

「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」

H27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28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27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。(H28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)

(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

(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 仁土 (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 (東京工業大学イノベーションマネジメント研究科、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分野の融合チームである。元来、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は工学分野である。すなわち、中島チームは理学と工学の融合という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つの課題を設定した。

- 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

地球、エネルギー需要ともに、EMSにおける利活用を前提とする現況把握と予測方法の確立が非常に重要な要素となっている。つまり、地球とエネルギー需要を確固たる「科学」として捉えてEMSに貢献することをチームの目標に据えた。

H27年度は最初にチーム編成作業と実施項目の整理を行った。チーム構成を次頁に示す。

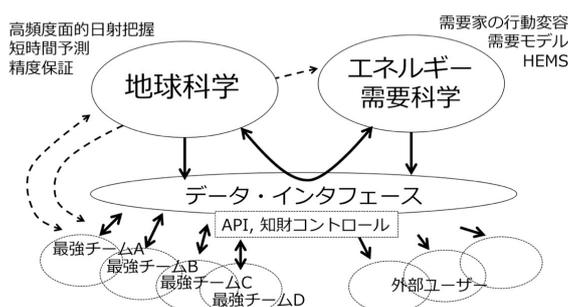
地球科学では主に高頻度の面的な日射量把握、日射量の短時間予測、日射変動の解析、さらに精度保証等を実施する。地球科学データの提供のための3つの柱として、現況把握技術(Nowcast)、短時間予測技術(Forecast)、過去再現実験(Hindcast)を据えた。現況把握技術は、ひまわり8号を主軸とする衛星推定日射量準リアルタイムモニタリングと地上検証から成る。短時間予測技術では衛星観測と地球モデルの連携による新しい数値モデル予測手法の開発、および大気場の時空間的な外挿予測手法の開発、過去再現実験では過去データおよび将来予測データによる地球環境シナリオデータ構築と、状況シナリオによる再現実験を予定している。研究初年度のH27年度には、ひまわり8号データへの対応と利便性の向上、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、地球物理量算定モデルによる新しい雲同化手法の開発、品質保証とデータ異常検出等の研究項目に着手し、進捗があった(Uchida et al., 2016; Khatri et al., 2016)。

一方のエネルギー需要科学では、需要家の行動変容や需要のモデル化、そしてHEMS (House Energy Management System)などの個々のマネジメントシステムの研究を実施する。需要に携わる研究グループのうち、大阪大学グループは主に都市を対象としたエネルギー需要モデルの開発と検証を予定している。東京大学生産技術研究所グループは、需要データ構築に向けた分析を目的として、需要データの収集、分析、可制御性の検討、実サイトへのHEMSモデルの適用を予定している。東京工業大学グループは、中小企業をターゲットとしたエネルギー調整資源の定量化、家庭をターゲットとした情報的手法と経済的手法の効果的な調整資源の発掘、およびこれらにおける市場化やサービス化の要点の検討を予定している。H27年度には、エネルギー需要モデルの開発、需要データプラットフォーム構築に向けた分析、需要家行動モデルの開発等に関わる研究に着手し、進捗があった(Iwafune et al., 2015)。さらに需要研究に関わる3グループによる需要家情報の整理作業が始まった。また、地球科学とエネルギー需要科学の境界領域として、地球物理量データによるシナリオデータの作成およびデータ・インタフェースの開発に着手し、進捗した。

従来、地球科学とエネルギー需要科学が共同研究を行うことは、あったとしても希であったと思

われる。しかし、近年の再生可能エネルギー活用の高まり、あるいは分散協調型EMSの必要性の高まりを受けて、昨今は両分野が協働する時代になっている。研究の実施において地球科学、エネルギー需要科学から様々なデータが出てくる。そのデータを共有する機能としてデータ・インタフェースを設置した。データ・インタフェースを媒介して地球科学とエネルギー需要科学の融合を行う。データ・インタフェースは、CREST/EMS領域内の他の最強チームや外部ユーザとのデータのやりとりも担当する機能である。

H27年度の研究成果は、原著論文16編、学会招待講演13編、その他国内外学会発表105編として結実した。地球科学とエネルギー需要科学の融合は始まって間もないが、研究を推進させるための仕組みを構築した。今後、地球物理量データによるシナリオデータの作成やデータ・インタフェースの整備を通じて融合分野の成果が出てくることが期待される。



中島最強チームの構成図

【代表的な原著論文】

➤ Iwafune et al., 2015 発行済論文3)

本論文では太陽光発電とバッテリーの予測・計画・運用を司る家庭用エネルギーマネジメントシステムモデルを構築した。多様な実HEMSデータを用いて挙動を検証し、電力系統への貢献を評価し、全体最適へつながる分散エネルギー管理の可能性を示した。

➤ Khatri et al., 2016 発行済論文15)

家庭や地域を越えたエネルギー管理への重要なインプットとして広範囲の太陽光発電量を把握するために、宇宙から静止気象衛星を利用した地表面日射量の推定は、現在、唯一の方法である。しかしながら、最近の研究により、大気中に存在するエアロゾルが日射を弱める効果が推定値の精度に影響を及ぼすことが、両成分を同時に多地点で計測可能な地上システムである、国際地上観測ネットワークSKYNETにより分かってきた。本研究では、SKYNETと米国NASA主導のAERONETの主力機器によるエアロゾル観測を多地点で同時に行ったところ、エアロゾル測定値の有意な差は両機器の検定方法の違いが原因であることを明らかにした。これにより、国際連携を強化しつつ、エアロゾル測定値を高精度化させるためには検定方法が鍵であることが明確になった。

➤ Uchida et al., 2016 未発行論文1)

本論文はストレッチ格子による領域スケールNICAMモデルの誤差解析を行ったものである。全球をほぼ均質に三角形標準格子で覆う格子系に加えて、注目する領域に多くの格子点を設定しつつシームレスに全球をカバーするセッティングが可能であることを示した。

§ 3. 研究実施内容

(3-1) 顕著な成果

将来太陽光発電等の再生可能エネルギーが大規模に導入された場合に、需要と供給の調整手段としてエネルギーマネジメントシステムが期待されている。本研究では太陽光発電とバッテリーの予測・計画・運用を司る家庭用エネルギーマネジメントシステムモデルを構築した。そして160世帯の実際のHEMSデータを用いてモデルの挙動を検証するとともに、電力系統への貢献を評価し、全体最適へつながる分散エネルギーマネジメントの可能性を示した。

論文名: Cooperative home energy management using batteries for a photovoltaic system
considering the diversity of households

ジャーナル: Energy Conversion and Management

著者: Iwafune, Y., T. Ikegami, J. G. S. Fonseca Jr., T. Oozeki, K. Ogimoto

(3-2) 研究実施内容

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1～11の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 § 4 に対応し、参考文献 (H27年度チームの成果以外) は章ごとに列記した。

3-2-1 ひまわり8号データへの対応と利便性向	6
3-2-2 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	10
3-2-3 地球物理量算定モデルによる新しい雲場同化手法の開発	32
3-2-4 品質保証とデータ異常検出	37
3-2-5 エネルギー需要モデルの開発	43
3-2-6 需要データプラットフォーム構築に向けた分析	49
3-2-7 需要家行動モデルの開発	72
3-2-8 需要家情報の整理	75
3-2-9 地球物理量データによるシナリオデータの作成	77
3-2-10 データ・インタフェースの開発	80
3-2-11 異分野との交流	83

3-2-1 ひまわり8号データへの対応と利便性向上(地球科学サブグループ)

地球科学の各グループでは、より高精度で高頻度な衛星データの利用を可能にするため、第二世代静止気象衛星ひまわり7号に対応していた様々なシステムを第三世代ひまわり8号に対応させ、最強チーム編成前からの研究の続行に務めた。

(1) 気象庁気象衛星課による取り組み

① 静止気象衛星「ひまわり8号」搭載可視・赤外放射計(AHI)の観測画像の品質向上

JST, CREST/EMSとの連携として、気象庁気象衛星課ではAHIによる可視チャンネル観測画像の品質を向上(コヒーレント・ノイズの低減、図1-1)し、太陽放射量の推定精度向上に寄与した。

SNR (Signal-Noise Ratio)

Band [μm]	Typical SNR ver2.6	Typical SNR ver2.8
B07 (3.9)	360	No update
B08 (6.2)	1950	No update
B09 (6.9)	1820	No update
B10 (7.3)	1900	2300
B11 (8.6)	1850	2700
B12 (9.6)	2100	3000
B13 (10.4)	1350	2450
B14 (11.2)	1900	3200
B15 (12.4)	1550	2550
B16 (13.3)	700	No update

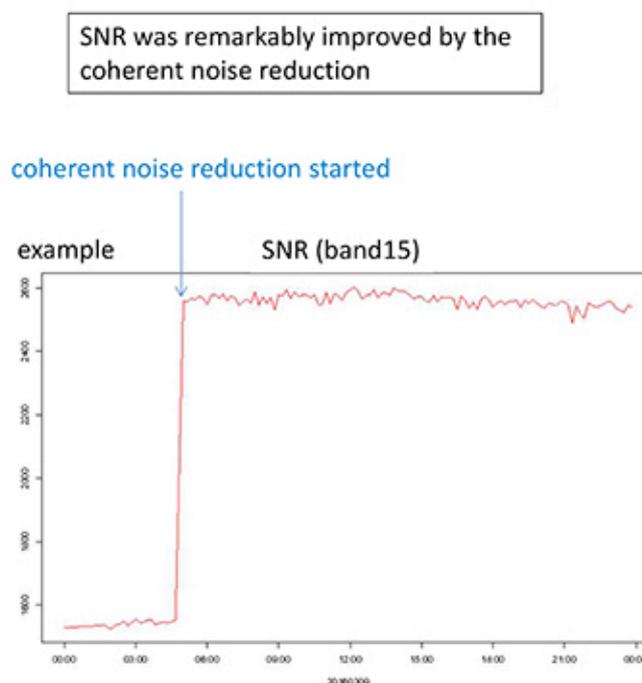


図1-1 ひまわり8号観測画像の品質向上を示す信号雑音比。数値が高いほど伝送における雑音の影響が小さい。図のバンド15は雲画像の解析等に用いられる波長。

② 成果の発表

2016年1月10日～14日の日程で開催された米国気象学会(AMS)において静止気象衛星「ひまわり8号観測データの気象分野以外への応用」をテーマとした特別セッションをJAXA/EORC 中島映至教授と共に企画・立案し、「ひまわり8号による太陽放射の推定と再生利用可能エネルギーへの応用」を含む6課題で構成されたセッションの共同議長を勤めた。また、自ら「ひまわり8号」搭載可視・赤外放射計の革新的な機能および観測データの品質、利用技術等を招待講演として発表し、太陽光発電量推定等、気象分野以外での利用が期待されていることを報告した(操野, 2016)招待講演²⁾。

(2) 千葉大グループによる取り組み

千葉大CEReSは研究コミュニティ向けひまわり8号データ提供機関の一つとして、2015年2月の試験運用期間から現在まで気象庁よりデータ提供を受けている*。受けたひまわりデータは順次アーカイブしており、千葉大CEReSは他の機関と異なり、IPアドレスによるアクセス制限をかけている(商用利用を避けるための処置である)。アーカイブされたデータは東海大グループ、JAXA-東大グループ、東海大宇宙情報センター/情報技術センターからもアクセス可能な設定としており、CREST研究でのひまわりデータの起点として機能させている。

大きく機能向上した観測性能と膨大な情報量により、ひまわり8号は従来の静止気象衛星の役割である気象・気候モニタリングのみならず、環境研究全般、ならびに実社会の様々な用途に活用できる潜在的価値を有している。新たな分野での利用推進、ならびにデータの可用性を向上させるため、アウトリーチとしてのデータの可視化や各種マスメディア対応^{報道シート¹~¹⁴}に積極的に取り組んだ。具体的な活動は以下のとおりである。

1. これまでの静止画から動画としての意識を高めるためのYoutube公式チャンネルへ、これまでのひまわり8号観測で得られた特徴的な事例を掲載すること
2. ひまわり8号の高空間分解能による動画を体感してもらうための4kディスプレイ 6台による大画面ひまわり動画再生システムの開発および運用(千葉大学附属図書館オープンスペースにて常時展示、4kディスプレイ 2枚による動画再生システムは千葉大CEReS玄関にて、同じく常時運用がなされている)
3. 毎日新聞連載企画「ひまわりEYE」での共同監修(本CRESTによるソーラーカー支援に関しても、監修の元、中島代表が執筆、竹中研究員が画像を提供した)
4. ひまわり8号の正式運用を記念し、データ利用推進を目的とした学内プロジェクト(学長裁量経費による支援)「ひまわり“が”タネ」プロジェクト

本CRESTの基幹データとなる放射プロダクトに関しては、CREST第一期で確立した日射量準リアルタイム計算サーバから千葉大アーカイブサーバへ計算結果を自動的に準リアルタイムで転送し、リタナダント性を確保したシステムを、ひまわり8号に対応させる作業(計算スキーム、システムの対応分は**3-2-2**を参照のこと)を行った。具体的には、ひまわり8号放射データアーカイブのためのストレージの導入、CREST第一期で培ったアーカイブノウハウを活かしたアーカイブルールの策定および実運用である。CREST第一期でのノウハウにより、アーカイブ部分に関しては非常にスムーズに移行できた(これまでと同一サーバで連続運用しているが、大きな問題は生じていない)、本点も2.5年+5年の変則的なCRESTであることが功を奏していると言える。

*: 協力機関からの研究者向けデータ公開

(<http://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/himawari89/archive/organizations.html>; 2016/5/6参照)

(3) JAXA-東大グループによる取り組み

衛星観測データの利便性向上としてはデータへのアクセス性を上げるためのフォーマット変換や座標系の変更などが挙げられるが、観測データの物理的な整合性を補完することも重要な要素の一つである。

JAXA-東大グループではひまわり8号観測データに基づく日射量の解析を柱の一つとして研究活動を進めてきた。衛星搭載センサであるAHIの軌道上校正はひまわり8号観測データの利用最大化、即ち解析利用において最も重要な要素となるが、2006年より実施されてきた気象庁気象衛星センターとの共同研究にて軌道上校正手法が開発された。開発された校正手法はWMOのバーチャルラボラトリであるGlobal Space-based Inter-Calibration System (GSICS)に日本側の技術として提案されている。現在では気象庁気象衛星センターにて現業運用され、可視から近赤外チャンネルの校正情報が公開されている*。また、観測データはその位置情報が観測データの重要な補助情報となるが、衛星の姿勢変化等による位置情報の誤差を補正するアルゴリズムを別途開発している(3-2-2にて後述)。これにより、ひまわり8号の放射計校正の精度補正と観測データの位置情報の精度補正を行うことを可能としている。

様々な用途で広く一般にひまわり8号データの利用を推進していくためには位置情報の誤差が煩雑な問題となることから、位置誤差修正を施し緯度経度直交座標系に変換したグリッド形式データの公開を検討している。今後は千葉大学環境リモートセンシング研究センターCEReSデータベース委員会(樋口准教授ら)によって公開作業が行われるだろう。また、3-2-2にて後述されるひまわり8号観測データに基づく日射量解析結果は、NPO法人太陽放射コンソーシアム(代表理事:中島映至教授)を通じて配布されCREST/EMSの研究成果として社会に還元される。

*: 気象庁気象衛星センターにて現業運用されている軌道上校正情報

(http://www.data.jma.go.jp/mscweb/data/monitoring/gsics/vis/monit_visvical.html)

(4) 東海大グループによる取り組み

① ひまわり8号データのフォーマット変換

全球の観測データが10ファイルにセグメント化されているひまわり8号データファイルから付属データ(校正データ等)と画像データを分割し、バンド単位に統合したデータを作成した。これにより、その後の高次処理の手順を簡素化することができた。

② ソーラーチャレンジ2015サポートシステムの構築

2015/10/18～25にオーストラリアで開催されたソーラーカーレースに参加した東海大学チームを支援すべく、リアルタイムにひまわり衛星データを処理し、同チームに提供するシステムを構築した。画像は、オーストラリア周辺のトゥルーカラー合成画像(R:バンド3、G:バンド2、B:バンド1、分解能1km)および、熱赤外白黒画像(14バンド、分解能2km)を作成した。この画像の上にソーラーカー搭載端末から発信されるGPSデータの位置をプロットしたものを10分置きに更新し、通信衛星経由でチームに提供した。レースの結果は惜しくも3位であったが、ソーラーカーの効率的な運用等に貢献し、日本領域以外でも気象データの提供および利用が可能であることを示した。

③ 東海大学宇宙情報センターWEBサイト用ブラウザ画像作成

10分毎に以下の4つの領域に関し、2種類のカラー合成画像を作成するプログラムを処理システムに組み込み、データの利便性向上に貢献した。

画像はhttp://www.tsic.u-tokai.ac.jp/hmwr8_view/html/index.phpにて一般公開されている。

(2016年5月現在、熊本に設置されたウェブサーバーは地震の影響により稼働停止中)

<切り出し領域>

領域	切り出し領域	画素数
日本近海	北緯50.46度、東経109.90度 ～ 北緯16.35度、東経162.94度	3,766×3,783
西表島周辺	北緯34.81度、東経102.83度 ～ 北緯 5.39度、東経152.13度	4,509×3,265
北海道	北緯 47.0 度、東経140.8 度 ～ 北緯41.8 度、東経150.0 度	699×577
全球データ	全球 (Full disk)	800×800

<合成カラー画像の種類>

種類	R	G	B	分解能
トゥルーカラー画像	バンド3	バンド2	バンド1	1km
ナチュラルカラー画像	バンド1	バンド4	バンド2	1km

3-2-2 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

(JAXA-東大グループ、東海大グループ)

(1) 基盤整備

① 研究計画

期間全体では(i)日射量推定アルゴリズム開発用計算機(ii)衛星観測及び地球物理量算定モデルによる解析結果を含む地球科学データアーカイバを整備する予定である。H27年度はそのうち日射量推定アルゴリズム開発用計算機を中心に整備し、地球科学データアーカイバの初期検討として100TB程度のアーカイバを導入する。

② 計算機導入

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。これにより「ひまわり8号」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した。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アーカイバを手配した。今後はデータ・インタフェースGの成果を機能として付加することで、需要科学の各グループGや他最強チームへのシナリオデータの配布等に活用される予定である。さらに、衛星解析高解像度プロダクト等のさらなる高次成果物の作成を目的として計算サーバを追加予算にて手配した。

非公開記述「アーカイバ及び高解像度プロダクト計算サーバは競争入札の事務処理上の遅れにより年度内の納品が間に合わなかった。予期せぬ事態を受けて予算を次年度に繰越すことで対応し、次年度の早い時期に納品されるよう手配した。」

(2) 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

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年度はそのうち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を中心に実施し、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する。

② 日射量準リアルタイム解析(76の物理量準リアルタイム公開)

地球は太陽放射を受けて暖まる一方で、その温度に伴う地球放射(赤外放射)によって宇宙にエネルギーを放出している。これら加熱と冷却の効果によって地球の気候は現在の状態に保たれている。様々な気象現象が太陽放射によって駆動されていることから、気候研究と再生可能エネルギーの研究は切り離すことが出来ない。再生可能エネルギーにおける太陽エネルギーの積極利用のためには、基礎データとなる太陽放射の時空間的な分布を得る現況把握技術が一つの重要な要素となる。ここで議論される太陽エネルギーは太陽放射の直接利用、即ち太陽光発電及び太陽熱利用をターゲットとしている。従って時々刻々と変化する太陽放射エネルギーの時空間的な分布を迅速に得る技術が必要である。

CREST/EMS第一期では静止気象衛星「ひまわり8号」観測データを用いて地上に到達する日射量を1x1km解像度で高速に推定するアルゴリズムを開発し、30分間隔の衛星観測に合わせて日本域の日射量プロダクトを速報公開するシステムを構築した。同様に、日射量プロダクトを元に太陽光発電システムの効率(パネル発電効率及びインバータ変換効率)を考慮した太陽光発電量プロダクトを開発し準リアルタイムによる公開も実施した。H27年度は「ひまわり8号」観測データに基づく日射量準リアルタイム解析システムを構築した。

「ひまわり8号」は2014年10月7日に打ち上げられ、2015年7月7日より運用を開始した静止気象衛星である。センサは可視から赤外まで16のチャンネルを持ち、ひまわり7号までのセンサに比べて観測性能は飛躍的に向上している。特に観測頻度である時間解像度は飛躍的に向上し、日本領域では2.5分毎の高速観測が可能となった。これにより時々刻々と変化する日射量の速報が可能となる。

処理の初段ではFFT位相限定相関法を用いた衛星観測データの位置精度補正が行われる。ひまわり8号は36000km上空から地球を観測するが、この際静止軌道上にて衛星の姿勢が変化することにより観測データの位置精度を低下させるためである。この姿勢変化は非常に小さいものであるが、地上を最大500m解像度で観測する衛星にとっては大きな誤差となる。今回ひまわり8号の解像度向上に伴い位相情報の計算には新たにSRTM(Shuttle Radar Topography Mission)の3secメッシュデータを利用した。また、より精度を向上するために位相計算の特徴点を2倍に増加させている。図2-1に2015年12月における位置誤差の統計値を示す。観測値の位置情報誤差は基本的に衛星の姿勢に起因することからランダムに発生するため最大値にて評価を行った。図2-1(a)及び図2-1(b)から東西方向の位置情報の誤差は時間の進行に従って西側から東側に変化する傾向であることが分かる。また、図2-1(c)から午前より午後に向かって最大誤差が拡大していく傾向を持っていることが分かる。このときの最大誤差は4ピクセル(500m解像度を基準)に届いている。図2-1(d)及び図2-1(e)より南北方向の位置誤差は東西方向に比べて小さく抑えられていることが分かる。図2-1(f)からも南北方向の誤差は東西方向より十分小さく最大2ピクセル程度となっている。東西方向の誤差傾向は軌道上におけるセンサミラーの物理的な可動に起因しているとも考えられるが、衛星の姿勢制御が午前11時40分に実行されていることを考えるならば、その影響が統計に見られないことからミラーの可動だけで説明することは難しい。従ってこの誤差拡大傾向は他要素が原因である可能性も考えられる。この問題については今後の追試が必要だろう。このようにひまわり8号のrawデータには位置情報に大きな誤差が含まれるが、本研究では位相限定相関法を応用した誤差修正アルゴリズムによって前処理を行うことにより、これら衛星搭載センサの位置情報誤差からは開放されている。

