネルギー技術の普及が進んだ将来における需要を予測した((3)-7)。今後、再生可能エネルギーの普及と同時に需要が減少し、より制御が困難になることが予想される中長期の将来のエネルギーマネジメントシステムの開発への貢献を目指している。

実態データ分析((2)エネルギー需要の決定構造に関する調査)については、分析結果をエネルギー需要予測モデル結果と比較することで、需要予測モデルの精度を検証するだけでなく、需要予測モデル中のパラメータ決定に用いる予定である。特に人の行動、機器操作、実使用時の消費電力については、統計調査やメーカーカタログだけでは需要予測に必要な情報が十分に入手できないため、実態データ分析に基づくモデル入力条件の生成は重要である。

⁷ Hayashi, Y., Fujimoto, Y., Ishii, H., Takenobu, Y., Kikusato, H., Yoshizawa, S., Amano, Y., Tanabe, S., Yamaguchi, Y., Shimoda, Y., Yoshinaga, J., Watanabe, M., Sasaki, S., Koike, T., Jacobsens, H., Tomsovic, K. (2018). "Versatile Modeling Platform for Cooperative Energy Management Systems in Smart Cities". *Proceedings of the IEEE*, 106(4), pp.594–612. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2809468>

3-2-7 需要データプラットフォーム構築に向けた分析(東大生研)

再生可能エネルギーシステムが大量に導入された社会において、大きな役割を果たすのが分散エネルギーマネジメントシステムであり、その核となるものは制御対象である「需要」である。本グループでは需要、特に家庭用需要に着目し、分散エネルギーマネジメントシステムの評価に有用な需要データの収集および精査を行い、その物理的特性や消費者の受容性を考慮した可制御性の検討を行った。

(1) 需要データの精査、共有方法の検討

本グループは、H28年度までに約1300件のHEMSあるいは住宅における計測データを保有しており、H29年度もこれらの世帯において継続してデータ収集を行うとともに、追加で380世帯収集した。

また住宅事業者からの住宅属性情報や、保有家電の詳細情報、および気象データにおいてもH27年度までと同様に引き続き併せて収集し、HEMSデータと紐づけることによってデータベース化し、他の研究チームとのデータ共有に努めた。なお気象データは、JAXA-東大グループ他で開発されたAMATERASSの解析結果を参照した。これは気象衛星ひまわりの観測データをもとに雲粒などの散乱や水蒸気の吸収などを考慮して、日射量を放射伝達理論に基づき物理的な解法で推定したものであり、気圧や温度、湿度などの基礎的な大気物理量は気象庁MSM/GPVに基づいている。そして郵便番号より緯度経度を算出し、AMATERASSデータベース上の気温、日射量データを抽出するシステムを構築した(図1)。

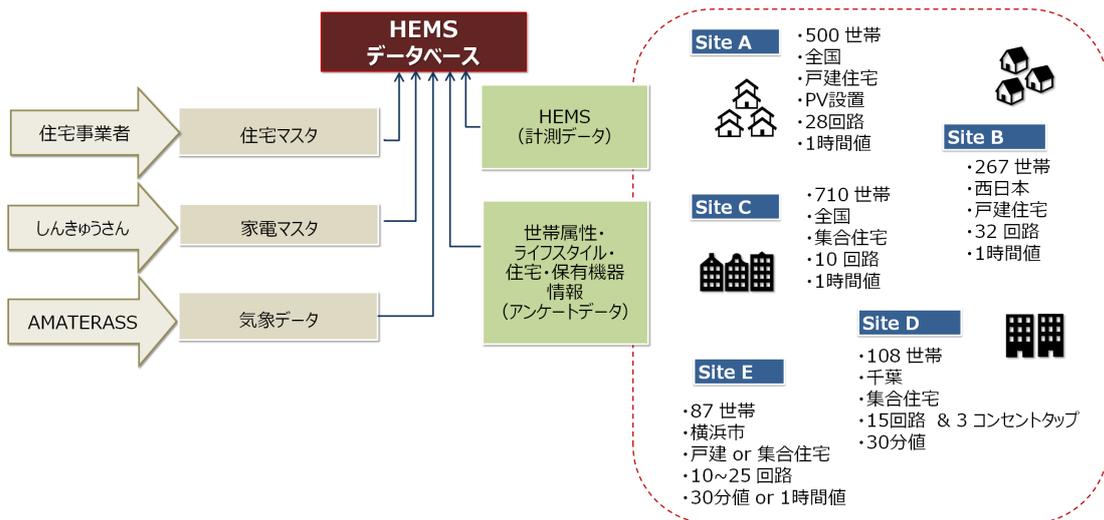


図1 HEMS データベースの構造

(2) HEMS データの活用

収集したHEMSデータを活用し、将来の需要家サービスや電力需給制御への貢献の可能性について検討を行う。今後全世帯に普及されるスマートメータデータ活用への期待は大きいですが、データ解像度が低いために、具体的にどのように利用可能かは未知数である。そこで、HEMSデータから、スマートメータデータを模擬的に作成し、気象データと連携させて太陽光発電量、給湯・空調

需要の分離を行った時の精度について検証する。また、従来紙ベースで実施してきた HEMS エネルギー診断手法の費用対効果を向上させるため Web 型に移行した場合の効果について検証した。

(2)-1 日射データ及びスマートメータデータを用いた太陽光発電量分離手法の検証

住宅用スマートメータデータから正味の太陽光発電量及び、宅内自家消費電力量を推計する手法を提案し、検証には太陽光発電量、自家消費量を計測している HEMS データを用いた。推計に用いるデータは、対象住宅における時間別気温データ、全天日射量データ、スマートメータデータであり、推計フローを図 2 に示す。

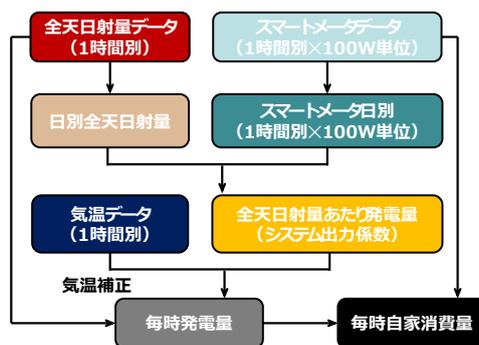


図 2 太陽光発電と自家消費分離フロー

375 件の PV 保有世帯の 1 年間分の HEMS データを用いて、スマートメータデータを作成し、本手法を適用した結果を図 3 に示す。年間を通した %RMSE (予測誤差) を計算したところ、375 世帯平均で 12.7% (標準偏差 4.3%) となった。誤差が大きい世帯の特徴としては、比較的自家消費量が大きく、5 月平日のみでも自家消費分の変動が大きくなり適切な PV 出力係数 α が得られなかったこと、日射量と発電量の相関が崩れていること等が挙げられる。積雪、温度損失係数の誤差の影響などが含まれる冬季のかい離が大きい。予測誤差の大きくなる世帯の抽出方法の検証、過積載太陽光発電世帯の分離手法の検討などが今後の課題である。

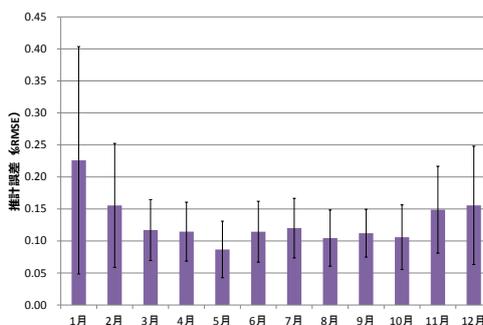


図 3 太陽光発電量の月別平均推計誤差 (375 世帯平均) (エラーバーは標準偏差)

(2)-2 スマートメータデータを用いた家庭用需要用途分離手法の検証

住宅用スマートメータデータから給湯用および空調用電力消費量を推計する手法を提案し、検証には HEMS データの主幹電力消費量および電気給湯器(HP 給湯機・電気温水器)、空調機器(エアコン、全館空調、電気床暖房、蓄熱暖房等)の電力消費量を用いた。

給湯用電力消費量は、まず、電気給湯器の使用・不使用の判定を行い、次いで電気給湯器使用世帯のみを対象に給湯用電力消費量の日量の推計を行った。HEMS の主幹電力消費量で模擬したスマートメータのデータ及び温湿度データを使用し、機械学習モデルで推計を行った。電気給湯器の使用判定は、ランダムフォレストで、3 回平均 98.7%の正答率であった。給湯使用量が極端に少ない世帯を給湯不使用世帯と誤判定する場合や、給湯不使用世帯でも深夜電力帯に空調等の電力消費量がある世帯は誤って使用世帯と誤判定する可能性があることが分かった。給湯用電力消費量の推計は、勾配ブースティング決定木(XGB)で、RMSE が 1.53kWh/日、RMSE を月平均給湯用電力使用量で除した%RMSE の 3 回平均が 28.1%であった。深夜帯の電力使用量に占める給湯用電力の割合が低い場合推計精度が低下する可能性があり、特に全館空調の使用が推計精度の大きな低下要因となりうることが分かった。

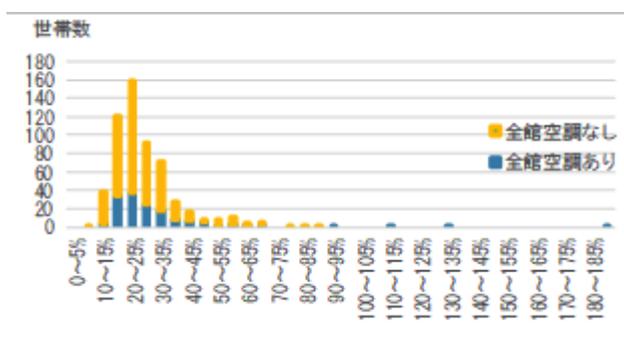


図4 XGB 日量給湯用電力消費量推計%RMSE

空調用電力消費量の推計は、給湯用を除いた日量電力消費量および日平均気温を使用した。各世帯の気温と電力消費量を 2 次回帰し、その極小点±3°Cの消費量の平均をベースとし、電力消費量とベースの差分を空調用消費電力の日量とした。誤差平均は、夏季 2.03kWh/日、冬季 3.57kWh/日であった。推計精度低下要因としては、HEMS データが空調需要を正しく反映していないこと、気温の増減に冷蔵庫等の空調以外の機器の電力消費量も変化していることが挙げられる。また、一年中空調している世帯、極小点付近の消費量のばらつきが大きい世帯は、精度が低くなる傾向があることが分かった。

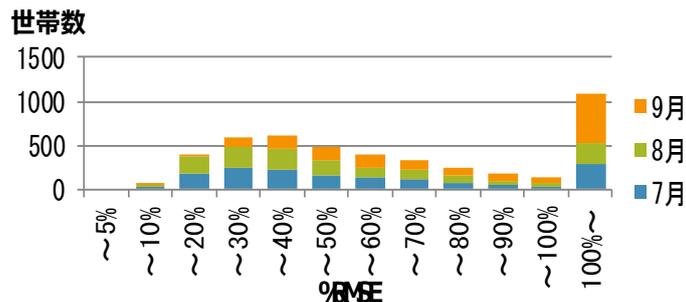


図 5 推計 4 夏季日量空調用電力消費量推計%RMSE

(2)-3 HEMS データを活用した家庭用エネルギー診断の効果検証

デマンドレスポンスの家庭への導入を考える際、消費者の理解を得るためには、消費者のエネルギー利用に対する知識や考え方を把握し、それに合わせた情報提供が重要である。そして、どのような情報提供をした場合に、どのような行動変容が、どの程度生じるかを把握しておくことは極めて重要である。