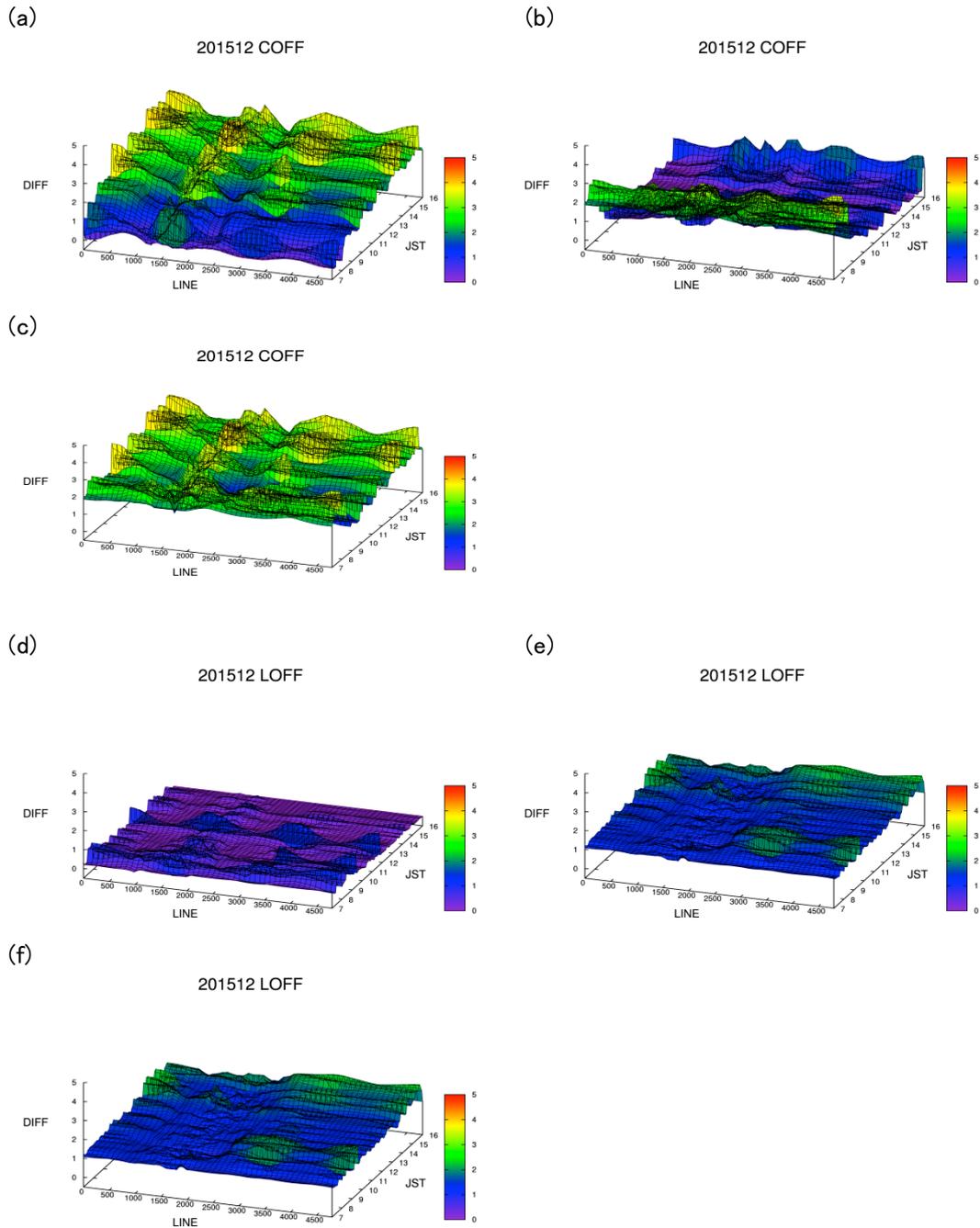


図2-1 ひまわり8号位置精度月最大誤差評価。X軸は子午線方向の誤差評価点を示し、Y軸は日本時間を示す。Z軸は位置誤差である。このとき、1ピクセル500mを基準としている。(a)東方向を正とする最大誤差。(b)西方向を正とする最大誤差。(c)東西方向の絶対誤差。(d)北方向を正とする最大誤差。(e)南方向を正とする最大誤差。(f)南北方向の絶対誤差。

「ひまわり8号」観測データによる日射量解析結果を図2-2に示す。解析アルゴリズムはEXAM SYSTEMを用いた(Takenaka et al., 2011)。図2-2(a)は1x1km解像度10分毎、図2-2(b)は4x4km解像度10分毎の日射プロダクトである。それぞれMSM/GPV及びGSM/GPV大気場を用いて雲の光学特性推定し(Nakajima and Nakajima, 1995)、雲と水蒸気の吸収・散乱を考慮して地上に到達する太陽エネルギーを計算している。このとき、「ひまわり7号」の日射量プロダクトとフォーマットを揃えることで連続性を得ている。また、「ひまわり8号」はこれまでと異なり高速観測の機能を持っており日本域では2.5分毎の高頻度観測が可能であることから、2.5分間隔のデータを用いて新しいプロダクトを作成した。図2-3は2.5分時間解像度データによる日射量プロダクトと対応する太陽光発電出力プロダクトである。ひまわり8号用にアルゴリズムの処理段をブラッシュアップすることで高速に計算を行い処理時間を約140秒に圧縮した。これにより2.5分毎の準リアルタイム解析が可能となっている。

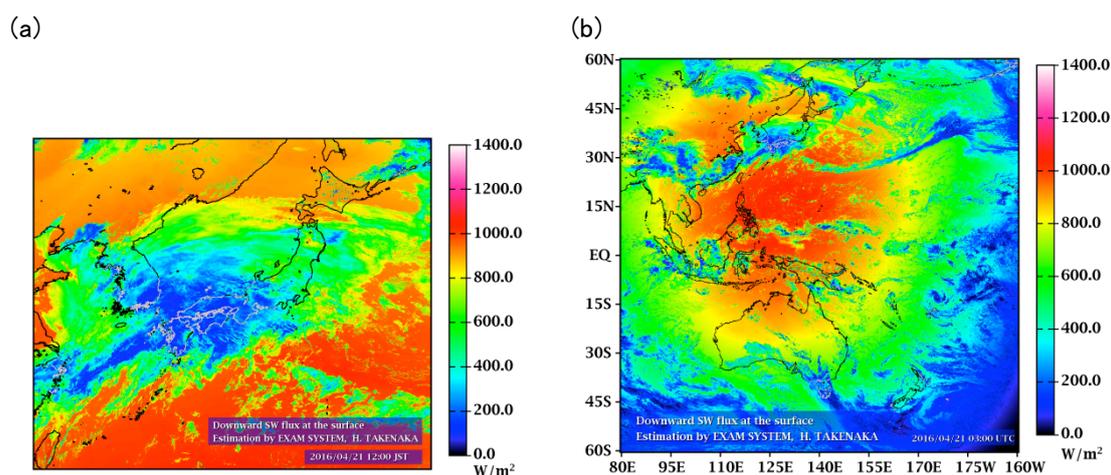


図2-2 ひまわり8号観測データに基づく日射量解析一例(2016年4月21日、日本時間12時)。

(a)日本領域1x1km解像度10分毎の全天日射量解析結果。(b)東アジア西オセアニア域4x4km解像度10分毎の全天日射量解析結果。

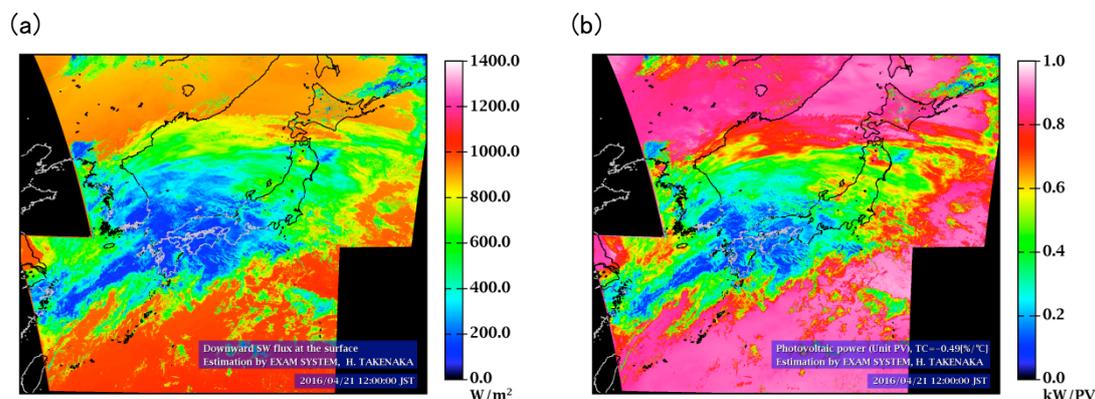
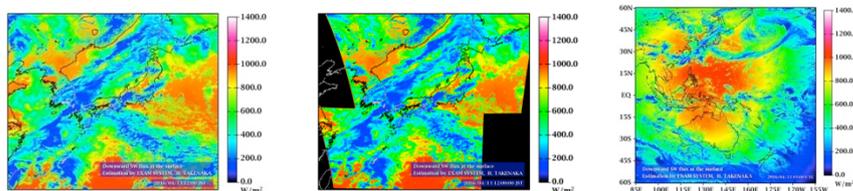


図2-3 2.5分時間解像度ひまわり8号観測データによる解析例(2016年4月21日、日本時間12時)。

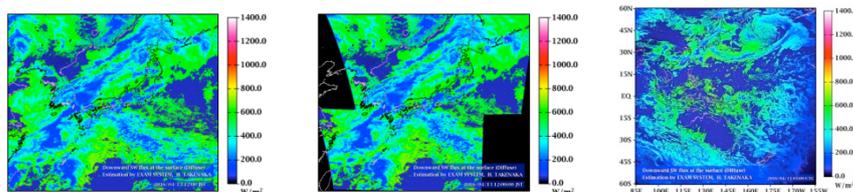
(a)2.5分毎の高頻度観測に基づく1x1km解像度の全天日射量解析結果。(b)日射量と気象場を複合して太陽光発電パネルの発電効率とパワーコンディショナの変換効率を考慮して推定された発電量。発電量はキャパシティを1kWに正規化している。

図2-4(1)～(5)に公開中の物理量プロダクトを示し、表2-1に諸元をまとめた。平成28年3月末日現在は76種類の物理量を準リアルタイム解析にて公開している。CREST第一期から聞き取り調査を行った際に温度や湿度などのデータ提供のリクエストがあったことから、それらに対応しつつ「ひまわり8号」の最新の解析結果をベースとして分散協調型EMSの研究に資する基礎データセットとなった。今後はさらなる高精度化に取り組んでいく。

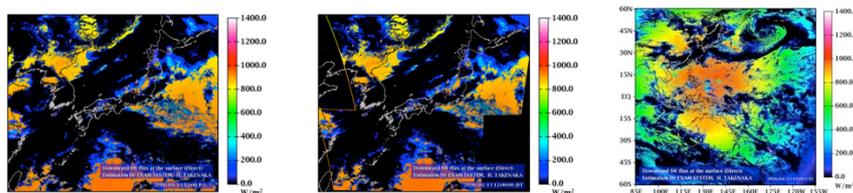
全天日射量



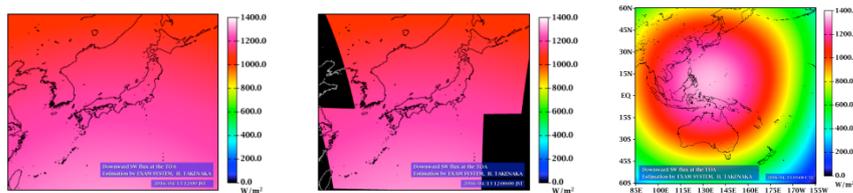
散乱日射量



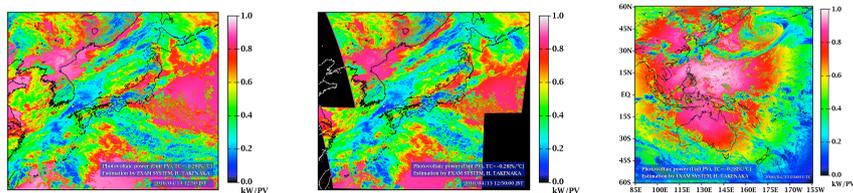
直達日射量



大気外日射量



PV発電量 (TC=0.28[%/K], AC=100[%])



PV発電量 (TC=0.28[%/K], AC=94.5[%])

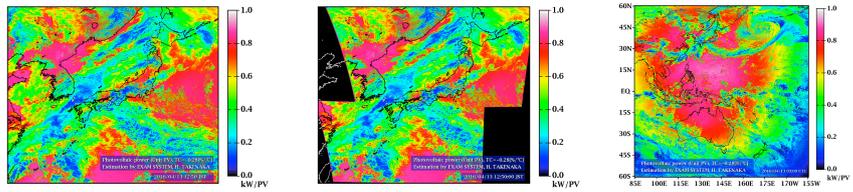
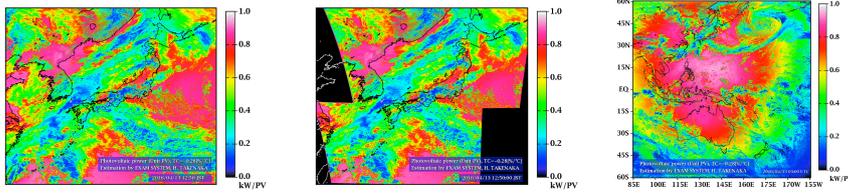
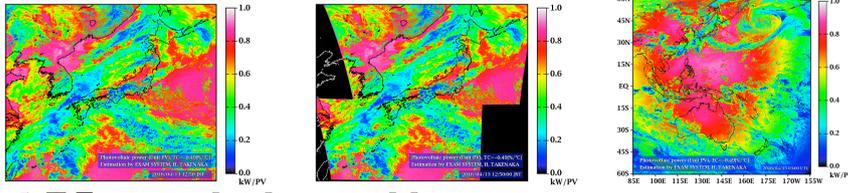


図2-4(1) 76種類の準リアルタイム公開中の物理量プロダクト(1)。左から1x1km 10min, 1x1km 2.5min, 4x4km 10minの種別を示す。

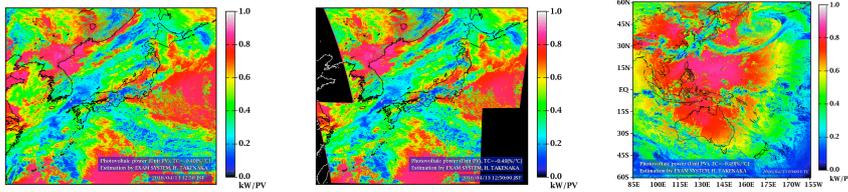
PV発電量 (TC=0.28[%/K], AC=97.5[%])



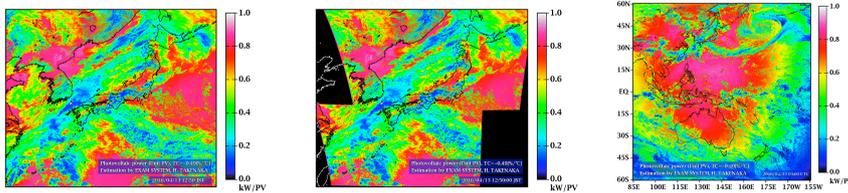
PV発電量 (TC=0.49[%/K], AC=100[%])



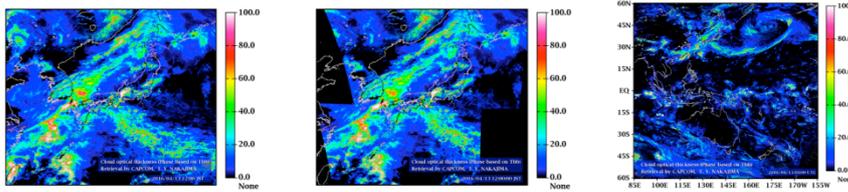
PV発電量 (TC=0.49[%/K], AC=94.5[%])



PV発電量 (TC=0.49[%/K], AC=97.5[%])



雲の光学的厚さ (相仮定)



雲の光学的厚さ (氷雲)

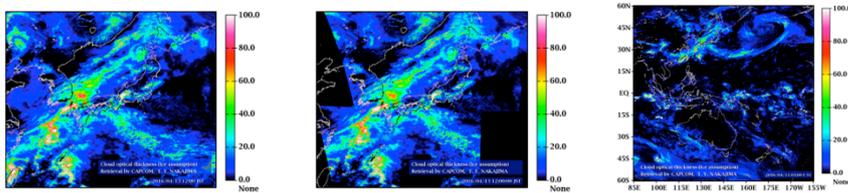
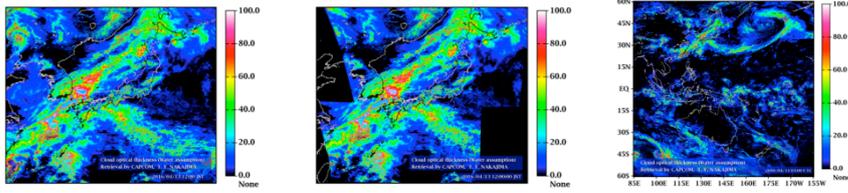
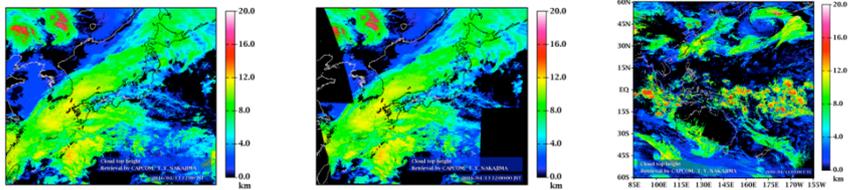


図2-4(2) 76種類の準リアルタイム公開中の物理量プロダクト(2)。左から1x1km 10min, 1x1km 2.5min, 4x4km 10minの種別を示す。

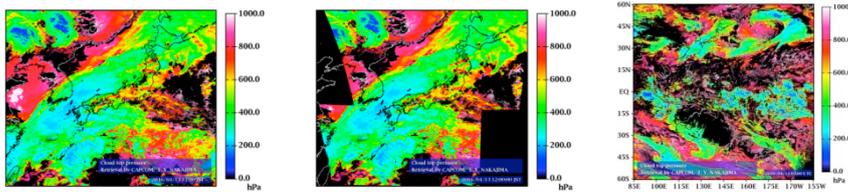
雲の光学的厚さ(水雲)



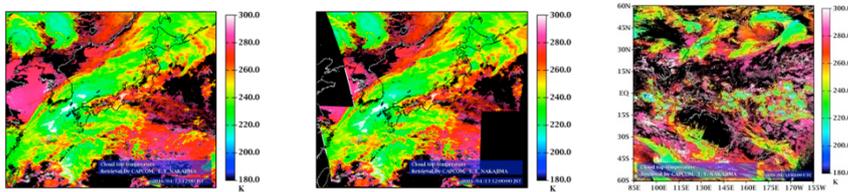
雲頂高度



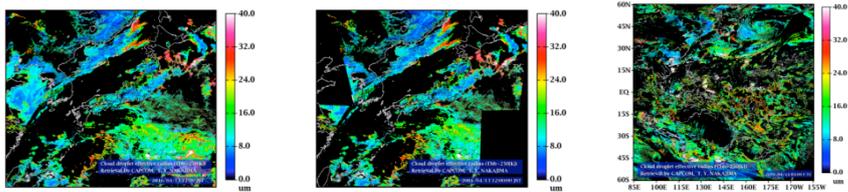
雲頂気圧



雲頂温度



雲粒有効半径



雲水量

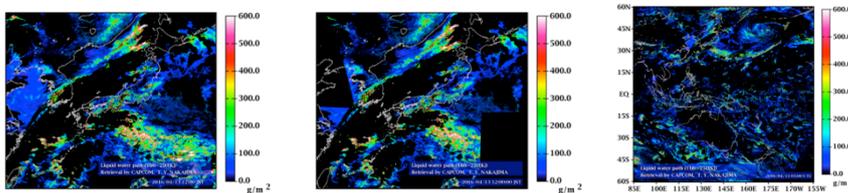
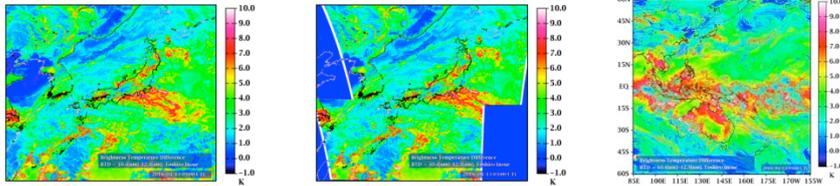
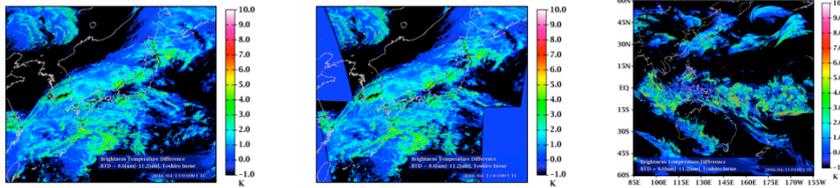


図2-4(3) 76種類の準リアルタイム公開中の物理量プロダクト(3)。左から1x1km 10min, 1x1km 2.5min, 4x4km 10minの種別を示す。

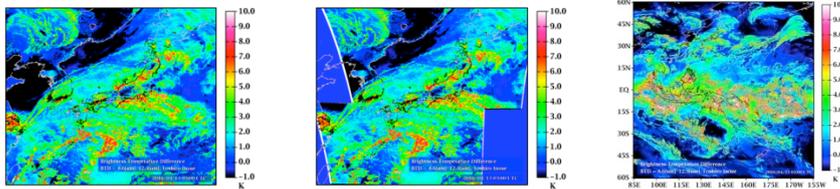
輝度温度差 (10.4-12.3um)



輝度温度差 (8.6-11.2um)



輝度温度差 (8.6-12.3um)



Nominal Operating Cell Temperature

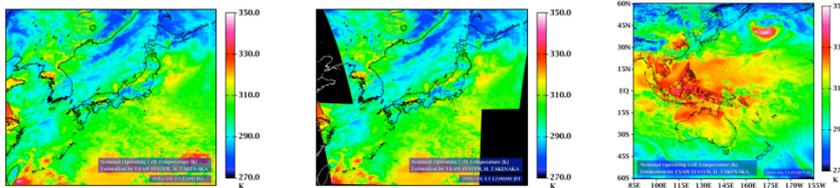
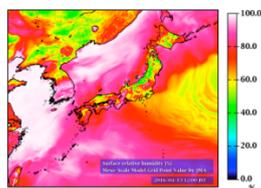