そこで、H28年度までに上述したHEMSデータベースを構築し、そのデータに基づいて、家庭用エネルギー診断を作成するシステムを開発した。このシステムを用いることで、世帯ごとのテーラーメイド型のエネルギー診断内容(A4用紙2枚分の分量)が作成される。診断内容は季節に応じて変わり、世帯属性情報から抽出した類似世帯との比較、月別、時間別の回路別の電力使用状況、主空調の使用時間と電力消費の関係、過去データとの比較、他者の成功例、その他各世帯の特徴に応じたアドバイス等が示される。

そして H28 年度までは、これらの診断書を印刷して郵送配布することを実施してきたが(Iwafune et al., 2017)^{H28 年度原著論文 21)}、H29 年度は、診断結果を伝える手段を変更して、エネルギー診断を web 上で表示して、送付頻度を上げるなど、フィードバックの方法について検討を行った。

その結果、診断送付のためのメールアドレスの取得にて約 3 割の世帯が脱落し、そのうち閲覧しているのが 6~7 割(最終回を除く)であった(表 1)。そして WEB 化することによって、診断送付が容易になり頻度高く低コストにて送付が可能になったものの、閲覧率も低く診断後の省エネ行動も確認できず、説得力の高い診断とはならなかったという結果であった(表 2)。同内容のエネルギー診断を郵送で行った場合には、冬期に前年比 3.4%削減が確認されているため、今回このような結果となった背景について、診断内容の提示方法の問題、診断効果の検証方法の問題、WEB 診断が可能な世帯という診断受け手の問題、などの観点から今後検討を行う予定である。

表 1 エネルギー診断サイトの閲覧率

	12月	1月	2月
診断送付数	822	821	897
閲覧率	69%	61%	79%
閲覧数	564	502	708
総ログイン数	741	631	1062

閲覧率： 1回以上閲覧した世帯の送付世帯に対する割合

閲覧数： 1回以上閲覧した世帯の数

総ログイン数： 複数回ログインした場合もカウントした回数

表 2 WEB 診断の効果

	実験群 N	統制群 N	全体	多い	少ない
前月比 (%)	608	865	+0.3	+0.1	+1.5**
前年同月比 (%)	586	826	+2.8***	+5.8***	+1.6
2年前同月比 (%)	446	627	+1.2	+2.4	-1.1
3年前同月比 (%)	300	518	-0.9	+2.6	-5.8***

*** p<.001

※ 多い：類似世帯より多いと診断された世帯

少ない：類似世帯より少ないと診断された世帯

(3) HEMS モデルの実運用展開

(3)-1 HEMS の受容性に関する基礎調査

大規模に太陽光発電や風力発電の導入を進めており、デマンドレスポンスの実証試験も積極的に行われている沖縄県宮古島市を取り上げ、電化やデマンドレスポンスの住民の受容可能性を探索することを目的として訪問ヒアリング調査を行った。調査時期は、平成 30 年 1 月 29 日(月)～2 月 4 日(日)である。宮古島市が全島エネルギーマネジメントに向けた実証試験を平成 25 年～27 年の間に実施しており、調査対象世帯はこの事業に参加した一般家庭 200 世帯の中から、今回の調査に同意した 20 世帯である。その結果を総括すると、以下のような点である。

- ・ 台風に起因する停電に対する不安感が、本土に比べると大きい。よって EV を停電時に非常用バッテリーとして使えるということに大きな付加価値がある様子なので、EV を停電時に使えるというのは大きな訴求ポイントの可能性がある。逆に、台風によって停電する夏は、ほとんど給湯需要がないことから、停電時に利用できるという意味で、エコキュートというより、宮古島の場合、EV や蓄電池の方が興味を持つと思われる。
- ・ 再生可能エネルギーの導入について話をしても反応の低い世帯が多く、電化すると停電時に困る、もしくは電化製品は壊れやすい、などと電化に対してネガティブな発想する世帯が多い可能性がある。これらを解凍するのは困難な場合が多く、電化やデマンドレスポンスという説明をするより、まずは停電時の利便性向上のために EV や蓄電池の普及を、制度や政策的に先んじて実施することが効果的であると考えられる。
- ・ 農業従事者も多いことなどから、日中の在宅率が低そうであることと、日没と同時に帰宅するであるとか、子供の学校の送り迎えの時間に合わせて帰宅するであるとか、島民の帰宅時間がま

とまりやすい傾向がある。このようなライフスタイルを動かすことはヒアリングする限りでは難しそうであった。

- ・ 湯はりしないことや、夏場は水温が高いことなどから、給湯需要が少なく、給湯のために機器を変えたり、何か利便性や快適性を向上させたりしたいというニーズがないこと、電化製品は壊れやすいというイメージがあること、水道水が高硬度であることから軟水器を設置しなければならないことなど、エコキュート導入にはハードルがかなり高い可能性がある。
- ・ 夏以外は、天気が悪い日が多く湿度も高いため、衣類乾燥機を使う世帯が多かった。特に子供が小さい若年世帯では洗濯物が多く、乾燥にコインランドリーを利用する世帯も多い様子であった。電気ですべて乾燥すると乾かない/乾くのにかかると回答する世帯が多く、保有している乾燥機や利用しているコインランドリーはガス利用であった。よって、衣類乾燥需要はありそうなので、時間帯別料金などで動かすことは可能性がありそうである。
- ・ 最も大きい冷房需要においては、家の断熱性能が低そうなので、プレクーリングなど効かない可能性が高い。島民にとっては、台風対策やシロアリ対策など住宅に関して優先して考慮すべき点が多いことと、気温が高く暖房をほとんど使わないことから、遮熱はしていても、断熱という発想はないようである。冷房需要を動かすことは難しい可能性があるが、住宅性能の向上を目指し、まずは省エネを実現することが重要であると考え。
- ・ ベース消費が多い家が多い可能性がある。その要因としては、ウォーターサーバの普及率が高いことと、米飯を常に保温していること、除湿器を回していること、冷凍庫保有率が高いこと、保有する家電製品が古い可能性があるなどである。
- ・ 環境省のCO₂統計調査における地方別用途別CO₂排出量をみると、沖縄地方が他の地域と比較して照明・家電のウェイトが大きい。照明・家電用途の大きい理由は、仮説にすぎず検証できてはいないが、住宅性能と同様に、照明・家電利用においても省エネ余地が大きい可能性が考えられるため、まずは省エネ指導を徹底することが重要であると考え。

今後は、ヒアリング調査によって得られた結果をもとに、定量調査を実施し検討を行う予定である。

(3)-2 蓄電池導入による負荷平準化効果の検証 (Teshigawara & Ikegami, 2018) 原著論文 18)

本研究においては電力システムにおける PV 等による余剰電力を活用し、電力システム全体の負荷を平準化するための家庭用定置型蓄電池の充放電制御の計画手法の検討を行った。個々の蓄電池が他の蓄電池と情報を共有しない環境下においては、料金だけの費用最小化を行うと、充放電が同じ時刻に集中してしまい、負荷平準化につながらないことが起こり得る。これに対し、適切な目的関数を用いて充放電を計画し、かつ、部分負荷充電を可能にすることにより、電力システムにおける高い平準化効果が得られることを明らかにした(図 6~図 7)。

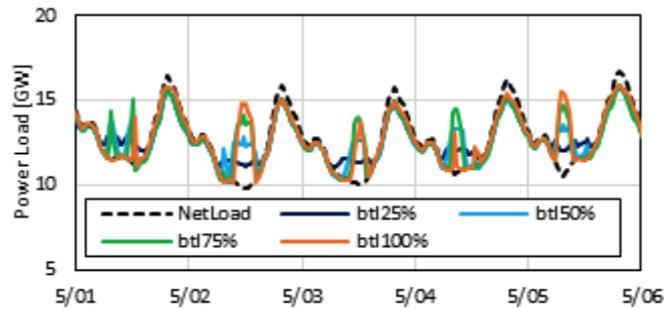


図 6 電池導入後の需要曲線(目的変数:翌日需要変化幅最小化、部分充電あり)

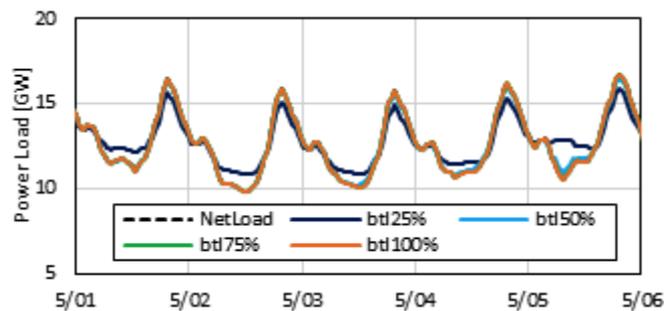


図 7 電池導入後の需要曲線(目的変数:翌日需要毎時変化量積算値最小化、部分充電あり)

(3)-3 HP 給湯機及び蓄電池の最適運用モデルの構築 (Iwafune et al., 2017)^{原著論文 11)}

本研究においては、ルーフトップ太陽光発電の自家消費拡大のオプションとして、ヒートポンプ給湯機 (HP 給湯機) の活用について検討した。今回は、2019 年問題への対応について検討するために、太陽光発電と HP 給湯機を保有する世帯において、24 時間先までの料金を最小化するような運用を行うモデルを開発した。過去需要・発電量、気象予測情報を用いて前日夜 23:00 に、翌日の給湯需要、その他電力需要、PV 発電量の予測を行い、それに基づいて HP 給湯機の運転計画を作成し、当日は計画と実需要に基づいて運転するものである。本モデルは、フレキシブルな料金に対応できるが、今回の想定では、購入電力に関しては、旧一般電気事業者のオール電化向け新料金を想定し、PV 余剰買取価格は、10 円/kWh と想定している。

シミュレーションの結果を以下に示す。図 8 は、蓄電池と HP 給湯機の最適運用による 357 世帯平均の年間コストメリットと蓄電池の単純償却年数を示したものである。2~10kWh の蓄電池のみの導入により、10,000~22,000 円/年のコストメリットが生じており、これは HP の最適運用に比べ大きな金額である。HP 最適運転と蓄電池 2~10kWh 導入の組み合わせでさらに大きな 15,000~32,000 円/年のコストメリットが得られる。蓄電池容量が大きくなるにつれてコストメリットは飽和する。蓄電池容量が小さいほど償却年数は短くなっているが、たとえ最短の償却年数であっても、電池の公称寿命である 10~15 年では回収できない結果となっている。蓄電池単体に比べて、蓄電池+HP 最適運転のほうが単純償却年数が長いのは、余剰電力による HP 運転が増加するため、蓄電池が最適に運用できる範囲がより限定されるためである。図 9 は、正味の電力消費量と PV 自家消