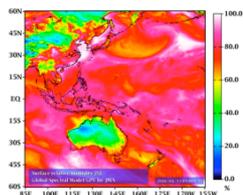
図2-4(4) 76種類の準リアルタイム公開中の物理量プロダクト(4)。左から1x1km 10min, 1x1km 2.5min, 4x4km 10minの種別を示す。

地上相対湿度

1x1km, 10分毎

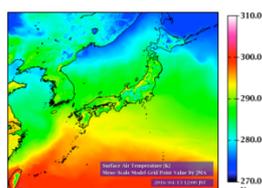


4x4km, 10分毎

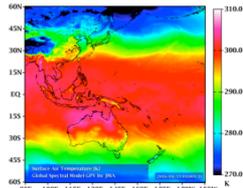


地上気温

1x1km, 10分毎

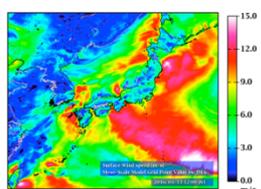


4x4km, 10分毎



地上風向風速(風速として図示)

1x1km, 10分毎



4x4km, 10分毎

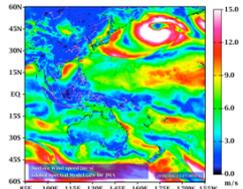


図2-4(5) 76種類の準リアルタイム公開中の物理量プロダクト(5)。需要研究側から要望の強かった気象場基礎データとして地上温度、地上相対湿度、地上風向風速(風速要素u,v)を整備し分散協調型EMSに関する諸研究に資するデータセットとなっている。これらはGPVデータから衛星解析に使用したサプリメントデータであるが、データ・フォーマットとしても日射プロダクトと整合的で扱いやすくなっている。また、日射の無い夜間帯は時間解像度を30分としている。

表2-1 準リアルタイム解析にて公開している76種の物理量プロダクトの諸元

単位、ファイル拡張子、時間解像度、空間解像度を物理用毎にまとめた。

物理量	単位	ファイル拡張子	時間解像度	空間解像度
全天日射量	W/m ²	*.dwn.sw.flx.sfc.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
散乱日射量	W/m ²	*.dwn.sw.flx.sfc.scat.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.sfc.scat.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.sfc.scat.fld.4km.bin	10min	4x4km
直達日射量	W/m ²	*.dwn.sw.flx.sfc.tdir.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.sfc.tdir.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.sfc.tdir.fld.4km.bin	10min	4x4km
大気外日射量	W/m ²	*.dwn.sw.flx.toa.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.toa.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.dwn.sw.flx.toa.fld.4km.bin	10min	4x4km
太陽光発電出力 TC=-0.28[%/K], AC=100[%]	kW/PV	*.unit.pvp.tc028.ac000.sfc.jp[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.unit.pvp.tc028.ac000.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.unit.pvp.tc028.ac000.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
太陽光発電出力 TC=-0.28[%/K], AC=94.5[%]	kW/PV	*.unit.pvp.tc028.ac945.sfc.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.unit.pvp.tc028.ac945.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.unit.pvp.tc028.ac945.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
太陽光発電出力 TC=-0.28[%/K], AC=97.5[%]	kW/PV	*.unit.pvp.tc028.ac975.sfc.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.unit.pvp.tc028.ac975.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.unit.pvp.tc028.ac975.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
太陽光発電出力 TC=-0.49[%/K], AC=100[%]	kW/PV	*.unit.pvp.tc049.ac000.sfc.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.unit.pvp.tc049.ac000.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.unit.pvp.tc049.ac000.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
太陽光発電出力 TC=-0.49[%/K], AC=94.5[%]	kW/PV	*.unit.pvp.tc049.ac945.sfc.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.unit.pvp.tc049.ac945.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.unit.pvp.tc049.ac945.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
太陽光発電出力 TC=-0.49[%/K], AC=97.5[%]	kW/PV	*.unit.pvp.tc049.ac975.sfc.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.unit.pvp.tc049.ac975.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.unit.pvp.tc049.ac975.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	K	*.noct.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.noct.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.noct.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲の光学的厚さ (相仮定)	None	*.wi.cld.tau.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wi.cld.tau.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wi.cld.tau.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲の光学的厚さ (氷雲)	None	*.ice.cld.tau.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.ice.cld.tau.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.ice.cld.tau.fld.4km.bin	10min	4x4km

雲の光学的厚さ (水雲)	None	*.wtr.cld.tau.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wtr.cld.tau.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wtr.cld.tau.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲頂高度	km	*.wtr.cld.eth.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wtr.cld.eth.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wtr.cld.eth.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲頂気圧	hPa	*.wtr.cld.ctp.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wtr.cld.ctp.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wtr.cld.ctp.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲頂温度	K	*.wtr.cld.ett.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wtr.cld.ett.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wtr.cld.ett.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲粒有効半径	μm	*.wtr.cld.eff.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wtr.cld.eff.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wtr.cld.eff.fld.4km.bin	10min	4x4km
雲水量	g/m ²	*.wtr.cld.lwp.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.wtr.cld.lwp.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wtr.cld.lwp.fld.4km.bin	10min	4x4km
輝度温度差 10.4-12.3um	K	*.btd.tir1-tir3.tbb.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.btd.tir1-tir3.tbb.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.btd.tir1-tir3.tbb.fld.4km.bin	10min	4x4km
輝度温度差 8.6-11.2um	K	*.btd.tir9-tir2.tbb.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.btd.tir9-tir2.tbb.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.btd.tir9-tir2.tbb.fld.4km.bin	10min	4x4km
輝度温度差 8.6-12.3um	K	*.btd.tir9-tir3.tbb.jp0[1,2,3,4].1km.bin	2.5min	1x1km
		*.btd.tir9-tir3.tbb.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.btd.tir9-tir3.tbb.fld.4km.bin	10min	4x4km
地上相対湿度	%	*.rh.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.rh.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
地上気温	K	*.tsfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.tsfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
地上風向風速	m/s	*.wnd.spd.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wnd.znl.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wnd.mnl.sfc.msm.1km.bin	10min	1x1km
		*.wnd.spd.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
		*.wnd.znl.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km
		*.wnd.mnl.sfc.fld.4km.bin	10min	4x4km

③ ひまわり8号可降水量推定アルゴリズム

地上に到達する日射量の最大不確定要素は雲であるが、吸収ガスである水蒸気は雲の次に日射量の大きな不確定要素である。一般に水蒸気は日射量推定のみならず、雲や降水などの気象現象に重要な役割を担っている。このため、水蒸気量算定については、衛星に搭載された赤外データやマイクロ波データを利用した多くの推定法が提案されている。大気の窓領域と言われている赤外の10 μm 帯には一般に大気中の分子による吸収が少なく透明な波長域と水蒸気による吸収が比較的強い波長域もある。この水蒸気による吸収の違いを利用して水蒸気量を算定する手法が提案されている(Chesters et al., 1983; Kleespies and McMillin, 1990; Lindsey et al., 2014)。

本研究では衛星観測データに基づく日射量の推定において重要な要素となる水蒸気量(可降水量)を衛星観測データから推定する手法について検討する。現在は気象庁GPVデータから可降水量を見積り日射量の計算に使用しているが、直接推定が可能になれば高精度化が期待できる。CREST第一期において、ひまわり7号観測データから可降水量を推定する手法を試行した。H27年度は「ひまわり8号」による推定を試行した。ターゲット期間は2015年8月から11月までの観測値を使用した。基準とする可降水量データは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。

図2-5に解析結果を示す。図2-5(a)は輝度温度差と可降水量の関係を示しているが、輝度温度差だけでは可降水量を得ることは出来ないことが分かる。図2-5(b)に衛星輝度温度差、GPS点地上観測気温及び地上観測比湿による可降水量への重回帰分析を示す。これはCREST第一期の結果から良好な傾向が得られることが分かっている。図2-5(c)に衛星推定値を示す。ここでは気象庁MSM/GPVによる気温とMSM/GPVより計算した比湿を用いている。衛星推定のRMSEは3.5mmとMTSAT-2を用いた衛星推定よりも小さくなっているが、ひまわり8号のセンサ設計が新しいことを考えると期待よりも精度は低いといえるだろう。ここで重回帰分析のRMSEと衛星推定のRMSEが値として逆転しているように見えるが、これは間違いではない。また、気象庁気象衛星センターは2016年3月9日に「ひまわり8号」観測データの地上処理系におけるデータ処理のいくつかの不具合修正について報告している

(http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/operation8/eventlog/20160309_himawari-8_event_en.pdf)。輝度温度差をダイレクトに使用する本研究ではバンド間の整合性が無かった点についての修正は最も大きな影響を受けるだろう。今一度十分な観測値がアーカイブされてから本手法に関して再試行する必要がある。また、図2-6に「ひまわり8号」の赤外チャンネルの観測波長域(応答関数で50%以上)を緑で示し、米国熱帯標準大気に大気中に含まれるオゾン等の吸収ガスを考慮した時の衛星で観測される輝度温度を放射計算コードRSTARで計算した結果を赤で示す。可降水量のみを考慮した時の輝度温度を青で示している。図2-6に示した波長域では水蒸気による吸収が卓越していることが分かる。特に水蒸気による吸収が9 μm から13 μm にかけて強くなっていることが分かる。これらから多チャンネルの輝度温度差を利用したアルゴリズムも有効となる。

今後は改善された観測値による試行と多チャンネル化の検討も行っていく。また、可降水量の推定は混濁していないピクセルのみに有効であることから、MSM/GPVによる可降水量と複合的に日射計算に利用される形になる。快晴の日射量推定では可降水量の精度が大きな要素となってくるため改善が見込まれる。

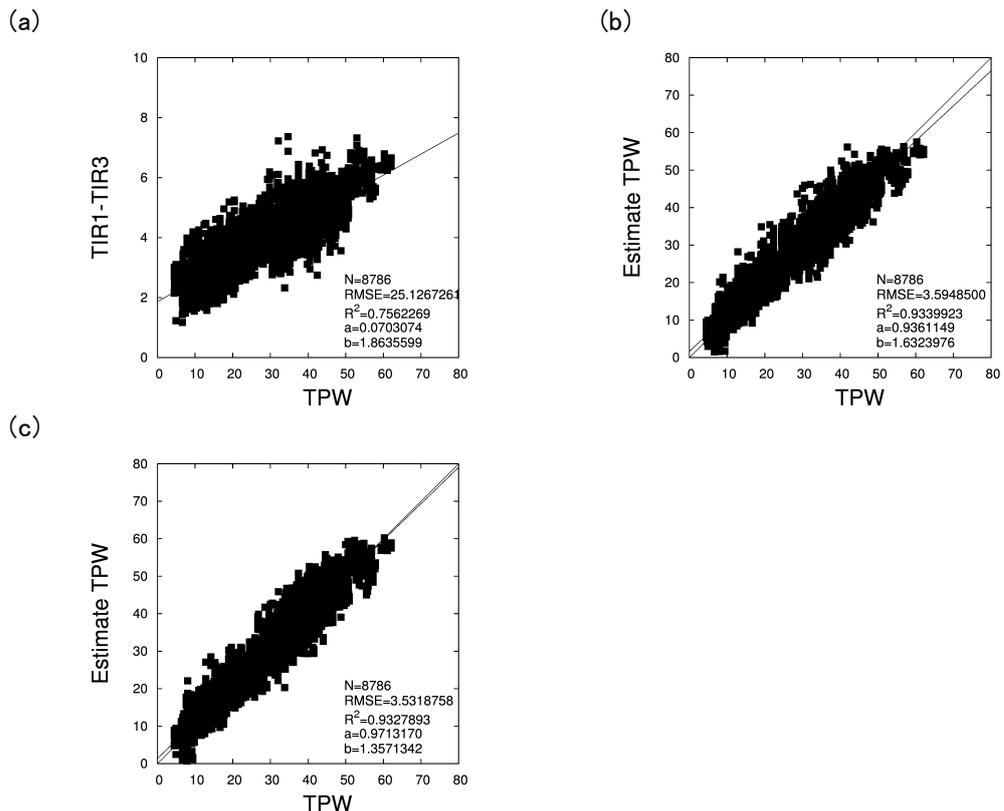


図2-5 GPS可降水量データを用いた衛星観測データに基づく可降水量推定。(a)BTDとGPS可降水量の相関。(b)BTD、地上気温、比湿によるGPS可降水量への重回帰分析。(c)衛星観測データと対応するMSM/GPVデータを用いた衛星推定可降水量とGPS可降水量の比較。

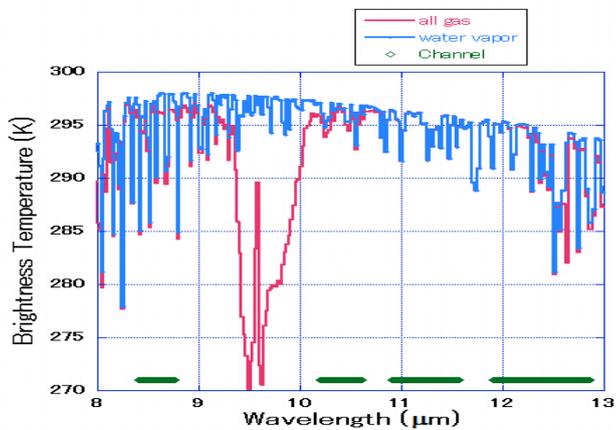


図2-6 水蒸気及びその他のガスと大気の透過の関係。緑のバンドは「ひまわり8号」搭載センサの応答関数が50%以上である波長域を示す。

④ ひまわり8号エアロゾル推定アルゴリズム

地上に到達する太陽放射、即ち日射量の最大不確定要素は雲であるが、大気中の微粒子であるエアロゾルも日射を吸収散乱することから太陽エネルギーを議論する上で欠くことの出来ない大気要素である。エアロゾルには日射を直接吸収散乱する効果(直接効果)と雲の凝結核となり雲の発達と生成に寄与する効果(間接効果)があるが、後者の解明は未だ明確ではない。従って、衛星観測データからエアロゾルの光学的な特性の時空間的な分布を見積もることは気候問題と太陽エネルギー利用の両面から重要な意味を持つ。「ひまわり7号」ではエアロゾルの情報を持つ可視波長のチャンネルが一つしか存在しなかったためエアロゾルの光学特性を観測値から求めることは困難であった。ひまわり8号では16チャンネルと観測波長が増加したため、衛星観測値からエアロゾル情報を得ることが出来る。H27年度は海域エアロゾル推定アルゴリズムの準リアルタイム試験運用と陸域エアロゾル推定アルゴリズムの試験適用を行った。

海域エアロゾル推定アルゴリズムはREAP(Higurashi and Nakajima, 1999, 2002)を用いた。REAPはADEOS-II/GLIなどに広く適用された海域エアロゾル推定アルゴリズムであり、可視から近赤外の観測波長を用いてエアロゾル光学特性を推定する。本手法は現行の海洋上エアロゾル推定アルゴリズムでは最も安定した手堅い手法である。本研究ではひまわり8号観測データを用いてエアロゾルの光学的特性を10分毎に準リアルタイムにて解析した。現在は日射量推定と同様に東アジア西オセアニア領域4x4km及び日本領域 1x1kmを解析している。図2-7に解析結果の一例を示す。2016年2月26日をターゲットとして10分毎の解析値から一日の平均値を算出している。図2-7aの東シナ海周辺に着目すると、この日は大陸側から日本側に粒子が流れ込んできている事が分かる。また、図2-7b及び図2-7cを見ると粒子は一見して小粒子側が卓越しているように見られる。図2-7dのオングストローム指数を見ると黄海を中心としたより広い領域に同様の傾向が確認できる。これらは人為起源の比較的小さい粒子が飛来しているのではないかと考えられる。また、東北地方を見ると太平洋側の光学的厚さは小さいもののオングストローム指数から小粒子が多く見られることから、こちらも同様の傾向があるのではないかと考えられる。東西方向にセンサのストライプノイズが見られるが、ひまわり8号観測データから海洋上のエアロゾル光学特性を得られることが分かった。

さらに、陸域エアロゾルの解析を試行した。アルゴリズムはMWMP(Multi-Wavelength Multi-Pixel)法を用いた(Hashimoto et al., 2016)^{口頭発表⁵⁾}。これはKaufman Neutral methodの原理を波長方向に拡張し、空間方向に反射率の異なる領域の各観測点を同時に解析することで領域を覆うエアロゾル特性を同時に推定する。逆解析にはMAP法と解の空間方向の平滑化を組み合わせている。図2-8に解析結果を示す。解析ターゲットは東京都心を中心に100x100kmを選択した。MWMP法は地表面のアルベドのコントラストが強いとき、即ち地表面被覆が複雑なパターンを持っている場合にもっとも有効である。今回は都市域を中心に選択した。MWMP法はエアロゾルの種別や煤の混合状態だけでなく波長毎のSingle Scattering Albedo (SSA)や地表面のアルベドも同時に推定する事が出来る。この解析結果では千葉県君津市付近に雲の混入が見られるが問題なく解析が行われている。特に煤は日射の強い吸収を促すため、煤の混合状態を得られることは大きい。大粒子が過小評価ぎみになっているが、これは衛星データと放射計算の一致度をチェックする必要があるだろう。しかしながら、各波長のSSAも妥当な値であることから解析が破綻しているわけではない。複数の粒子種を判別できるため詳細な光学特性を得る本手法は先進的であり日射量推

定の大きな要となる。今後は高精度化高速化を進め日射量計算に導入していく。

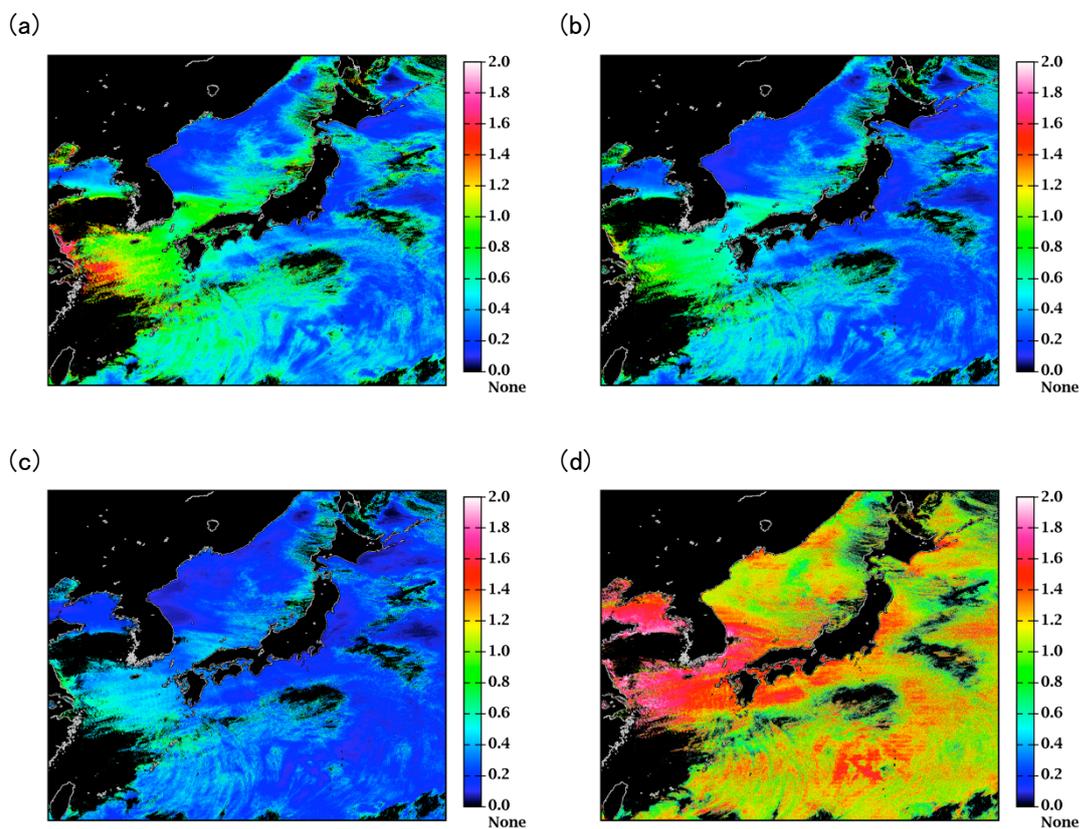


図2-7 ひまわり8号観測データに基づく海域エアロゾル推定結果(2016年2月26日、日平均値)。(a)波長500nmにおけるエアロゾル光学的厚さ。(b)波長640nmにおけるエアロゾル光学的厚さ。(c)波長860nmにおけるエアロゾル光学的厚さ。(d)オングストローム指数。

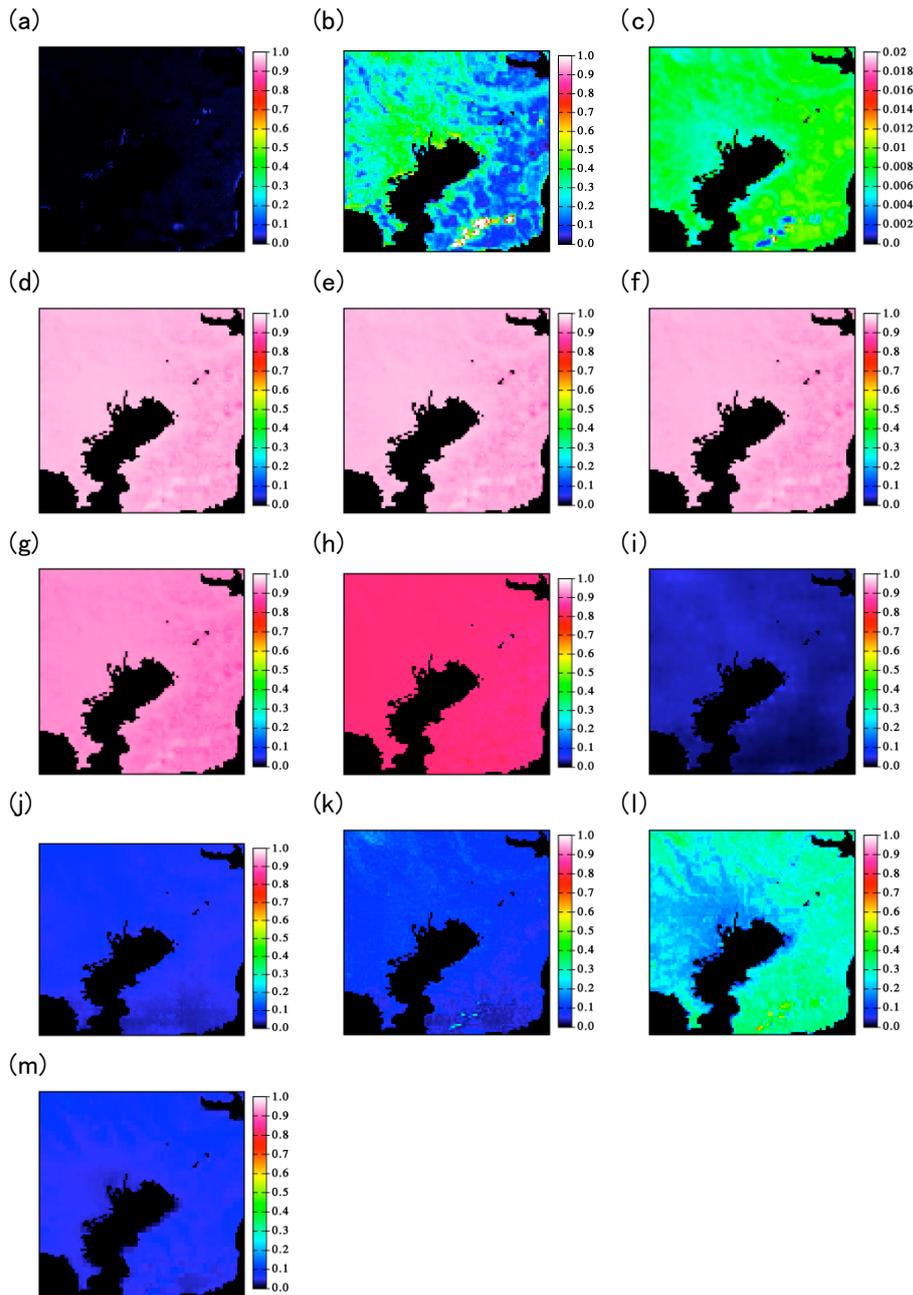


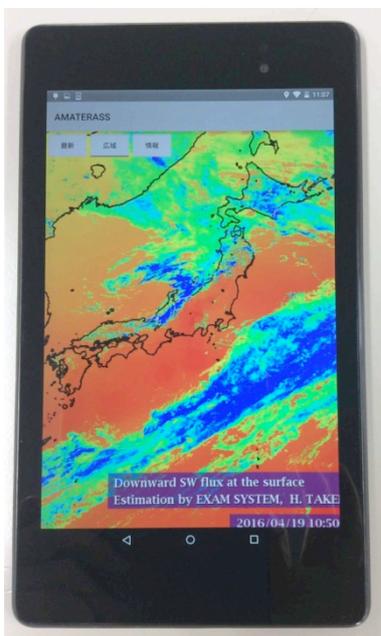
図2-8 ひまわり8号観測データに基づく陸域エアロゾル推定結果(2015年10月26日15時)。(a)波長500nmにおける大粒子エアロゾルの光学的厚さ。(b)波長500nmにおける小粒子エアロゾルの光学的厚さ。(c)煤の配分。(d)波長470nmにおけるSSA。(e)波長510nmにおけるSSA。(f)波長640nmにおけるSSA。(g)波長860nmにおけるSSA。(h)波長1600nmにおけるSSA。(i)波長470nmにおける地表面アルベド。(j)波長510nmにおける地表面アルベド。(k)波長640nmにおける地表面アルベド。(l)波長860nmにおける地表面アルベド。(m)波長1600nmにおける地表面アルベド。

⑤ 日射量準リアルタイムアプリ(Android/iOS)

2016年現在では自治体が設置したXバンド降雨レーダーの情報は気象情報や防災の観点から準リアルタイムにて広く一般に閲覧が可能な状態となっている。再生可能エネルギーの普及には様々な最新技術を使った解析結果の一般への情報発信も重要な課題である。高度に情報化された現在ではスマートフォンやタブレット端末の普及によってパソコンを利用しない一般層にも様々な情報を届けることが可能である。これより、衛星による日射量準リアルタイム解析の結果を迅速に情報公開するためスマートフォンとタブレットにて作動する日射量準リアルタイムアプリを開発した。

Google社が提供しているAndroidOS端末およびApple社が販売するiOS端末にて作動する二つのバージョンを作成した。動作中の実機を図2-9に示す。Android版はAndroidOS.5.0.2で動くスマートフォン/タブレット端末にて動作検証を行いApple版はiOS.9.3.1にて作動するiPhoneとiPadにて動作検証を行った。これにより降雨レーダーを表示するアプリと同様に、日射量を準リアルタイムにて情報発信することが可能となる。研究成果の一般社会へのフィードバックを目的として、今後はアプリの公式リリースと配布を目指す。

(a)



(b)

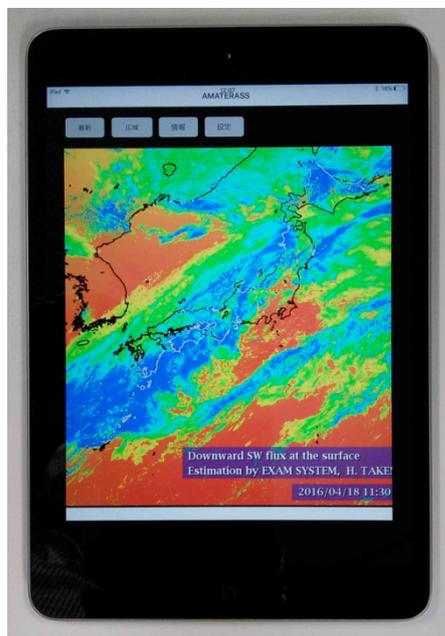


図2-9 日射量準リアルタイムアプリ実機作動中の様子。(a)Android端末タブレットNEXUS7。(b)iOS端末タブレットiPad。起動すると特別な操作なしに適時準リアルタイムの日射量画像を表示する。

(3) 雲特性アルゴリズム随伴データベースの改良

「ひまわり」衛星から地上到達日射量を計算するためには、大気中の雲特性、例えば雲の光学的厚さ、有効半径、雲頂高度の情報が必要である。これらの雲特性は「ひまわり」衛星の輝度データにCAPCOMアルゴリズム(Nakajima and Nakajima 1995, Kawamoto et al., 2001)を適用することで推定することが可能である。本研究の開始当初は、従来活用されてきた極軌道衛星(Terra/MODIS, ADEOS-II/GLI、等)の解析で使用していたものと類似のアルゴリズム随伴ルックアップテーブル(LUT)を利用して解析を行っていたが、H27年度に実施した研究の過程において、このLUTをそのまま「ひまわり」衛星データに適用すると不具合が生じることが判明した。この不具合は、データ解析に使用するLUTの精度(細かさ)によるものであることが判った。これまで実施してきた極軌道衛星データの解析では、太陽-地球-衛星の位置関係である散乱角がある一定の範囲に収まっていたが、静止気象衛星では散乱角のバリエーションが多く、従来のLUTでは内挿誤差が大きく出てしまい対応出来ないことが判明した。そこでLUTのグリッドである散乱角を構成する衛星天頂角(θ)・太陽天頂角(θ_0)・相対方位角(ϕ)の細かさを、従来は5度毎ないし10度毎であったものを2.5度毎とし、LUTの再作成を行った。なお、LUTの区分を細かくするとデータピックアップの際の内挿誤差は小さくなるが、データサイズ自体が大きくなり、実行時に大きなメモリを要する。つまりシステム要件と精度のトレードオフが生じる。表2-2(a)が従来の角度の設定で表2-2(b)が新しい角度設定である。なお、新しいLUTの作成には1ヶ月弱を要する。この新しいテーブルの活用によって、これまで以上に精度の良い雲特性が得られることが期待出来る。現在、新たに作成したLUTを解析システム側に提供し、確認作業が行われている。H28年度は、雲特性に加えてエアロゾル特性の解析システムを統合して、さらに精度良い地上到達太陽日射量の推定が行われる予定である。

表2-2(a) 従来の角度設定

Quantities	Grid point values
θ (degrees)	0, 5, 10, 20, 30, 35, 50, 45, 50, 55, 60
θ_0 (degrees)	0, 5, 10, 20, 30, 35, 50, 45, 50, 55, 60, 65, 70
ϕ (degrees)	0 to 180 (divided by every 10 degrees)

表2-2(b) 新しい角度設定

Quantities	Grid point values
θ (degrees)	0 to 60 (divided by every 2.5 degrees)
θ_0 (degrees)	0 to 65 (divided by every 2.5 degrees)
ϕ (degrees)	0 to 180 (divided by every 10 degrees)

(4) 気象データの変動解析

太陽光発電システムの導入や運用のために気候、気象学の知見に基づいた情報が必要とされる。日射量に関しては、強度の情報は発電出力を推定するために必要であり、その変動に関する情報は電力システム安定性に関する情報として必要とされる。強度に関する情報は、本研究課題中で開発されたEXAMシステムからの出力値などから得ることができる。しかしながら日射変動に関する知見はまだ十分深まっていないことが問題点として挙げられ、この問題に取り組み日射変動に関する新たな知見を提供することがEMS研究領域への貢献となる。本研究項目では、日射の変動をどのように定量化し、どのような情報を提供できるかについて考察した。本研究項目で得られた成果は、Watanabe et al.(submitted)^{未発行論文4)}にまとめられ、投稿、査読中である(2016年4月現在)。

H26年度にCREST/EMS慶應義塾大学グループと行ったフィージビリティスタディー(FS)においてsample entropyを用いた日射量変動の定量化について検討を行った。H27年度はこのsample entropyへの理解をさらに深め、日射変動を定量化するために解析手法を提案した。提案手法では日射変動を定量化するために、平均値、標準偏差およびsample entropyの3つの変動特徴量を用いた。図2-10は静岡地方気象台での2010年から2014年の5年間の観測データを3つの変動特徴量によって定量化した結果である。3変動特徴量を使用することで、日射変動を詳しく定量化できることが分かった。特に、強い日射変動は中間的な日射量(平均が0.3から0.6の間)を得られる日に現れることがわかる。またsample entropyを用いたことで変動の強い日はさらに詳しく特徴を知ることができる。Sample entropyが大きいときは短周期での変動が卓越し、小さいときは長周期が卓越する。

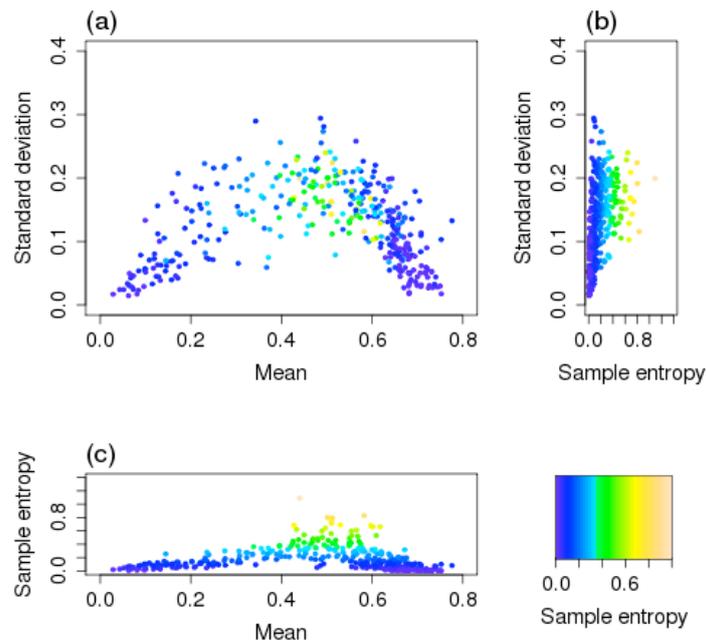


図2-10 3つの変動特徴量を用いて日射変動を定量化した結果。2010年から2014年の静岡地方気象台での観測データに関するもの。それぞれのグラフは(a)平均—標準偏差、(b)sample entropy—標準偏差、(c)平均—sample entropyに関する図を表す。

この日射変動の定量化手法を使って、日本国内の気象庁の観測所のうち日射量観測を行っている47地点を対象として日射変動の特徴を考慮した地域区分を行った。この解析によって日射変動に地域的な特徴があることが明らかになった。図2-11は、3つの変動変数の月平均を用いてクラスター分析によって分類を行った結果である。分類された地域は以下の6つである。

- 1 日本海側を除く北海道および太平洋側の東北地方
- 2 日本海側地域
- 3 関東地方
- 4 日本海側を除く西日本
- 5 太平洋側島嶼地域
- 6 奄美・沖縄地域

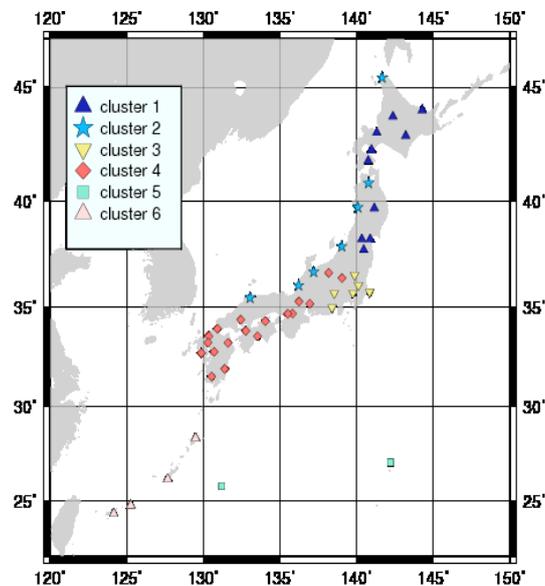


図2-11 クラスタ分析の結果で、6つのクラスターへ分類した場合。同一のクラスターに属する観測点は同一な色および印で表される。

分類されたそれぞれの地域について月平均変動特徴量が得られ、各地域での変動の特徴が定量的に評価できる(図2-12)。

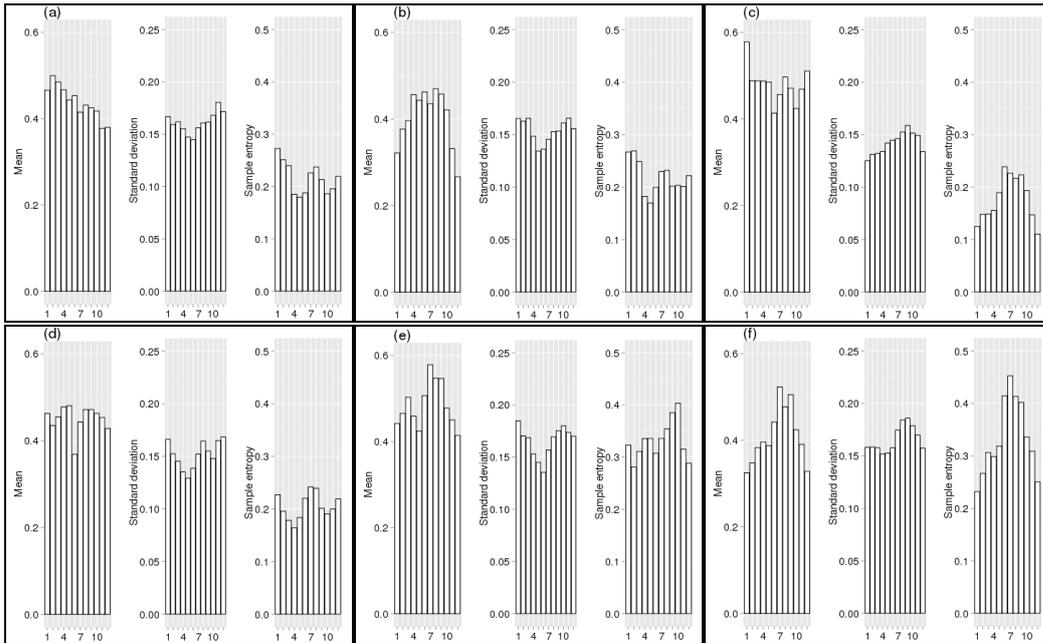


図2-12 各クラスターにおける月平均変動特徴量。(a)から(f)は順に図2-11でのクラスター1から6に対応する。各グラフは左から平均、標準偏差、sample entropyに対応する。横軸は1月から12月を表す。

本研究項目で得られた日射変動に関する新たな知見は、日射量の導入時の地域選定や、日射変動の制御のための手法の検討などに重要な情報となると考えられる。また、本手法は日本国内以外の日射量地上観測データに対しても応用可能である。本研究項目で得られた成果の応用を目的として、EMS研究領域内の気象学以外の研究分野の研究者との共同研究のための初期検討を行った。日射変動の定量化手法の結果を用いることで太陽光発電の制御パラメータの検討を行える可能性があるという結果を得た。この研究課題については、初期検討段階であり、今後の研究により進展が望まれる。

H27年度は、短い時間スケールの変動を主な対象として研究を進めたが、年ごとの日射量の変動(年々変動)などのより長い時間スケールの変動についての基礎となる研究も進展があった。年々変動はより広い空間スケールの気象現象と関係するため研究手法も上記の短い時間スケールを対象としたものとは異なったものとなる。Watanabe(2015)^{発行済論文12)}ではアジア域を対象とした水蒸気輸送を対象とした研究である。日射変動の原因となる雲の生成と関係する水蒸気の輸送の年々変動についての1つのメカニズムを説明したものである。日射量の年々変動への理解を深めるためにH28年度以降も引き続き研究を進めていく必要がある。

(5) 参考文献

Chestersa, D., L. W. Uccellinia, and W. D. Robinsonb, 1983: Low-Level Water Vapor Fields from the VISSR Atmospheric Sounder (VAS) “Split Window” Channels. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 22, no. 5, pp.725-743,

DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<0725:LLWVFF>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<0725:LLWVFF>2.0.CO;2)

Higurashi, A., and T. Nakajima, 1999: Development of a two-channel aerosol retrieval algorithm on a global scale using NOAA AVHRR. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **56**, 924-941.

Higurashi, A. and T. Nakajima, 2002: Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data. *Geophysical Research Letters*, vol. 29, Issue17, pp17-1-17-4, DOI: 10.1029/2002GL015357

Kawamoto, K., T. Nakajima, and T. Y. Nakajima, 2001: A global determination of cloud microphysics with AVHRR remote sensing. *Journal of Climate*, **14**, 2054-2068.

Kleespies, T.J. and L.M. McMillin, 1990: Retrieval of Precipitable Water from Observations in the Split Window over Varying Surface Temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 29 no.9, pp.851-862,

DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1990\)029<0851:ROPWFO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1990)029<0851:ROPWFO>2.0.CO;2)

Lindsey, D.T., L. Grasso and J.F. Dostalek, 2014: Use of the GOES-R Split-Window Difference to Diagnose Deepening Low-Level Water Vapor, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 53 no.8, pp.2005-2016,

DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0010.1>

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.

Takenaka, H., T. Y. Nakajima, A. Higurashi, A. Higuchi, T. Takamura, and R. Pinker, 2011: Estimation of Solar Radiation by Neural Network based on Radiative Transfer. *J. Geophys. Res.*, 116, doi:10.1029/2009JD013337.

3-2-3 地球物理量算定モデルによる新しい雲場同化手法の開発

(JAXA-東大グループ)

(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として、本CREST第一期において検討されたケーススタディから問題点の抽出を中心として、多様な大気場への適用手法の検討を開始する。

(2) Diamond-NICAMによる雲場同化実験

再生可能エネルギーの導入、特に電力網への太陽光発電の大量導入には日射量の予測技術の開発が重要な要素となる。日射量の最大不確定要素である雲の発生と発達を物理モデルで表現出来るならば、日射量の高精度予測も実現可能となる。しかしながら、地球物理の中でも雲物理に関しては今現在まさに研究が進行している分野であり、その理解が十分であるとは言いきれない。観測とモデリングの両面から雲研究は大きな発展の流れの中にある。したがって、本研究では衛星観測と地球物理モデルを組み合わせた日射量短時間予測のための新しい雲場同化手法を検討する。

ここではNICAM(Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model)(Satoh et al., 2001,etc)非静力雲解像モデル(雲成長過程が表現出来る地球モデル)とSPRINTARS(Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species)エアロゾル輸送モデル(Takemura et al., 2000)を融合したNICAM+SPRINTARSモデルを利用した日射量算定を試行した。NICAMは非静力学全球大気モデル(鉛直方向の運動方程式に静水圧近似を用いない数値予報モデル)である。NICAMは雲場を再現できる雲解像モデルとして知られており、日射予測にこのモデルを用いることは理に適っている。本研究では短時間日射予測の研究の一環として、エアロゾルの影響及びエアロゾルと雲の相互作用も算定できるように、NICAMにSPRINTARSエアロゾル輸送モデルを組み込んだシステムを使用した。NICAMでは、全球をほぼ均質に三角形標準格子で覆う格子系に加えて、注目する領域に多くの格子点を配置するストレッチ格子系のセッティングが可能である(Uchida et al., 2016)未発行論文¹⁾。ここでは、そのストレッチした格子系に新たに開発した領域モデルを組み合わせたダイヤモンド格子系を採用したDiamond-NICAMを用いた。

図3-1に雲場同化による日射量算定結果を示す。ターゲット期間は2012年5月とし合計31日間の同化実験を行った。ターゲット領域は関東域を中心に配置している。一般に知られている大気場の同化として気象庁Meso-Scale Model/Grid Point Value(MSM/GPV)大気場のナッジをベースとし、衛星解析にて得られた雲の光学特性から雲水の鉛直プロファイルを推定することでナッジを行っている。これまでの結果からMSM/GPVのみでモデルを拘束するよりも衛星からの雲水も同時に拘束する方が衛星から推定したものに近づくことがわかっているが、より多くの同化実験を連続した期間で実行することにより、本手法の有効性と問題点を明らかにすることを主眼としている。5月2、3、5、11、20、21日は衛星解析に比べてモデル解析の日射量は良く似たパターンを持っているように見られる。しかしながら、5月1、6、7、8、9、10、12、13、14、16、17、23、24、25、26、28、30、31日は

解析対象領域全域においてナッジングによる改善効果が見られるが、衛星解析に比較して日射量を過大に評価しているように見られる。これはナッジングによる雲水の強制が期待する値まで届いていない可能性を示しているが、原因は大気場が雲水を保持出来ない条件である可能性が高い。即ち現実の大気場とMSM/GPVによる雲水に対する大気場の本質的な差が雲パターンの差を伴うことで日射パターンを崩している可能性が考えられる。また、5月9、10、16、28日は大陸側の光学的に厚い雲と海上の比較的光学的に薄い雲場が再現できていないように見えるが、5月1、8、12、13、16、17、23、24、28、30、31日は海洋上に広く展開する比較的光学的に薄い雲に起因する差が大きい。光学的に薄い雲は風場と水蒸気量の状態に強く影響を受ける。また、陸上の光学的に厚い雲は多くの雲水を保持するための上昇気流と雲場を作り出す水蒸気が必要である。このことから、ナッジングによる雲場の再現効果は大気場と密接な関係があることが考えられる。本手法の大きな特徴は雲水の拘束によって雲場を再現できる点にあり、観測の雲に近づける事が出来る唯一の手法である。今後は四季による雲場再現性の調査を行うと共に効果の最大化についての検討を行っていく。