費量の変化を示す。蓄電池の場合、充放電によるロスが発生するため、正味の電力消費量はベースケースに比べて大きくなるが、HP 給湯機の最適運転は、既述のとおり省エネになるため正味の電力消費量も8%減少している。HP 給湯機最適運転によって、PV 自家消費率は32%から45%に増加しているが、これは、2~4kWh のバッテリー導入によってもたらされた効果に相当するものである。

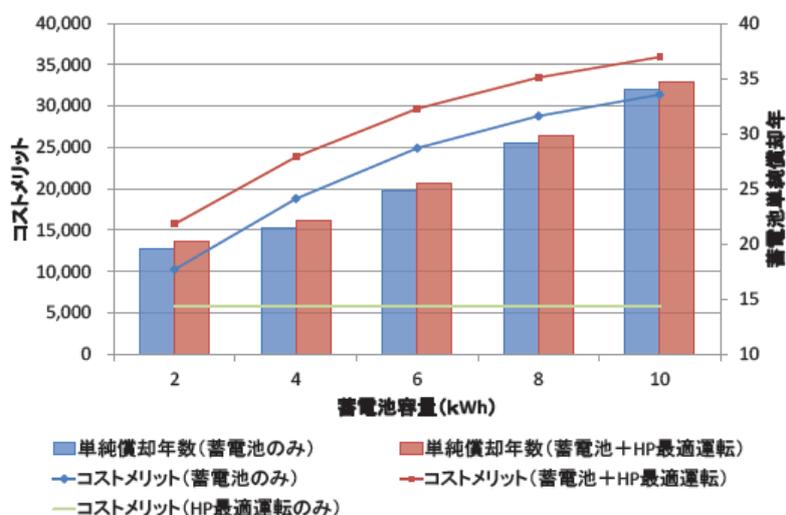


図 8 HP 最適運転および蓄電池導入によるコストメリットおよび蓄電池の単純償却年数

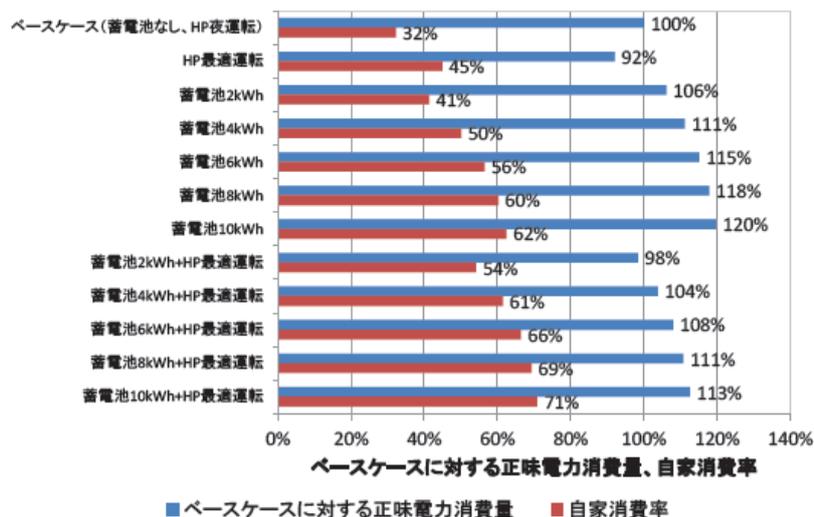


図 9 各ケースにおける正味電力消費量および自家消費率

本研究では、ルーフトップ PV 発電の自家消費を増加させる DR 資源としての HP 給湯機の価値を評価した。357 世帯の実データにおける分析の結果、HP 給湯機の最適な運用は、年間 5,800 円のコストメリットをもたらし、7%の省コストに貢献することがわかった。電力消費量の 7 割が昼に移行し、自家消費率が 32%から 45%に増加した。HP 給湯機の昼運用は基本的に省エネであり、全体でも 8%の正味電力消費量の削減が実現する。

(3)-4 日本全体の HP 給湯機及び電気自動車のデマンドレスポンスの評価 (勅使河原と池上, 2017)^{原著論文 1)}

日本の10送電系統におけるヒートポンプ給湯機(HP給湯機)及び電気自動車(EV)によるデマンドレスポンス(DR)の電力システム全体への適用効果を評価するためのモデル化を行った。DRモデルを実装する需給シミュレーションモデルは、予測誤差を陽に扱わない需給調整力を考慮した連系系統の広域需給解析モデルであり、需給バランス、LFC 制約、連系線潮流制約等の各種制約のもと運用費(燃料費+起動停止費)を最小化するモデルである。

① ヒートポンプ給湯機(HP 給湯機)のモデル化

送電系統(エリア)別全体の時間別の HP 給湯機の対象給湯需要に対して、すべての HP 給湯機の運転時間が一日単位で最適化され、貯湯槽を介して給湯されるものとし、給湯機単位の運転を考慮せず、エリア全体の貯湯量が一日の最初と最後で一致する。エリア別給湯データは、阪大グループのボトムアップシミュレーション(2)により、世帯属性、住宅構造等の多様性を考慮して全国10000世帯の給湯需要を作成し、10送配電系統毎に現状の系統全体の8760時間の給湯需要を推計した(図10)。

② EV のモデル化

エリア全体の時間別のEV走行パターン、EV充電可能パターンを想定し、走行に支障の無い制約条件のもとEV充電またはEV充放電運用が一日単位で最適化されるものとした。エリア別EV走行パターン、EV充電可能パターン(自宅あるいは勤務地滞在割合)は、2010年道路交通センサス調査結果を用いて10送配電エリア別に推計した。同調査の平日と休日の2パターンを年間に敷衍した。対象は自家用車(走行距離が150km/日以下)とし、通勤車(不在時間6時間以上)と非通勤車に分類し、さらに自動車は一日中使用されない非稼働車と稼働車に分類した。充電制御のみの場合、稼働車のみが制御対象であり、充放電制御の場合は非稼働車含めたすべてが対象となる。通勤車は勤務地でも充電ができるものと想定した(図11)。

これらのモデル化を終えて各種のシミュレーションを今後実施していく予定である。

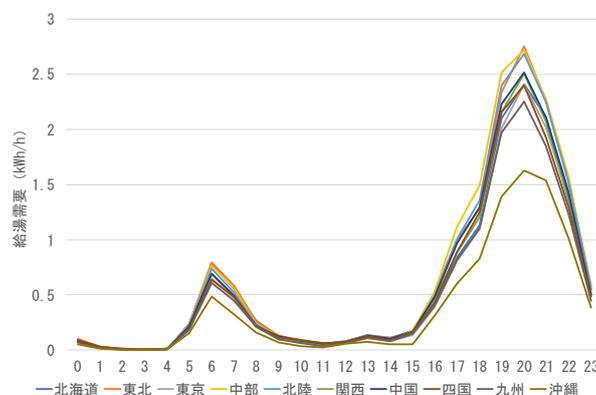


図 10 地域別給湯需要推計結果(2013年4月、平日)

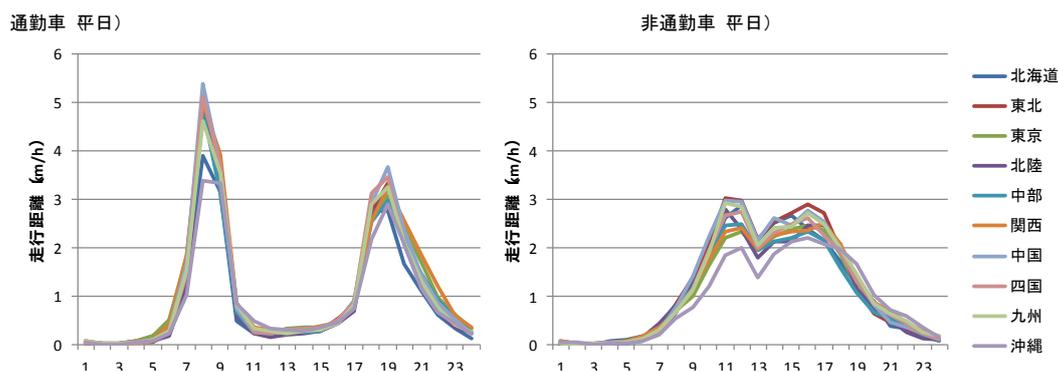


図 11 地域別 EV 走行パターン推計結果(平日)

(4)まとめ

東大生研グループは、需要データの EMS への活用を目指し、HEMS データ収集、将来的に EMS を実現するためのモデル化を実施してきた。

HEMS データを用いたスマートメータ活用のための分析、Web 型エネルギー診断への展開など、家庭におけるエネルギーマネジメントを進めるための費用対効果の高いツール作成につながる検討を実施した。また、HP 給湯機や家庭用蓄電池、電気自動車のデマンドレスポンス効果について、個別世帯ごと、系統全体ごとのモデル化がほぼ終了し、今後はこれらのモデルを用いて、総合的な評価を行っていく予定である。

チーム内の連携としては、各住宅における気象データ(日射量、気温)を JAXA 東大グループの AMATERRASS データから取得し、需要予測、太陽光発電量予測等に用いたほか、スマートメータの用途分離においても重要な入力情報として用いている。また、阪大グループからは、全国 10000 世帯の給湯需要のモデル化の結果を提供してもらい、需要の多様性を考慮した HP 給湯機運用のモデル化が可能となった。その際、東大生研グループが保有するオール電化住宅の HEMS データにおける給湯電力量の実データを分析し、シミュレーション結果と突き合わせることで、阪大グループの給湯需要シミュレーションモデルの精度向上に貢献した。

3-2-8 需要家行動モデルの開発(東工大)

(1) 需要家行動モデルと仮説

需要家の行動変容に影響を与える要因に関する知見を蓄積するためには、実際の環境における人間行動そのものを研究対象としなくてはならない。これは、心理学者 R. バーカーも論じており、実験室という特殊環境で明らかにされた事実はそのまますべてに通用するとは限らないとしている。

電力に関する需要家行動モデルとして、従来からある「電力使用行動」に加え、「電力契約行動」「設備投資行動」を想定している(図1)。このモデルの有用性は以下の考察からも理解できる。図2は GDP および電力需要(東京電力管内)の伸び率の関係を表したものであるが、概ね GDP が成長すると電力需要も伸びていることが分かる。しかし、近年においては GDP の伸びにも関わらず、電力販売が伸び悩んでいる現状にある。近年 10 電力全体としても電力販売の減少が続いている理由は、GDP とは別に要因があり、東北大震災における電力ひっ迫状況の節電が続いているという解釈もあるが、省エネに対する投資が進んでいるという議論もある。このように、需要モデルに対しては、電力消費のみを対象としていると説明ができない状況があるが、提案のモデルではこの事象を議論する枠組みを提供することができる。