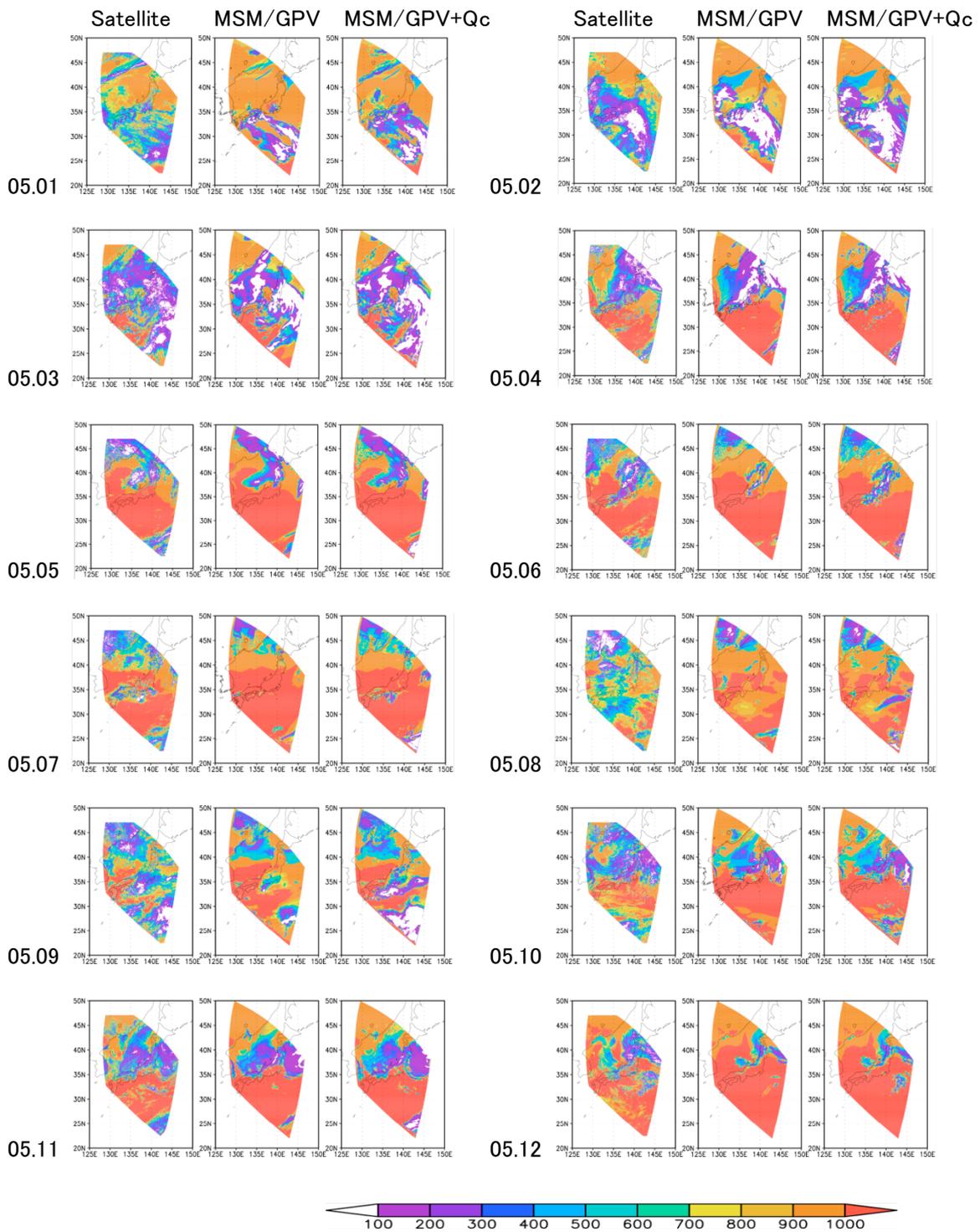


図3-1(1) 雲場同化による日射量算定結果(2012年5月)。日本時間12時の日射状態を示す。日毎に左端が衛星、中央がMSM/GPVによる気象場ナッジング、右端がMSM/GPV+衛星雲水量ナッジングによる日射量算定結果。

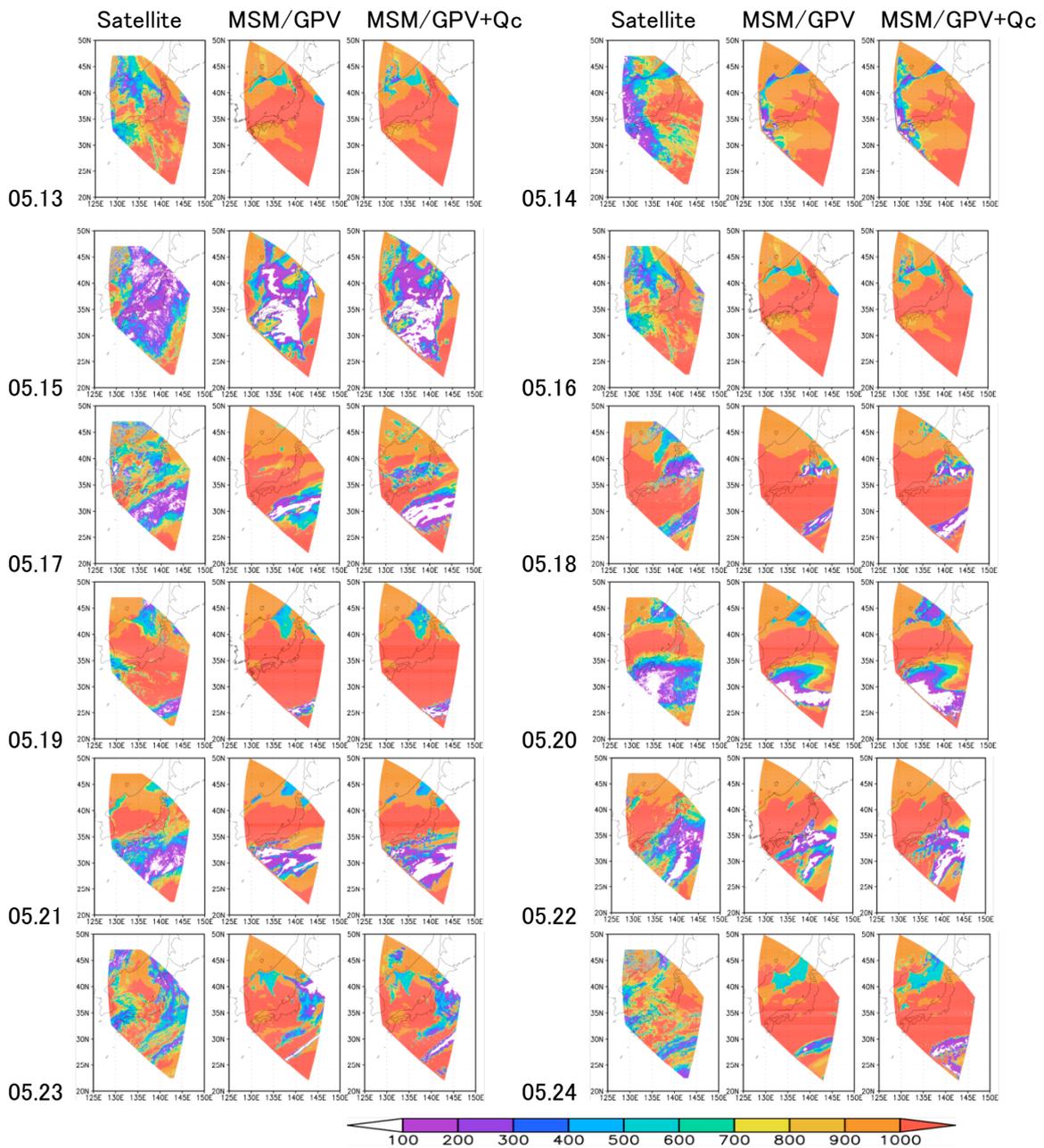


図3-1(2) 雲場同化による日射量算定結果(2012年5月)。日本時間12時の日射状態を示す。日毎に左端が衛星、中央がMSM/GPVによる気象場ナッジング、右端がMSM/GPV+衛星雲水量ナッジングによる日射量算定結果。

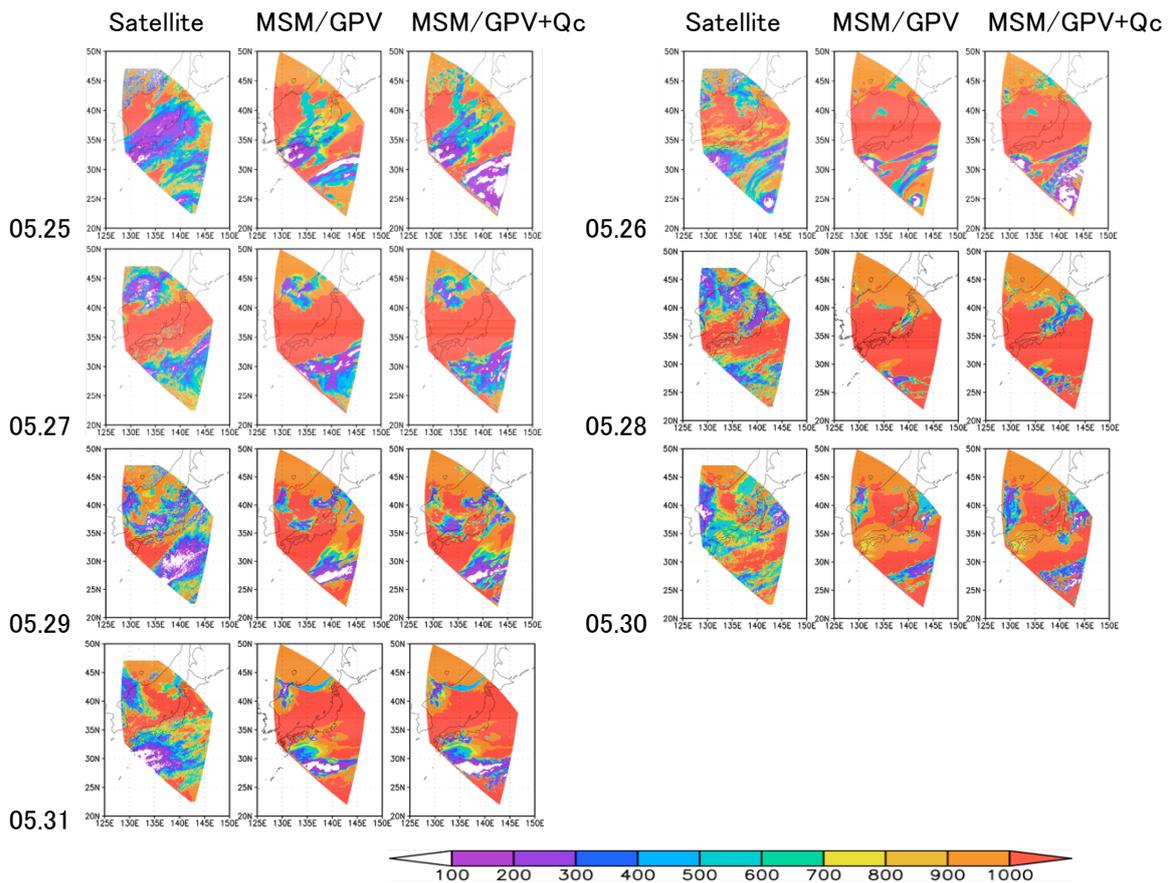


図3-1(3) 雲場同化による日射量算定結果(2012年5月)。日本時間12時の日射状態を示す(29日のみ衛星観測が欠測であるため各々11時における日射量)。日毎に左端が衛星、中央がMSM/GPVによる気象場ナッジング、右端がMSM/GPV+衛星雲水量ナッジングによる日射量算定結果。

(3) 参考文献

Satoh, M., Tomita, H., Tsugawa, M., Xiao, F., 2001: Development of a next generation atmospheric general circulation model at Frontier Research System for Global Change.(in Japanese) *Nagare*, 20,37-46.

Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *Journal of Geophysical Research*, 105, 17853-17873.

3-2-4 品質保証とデータ異常検出(千葉大グループ)

(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。また、それを基に、地上観測装置群の再配置等を行った。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、まず本プロジェクトの枠組みを活用することで、地球科学とエネルギー需要科学の関連研究を強化するための重点地上検証観測サイトの候補として対馬市を挙げることができた。対馬市では需要の資源化に関する研究の実証実験が行われる可能性があるのが理由であるが、そのことが明確になったタイミングで、SKYNET観測機材の配置の検討をすることとした。また、林チームとの連携強化の観

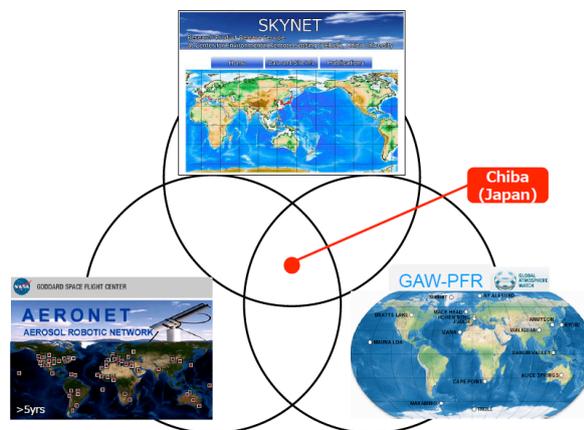


図4-1 国際展開を視野に入れた3つの国際地上リモートセンシングネットワークSKYNET/AERONET/GAW-PFRの連携のイメージ。千葉サイトで同時連続観測が開始し、国際連携の拠点化を図った。

点においても検討したところ、実際の日射条件を模したシミュレーションを実施することから、実環境における重点地上検証観測サイトについて特別の要望はないことが判明した。

他方、世界気象機関(WMO)のGlobal Atmosphere Watch(GAW)からは、日射やエアロゾルのSKYNET地上観測網 (Nakajima et al., 1996; Takamura and Nakajima, 2004)を国際的な枠組みにより明確に位置付けるために、米国NASA主導のエアロゾルネットワーク(AERONET) (Holben et al., 1998)とWMO-GAW管轄の放射ネットワーク(GAW-PFR) (Wehrli, 2002)との同時観測の要請があった。既に国際展開されているSKYNETサイトで顕著な成果を上げつつ(e.g., Sugimoto et al., 2015^{発行済論文5)}; Ningombam et al., 2015^{同2)})、これら欧米主導のネットワークと連携することで、地球科学を軸とした今後のスムーズなEMS研究の国際展開が期待される。下記に述べるように、SKYNET千葉サイトはAERONETと共同観測の実績がある (Khatri et al., 2016)^{発行済論文15)}。そこで、重点地上観測サイトとして千葉サイトを選定し、今後の基盤とすることとした。

H27年10月に千葉サイトの観測機材設置スペースを拡張する大幅な改修を行った。それに伴い、AERONETの主力機材CIMELサンフォトメーターとGAW-PFRの主力機材PFRラジオメーターを新設し、SKYNET/AERONET/GAW-PFRの同時観測を開始した。これにより、千葉サイトを国際連携のための拠点と位置付けた(図4-1)。3つのネットワーク観測の予備的相互比較を実施したところ、エアロゾル光学的厚さが0.01以内で良く一致することが分かった。なお、千葉サイトではエアロゾルをはじめとした多成分の大気汚染物質の時空間変動の不均一性を測定するために、多軸差分吸収分光法(MAX-DOAS)装置 (Irie et al., 2015^{発行済論文8)}; Lee et al., 2015^{同11)}; Frieß et al., 2016^{同13)}) が4台、SKYNETの枠組みにおいて常時稼働している。

本研究ではさらに、短期ではあるが過去にSKYNETとAERONETのエアロゾル観測を多地点で同時に行ったデータを再解析し、両観測手法の精度評価を実施した(Khatri et al., 2016)^{発行済論文15)}。両者によるエアロゾル測定値を比較した結果、エアロゾル光学的厚さは良く一致したが、エアロゾルによる散乱のしやすさを表す単一散乱アルベドには有意な差が認められた。

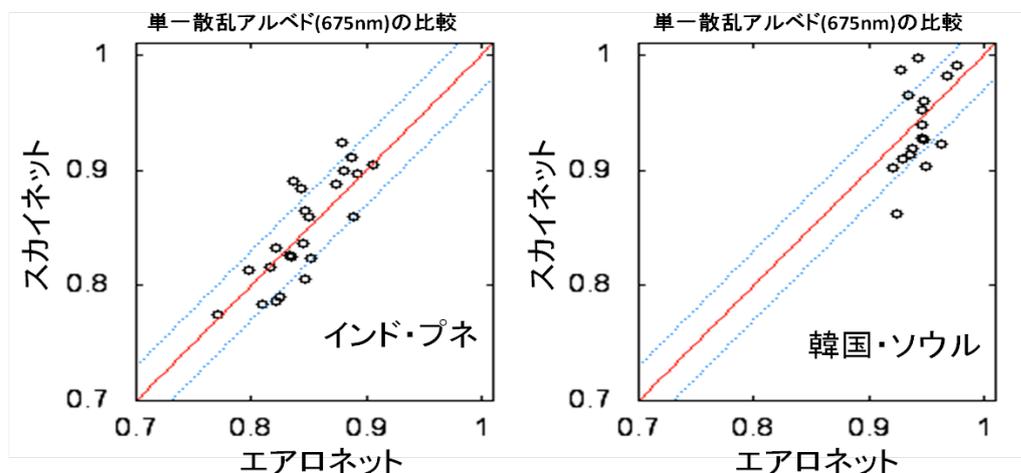


図4-2 インド・プネと韓国・ソウルにおけるSKYNETとAERONETによるエアロゾル単一散乱アルベドの相関プロット。SKYNETの値はAERONETのデータから求めた検定定数を用いて計算されている。1:1の関係が赤い線で、 ± 0.03 の範囲が青い線で示されている。

SKYNETとAERONETでは、観測機器の検定方法だけでなく、データ解析アルゴリズムも異なる。また、AERONETのデータ解析アルゴリズムは非公開なために、両者の間に生じるエアロゾル測定値の差の原因の特定は困難だった。この問題に取り組むために、SKYNETの解析アルゴリズムをAERONETに適用できるシステムを構築してエアロゾルの値を求め、AERONETの解析アルゴリズムで求めた値と比較した。結果、両者の間に有意な差が認められなかったことが分かり、解析アルゴリズムの違いが原因である可能性を明確に排除することができた。次に、AERONET観測データを基準にして、SKYNETのエアロゾル測定値に影響を与える様々な外部要因(検定値、地面反射率等)の影響を調べた。結果、エアロゾル測定値の差は、両機器の検定方法の違いに起因して散乱光強度の生測定値が異なることが原因であることが明らかになった。さらなる証拠を得るために、数値実験を用いて、SKYNETとAERONETで同じ検定方法に基づく検定値を採用したところ、両機器のエアロゾル測定値の差が大幅に抑えられたことが確認された(図4-2)。これらの結果により、国際地上検証システムであるSKYNETの高精度化・国際連携強化のために、観測機器の検定方法の検討が鍵であることが明確になった。

今後は、これらの成果を基に地上システムの最適化を継続するとともに、オンラインデータ処理・提供システムを構築し、連続観測・データ提供を行えるシステムへと発展させる。

(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。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。

「ひまわり8号」の観測に基づく推定日射量データを評価するために、千葉大学が主導しているSKYNET地上リモートセンシング観測網や気象庁の観測サイトで全天日射計を使って測定した値を使用した。ひまわり8号とこれら地上観測値との比較の際、地上観測値としてひまわり8号の観測時刻の前後5分の平均値を採用した。SKYNET観測網のスーパーサイトである千葉、辺戸岬、福江島における衛星推定日射量と地上観測値の比較結果を例として図4-3に示す。概して、これまで実施した「ひまわり7号」の結果と同様に、両データが良く相関することが分かった。

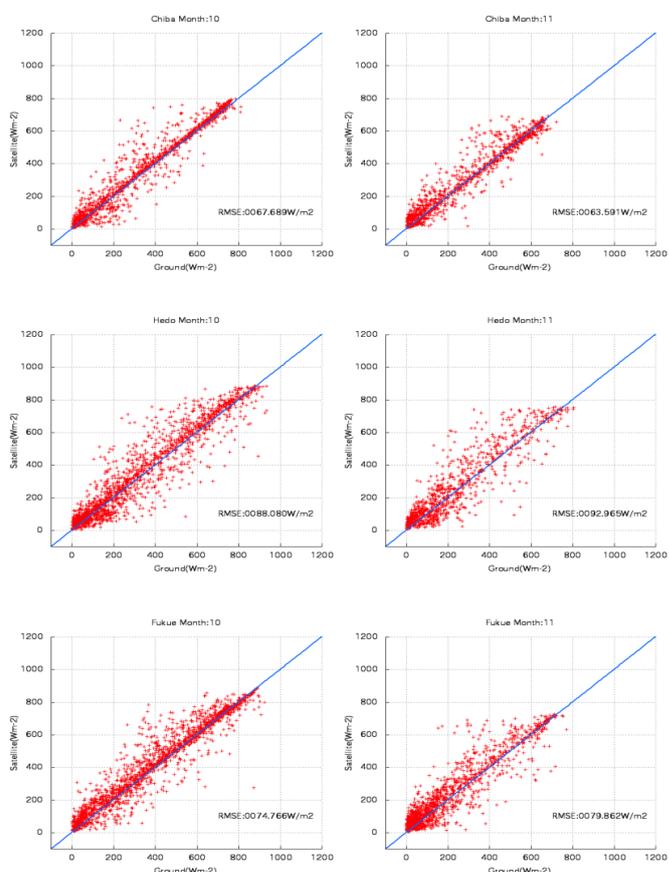


図4-3 SKYNET地上リモートセンシング観測網のスーパーサイトである(上段)千葉、(中段)辺戸岬、(下段)福江島における「ひまわり8号」衛星推定日射量と地上観測値の比較結果。2015年10月と11月の結果がそれぞれ左と右に示されている。