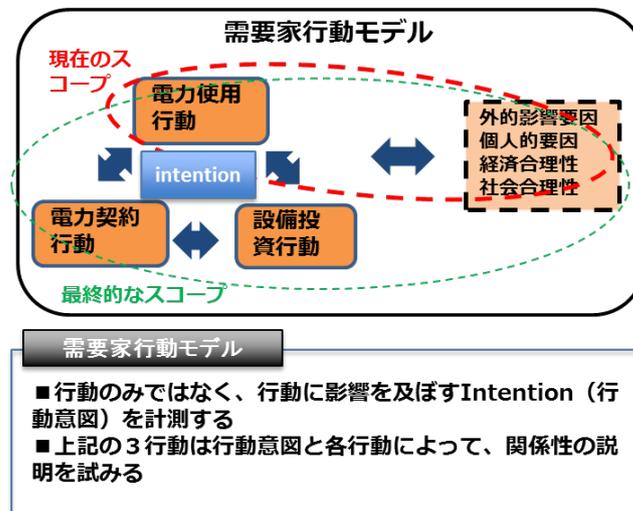


図1 需要家行動モデル



図2 GDPと電力需要の関係(東京電力管内、出典:東京電力⁸)

「電力使用行動」「電力契約行動」「設備投資行動」の3行動における行動変容の関係性を明らかにするためには、各行動との関係性を検討するだけでなく、行動に影響を及ぼす Intention (行動意図)を計測することで、電力に関する需要家行動モデルの基礎を探索する(図3)。これまでの需要行動に関する研究においても、情報的手法や経済的手法にて行動変容効果があることが分かっているが、効果が一時的であることが問題とされてきた。

行動変容効果が継続することは、人が「自律的に動く」という状況を作り出す必要があり、それは大きく2つの要素に分解して考えることが可能である。Gollwitzer は、ある目標や目的に向けて人が行動を起こすときには「目標意図(goal intention)」と「実行意図(implementation intention)」の2つの意図が作用するとしている。これらの既存研究を踏まえて、仮説モデルと作成したのが、図3となる。

図1に基づき、電力使用行動、電力契約行動、設備投資行動に分けて、計画と実績を以下に説明したうえで、需要科学SGとして「エネルギー需要科学」分野の確立に向けた東工大Gの研究内容を説明する。

⁸ <http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/power-demand/gdp-demand-j.html> (2018/5/2)

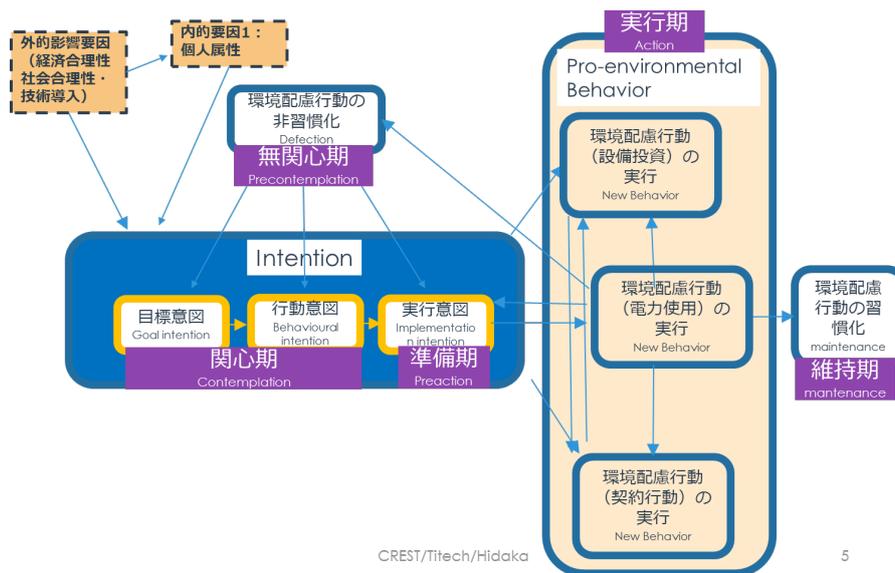


図3 需要家行動モデル(仮説)

(2-1) 電力使用行動研究-実証実験環境整備

電力使用行動の研究について、H27 年度では様々な自治体や関係者との協議を重ね、長崎県の離島である対馬市を実証地として選定した。

H28 年度においては、九州電力、対馬市役所と対馬の CATV 提供会社である株式会社コミュニティメディアと連携し、実験環境の整備を行った。

H29 年度は、実験参加世帯をさらに 50 件増やすために、募集およびシステム整備を行った。当初予定していた実験世帯数は 100 世帯である。H29 年度にて目標世帯数は達成した。

具体的な内容は、次のとおりである。

【実験参加者の募集】

- ・対馬市全戸に対する回覧にて、実験参加者の募集を行った
- ・対馬市役所にて、各部署に対する周知を行った
- ・結果として、50 件の応募者を得ることができた
- ・H29 年度では、同様の告知を行い追加 50 件の応募者を得ることができた。

【スマートメーターの設置工事】

- ・九州電力に協力を得て、実験参加者に対しては、スマートメーターの設置工事を優先的に行ってもらった
- ・実験参加者 50 世帯に対しては、スマートメーターの設置及び B ルートの開設工事を行った
- ・H29 年度では、追加 50 件の応募者に対するスマートメーター設置工事を行った

【システム設計・構築】

島内のケーブルテレビ網を利用した将来的な情報提供の実現と、プロジェクトを踏まえた出口としてケーブルテレビ運営会社によるサービス化を視野にいれるために、システム構築会社として対馬市CATV指定管理者である株式会社コミュニティメディアを選定した。

システム構成図は、図4の通りである。九州電力によると九州電力内のスマートメーター配置工事後、B ルートを経由してサーバーへアップロードし、各家庭の電力データが画面上で確認できるようなシステムを構築した。

構築したシステム自体は、研究期間内において複数の実験が実現できるようにシステム拡張や改変を行えるような柔軟な設計とした。また、電力使用量データの管理方法についても、個人が特定できない形でのデータ保有形式で受け渡しが可能となるシステムを設計した。

H29 年度は、追加50件を加えて比較対象実験が可能ないようにシステム追加開発を行った。

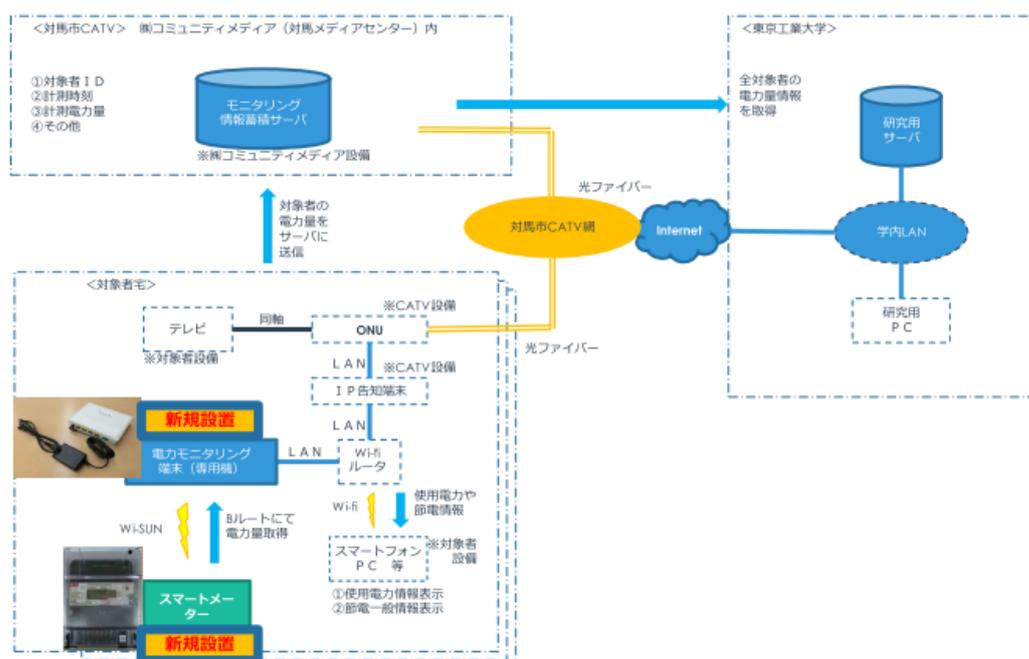


図4 対馬市実証実験システム構成図

【スマートメーターを用いた機器分離技術のシステム設計・構築】

H29 年度では、スマートメーターを用いた機器分離技術の導入(図5)への導入検討を行なった。機器分離技術とは、分電盤の主幹を流れる電流の波形を観測し、機器ごとの電流波形に分離し、機器ごとの消費電力量や On/Off の状態などを推定する技術である。インフォメティクス社と東京電力の共同実証⁹では、分電盤に取り付けたセンサーで観測した電流波形から自動で各機器のモデルを生成している。このように多くの機器分離技術はセンサーを用いているが、機器分離用のセンサーを新たに付けなくてはならないという社会実装上の問題点がある。今回の実験環境で実装できる技術(図5)を導入し、次の目的で技術および精度検証を行う。

⁹ <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000001.000012366.html> (2018/5/2)

- ① スマートメーターから得られる情報を利用した場合の機器分離精度の評価し、精度向上のための追加開発の検討を行う
- ② 機器別行動が把握できることによる需要行動の構造化
- ③ 行動推定の高度化
- ④ 具体的な行動にあわせた行動アドバイス
- ⑤ 行動変容の内訳(どの機器であれば、行動変容が起こるのかの特定)

②について、需要予測における基礎データとして、当チーム阪大グループでは国勢調査小地域データを用いている。これは家庭の個別の機器操作行動データが存在しないことによる。本技術の精度が確保できれば、需要予測モデルの基礎データとして用いる可能性があり、需要予測精度向上に寄与できるものと考ええる。機器分離に関してはアルゴリズム開発など様々な基礎研究があるが、その実際の価値を検証することにつながると考えている。

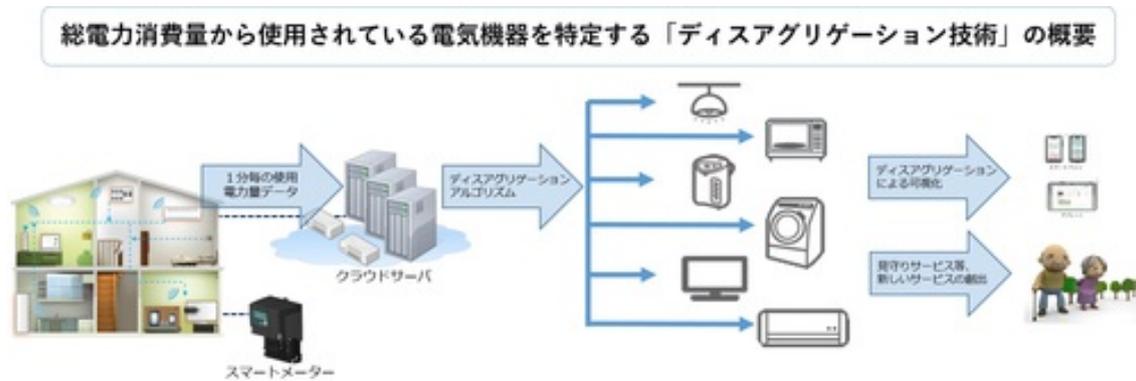


図5 機器分離技術概要 出典:ユビキタス社¹⁰

(2-2) 電力使用行動研究-実験計画と進捗状況

図3の仮説モデルをもとにシステム構築と同時に実験計画を策定した。今後もさらに対馬市や住民との協議を重ねるが、次の通りのスケジュールと実験内容を進めている。

2016年12月～2017年3月	実験前の行動意図に関するアンケート調査 電力消費量見える化の実施(実験1) 需要家行動変容の経時変化に対する研究
2017年9月～2018年3月	50世帯追加募集開始と第二期実験のシステム構築 電力消費量見える化の実施(実験2)
2018年4月～	再生可能エネルギーの発電量表示と教育手法の組み合わせ (図6参照)(実験3)

¹⁰ https://www.ubiquitous.co.jp/news/press/20170214_p2239.html (2018/5/2)

H28 年度では、需要家行動変容の経時変化に対する研究として、論文(辻本ら, 2016)^{H28 年度原著論文¹²⁾} に発表した北九州で行われた経済的手法を用いたデマンドレスポンスの分析を行った。得られた主な知見は 1) 継続的な DR の実施に対して需要家の継続的な反応はあるものの価格変化に対する反応(価格弾力性)に変化が見られたこと、2) 実験参加者の一部には生活行動(ルーティン)の変化が見られたこと、である。1)および 2)の結果から、DR 実験参加者は当初は価格情報に対して反応するが、参加者の一部は日常の生活行動のそのものに変化が見られ、価格情報に対しての反応は弱くなっていることがわかった。

H28 年度では実験 1、H29 年度では実験 2 を実施した。実験内容は、長崎県対馬市の一般家庭 48 世帯に対して電力消費の比較情報を与えたときの電力消費量を測定した。このとき自分の過去の電力消費量を比較できる情報と、自分と他者の電力消費量を比較できる情報を用いて、

- i. 電力消費量を表示しないグループ
- ii. 自分の家庭における過去の電力消費量を比較できない形で表示するグループ
- iii. 自分の家庭における過去の電力消費量を比較できる形で表示するグループ
- iv. 自分の家庭と似たような家庭における過去の電力消費量を比較できる形で表示するグループ

に分けて実験した。また実験前後において電力消費行動に関する意識のアンケートを行った。実験 1 では i と ii のグループを、実験 2 では全てのグループにおいて実験した。実験 2 は 2018 年 3 月までの実験であり、現在実験 1 および実験 2 について、行動と意図の関係分析を行っており、2018 年夏までに結果をまとめる予定である。

H30・31 年度の実験 3 としては、再生可能エネルギーの発電量表示と教育手法の組み合わせ等を実施予定である。対馬のほとんどの住民は、再生可能エネルギーがどのくらい発電しているか、自然条件によってどのくらい変動するかわかっていない。現状が分かっていない中で、行動変化を促しても、一時的になる可能性が高い。発電状況を把握することで、行動意図と行動変容に影響があるかを明らかにする。

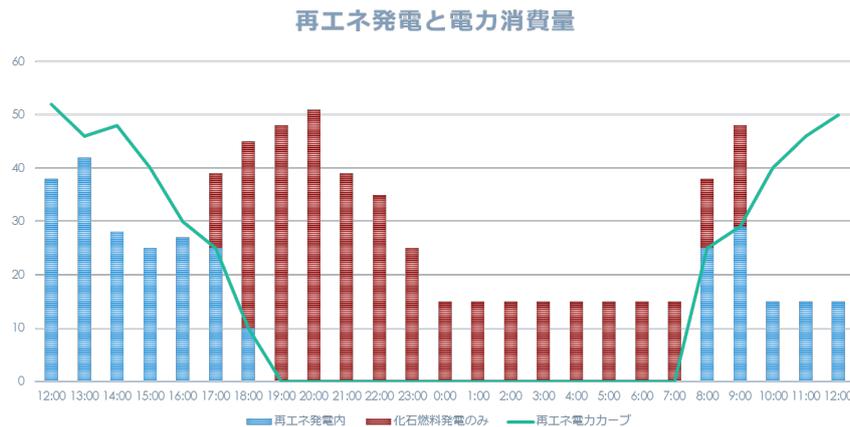


図6 対馬市実証実験画面例

また、H31年度には、対馬CATVを用いた情報提供実験を行うために、対馬市、対馬市CATV会社、九州電力と協議を進めている。コミュニティメディア社で運用している番組枠もしくは広告枠を用い、個別の情報提供でなく、全島住民を対象とした情報提供を行う。再生可能エネルギー導入社会における環境配慮行動を需要シフト(CO₂が少ない電力を使用する=再生可能エネルギー発電に需要を合わせる)と設定し、大衆を対象とした情報提供の可能性を研究対象とする。

(3) 電力契約行動・設備投資行動および電力使用行動との関係性に関する研究

経済産業省によると2017年11月末時点での新電力会社への契約先の切り替え(スイッチング)は約8.2%(約514万件)となり、また登録されている電力小売の事業者数は2018年3月8日現在で464社に及ぶ¹¹。再生可能エネルギーの普及により、これまではエネルギーを消費する側であった「コンシューマー」が自らエネルギーを創出する「プロデューサー」となる「プロシューマー」が出現するなど需要側の変化も起きつつある。

H29年度では、先行研究調査とアンケート設計を行った。先行研究では、電力小売全面自由化に伴う顧客の意識や理解状況、また購入先変更意向や実施状況などの研究は多く見られるが、電力会社の契約特徴毎に分析した顧客の契約変更行動に関する研究は少ないことが判明した。アンケートの目的を次の通りに設定した。

目的:新たな電力小売事業者へ契約を変更した家庭用顧客に対して、契約の特徴毎に変更理由とその行動が生じる要因と属性、契約特徴毎の電力使用行動の違い、省エネ機器購買行動の違いが生じているかを明らかにする。

また、新電力会社をリスト化し、契約の特徴を調査した。結果として、再生可能エネルギーを重視する会社、地域とのつながりを重視する会社、経済的メリットを重視する会社及び既存の電力会

11

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/denryoku_gas_kihon/008_haifu.html (2018/5/2)

社と4つのタイプに区分した。

H30 年度には研究加速資金を用い、当該電力会社に対してインタビューを実施するとともに、各電力会社への契約の変更行動を行った顧客へのアンケート調査を行い、契約変更における行動理由・要因・属性と電力使用行動の関係性を分析する予定である。

(4)「エネルギー需要科学」分野の確立に向けた研究

H28 年度において、エネルギー消費行動や環境配慮行動を促す介入の方法論の体系的整理を行い、論文「エネルギーマネジメントシステムに貢献する地球科学と需要科学」、計測と制御、第 55 巻、第 7 号」(中島ら, 2016)^{H28 年度その他著作物 4)}の中で報告され、エネルギー需要科学の基礎的知見として貢献することが出来た。

H29 年度では、効果的な介入計画を立てるためには、(1)環境配慮行動を決定する影響要因、(2)環境配慮行動に影響を与える介入手法、(3)介入による効果検証の3つの関連性を明らかにすることが必要であると考え、過去の研究のレビューを行った(錦織ら, 2017)^{原著論文 8)}。環境配慮行動への介入手法に関して、いくつかの体系化がなされ、その効果との関係性も明らかになりつつあることがわかった。(1)に関しては、環境配慮行動は、状況的要因、個人的要因の大きく2つの要因に影響を受けると考えられている。(2)に関しては、環境配慮行動を促進するためには、(1)の2つの要因を意図的に刺激し、行動変容を促す介入が必要であると考えられ、最近では、構成的介入手法、事前的介入手法、事後的介入手法の大きく3つに分類されている。(3)に関しては、欧米を中心に、世界中で様々な介入実験が行われ、介入手法の効果が検証されている。さらに、複数の論文の介入効果を統合したメタアナリシスにより、介入効果を体系的に整理する試みも実施されている。

H30 年度には、論文「エネルギーマネジメントシステムに貢献する地球科学と需要科学」、計測と制御、第 55 巻、第 7 号」(中島ら, 2016)の続編として、介入に関するレビュー論文として投稿予定である。

研究加速資金により、阪大、東大生研グループとともに、H30 年度に米国で開催される建築の省エネルギーに関する会議(ACEEE 2018 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings)において、ローレンス・バークレー国立研究所の研究者と共同で、需要科学に関するインフォーマルミーティングの開催について調整中である。これらの実行により研究の国際化を加速する。

3-2-9 需要家情報の整理

本プロジェクトにおけるエネルギー需要研究、すなわちエネルギーマネジメントにおけるエネルギー需要研究の課題・意義・手法をとりまとめ、目指すべき研究の方向性、手法論の整理、更には今後エネルギー需要科学を研究分野として確立することなどを目的として、阪大、東大生研、東工大の3グループで3年間に8回の需要関係グループ会議を実施した。エネルギー需要科学についての従来のアプローチのレビュー、分散協調型 EMS においてエネルギー需要を研究する目的、「要素分解型」(下図)と「全体挙動型」の2つのアプローチがあること、研究分野として「エネルギー需要の計測と分析」、「エネルギー需要モデルの開発」、「エネルギー需要に対する影響要因の解明、介入」の3つがあることを整理した。

H29 年度は後述のように国内での成果発表が一段落したことを受けて、この活動を国際レベルに展開することを企画し、米国ローレンス・バークレー国立研究所の研究者と連絡を取り、米国でエネルギーマネジメントにおける需要研究に関する情報交換会を開催する可能性について調整をおこない、30 年度に3グループのメンバーが渡米して情報交換を実施する予定である。

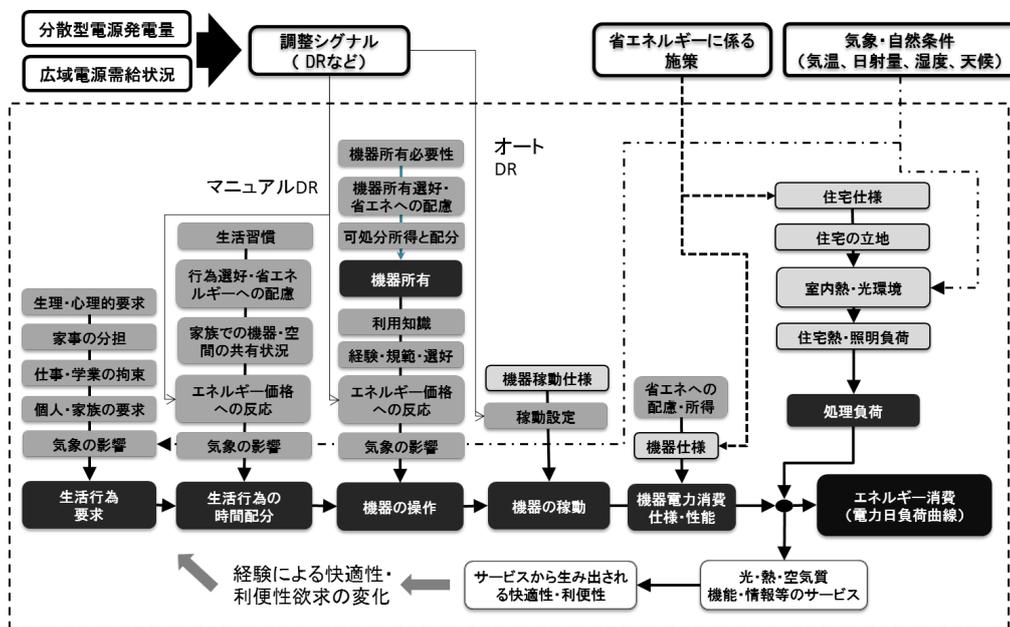


図 要素分解型アプローチの一例

得られた成果を以下の形で発表した。

- 1) 2016 年 11 月 21 日には、東京大学生産技術研究所エネルギー工学連携センター(CEE) 第 26 回 CEE シンポジウム「エネルギー需要を科学する」を開催し、需要科学サブグループから下田、日高、山口、岩船、内田 T から依田(京大)、その他西尾(電中研)が講演した。
- 2) 学会誌に総説として投稿:本サブグループ全員の連名として「エネルギー需要科学の確立～エネルギーマネジメントにおける需要研究」が「エネルギー・資源」2017 年 9 月号に掲載された。その後、同学会より「エネルギー需要予測の最新技術」に関する特集号への投稿依頼があり、本サブグループから 2 編の解説が掲載された(山口と松岡, 2018), (下田, 2018)^{その他著作物 5) 6)}。