詳細に比較結果を解釈するために、SKYNETのサイトに加え、気象庁のサイトについても同様に比較を実施した。比較結果を図4-4に示す。図4-4から分かるように、「ひまわり8号」衛星推定日射量は地上観測値よりも系統的に過大となっていたことがどのサイトでも認められた。差のバラツキを評価するために二乗平均平方根誤差(RMSD)を算出したところ、概して80 W/m²程度であった(図4-4)。RMSDを増大させる要因として、大気中に存在する雲やエアロゾルの影響が挙げられる。具体的には、衛星観測に基づいて日射量を推定するアルゴリズムに雲やエアロゾルの影響が十分に考慮されていないことが原因である。この問題を難しくしているのは、各成分の時間変動が激しく空間分布の不均一性が高いことが挙げられる(e.g., Irie et al., 2015) 発行済論文⁸⁾。加えて、雲とエアロゾルの両方が衛星視野に含まれることはよくあり、さらには離散雲の場合は衛星と地上観測の空間代表性の違いが比較結果を左右する。この問題を解決するために、地上から日射量とエアロゾルを同時に観測しているSKYNETサイトを活用し、晴天時のみのケースに着目して、まずはエアロゾルの影響を定量化することが重要である。

今後は、「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ロバストな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するなど、衛星データ・モデルデータの想定内誤差の定量化と誤差要因の評価を実施し、異常検出基準の高精度化を図る。

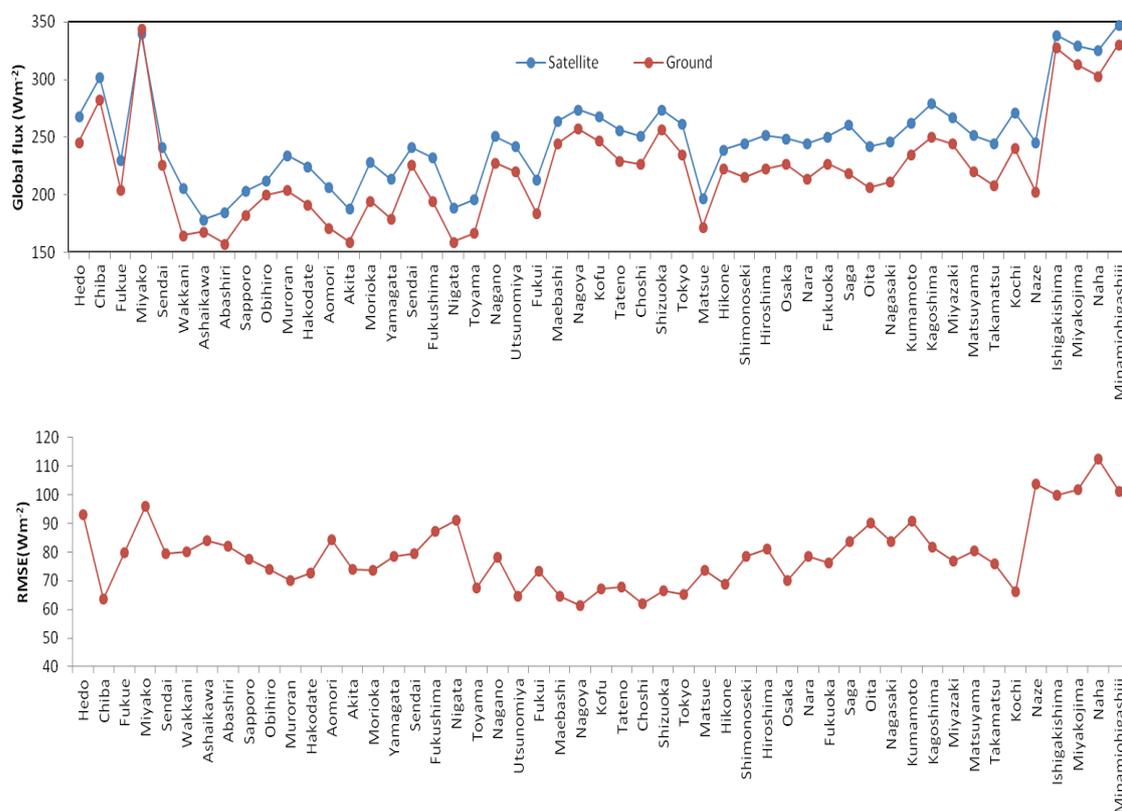


図4-4 SKYNETおよび気象庁の各サイトにおける「ひまわり8号」衛星推定日射量と地上観測値の(上)月平均値と(下)二乗平均平方根誤差(RMSD)。2015年11月の予備的結果が示されている。

(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。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。

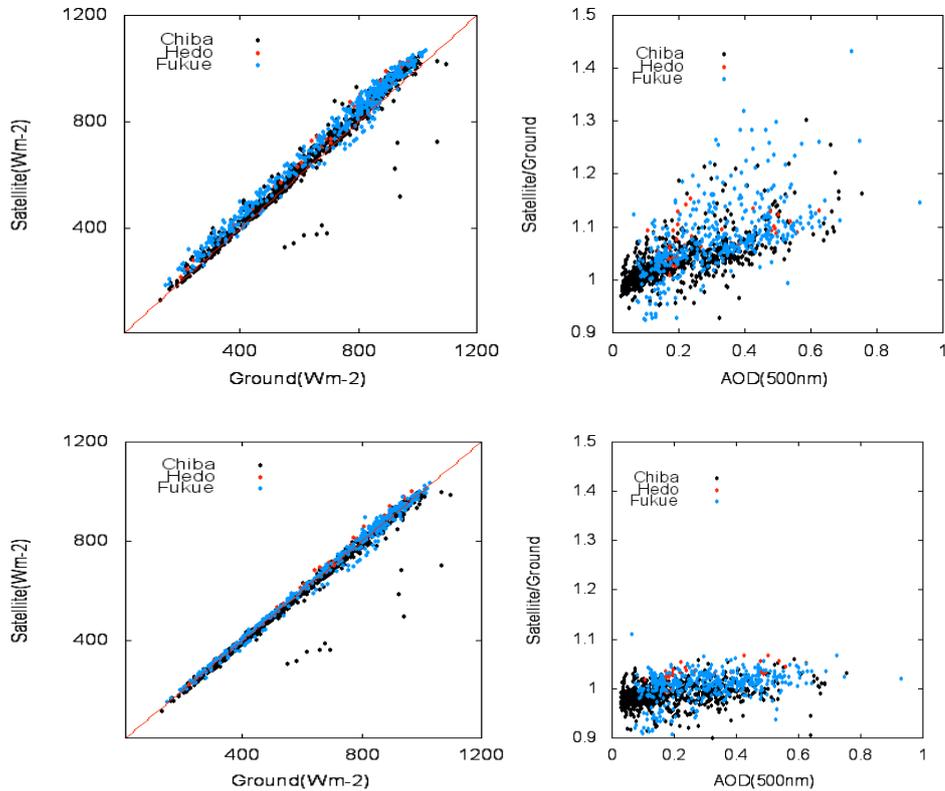


図4-5 SKYNET地上リモートセンシング観測網のスーパーサイトである千葉、辺戸岬、福江島における「ひまわり7号」衛星推定日射量と地上観測値の(左)相関プロットと(右)両者の比(衛星/地上)とエアロゾル光学的厚さ(500 nm)の相関プロット。2014年における晴天時の比較のみプロットされている。衛星推定日射量にエアロゾルの補正を施さなかった結果と施した結果がそれぞれ上段と下段に示されている。

これまでの研究から、衛星推定日射量が過大となる傾向があることが指摘されている。その主要な要因として、衛星観測に基づいて日射量を推定するアルゴリズムにエアロゾルの影響が全く考慮されていないことが挙げられる(Takenaka et al., 2011)。この推定日射量に対するエアロゾルの影響を定量的に評価するために、SKYNETリモートセンシング観測網において日射量とエアロゾル光学的厚さの同時観測を実施しているサイトに着目し、衛星観測データと地上観測データの比較を実施した。図4-5に、SKYNET観測網のスーパーサイトである千葉、辺戸岬、福江島での衛星推定日射量と地上観測値の相関プロットを示す。2014年における晴天のみ、衛星データとして「ひまわり7号」の観測に基づく推定値についての結果が示されている。また、衛星推定日射量と地上観測値の比(衛星/地上)と、地上で日射量と同時にスカイラジオメーターで測定したエアロゾル光学的厚さ(500 nm)の相関プロットも示されている。これらの図から、衛星推定日射量と地上観測値の相関は概ね良いものの、エアロゾル光学的厚さの増加に伴い、衛星推定日射量が系統的に過大となる

傾向が認められる。このように、本研究において、エアロゾルが衛星推定日射量の重要な誤差要因であることが明確となった。

表4-1 各SKYNET観測サイトにおけるエアロゾルの影響を補正する前後の衛星推定日射量と地上観測値のRMSD (W/m²)。

サイト	エアロゾル影響補正前	エアロゾル影響補正後
千葉	28.97	13.90
辺戸岬	54.35	25.07
福江島	53.53	18.84

エアロゾルによる誤差を定量化するために、放射伝達モデルを用いて、「エアロゾルなし大気」と「エアロゾルあり大気」の下向き日射量を計算し、「エアロゾルなし大気」から「エアロゾルあり大気」の値を引いて得た差分を、衛星推定日射量から更に差し引き、衛星推定日射量に対するエアロゾルの効果の補正を行った。図4-5の下段に、エアロゾルの影響の補正を施した後の衛星推定日射量と地上観測値の比較結果を示す。表4-1には、エアロゾルの影響を補正する前と後の衛星推定日射量と地上観測値比較のRMSDを示す。これら図4-5および表4-1が示すように、エアロゾルの影響の補正を施すと、地上観測値との系統的な差は大幅に解消され、さらにはバラツキも小さくなることが分かった。また、図4-5からは、推定日射量に対するエアロゾルの影響を考慮すると、誤差は10%以内に抑えられていることが分かる。この結果に基づき、H27年度は、晴天時の比較において差が10%を上回った場合を、想定外の異常を検出する予備的な基準とした。

今後は、本解析手法を「ひまわり8号」に適用し、さらに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させ、異常検出結果速報システムの確立につなげる。

(5) 参考文献

- Holben, B. N., T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak, and A. Smirnov, AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sens. Environ.*, 66, 1-16, 1998.
- Nakajima, T., G. Tonna, R. Rao, P. Boi, Y. Kaufman, and B. Holben, Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions, *App. Opt.*, 35, 2672-2686, 1996.
- Takamura, T., and T. Nakajima, Overview of SKYNET and its activities, *Opt. Pura Apl.*, 37, 3303-3303, 2004.
- Takenaka, H., T. Y. Nakajima, A. Higurashi, A. Higuchi, T. Takamura, R. T. Pinker, and T. Nakajima, Estimation of solar radiation using a neural network based on radiative transfer, *J. Geophys. Res.*, 116, D08215, doi:10.1029/2009JD013337, 2011.
- Wehrli, C., Calibration of filter radiometers for the GAW Aerosol Optical Depth network at Jungfraujoch and Mauna Loa, *Proceedings of ARJ workshop, SANW congress, Davos, Switzerland*, 70-71, 2002.

3-2-5 エネルギー需要モデルの開発(阪大グループ)

(1)はじめに

本研究は住宅・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時刻別の大きさ・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を開発することを目的としている。H27年度はモデル開発のため、エネルギー需要が決定される構造に関する調査、住宅および業務施設のエネルギー需要モデルの開発、気象科学とエネルギー需要科学の関係性に関する初期的検討を行った。

(2)エネルギー需要が決定される構造に関する調査

住宅・業務施設のエネルギー需要は個々の機器・設備によるエネルギー消費の合計値である。個々の機器・設備のエネルギー消費は「稼動時」と「非稼動時」の消費に分類することができ、稼動の有無は住宅居住者、業務施設利用者の生活や活動に伴う機器や設備の操作によって決まる。また、非稼動時のエネルギー消費は主に機器・設備の仕様によって決まり、稼動時のエネルギー消費は機器・設備の仕様のほか、機器・設備の環境条件、機器・設備が製造するサービス量などによって決定される。このような特性から、エネルギー需要の決定要因を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。H27年度は、住宅において計測された電力消費データに基づいて、既存の建築学会等の分野で明らかにされていない①～④の要因について実態把握とその関係性の分析を行った。この結果は、以下の(5)に詳しく説明する。

(3)住宅エネルギー需要のモデル開発

本研究では地域性や世帯間のばらつきをモデル上で再現するため、①～⑥のエネルギー需要決定要因に関するデータベースの開発を行い、実社会における①～⑥のばらつきをモデル上で再現する。ここでは決定要因間の関係性についても分析を行う。次に、エネルギー需要の計算モデルを開発する。モデルではまず、上記のデータベースに基づいて計算対象とする地域に立地する住宅、居住する世帯の仕様を決定する。次に、居住者をエージェントとして計算対象期間における生活行動及び行動に伴う機器・設備の操作を確率的に生成する。ここでは居住者の集合として世帯を表現し、照明、空調、給湯設備などにおける居住者間の共有利用を再現した上で、機器・設備の操作・仕様、住宅仕様・気象条件に基づいて用途別エネルギー需要を算出する。照明や空調については住宅室内光・熱環境シミュレーションを行い、給湯エネルギー需要については給水温度の変化や給湯設備効率の外気温特性を考慮するなど、エネルギー需要構造を詳細に再現する。以上により①～⑥で与えられる世帯間の差異を反映して、個々の住宅のエネルギー需要の確率的な時系列挙動が推計される。なお、他のCRESTチームが開発するエネルギー管理システムと接続可能なものとするため、時間解像度を5分とする。

H27年度は、このようなモデルの開発として、居住者生活行為生成モデルの開発、時系列電力

需要予測精度の検証、エネルギー需要決定要因に関するデータベース開発を行った。

住宅居住者生活行為生成モデルは人の時間の使い方を表す統計情報に基づいて計算対象日における住宅居住者の時間の使い方を確率的に生成するものである。時間の使い方は総務省統計局による社会生活基本調査で広く調査されており、本研究ではH18年度に実施された調査の個票を入手し、統計情報を整備した。社会生活基本調査では、被調査者は特定の調査日に実施した行為を日記形式で回答する。この生活時間の記録に加えて、回答者の年齢、性別、就業の有無、職業、ライフステージなどの属性情報が整備されている。これらの情報に基づいて表5-1に示す計59種の類型を作成し、計算対象世帯の構成に従って各居住者の組み合わせとして世帯を表現する。

表5-1 居住者行為生成モデルで考慮する世帯構成員の属性

大分類	説明および小分類
勤め人男性 (14区分) 勤め人女性 (28区分)	20歳～44歳の独身, 45歳から65歳の独身, 同親と同居する人, 未就学児の子供を持つ人, 小・中・高校生の子供を持つ人, 18歳以上の未婚の子供を持つ人, それ以外の子供を持たない人の区分を考慮。これらの各区分について男性では①午前, 午後に勤務時間を持つ人, ②昼から深夜にかけて勤務する人, 女性では男性と同じ2類型のほか, ③午前中のみパートタイム勤務の人, 午後のみパートタイム勤務の人の区分を用意した。
家庭主婦	20歳から65歳の家庭主婦。年齢, 同居している子供の有無・年齢により次の5類型を作成:①45歳未満で子供のいない主婦, ②45歳以上で子供のいない主婦, ③小学生未満の子供を持つ主婦, ④小学生以上, 高校生未満の子供を持つ主婦, ⑤18歳以上の子供を持つ主婦
生徒・学生	性別および小学生, 中学生, 高校生, 大学生・専門学校生・大学院生の4区分による8区分
高齢男性・女性	65歳以上の男性, 女性。一人暮らしと家族暮らしを区分し計4区分を考慮。

モデルでは毎日定型的に行う睡眠、食事、仕事、入浴をルーチン行為とし、それ以外を非ルーチン行為とする。まずルーチン行為を24時間の枠へ配置し、ルーチン行為間の空白を非ルーチン行為で埋めるアルゴリズムを採用している。ルーチン行為はその開始時刻、終了時刻、継続時間数の頻度分布に基づいてランダムに生成する。ただし、食事、入浴については世帯構成員間の相互作用を考慮している。非ルーチン行為の配置は、まず対象タイムステップにおける実施行為の比率、空きタイムステップ数、行為別行為継続時間数の確率分布の3つのデータを用いて当該タイムステップにおける行為を決定する。次に当該行為の継続時間を継続時間数の確率分布によって決定する。この操作を一日の最後に行われるルーチン行為開始時刻まで繰り返す。ここまでの操作を計算対象日分繰り返し、生活行為の時系列データを得る。行為の生成に使用される統計情報は表5-1の区分別、平日・休日別に用意した。ここでは前述の社会生活基本調査で得られた個票を表中の属性別に分類し、区分別に行為生成の統計情報を生成した。これにより人の属性、曜日の特性などを反映した生活行為のデータを生成することができる。現在、本モデルの精度検証を

実施している。

時系列電力需要予測精度の検証として、スマートメータにより計測された電力需要と本モデルによる時系列電力需要予測結果の比較を行った(Taniguchi et al., 2016)^{発行済論文¹⁴⁾}。ここで使用したスマートメータ計測データは、関西電力管内に住むオール電化でない1237世帯の平均電力需要データ(時間解像度は1時間)である。計測期間は2012年6月1日～10月31日である。

図5-1に10月(中間期)および7月(冷房期)の代表週における時系列電力需要を示す。シミュレーション結果(図中の面グラフ)は「未特定分」という項目を含めたものを示している。この項目を含めない場合、中間期の電力需要の変動はよく再現できているものの、計測データとの間に一定した乖離が見られた。この乖離の原因として、24時間換気システムの普及率を過小に設定していること、微小な機器の電力消費(携帯電話の充電やインターネット関連機器など)が考慮できていないこと、エネルギー多消費型世帯を考慮できていないことが考えられる。この乖離を埋めるため、未特定分として約70 W/世帯を追加した。

未特定分を追加したことにより、中間期のシミュレーション結果は平日、休日ともに計測データとよく一致している。また、夏期のシミュレーション結果については、外気温の上昇に伴うピーク需要の増加の様子を再現できている。ただし、特に外気温が高くなる時(図中の7月27日～29日)におけるピーク需要が実態よりも過小に推計されること、休日の午後の需要が過小に推計されることが課題である。H28年度以降、冷房操作や居住者行動に関してさらなる検討を行い、これを改善していく予定である。

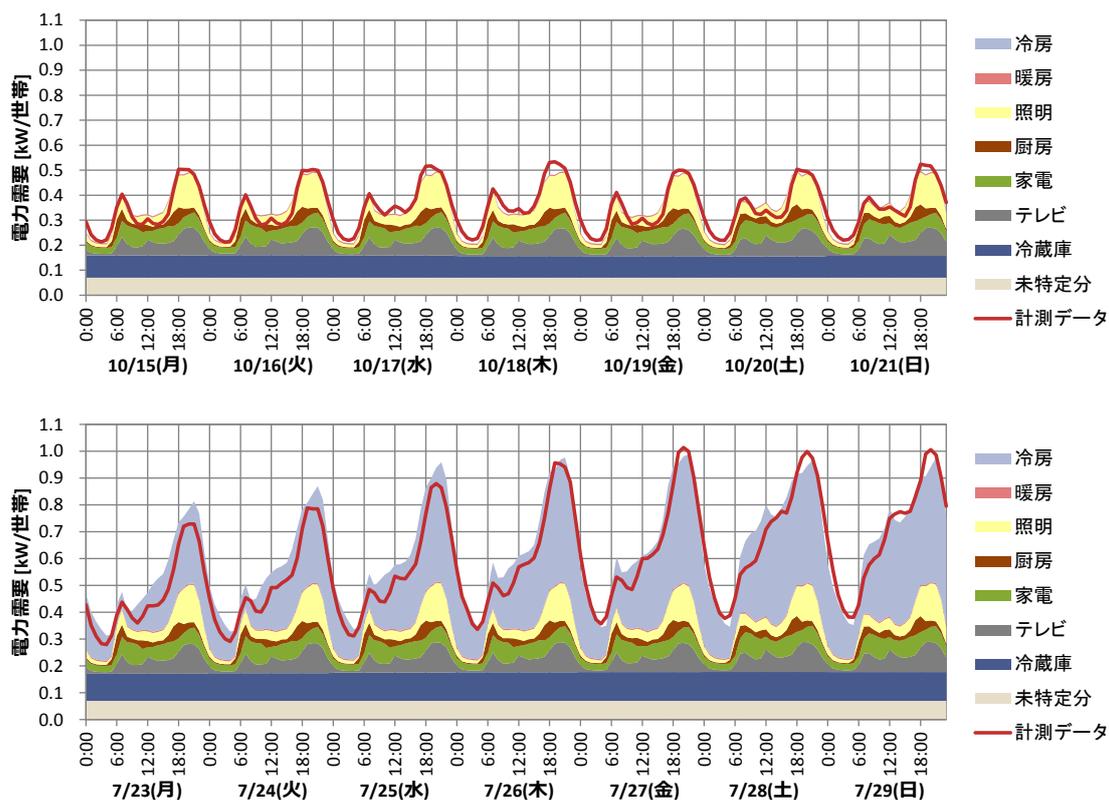


図5-1 時系列電力需要予測結果と計測データとの比較(上:10月、下:7月)

エネルギー需要決定要因に関するデータベース開発として、H27年度は以下の内容を実施した。

- 本モデルの入力条件として使用する暖房機器採用率(暖房機器の熱源、暖房方式別の採用率)および給湯器採用率(給湯器の熱源別の採用率)に関して、本モデルの計算対象を日本全国に拡張できるようデータベース化を行った。これらのパラメータについては、マイボイスコム株式会社によるアンケート調査のローデータを分析することにより、全国8地域別・住宅形式別・世帯人数別にデータベースを作成した。
- 給湯熱需要の予測に用いる湯はりの頻度について、インターネット調査会社を通じてWEBアンケート調査を実施した。調査対象は自宅の浴室に浴槽のある全国の20～69歳の男女とした。設問は、季節別の湯はりの頻度に関する項目に加え、回答者の世帯属性(居住地域、家族構成、住宅形式および所有、住宅の築年数、給湯器の熱源等)についても項目を設けた。H28年度以降、湯はりの頻度と世帯属性との相関関係を分析するなどより詳細な分析を行い、シミュレーションモデルの入力条件として使用できるようデータベース化する予定である。

(4) 業務施設エネルギー需要のモデル開発

業務施設についても住宅と同様にエネルギー需要の決定要因を挙げ、ストックにおけるその分布を調査したうえで、図5-2に示す手順でエネルギー需要を推計するモデルを開発する。このモデルでは、エネルギー需要決定要因を建築仕様、建築設備仕様、建物・フロアの使われ方とし、それぞれについてストック全体をカバーするようにデータベースを開発するとともに、各要因の組み合わせによってストックを類型化する。次に、類型別に対象とする類型を代表する業務建築を想定し、具体的な数値パラメータによって記述する。これを代表建物モデルと呼ぶ。次に、代表建物モデルを入力条件としてエネルギー需要の推計を行い、得られたエネルギー需要データを延床面積で原単位化する。エネルギー需要の推計にはアメリカDOEで開発されたEnergyPlusを使用する。最後に、エネルギー需要の原単位と類型別の延床面積を関和し、対象ストック全体のエネルギー需要を推計する。H27年度は建築設備仕様についての調査を行い、各モデルの開発過程に対応して次の内容を実施した。