- 3) 2017年1月17日には、JST-CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ「未来エネルギーネットワークと需要科学」～2050年超の一般家庭でのエネルギー需給構造の変革時代到来に向けて～において、下田が「エネルギーマネジメントと需要研究」として、上記検討結果の一部について発表した。その後、JST より戦略プロポーザル「未来エネルギーネットワークの基盤技術とエネルギー需要科学」が発表され、今後の本分野の更なる発展の可能性が高まっている。

H30年度は、前述の国際的な情報発信の他、国内での情報発信の機会を設ける予定である。

3-2-10 データ・インタフェースの開発(東海大)

(1)はじめに

データ・インタフェースは、本チームの日射量準リアルタイム解析システムが算出する各種日射量など(AMATERASS データセット)のデータおよび他の気象データなどを、チーム内研究者を含む EMS に関わる利用者の要望に応じて、データ提供を行うシステムを構築するのが目的である。H27 年度には、チーム内の需要科学サブグループの要望をヒアリングし、日射量推定値を含む衛星からの気象データを、簡単な操作で提供することを可能とする Web ベースのデータ・インタフェースのプロトタイプを構築するとともに、気象データの利用を要望するグループのヒアリングによりシステムの改善を行った。また、日射量のナウキャスト推定値を含む気象データの EMS への活用のケーススタディとして、豪州ソーラーカーレースWSC2015 へ参戦した東海大学ソーラーカーチームを支援するための、気象データの可視化システムを構築し、実際にレース支援を行った。H28 年度には、TEEDDA チームにおけるデータの共通利用を目指し、クラウド環境の利用を検討し、気象データの提供システムをクラウド環境に移植した。更に、共有データとしてチーム内や CREST 内で共有可能なデータについての検討を行った。H29 年度は、H28 年度にクラウド上に構築したシステムを実際に運用し、データ提供の処理速度とクラウド費用について検討した。CREST 内での利用においては、大容量のダウンロードを定期的に行いたいというチームもあった。そこで、クラウドとオンプレミスの2つの環境を使い分ける必要性について検討したところ、CREST 内における利用者からヒアリングにもとづきサービスの提供方法を使い分ける必要があることがわかった。また、日射量を含む気象データの「予測値」についても提供されることとなったため、まずは豪州ソーラーカーレース WSC2017 において、気象データの追加として予測値の提供を行った。更に、H29 年度には AMATERASS Web として GIS 可視化サービスが提供できることとなり、追加予算により GIS 可視化の充実をはかることができた。

(2)データ・インタフェースの環境構築と機能追加

H28 年度に今後の一般利用者による利用を想定して構築したクラウド上でのデータ提供サービスについて、H29 年度にダウンロードに要する時間とクラウド費用について検討を行った。

この Microsoft Azure クラウドの利点として、データのアップロードが無料であり、指定した地点のデータのみ提供するデータ・インタフェース用に適切な規模のストレージのみ契約することが可能であることから、大容量ストレージを伴うオンプレミスのサーバを設置するシステム購入費に比べ、クラウド利用料の総額を考慮しても割安になると考えていた。実際、図1に示しているように、気象データは日本域もしくはアジア・オセアニア域に対して 10 分ごとに全グリッドのデータがバイナリデータとして提供されるため、データ・インタフェースを利用しない場合は 10 分ごとに約 30MB、1 カ月分のデータ量は約 20GB となるが、実際には 1 地点もしくは特定の地域のデータのみが必要な状況では、その地点以外のデータは不要にも関わらず旧来の方法では全データをダウンロードする必要があった。データ・インタフェースを利用し、1 地点のデータを提供した場合には、1 カ月間の 1 種類のデータサイズは 30KB=0.03MB である。クラウド利用の際には、この 30KB のダウンロードについて通信料が課金されるのみであるため、通信費用は低い。更に、不特定多数にサービスを展開することを考慮すると、クラウドサービスを利用することは、クラッキングなどによりサーバが

機能停止しても復旧しやすいという利点もある。

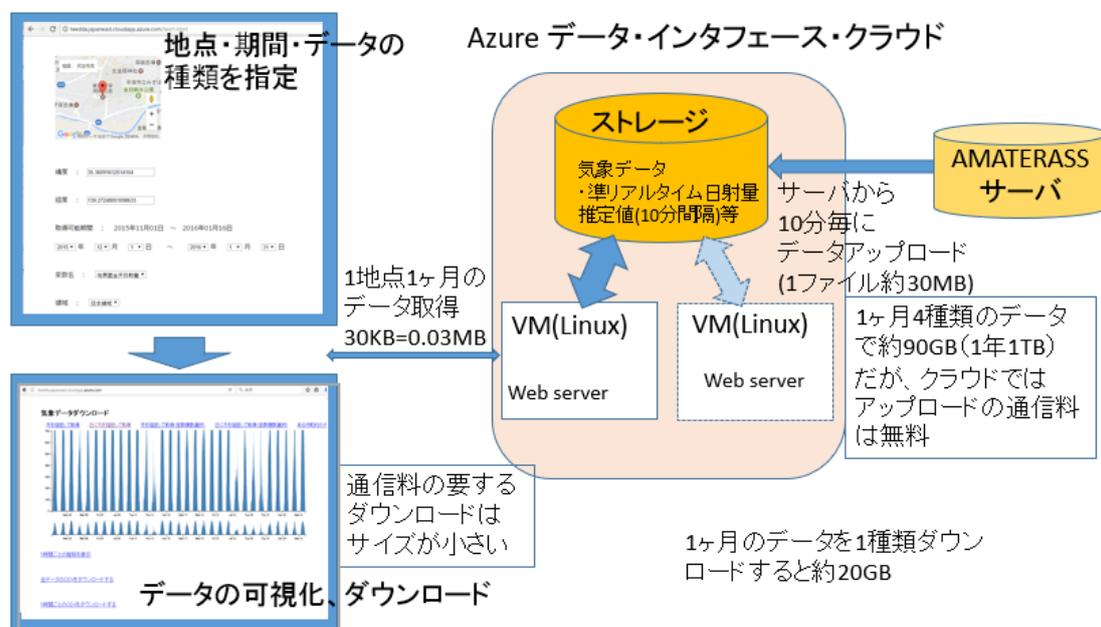


図 1 Microsoft Azure クラウド上のデータ・インタフェース

しかしながら、実際にクラウドを利用して、費用対効果を検証すると、問題点も把握できた。1 つは容量1TB 程度までは低価格であるストレージが、1T を超えると急激に高騰し、約 3 倍高額となることがわかり、様々なデータをクラウドに置くこと、及び 2.5 分間隔のデータをクラウドで提供することは費用的に困難であることが分かった。また、クラウドは利用時間や使用ストレージ容量に対する従量制のため、システムの構成を変更した場合に利用料金の変更が生じ、予算が組みにくい短所があった。さらに、月末締めで請求を取りまとめするサービス提供者から3万円のサポート経費を別途請求されることとなり、この費用についても想定外であったため、クラウド利用にかかる全体的な費用は当初想定 of 5割増しとなってしまった。そのため、H29 年度末に別の業者によるクラウドサービスに切り替えることとなった。

2.5 分間隔日射量のデータの提供や、6 時間後までの予測値(10 分間隔)の提供についても、いくつかのグループから要望があった。そのため、クラウドサービスとは別に AMATERASS サーバの近くに、大容量ストレージをもつオンプレミスのデータ・インタフェースのためのサーバも稼働し、CREST 内の利用者に限り気象データを提供するサービスを提供することとした。図2の赤点線内がデータ・インタフェース機能である。右端の Azure データ・インタフェース・クラウドでは、不特定多数に対して、直近の 2 ヶ月間について3種類の日射量と気温のデータのみ取得できるサービスを提供する。中央のデータ・インタフェース・オンプレミスサーバでは、クラウドで提供する 4 種以外に 6 種の太陽光発電出力、セル温度、風向・風速など計 14 種の 10 分間隔のナウキャストデータが取得できる。H31 年度には、2.5 分間隔のデータおよび6時間後までの太陽光発電量の予測値

について提供する予定である。

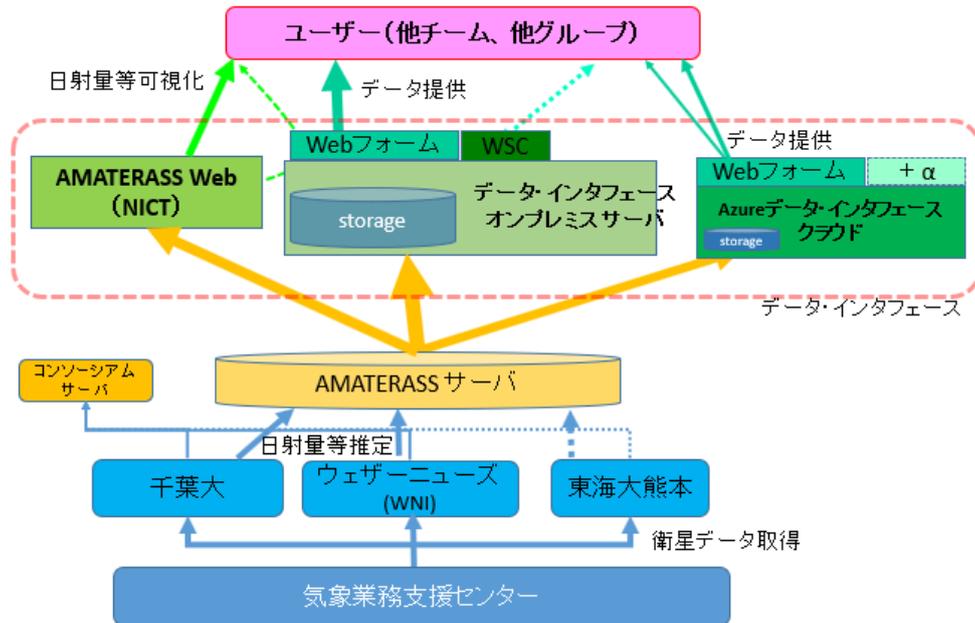


図 2 AMATERASS データセットのデータフロー

(3) 日射量等の GIS 可視化

ナウキャスト及び過去の日射量を地図上に表示できれば、データの利便性が高まる。「ひまわり 8 号リアルタイム Web」¹²で培ったノウハウを CREST EMS で活用するために、情報通信研究機構 (NICT) 村田研究統括を新メンバーに迎え、プロトタイプとして「AMATERASS Web」¹³を開発した。ここで展開される GIS 可視化 (図3) は、過去に推定された日射量推定値を地図上にカラースケールで示し、画面上部に表示された日時を変更することで日にちを指定し、画面下部の矢印を移動することで時間を変更でき、現在および過去の日射量の確認ができる。また画面右下のボタンで 5 分間隔でのコマ送りもでき、日射量の推移が確認できる。表示としては、気象警報を表示したり、日射量でなくひまわり画像として雲を確認することもでき、地図も地形図と地図との切り替えが可能である。

¹² NICT サイエンスクラウドひまわり衛星プロジェクトによる成果 <http://himawari8.nict.go.jp>

¹³ <https://amaterass.nict.go.jp>

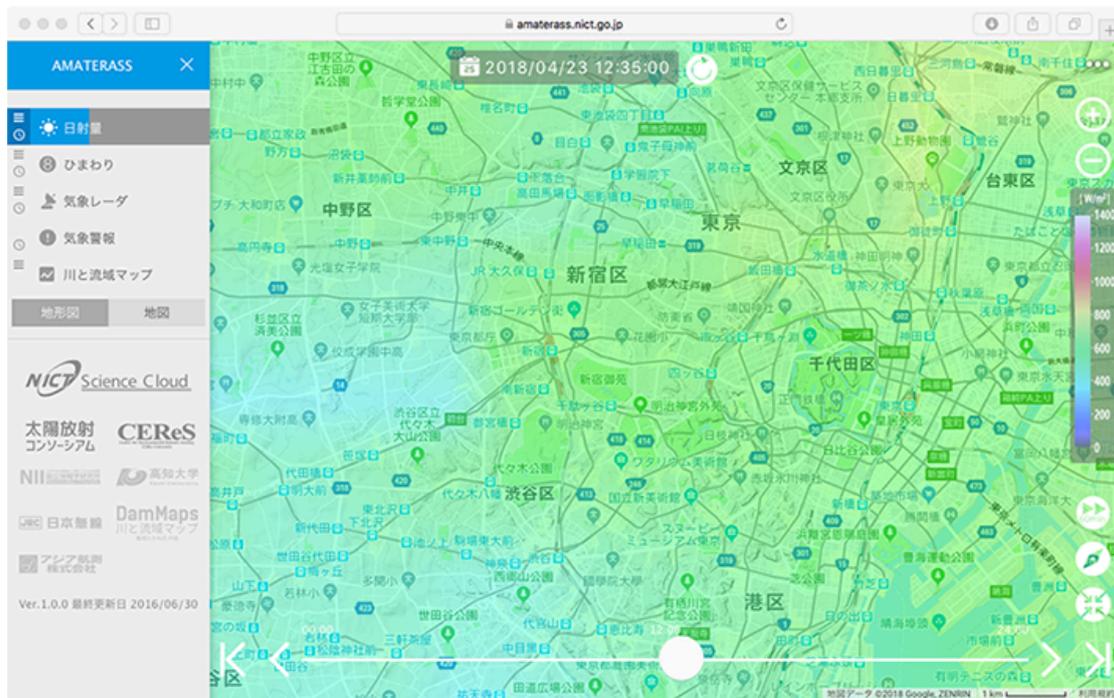


図 3 AMATERASS Web による GIS 可視化

(4) 豪州ソーラーカーレース支援

2015年の大会に引き続き、2017年10月に豪州で開催された世界最大級のソーラーカーレース、World Solar Challenge (WSC2017)を支援するために、衛星に基づく日射量データ(AMATERASSデータセット)、及び気象庁データ(気温、風など)の地球情報を現地の東海大学ソーラーカーチームに提供した。前回の2015年レースでも、ひまわり8号を利用した高頻度、高解像度のデータを非公開ウェブサイト上において10分間隔で提供しており、今回も、図4のように気象データを可視化し、最新および過去(レース期間中)の気象データを画像・1日のアニメーションで閲覧できる自動更新システムを構築した。また、双方から書き込めるメッセージ機能を新設し、気象情報の解釈結果などを送信した。更にWSC2017に向けて、竹中らが開発したアンサンブル学習による6時間後までの気象予測データについても情報提供することと決め、衛星通信の帯域の狭さを考慮して30分間隔の予測値をGIS可視化として提供した(図5)。これらの情報提供により、同レース4位入賞に貢献することができた。

一方、東海大学ソーラーカーチームの指令車にはインマルサット受信設備が備わっていたが、現地での通信状況や戦略を立てる人材の不足等により、気象データを活用しきれなかったことが後からわかった。具体的には、今回も従来のように広域の衛星データの推移から前方の広い範囲を覆う厚い雲を考慮し安全側の戦略をとったものの、想定していたよりも気象の変化が早く晴れ間が広がり、速度を緩めなかったライバルチームらに大きく遅れを取ったことが響き、3位入賞を逃したように思われる。今回提供した予測画像からは速度を緩めない方が、雲の下にいる時間が短く済むことが予想されていたがそれらを見ている余裕は現地スタッフにはなかった。

従ってH31年度に予定される次回レースでは、ソーラーカーチーム側ではより安定したインター

ネット通信環境を、当チーム側からは移動車体から見やすく、ウェブサイト閲覧の負担が少ないシステムの提供、などの改善が必要と考えられる。このような経験値は、電気自動車が社会インフラになった場合に非常に役立つと考えられる。

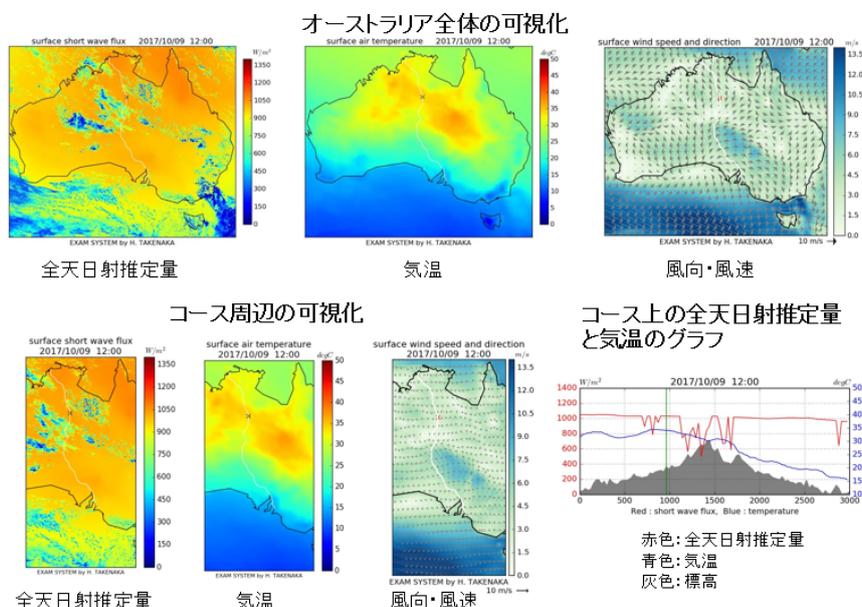


図 4 WSC2017 支援のためのオーストラリア全域およびコース周辺の気象の GIS 可視化

予測データ

その日のスタート地点から
1000km先までの可視化

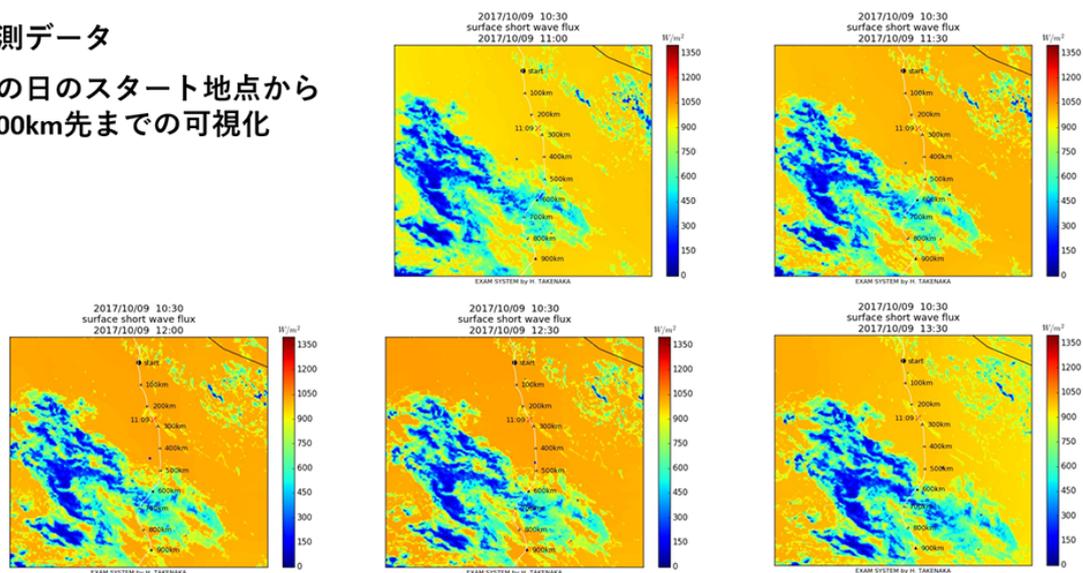


図 5 WSC2017 支援のためのコース周辺の日射量予測値の GIS 可視化

(5) データ・インタフェースの機能の充実

H29年度から AMATERASS Web による GIS 可視化機能がデータ・インタフェースに備わったことにより、より具体的に日射量の推移などを認識できることとなった。これらを参考にして、ノウハウデータや予測値を活用できれば CREST EMS 全体の研究加速が期待出来る。したがって、

予算の増額によりデータ・インタフェースのオンプレミス環境の改善と AMATERASS Web の機能およびデータの充実をはかった。

プロトタイプとして2017年3月28日からのデータが参照できるようになっていた AMATERASS Web にひまわり8号開始時からの過去データを実装し(作業進行中)、過去の GIS 可視化が実現できた。また、データ・インタフェースとの連携により、図6に示しているように地図上で左クリックの長押し(スマートフォンやタブレットでは長押し)により表示されるメニューから、その点の位置座標について指定した期間のデータをダウンロードする機能を実装することができた。H30年度は、2.5分間隔のデータおよび予測値についても、GIS 可視化およびデータ・インタフェースでのデータ提供に対応を計画している。