- 新築、あるいは、大規模改修された業務施設の建築設備仕様をとりまとめた竣工設備データを分析し、建築設備仕様を整理するための枠組みを提案するとともに、建築設備の採用状況のデータベースの開発、経年変化の分析を行った。
- オフィスビルを対象として代表建物モデルの設計を行った。
- 多様な業務施設をモデル上で再現できるようにEnergyPlusの入力条件についての調査を行った。

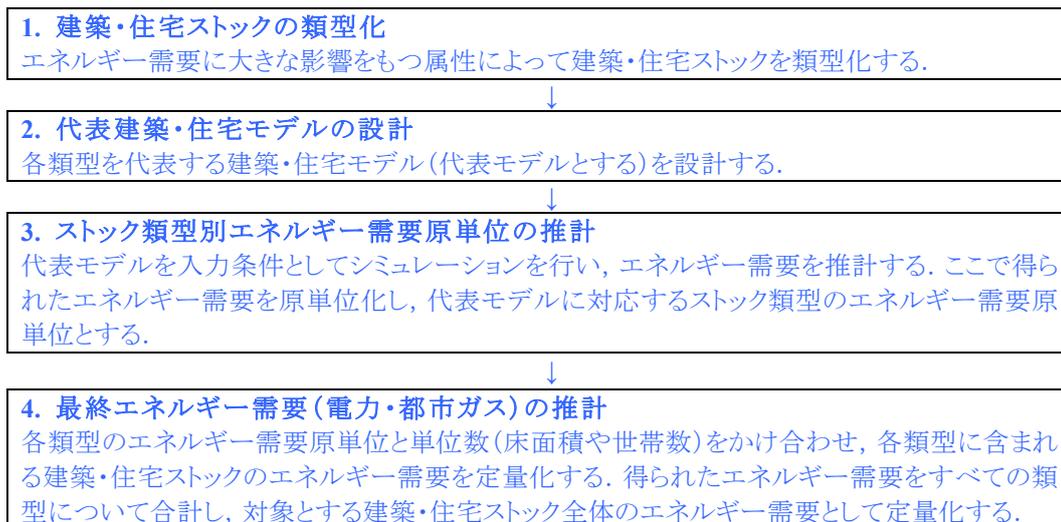


図5-2 業務施設エネルギー需要モデルの開発手順

(5) 気象科学とエネルギー需要科学の関係性に関する初期的検討

エネルギー需要が決定される過程における気象条件の影響を分析した。ここでは物理的に計算可能な建物への熱負荷をはじめ、気温の上昇に伴う外出の減少などの行動の変容を含むこととした。以下では、住宅の分電盤で計測された電力消費データから気象条件による行動変容を分析した結果と、分析結果をエネルギー需要モデル上で再現し、気象条件がエネルギー需要に及ぼす影響を定量的に評価した結果を報告する。

住宅の電力消費は、居住者の機器操作に起因する電力消費(以下、稼働時電力消費と呼ぶ)と居住者の行為に関係なく常に発生する電力消費(以下、ベース電力と呼ぶ)の2つに分離することができる(伴場ほか, 2016)^{未発行論文3)}。本研究では1分間隔で住宅の分電盤回路単位で計測された電力消費データから両者を分離し、回路に接続されている部屋や機器の利用の有無を判定した。ここでは、部屋・機器が稼働していないと考えられる時間帯の電力消費データ(ベース電力のみが観測されている状態)を回路別に教師データとして抽出し、教師データに基づいて回路の稼働判定を行った。判定では、抽出するスタート地点と幅を変えて教師データの一部を多数抽出し、これをシーケンスデータと呼ぶ。一つ一つのシーケンスデータについて、シーケンスデータ長での時系列データの差異を対象データの全タイムステップで算出し、差異の合計値が閾値よりも小さければ検出された区間では対象回路が非稼働の状態にあるものと判定し、検出されなかった区間を回路が稼働状態にあるものと判定した。稼働時電力消費が観測されている場合に回路が稼働状態にあるものとし、この結果を部屋別に集計し、一つの回路でも稼働状態である場合居住者が在室していると判定した。本手法を同一の集合住宅に居住する144世帯に適用し、在室状況と外気温、天候の関係性を分析した。得られた結果は次のとおりである。

- 在宅状況と外気温の間に明確な相関関係を観測することはできなかった。
- 居住者は平日より休日の方が昼間の在宅・在室率が高く、より多くの機器を使用している。
- 雨天時は在宅率が増加する。このように天候により部屋の稼働状況が変化するが、部屋の使用に伴う消費電力は大きく変化しない。
- 居住者在室時の電力消費は気象要因による影響を受け、冬期ほど高くなる。この原因として加熱サービスを行う機器の利用が考えられる。
- ベース電力(居住者の行動に依存しない消費量)は季節、時刻にかかわらずほぼ一定である。

(6) 他のCRESTチームへのエネルギー需要推計結果の提供

本グループの住宅エネルギー需要予測モデルにより推計した給湯熱需要データを、東大生研(岩船)グループのヒートポンプ給湯器運用モデルに入力することによって、九州地域におけるヒートポンプ給湯器のデマンドレスポンスリソースとしての貢献を定量的に評価した。

3-2-6 需要データプラットフォーム構築に向けた分析(東大生研グループ)

(1) 研究の目的および内容

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(電気自動車を含む)に着目し、需要予測を行い、発電量予測等の気象データと併せたエネルギーマネジメントシステム最適運用等の検討を行ってきた^{誌上発表論文}(7, 4)。H27年度は、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広範な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。また阪大グループとのデータ共有も行い、すでに構築したHEMSモデルの実際のサイトへの適用を試み、ロジックの簡素化、実運用への道筋を明らかにした。

(2) H27年度の研究実施項目・概要

(a) 需要データの精査、共有方法の検討

東大生研グループは、現在までに約2000件のHEMSあるいは住宅における計測データを収集したが、通信不具合や世帯都合によるデータ欠損、協力辞退、など有効サンプルの脱落が少なからず存在する。またデータ精査を進める過程で、不足する情報や、サンプル数が不十分な属性なども明らかになってきている。H27年度はまず、エネルギーマネジメント分析の対象として信頼性および頑強性の高いHEMSデータの補強を行い、協力世帯の秘匿情報を公開することなく、他の研究チームと共有できるような基盤の構築に努めた。

① エネルギー消費を説明する因子の抽出^{誌上発表論文}

上述したHEMSデータを用いて、家庭部門におけるエネルギー消費構造の推計を試みた。電力消費と得られている属性データによる回帰モデルを作成し、寄与の高い因子抽出を行った。回帰モデルは、住宅設備、世帯属性、居住地環境、所有機器といった基本となる属性データを説明変数に用いた基本モデルと、ライフスタイル等に関するデータを説明変数に用いた追加モデルの2種類を作成した。これを、サイトA(オール電化戸建住宅)、サイトB(集合住宅)、サイトC(戸建住宅)、および全サイト(A、B、C合計)を対象として回帰を行った。説明変数と目的変数は下記のとおりである。

<説明変数>

基本モデル：住宅設備に関するものとして、床面積、空調種類(全館空調の有無、ガス灯油暖房の有無、床暖房利用の有無)、換気種類(第一種換気の有無)、給湯種類を想定した。世帯属性に関するものとして、世帯人数、6歳以下の子供の有無、70歳以上の高齢者の有無、学生(16歳～22歳)の有無、昼在宅率(申告により平日昼間の在宅割合を算定)、ペットの有無を想定した。居住地環境に関するものとして、月平均外気温度、月平均外気湿度を想定した。所有している機器の有無として、LEDリビング照明、ウォーターサーバー、2台目の冷蔵庫、加湿器、空気清浄器、電気ポット、除湿機を想定した。また、太陽光発電装置の容量も考慮した。

追加モデル：空調時間や設定温度、主テレビ視聴時間や定格消費電力量、冷蔵庫製造年度や定格消費電力量、湯はり温度、電子レンジ、食洗機、洗濯乾燥機、浴室乾燥機などの使用頻度、炊飯器の保温機能利用の有無やトイレ暖房の有無を考慮した。

<目的変数>

用途別(空調、給湯、その他家電)、季節別(冬季12月-3月、春季4月-5月、夏季6月-9月、秋季10月-11月)の月別電力消費量。分析対象によっては、さらに時間帯別(ベース、深夜増分(23-5時)、朝増分(6-9時)、昼増分(10-17時)、夜増分(18-22時))に細分した。

以上の説明変数を用いて、ステップワイズにより変数選択を行った。全サイト(A、B、C合計)の5%有意水準の変数のみを抽出した結果を示す。サイトA、B、Cすべて(740世帯)を対象として、2013年12月～2014年11月分のデータに対して回帰を行った。

基本モデルによる結果を表 1に示す。対象世帯の平均消費量は、7135kWh/年であった。これは、エネルギー統計要覧2013による日本の平均世帯消費量5155kWh/年よりも大きかった。理由として、対象世帯は2010年以降に建設された築年の浅い建物であり、床面積の大きい戸建住宅の割合やオール電化の割合が高いことが考えられる。全体として、床面積、世帯人数、未就学児の有無、平均月外気温が一年を通して有意な変数になっている。また、全館空調や電気給湯の有無が消費量に大きな影響を及ぼしている。全館空調であることにより年間1148kWhの増加となった。同様に電気給湯は1975kWhの増加となった。所有する家電として、ウォーターサーバー、2台目以上の冷蔵庫、加湿器、空気清浄機が有意になった。基本モデルによる全体消費量の説明率(自由度修正済み決定係数)は5割から6割であった。

空調の消費量の平均値は1395kWh/年であった。冷暖房に有意な変数として全館空調の有無の説明力が高い。また、ウォーターサーバー、加湿器、空気清浄機の所有も説明力が高かった。室温のみならず、湿度や乾燥対策などでより快適な生活空間を維持していると考えられる。暖房のみに有意な変数として、集合住宅かどうか消費量減少に有意な変数になっている。集合住宅の場合、戸建て住宅と比べて外気に面している部分が小さく、空調の効率がよいと考えられる。一方電気給湯器の保有や高齢者は、消費量増加の要因となっている。電気給湯器を保有している世帯はオール電化であるため、空調はすべて電気で行い、ガスや灯油で暖房していないことから、おのずと空調の消費量は大きくなると考えられる。高齢者は、暖房の時期には在宅率が高くなると推察される。冷房のみに有意な変数として、床面積、世帯人数、昼間の在宅率は消費量減少に、未就学児、学生は消費量増加に影響を与えている。

給湯は、世帯人数が有意な変数であるが、未就学児がいることで給湯需要がマイナスとなる傾向にある。家電は世帯人数、全館空調の有無、電気給湯の有無が有意な変数となっている。また、冷蔵庫を2台所有しているかどうかも有意となる。自由度修正済み決定係数は、各サイト単独で回帰した時よりも、全サイトを対象として回帰した方が大きかった。家電で約4割、空調で約3割、給湯で約6割であった。

追加モデルの結果は表 2のとおりである。空調は、空調時間の他に、ペットの有無が有意な変数となっている。対象世帯へのアンケートでも、「ペットがいるので空調はつけっぱなし」と回答して

いる世帯があり、外出時であっても、ペットのために快適な空間を保てるようにしていることが予想される。給湯は、湯はり温度・頻度の他に、乾燥機や食洗機、冬のトイレの暖房も説明力が高い。家電は、食洗機、乾燥機、浴室乾燥機、テレビといった機器の利用回数が影響を与えている。全体としても、乾燥機や浴室乾燥機の説明力が高い。決定係数は、家電で約3割、空調で約2-4割、給湯で約5割であった。各サイト単独で回帰した時よりも、全サイトを対象として回帰した方がサンプル数も多くなり、決定係数は大きくなった。

表 3は、季節別消費量の変化率をパネル回帰した際の有意な変数を示したものである。電気給湯、全館空調の有無が有意になっている。集合住宅かどうかやサイトの違いも大きな影響を与えている。

表 1 全サイトにおける季節別用途別の電力消費量の回帰結果
(標準偏回帰係数) - 基本モデル (対象740世帯)

		家電				空調				[kWh/日]
		冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	
住宅設備	集合住宅	1.00**	0.66*		1.15***	-1.80***	-0.66***	-0.50**	-0.69***	
	床面積 [m ²]	0.06***	0.03***	0.03***	0.04***	0.01**		0.02***		
	主空調が電気以外			0.45*		-2.09***	-0.56***		-0.37*	
	全館空調	1.10***	1.78***	1.35***	1.70***	5.87***	0.55***	0.66***	0.57***	
	電気給湯 サイIC	1.56***	1.30***	0.87***	1.03***	1.99***				
			-0.66***		-1.41***	-0.51***	-0.78***	-0.49***		
世帯	世帯人数 [人]	1.72***	1.12***	1.16***	1.27***			0.26***	0.10*	
	未就学児有	-1.04***	-0.41*	-0.38**	-0.53**			-0.49***		
	学生有	-1.55***				0.95**		-0.48**	-0.44**	
	70歳以上有 昼間在宅有			0.63**		1.06***		0.23**		
環境	月平均外気温度 [°C]	-0.23***	-0.11***	0.14***	-0.13***	-0.29***	-0.23***	0.35***	-0.10***	
	月平均外気湿度 [%]					0.04**	0.05***	0.06***	0.04***	
機器	リビング照明がLED	-0.78***	-0.37*							
	ウォーターサーバー	0.78*	1.24***	1.55***	1.65***	1.44***	0.39**	1.06***	0.40*	
	冷蔵庫2台目	2.12***	2.52***	2.78***	2.14***	-0.98**		-0.42**		
	加湿器		0.56***	0.58***	0.44**	1.14***	0.34***	0.53***	0.38***	
	空気清浄器	1.02***	0.55***	0.36**	0.38*	0.92***				
	電気ポット		0.32*			0.37**				
平均需要 [kWh/日]	13.6	11.1	11.2	11.4	7.7	1.1	2.5	1.4		
サンプルサイズ	2,742	1,360	2,709	1,364	2,745	1,359	2,709	1,363		
調整済みR2	35%	41%	42%	41%	46%	27%	20%	18%		

		給湯				全体				平均
		冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	
住宅設備	集合住宅	-1.97***	-0.71***		-0.70***	-2.64***				0.28
	床面積 [m ²]	0.01***	0.01***	0.005***	0.007***	0.08***	0.04***	0.06***	0.05***	112.98
	主空調が電気以外	-0.62***	-0.44**	-0.40***	-0.63***	-2.17***			-1.31***	0.12
	全館空調	-0.86***	-0.62***	-0.31***	-0.55***	6.09***	1.68***	1.67***	1.71***	0.41
	電気給湯 サイIC	5.43***	3.49***	1.73***	3.17***	8.96***	4.81***	2.67***	4.44***	0.82
	-2.61***	-1.76***	-1.05***	-1.83***	-4.12***	-2.48***	-2.49***	-2.70***	0.18	
世帯	世帯人数 [人]	0.59***	0.46***	0.20***	0.39***	2.33***	1.55***	1.62***	1.73***	3.35
	未就学児有	-0.74***	-0.51***	-0.23***	-0.43***	-1.52***	-0.97***	-1.18***	-1.05***	0.49
	学生有	0.46**						-0.71*		0.09
	70歳以上有 昼間在宅有	-0.35*			-0.30*	1.20*				0.08
									0.65	
環境	月平均外気温度 [°C]	-0.27***	-0.19***	-0.12***	-0.18***	-0.71***	-0.53***	0.65***	-0.56***	14.66
	月平均外気湿度 [%]	-0.04***	-0.03***	-0.01***	-0.04***			0.07***		67.53
機器	リビング照明がLED			0.07*		-0.59*				0.62
	ウォーターサーバー			0.14*		2.18***	1.74***	2.71***	2.35***	0.05
	冷蔵庫2台目	1.10***	0.36**	0.33***		2.20***	2.69***	2.67***	2.13***	0.06
	加湿器	0.31***	0.23**	0.10***	0.21**	1.75***	1.15***	1.20***	1.02***	0.31
	空気清浄器	0.31***	0.28***	0.09**	0.18**	2.27***	0.90***	0.56***	0.72**	0.27
	電気ポット									0.50
平均需要 [kWh/日]	5.9	3.6	1.8	3.3	27.2	15.8	15.6	16.1		
サンプルサイズ	2,740	1,358	2,709	1,361	2,745	1,361	2,714	1,364		
調整済みR2	60%	59%	53%	60%	59%	55%	49%	54%		

表 2 全サイトにおける季節別用途別の電力消費量の回帰結果
(標準偏回帰係数) - 追加モデル (対象約300世帯)

		家電				空調				[kWh/日]
		冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	
その他	ペット有					2.503***	0.641***		0.772***	
	一日当たり暖房時間	0.075*				0.318***	0.043***	0.040**	0.073***	
	一日当たり冷房時間	-0.063*				0.056*	0.022*	0.113***	0.027*	
	主テレビ視聴時間	0.127**	0.099**	0.089**	0.120**			-0.060**	-0.054**	
	主テレビ定格消費電力量 [kWh/年]	0.019***	0.014***	0.018***	0.016***			-0.002**		
	冷蔵庫製造年度				-0.072**			-0.032*	-0.042*	
	炊飯器保温利用有	0.577***			0.302**	0.370**				
	食洗機使用頻度	0.705**	0.707**	0.934***				0.350**		
	乾燥頻度	1.708***	1.900***	1.232***	1.591***					
	浴室乾燥機頻度	1.770***	0.949**	1.162***	1.410***	1.514***				
	トイレ暖房					0.798***				
	湯はり頻度夏					1.162***		0.568***		
湯はり温度夏	0.117**	0.082**	0.079***	0.079*						
平均需要 [kWh/日]	14.0	11.2	11.4	11.5	7.4	1.1	2.5	1.3		
サンプルサイズ	1,191	590	1,164	581	1,192	590	1,162	580		
調整済みR2	25%	30%	32%	31%	46%	19%	20%	19%		

		給湯				全体				平均
		冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	
その他	ペット有			-0.153*		1.703**				0.11
	一日当たり暖房時間					0.400***		0.068*	0.130***	9.16
	一日当たり冷房時間							0.104***		8.84
	主テレビ視聴時間		0.045**	0.024**			0.115*			6.82
	主テレビ定格消費電力量 [kWh/年]	-0.002*				0.016***	0.010***	0.020***	0.015***	157.28
	冷蔵庫製造年度							-0.112**		2008.09
	炊飯器保温利用有					0.787**		0.433**		0.48
	食洗機使用頻度	0.463***				1.578***	0.983**	1.315***	0.915**	0.61
	乾燥頻度	0.484**		0.322***	0.341*	1.911***	2.003***	1.472***	1.958***	0.18
	浴室乾燥機頻度					3.101***		1.440***	1.560**	0.16
	トイレ暖房	0.456**				1.653***				0.33
	湯はり頻度夏	-0.916***		-0.337*				1.010**		0.53
湯はり温度夏		0.043**	0.032***	0.031*	0.204***	0.117**	0.083**	0.100*	38.95	
平均需要 [kWh/日]	5.8	3.4	1.8	3.1	27.2	15.7	15.6	16.0		
サンプルサイズ	1,190	588	1,163	579	1,192	590	1,165	581		
調整済みR2	49%	50%	47%	53%	52%	40%	37%	41%		

表 3 全サイトにおける季節別電力消費変化率の回帰結果 (標準偏回帰係数)

		全体						全体			
		冬	春	夏	秋			冬	春	夏	秋
住宅設備	集合住宅	-19.5%***	-7.8%**	-7.0%***	-7.9%**	その他	ペット有	0.1%*			
	床面積 [m ²]	8.5%***	7.7%***	9.5%***	9.0%***		一日当たり暖房時間	0.1%***			0.1%*
	主空調が電気以外	-17.4%***	-7.1%**		-11.9%***		一日当たり冷房時間	0.1%*		0.1%***	
	全館空調	21.1%***	11.4%***	12.1%***	11.1%***		主テレビ視聴時間	0.1%**	0.1%**	0.1%**	0.1%*
	電気給湯	51.8%***	42.7%***	23.7%***	37.4%***		主テレビ定格消費電力量 [kWh/年]	0.1%***	0.1%***	0.2%***	0.1%***
	サイハ	-13.3%***	-13.0%***	-12.5%***	-14.4%***		冷蔵庫製造年度				-0.1%***
	炊飯器保温利用有						0.1%*			0.0%*	
	食洗機使用頻度						0.2%***	0.2%***	0.2%***	0.2%***	0.2%***
世帯	世帯人数 [人]	9.8%***	10.8%***	11.3%***	11.6%***	乾燥頻度	0.4%***	0.3%***	0.3%***	0.3%***	
	未就学児有	-3.4%**	-3.7%**	-4.0%***	-3.4%**	浴室乾燥機頻度	0.1%*	0.3%***	0.2%***	0.3%***	
環境	学生有	4.6%**				トイレ暖房	0.3%***	0.2%**	0.2%***	0.2%***	
	70歳以上有					湯はり頻度夏	0.2%***				
機器	風間在宅有					湯はり温度夏			0.2%***		
	リビング照明がLED	-3.4%***	-3.1%**	-2.5%***	-2.8%**						
調整済みR2	ウォーターサーバー	8.8%***	11.5%***	15.2%***	14.5%***	平均変化率	6.9	6.4	6.4	6.4	
	冷蔵庫2台目	5.4%**	11.1%***	11.0%***	8.3%**	サンプルサイズ	1,192	590	1,165	581	
	加湿器	7.3%***	7.5%***	8.3%***	7.1%***	調整済みR2	58%	46%	42%	48%	
	空気清浄器	11.0%***	7.1%***	5.0%***	5.5%***						
電気ポット											

② 時間帯別消費量に寄与の高い変数

全サイト合計に対して、冬季と夏季の時間帯別(ベース、深夜増分(23-5時)、朝増分(6-9時)、昼増分(10-17時)、夜増分(18-22時))の消費量に有意な変数を分析した結果を示す。図1は統計的有意性が1%未満となった変数の変化率である。世帯人数、床面積は両季節、全時間帯を通して消費量に影響を及ぼしている。平日日中の在宅率の影響は小さかった。夏の外気温は、日中(10-17時)の消費量に最も有意な変数になっている。電気給湯は安価な夜間電力を使用することから、深夜(23-5時)の消費量に大きな影響を与えている。集合住宅や主暖房に電気を使用しない世帯の消費量は、冬季において世帯平均よりも20%少なくなっている。ベースの消費量に有意な変数としてサイトCかどうかや、全館空調、高齢者の有無、ウォーターサーバーや2台以上の冷蔵庫の所有がある。