更に、需要科学データを市町村や町丁目などの行政区に対するデータとして、GIS 可視化したものを AMATERASS Web 上に表示することを可能にする機能拡張を行った。H30年度には、需要科学において特定地域の需要のシミュレーションされたものを GIS 可視化することを計画している。

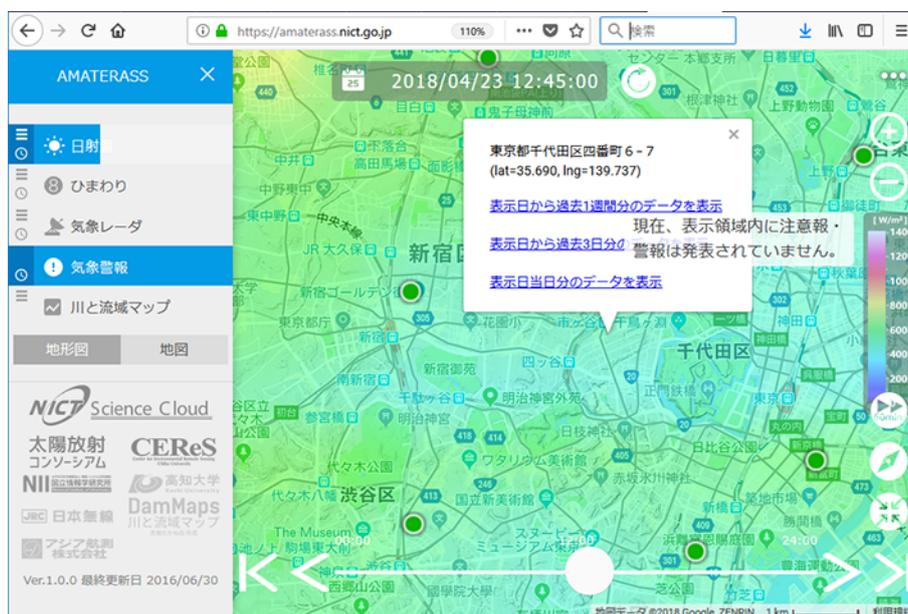


図6 AMATERASS Web による日射量などの GIS 可視化

3-2-11 異分野交流・国際交流

【海外共同研究】

研究先・担当グループ・ 開始時期	海外共同研究の内容
米国ローレンス・バークレー国立研究所の研究者 (需要科学サブG) H29～	H30 年度に米国で開催される建築の省エネルギーに関する会議 (ACEEE 2018 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings) において、ローレンス・バークレー国立研究所の研究者と共同で、需要科学に関するインフォーマルミーティングの開催について調整中。
Geneva 大学所属研究者 (阪大G) H28～	住宅のエネルギー需要推計の構成要素である家電製品の操作に関する実態データ分析とモデル化手法に関する共同研究を実施。
Tennessee 大学所属研究者 (阪大 G) H27～	開発したエネルギー需要モデルの応用として、洗濯乾燥機を用いたデマンドレスポンスによる電力需要調整力を推計した。
NASA, エイムズ研究所 (JAXA-東大G) H28～	1. NASA エイムズ研究所がアーカイブしている GOES-16 データをリアルタイムで共有できる体制を整えた。また、ひまわり 8, 9 号のデータを NASA 側に提供し相互に静止衛星のデータを共有し研究できる体制を整えた。2. CREST にて開発された解析アルゴリズムの移植作業を行い、日射量プロダクトを解析するための基盤を整えた。3. ひまわり 8 号データを用いた共同研究結果 3 件が AGU2017 で共著発表された。
中国科学院 (CAS), 大気物理学研究所 (IAP) (JAXA-東大G) H27～	CREST で使用している NICAM-SPRINTARS モデルのエアロゾル同化システムの構築に向けて協力研究を行っている。プロトタイプが完成し、ひまわり8号のデータ解析に使用して、モデルによるエアロゾル分布の計算値が衛星結果に近づいたことを確認した。
中国科学院 (CAS), リモートセンシング & デジタルアース研究所 (RADI) (東海大G) H28～	リモートセンシングに関して中国最大の RADI 研究所と共同研究を推進し、2018 年 1 月にチベット高原の雲量に関する論文を発行(Shang et al. 2018) ^{原著論文 16)} 、2018 年 3 月に新たな論文を投稿した(Letu et al. 2018) ^{未発行論文 12)} 。 H30 年度には RADI と東海大グループ情報技術センターの合同で、中国においてワークショップ (International Workshop on Cloud Remote Sensing and Renewal Energy Monitoring, 2018) を開催予定。
NASA の地上観測システム AERONET (世界展開) (千葉大G) H27～	EMS のための日射データ誤差評価地上システムの構築について、国際展開を見据え、我が国の国際地上リモートセンシング観測ネットワーク (SKYNET) ・アメリカ NASA 主導の国際地上観測ネットワーク (AERONET) ・およびスイスの WRC 主導の国際地上観測ネットワーク (WMO-PFR) の主力機材の長期にわたる相互比較実験を実施。共同研究、共著論文執筆を進めている(Mok et al., 2017) ^{未発行論文 8)} 。
欧州の地上観測システム SKYNET (イタリア他) (千葉大G) H27～	EMS のための日射データ誤差評価地上システムの構築について、我が国の国際地上リモートセンシング観測ネットワーク (SKYNET) の国際展開 (特に欧州)、共同研究、共著論文執筆を進めている(Mok et al., 2017) ^{未発行論文 8)} 。
アジアの地上観測システム SKYNET (韓国他) (千葉大G) H27～	EMS のための日射データ誤差評価地上システムの構築について、我が国の国際地上リモートセンシング観測ネットワーク (SKYNET) の国際展開 (特にアジア域)、共同研究、共著論文執筆を進めている。

WMO,GAW (中島映至教授,千葉大G) H27～	SKYNET を WMO(世界気象機関)の GAW(全球大気監視計画)の Contributing Net Work(協力ネットワーク)に認めてもらい、現在、全スカイラジオメーターとの MOU 締結を結ぶ作業を、国立環境研究所・千葉大と協力して行なっている。 H29 年度内に主要な機関との MOU 締結は完了した。
アジア・オセアニアの気象衛星運用機関・気象水文機関担当者 (東海大G) H27～	アジア・オセアニア気象衛星利用者会議にて、本研究課題の成果を発表した他、H29 年度は「地球科学情報の可用性向上が EMS において果たす役割」について報告した(協力:産総研 大関氏)。欧州の参加者が関心を示した他、ひまわり 8 号・9 号相当の衛星を 2018 年に打上げ予定である韓国からは、エネルギー関係機関の参加者が特に強い関心を示した。このような活動を継続することにより、特にアジア・オセアニア方面における国際展開への足がかりを得ることができると考えている。

【国内での連携】

連携先・担当グループ・開始時期	国内での連携内容
CREST 井村最強チーム (地球科学サブG) H27～	当チームが計算する準リアルタイム日射量を提供。 H29 年度日本気象学会秋季大会において、共同で専門分科会「再生可能エネルギーなどの気象観測・予測情報の気象ビジネスへの利活用」を開催。計 16 報の口頭発表が行われた。
CREST 井村最強チーム (東大生研G) H28～	H28 年度よりメンバーとして HARPCON 会議に岩船特任教授が参加。
CREST 林最強チーム (中島最強T) H27～	当チームが計算する準リアルタイム日射量およびエネルギー需要データを提供。
CREST 鈴木最強チーム (阪大G) H27～	住宅と電気自動車を連携したエネルギー管理システムの共同研究。
CREST 井村最強チーム 鈴木秀行教授 (中島最強T,阪大G) H27～	H29 年度は、電力需要予測に関してチーム全体および阪大 G と情報交換を行い、予測手法の共同検討を行った。

【産業界との交流】

交流先・担当グループ・開始時期	産業界との交流内容
企業や他調査機関の需要科学研究者ら (東大生研G) H29	エネルギー・資源学会が主催する、第 34 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、および第 36 回エネルギー・資源学会研究発表会にて、「2050 年に向けた日本のエネルギー需給検討」という企画セッションをそれぞれ開催。企業や他調査機関の研究者らと協働し、計 16 報の口頭発表が行われるとともに、学会参加者と活発な議論が行われた。
東京電力 (東海大, JAXA-東大G)	当チームの研究内容に興味を持って頂き、定期的に協議を実施中 チームメンバーからは、最新の気象学にもとづく再生可能エネルギー

H28～	の可用性についての情報提供を行い、東京電力関係者からは近年の再生可能エネルギーの増大がもたらす問題点についての情報を提供して頂いた。後述の中部電力との交流とともに、EMS にとって重要な情報交流であると考えている。
中部電力 (JAXA-東大,東海大G) H29	中部電力関係者と電力および気象情報についての情報共有を実施した。チームメンバーからは最新の気象学にもとづく再生可能エネルギーの可用性についての情報提供を行い、中部電力関係者からは近年の再生可能エネルギーの増大がもたらす問題点についての情報を提供して頂いた。
NPO 法人「太陽放射コンソーシアム」 (地球科学サブG) H25～	JST, CREST のスピノフとして 2013 年に設立。AMATERASS 日射量データの利用を図りたい企業会員(正利用会員、準利用会員)から年会費を預かることで運営されている。大学や国立研究所などの研究機関の研究者は、非営利利用会員の枠組みで、教育と研究に限定された利用が可能になっている。2018 年 3 月現在、企業会員 6 社、非営利利用会員 19 団体(大学、研究所等)となっている。 ダウンロードされたデータは 3 千 5 百万件を越え、AMATERASS データが標準データとなりつつあることを示す。
九州電力 (東工大G) H27～	九州電力との研究協力。 九州電力から過去の島内発電量や需要量データを貸与してもらい、本研究結果を九州電力へフィードバックする予定である。 また、島内の教育においては、対馬営業所と連携し、小中学生を対象とした見学会と教育を共同で行うことを検討している。
長崎県・対馬市・長崎環境コンソーシアム (東工大G) H28～	長崎県・対馬市・長崎環境コンソーシアムとの研究協力。 3 組織と研究連携を行い、実験計画を検討している。また、システム構築にあたっては対馬 CATV 会社と協力することで、将来的に実用化する際に社会実装できるフィージビリティを検討しながら実験を進めている。

(3-3) その他(技術移転など)

※記載要領

■CREST 研究の成果について、企業との共同開発、特許実施許諾、サンプル供与等、技術移転や実用化に向けた展開、あるいは JST や NEDO などの実用化プログラムへの展開がありましたら、ご記入ください。

(JST 内における成果把握、JST による成果展開の支援可能性の検討に使用します。成果展開の支援や成果事例としての公表等を JST が行いたいと考えることになりましたら、予め研究代表者にご相談いたします。)

- NPO 法人太陽放射コンソーシアムより AMATERASS データセットを会員ユーザに提供。
- AMATERASS データセットのダウンロード数が 3 千 5 百万ファイルを突破 (35,025,223: 2018 年 3 月末)。
- NICT より、日射量データを GIS 可視化した AMATERASS web の試験公開開始。PC、携帯等で閲覧可能。(http://amaterass.nict.go.jp/)
- 建設会社と新規スマートコミュニティ計画に関するエネルギー性能のシミュレーション予測に関する受託研究を実施中 (H28～)