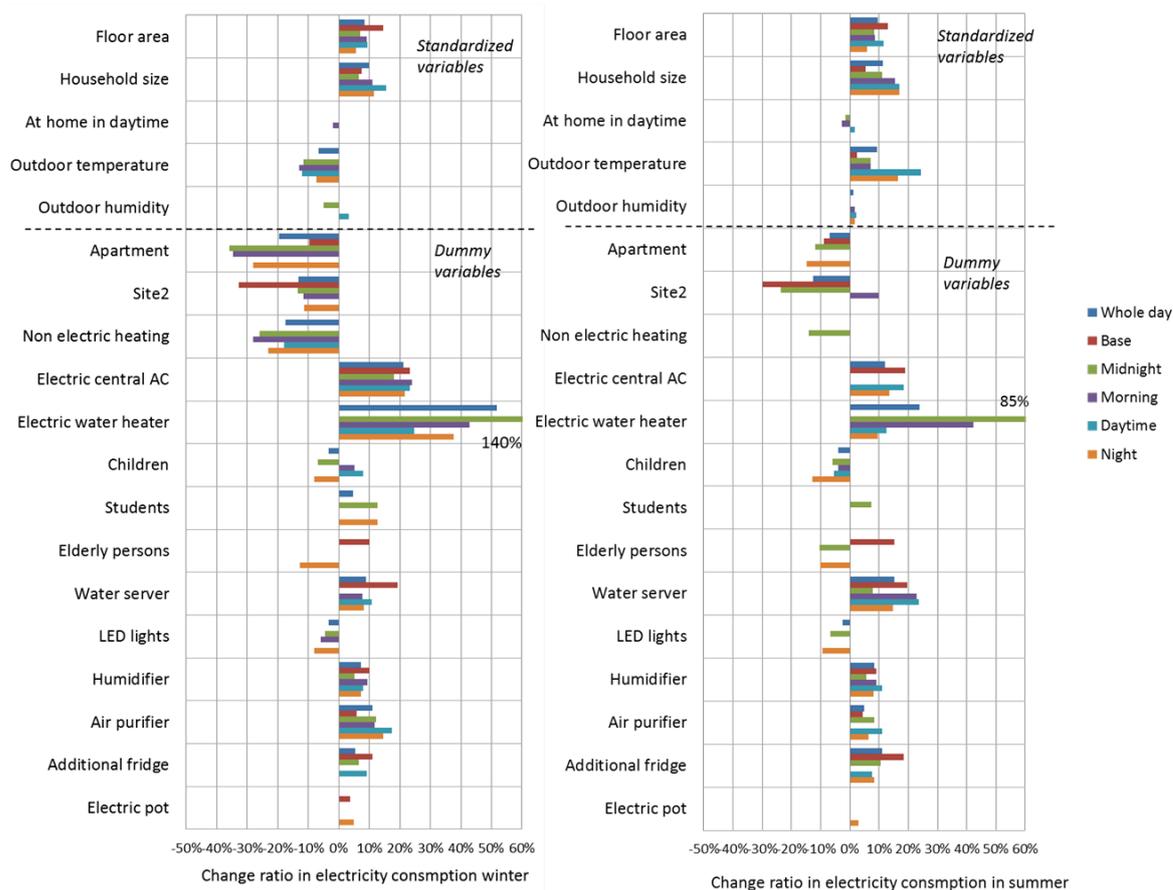


図1 全サイトにおける冬季・夏季の時間帯別の電力消費量の回帰結果

(b) HEMSによるデマンドレスポンス (DR) ポテンシャルの抽出

需要の精査により、要求される利用可能時間、応答速度などに対応する、HEMSによるDRポテンシャルを推計することが可能となる。また、DRポテンシャルの利用制約の一つとして、それを受け入れる消費者の行動がある。消費者がどのように行動するかによって、利用可能DRポテンシャルも異なってくる。よって消費者が実際にどの程度制御を受容するか、どの程度行動を変容するか、そのためのコミュニケーションには、どのような方法があるかなどの点を捕捉することを目的としたフィールド実験を行った。

デマンドレスポンスの手段としては、自動DR(以下、ADR)と手動DR(以下、MDR)がある。まずADRは、人を介さずDRを実施できるが、HEMSなどの制御装置が必要となってくるため、消費者が負担する費用が導入障壁となっている。それに対してMDRはDRシグナルに対して消費者側が手動で家電や住設機器を操作することによって負荷制御を行う。ADRと違って制御設備が不要であるため、設備投資がかからないというメリットがあるが、ADRと比べて負荷制御の確実性が低い(図2参照)。

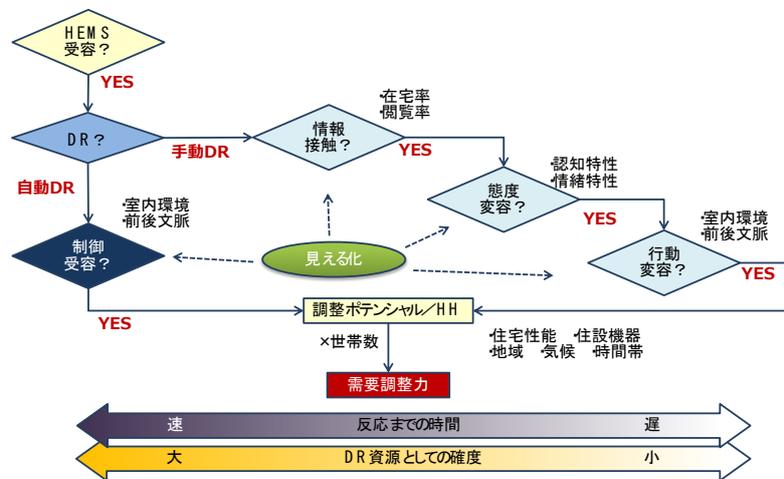


図 2 ADRとMDRの消費者受容性

デマンドレスポンスの効果を考えると、不確実性の高いMDRよりも、人を介さずDRを実施できるADRの方が確実である。しかし需要を制御されるというADRを受容してもらうことと、需要制御のためのHEMSを設置してもらうことは非常に障壁が高い。東大生研グループでは、これまでにHEMS設置や需要制御の受容性について調査を重ねてきたが、H27年度はエネルギー利用について理解してもらうとともに、普段のエネルギー消費行動を変化させるためのコミュニケーション方法(MDRにおける行動変容促進方法)について、エネルギー診断という手段を用いて検討を行った。

(b)-1 HEMSデータの収集と精査

(a)にて述べたように、東大生研グループでは、HEMSサービス提供事業者の協力により、HEMSデータを収集している。これらは、新築住宅にHEMSを設置して1年以上経つ世帯に対して、調査協力を依頼し、HEMSデータの収集と定期的な質問紙調査に同意してもらっているものである。本

章では、このうちの3社の協力世帯607世帯に対してエネルギー診断を実施し、エネルギー診断について質問紙調査を行った結果について報告する。調査対象世帯の概要について表 4に示すが、サイトAとサイトBが戸建住宅で、サイトCが集合住宅である。また調査対象世帯のデモグラフィック属性を図 3に示す。

表 4 調査対象世帯の概要

対象	サイトA	戸建住宅, 全電化, PV設置	
	サイトB	戸建住宅, 全電化/ガス併用	
サイトC	集合住宅, 全電化/ガス併用		
		質問紙回収	診断送付
世帯数	サイトA	302 (94%)	321
	サイトB	117 (94%)	124
	サイトC	128 (78%)	162
	合計	547 (90%)	607

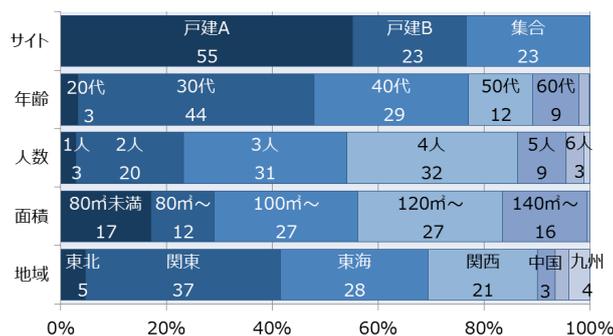


図 3 調査対象世帯の属性

調査対象である3つのサイト別にその特徴をみると、サイトAは戸建の全電化住宅で、居住地域は、関東・東海・関西に偏っており、延床面積はほとんどが100㎡以上で比較的大きい住宅である。延床面積に伴い世帯人数は3~4人と多めである。サイトBも戸建住宅で、全電化住宅が約67%、それ以外がガス併用住宅である。居住地域は関東・東海に偏っており、延床面積はサイトA同様にほとんどが100㎡以上で、世帯人数が3~4人である。サイトCは集合住宅で、全電化住宅が約48%、居住地域の90%近くが関東である。集合住宅であるため、延床面積はほとんどが90㎡以下で、世帯人数は2~3人と、上記のサイトA・Bに比較すると小さくなっている。またすべてのサイトに共通して、築浅住宅なので世帯主が30~40代と若い世帯に偏っている。

(b)-2 HEMSデータを用いたエネルギー診断の実施 (口頭発表論文ア)~エ)

①エネルギー診断の内容

既設のHEMSデータから回路別用途別の分析結果に基づいて自動的に世帯別診断項目を抽出するアルゴリズムを構築した (口頭発表論文ア)。それらを用いて、世帯ごとの時間別・季節別の電力消費プロファイル、他世帯との比較、項目別診断コメントからなる診断書を作成した。診断ロジックに基づき作成したエネルギー診断書を各協力世帯について作成し郵送した。診断の概要を表 5に示すが、郵送した診断書の内容は、①用途別年間電力消費量の類似世帯との比較、②各世帯の年間月別回路別電力消費量と類似世帯の年間月別電力消費量との比較、③各世帯の夏の時間

別回路別電力消費量と類似世帯の時間別電力消費量との比較、④各世帯の主空調(冷房用途)の使用時間と電力消費の関係、⑤各世帯の主空調を最もよく使う一週間の使用パターンと外気温との関係、⑥各世帯の特徴に応じたアドバイス、の6つの部分からなり、A4サイズ用の紙1枚の両面に印刷の上、最初に各協力世帯の世帯主の名前を記述し、各戸個別のエネルギー診断内容であることを強調して配付した。

表 5 エネルギー診断書の概要

時期	診断送付	2015年7月28日～7月29日
	調査票回収	2015年8月 3日～9月 4日
送付内容		
診断書	①用途別年間電力消費量の類似世帯との比較	
	②各世帯の年間の月別回路別電力消費量と類似世帯の月別電力消費量との比較	
	③各世帯の夏の時間別回路別電力消費量と類似世帯の時間別電力消費量との比較	
	④各世帯の主空調(冷房用途)の使用時間と電力消費の関係	
	⑤各世帯の主空調(冷房用途)を最もよく使う1週間の使用パターンと外気温との関係	
	⑥各世帯の特徴に応じたアドバイス	
資料	夏の省エネ行動に関する資料	
	・冷蔵庫の省エネ方法(設定温度, 設置スペース, 庫内確認など) ・冷房の省エネ方法(日射の制御, 通風の工夫など)	
調査票	・IHL [®] -診断書の内容に関する設問	
	Q1:新規性, Q2:興味・関心, Q3:価値, Q4:信頼性, Q5:理解度, Q6:行動意図 ・普段のHEMS利用に関する設問 Q7:使用頻度, Q8:使用感, Q9:価値, Q10:行動意図	

東大生研グループでは、HEMS設置世帯とのコミュニケーションツールとしてエネルギー診断を繰り返してきており、前回のエネルギー診断内容^{口頭発表論文¹⁾}と異なる点は、夏期の消費量について主に訴求したことと、類似世帯との比較項目を増やしたこと、などがある。また診断書の他に、夏の省エネにつながる具体的な行動について、A4サイズの用紙1枚の両面に記述した資料を添付した。この省エネ行動に関する資料については、診断部分とは異なり全世帯同じ内容である。診断書の送付時に同封した質問紙調査票には、診断結果に対する興味・関心や理解度などについて回答を求めるとともに、普段からのHEMS利用について、利用頻度や使用感などの回答も求めた(表 5参照)。

② エネルギー診断の結果

エネルギー診断に対する受け手の反応は、質問紙調査票を用いて、以下のような方法で測定した。エネルギー診断を送付した世帯に対して、Q1:情報の新規性(初めて知った内容であった)、Q2:興味・関心(おもしろいと思った)、Q3:診断の価値(参考になった、価値あるものだと思った)、Q4:診断の信頼性(示される内容は正確でないと思った(逆転項目))、Q5:理解しやすさ(わかりにくかった(逆転項目))、Q6:行動意図(診断をみて、普段の行動を変えてみようと思った)の各評価項目について、上述した各診断内容①～⑥それぞれを、7段階評価尺度(全くあてはまらない[1]

～とてもあてはまる[7])で回答を求めた。そしてこれらの得点を被説明変数、診断内容①～⑥を説明変数とした分散分析および多重比較を行った。各設問の得点の平均値を図 4に示す。

	診断①	診断②	診断③	診断④	診断⑤	診断⑥
Q1 新規性	5.0	5.0	5.2	5.7	6.1	5.4
Q2 興味関心	6.1	6.1	6.1	5.9	5.8	5.8
Q3 情報価値	6.2	6.0	6.0	5.8	5.6	5.9
Q4 信頼性(-)	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4
Q5 理解度(-)	1.9	1.9	2.1	2.3	2.3	1.9
Q6 行動意図	4.6	4.6	4.5	4.4	4.2	4.6

図 4 診断内容別の評価

まずQ1:新規性についてであるが、分散分析の結果、診断内容①～⑥の間に差が確認でき、診断④と⑤が、他の診断内容より新規性が高いと評価された。Q2:興味・関心についても、診断内容①～⑥の間に差が確認でき、診断①～③において興味関心が高いと評価された。Q3:情報価値についても診断内容①～⑥の間に差が確認でき、診断①が、診断④⑤より高く評価された。Q4:信頼性については診断内容の間に差が確認されなかった。Q5:理解度については、診断内容①～⑥の間に差が確認でき、診断①②がわかりやすく、診断④⑤がわかりにくいという結果であった。Q6:行動意図については、診断⑥が診断⑤より得点が高いという結果であった。

(b)-3 消費者の反応について

省エネ行動を含む環境配慮行動を促進するための訴求内容として、記述的規範や命令的規範などの社会規範評価は古くから取り上げられており、エネルギー消費行動においては、規範訴求のメッセージ内容として、エネルギー消費量を他世帯と比較して提示することが効果的であることが報告されている¹⁾。本研究で作成したエネルギー診断書においても、類似世帯との比較を用いていくつかの項目にて訴求しており、今回の診断内容において、他世帯比較を踏まえた診断内容①～③は、上述したように、新規性は低いと評価されたものの、その他の評価は全体的に高かった。

前回の冬のエネルギー診断書を送付した際にも、他世帯比較の項目についての診断受け手の評価は高かった^{口頭発表論文¹⁾}。しかしながら自由記述欄へのネガティブな書き込みが多く、比較対象や比較方法に対する批判がみられた。これはOpower社のエネルギーレポートにて、受け手は自分と他者との比較が正当であるか疑い、その比較が正当であると信じていない場合、行動変容は生じないと指摘しているように²⁾、規範評価を訴求する場合には、その比較妥当性を担保しておくことが重要という背景がある。そこで今回のエネルギー診断の際には、前回よりも比較評価対象(類似世帯)についてどのような世帯と比較しているか詳しく示すとともに、表示スペースを大きくとって目立つように記述した。ところが、今回の診断後の自由記述欄へのネガティブな書き込みは、前回より減少するどころか、さらに激しく書き込んだり書き込み量が増えたりする例がみられた。

そこで他世帯比較は、受け手によって効果が異なるという前提のもとに、他世帯比較をより効果的に実施するには、どのような人にどのように提示することが重要なのかを明らかにすることを目的

として、以下のような仮説をおいて検証を試みた(図 5参照)。まず他世帯比較の診断内容に対して自由記述欄に記述される内容で多いのが、分析内容に対する中傷や批判・否定・言い逃れなどで、そのようなネガティブな反応は、自らの消費量が多いと評価された場合に多い傾向がみられた。そこで、「他世帯比較にて類似世帯より電力消費量が多いと診断された世帯の方が、診断内容に対する評価(新規性・信頼性・理解度)は低い(H1~H3)」という仮説を置いた。また、そのようなネガティブな書き込みをしている例では、その根拠がなかったり、診断をよく読んでいない、診断を理解できていない、内容を勘違いしているなどで、普段からHEMSの情報に接したり、利用していない傾向が感じられた。そこで、「普段からHEMSを利用しており、HEMSに対する評価が高い世帯の方が診断内容に対する評価は高い(H4~H6)」という仮説をおいた。そして、「診断内容に対する評価が高ければ、診断内容に価値があると判断し(H7~H9)」、「診断内容に価値があると判断すれば、普段の行動を変えてみようという行動意図が高まる(H10)」という仮説をおいて検証を試みた。

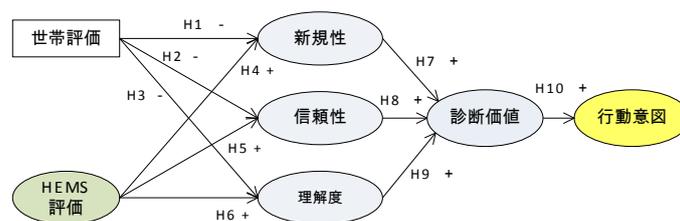


図 5 仮説モデル

仮説としておいたモデル(図 5)の各指標の特定化を行った。まず、世帯比較を用いて診断を実施しているのは、診断内容①~③であるため、診断内容のうち①~③の部分で仮説検証の対象とした。診断における世帯比較評価(類似世帯より電力消費量が多いと判断されたかどうか)は、「あなたの世帯は、類似世帯と比較して年間で〇.〇倍です」という診断部分で提示した数値を用いた。新規性については診断内容①~③それぞれにおける設問「Q1:初めて知った内容であった」を用いた。信頼性についても同じく診断内容①~③それぞれにおける設問「Q4:示される内容は正確であると思った」を、理解度についてはQ5、診断価値についてはQ3、行動意図についてはQ6の各設問に対する回答を用いた。HEMS評価については、「HEMSは自分にとって必要である」「HEMSを今後も利用し続けたいと思う」「人にHEMSの利用を勧めたいと思う」「次に住宅を購入することがあれば再び利用したいと思う」の4つの設問を用いた。

各構成概念が1因子に集約されることなどを確認して特定化し、仮説としておいたモデルに対し共分散構造分析を行った。その結果を図 6に示す。モデルの適合度は一般に望ましいとされている程度の値を複数の指標で示しており、図中の実線は0.5%水準以上で有意になったパスを、点線は有意にならなかったパスを示す。

まず、世帯評価から信頼性および理解度へのパスは支持されたが、新規性へのパスは棄却された。すなわち、他世帯比較にて類似世帯より電力消費量が多いと診断された世帯の方が、診断内容に対する信頼性は低く、理解もできないと回答しているということが確認された。次にHEMS評価から新規性、信頼性、理解度へのパスは、すべて支持される結果となった。これはHEMSを普段から利用しておりHEMS利用に対する評価が高い世帯においては、診断内容に対して新規性がある

と感じ、信頼性も高く、内容も理解できると回答しているということが示されたと言える。また診断内容に対する新規性や信頼性、理解度が高いほど診断に価値があると判断し、診断に価値があると判断すれば、診断内容に基づき行動しようと思うと回答していることも示された。

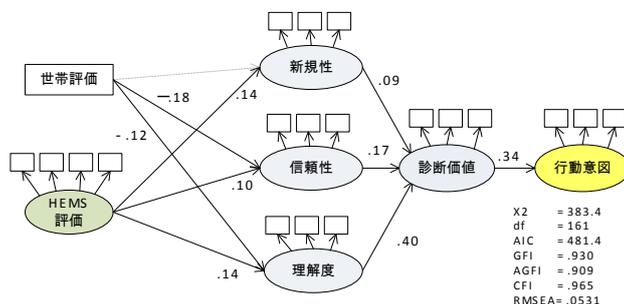


図 6 仮説モデルの検証結果

(b)-4 消費者とのHEMSを用いたコミュニケーションについて

前回の冬のエネルギー診断を実施した際に、各世帯のHEMSで計測された値を用いた診断内容であるのに対して、その内容を信頼できないという回答が多数聴かれた。また他世帯比較は効果があることが先行研究では示されており、実際に全体での回答では、他世帯比較の評価は高いにも関わらず、批判的な回答も多かった。そこで診断内容と診断受け手との関係性を明らかにすることを目的として、探索的な調査を行った。その結果は、エネルギー診断にて自分の世帯の電力消費量が、類似世帯より多いと判断されるほど、その診断内容の信頼性は低いと感じ、内容も理解しにくいと回答していることが明らかとなった。これは健康行動の分野で報告されているように、健康診断時に悪い結果が提示されると、認知的不協和が生じ、行動を変えるのではなく、その診断結果が違うであるとか、大した内容ではない等と自分の考えを変える、といった事例に似ている。先行研究では、類似世帯より少ないと評価された場合エネルギー消費量が増加すると言われているが¹⁾、類似世帯より多いと評価された世帯においても、診断内容に素直に同意して行動変容しない可能性があることが示されたと言える。多消費世帯において行動変容してもらおう方が、削減される電力消費量が大きくDR資源としての価値が高い。診断結果を拒絶するような世帯に対して、どうコミュニケーションを図っていくかについての検討が重要だと思われる。

今回のエネルギー診断内容の評価として、新規性・信頼性・理解しやすさを仮定した。その結果、エネルギー診断の内容に価値があると受け手に捉えてもらうには、まず何より内容を理解してもらうということが重要で、その次に内容が妥当かどうか、信頼できるかどうか重要だということが示され、内容の目新しさ、新規性についてはさほど重要でない可能性が示された。

また今回は3つの異なるサイトに対して診断を実施しているが、一番長い間エネルギー診断を繰り返しているサイトAにおいて、エネルギー診断に対する評価が他のサイトと比較して高かった。HEMSを設置してしばらく時間が経つと、その内容に慣れや飽きが生じてしまいコミュニケーション効果が減じられることをH26年度までに報告しているが^{註上発表論文^エ}、人の行動変容には意外と時間がかかり、2年以上介入を実施しても十分な習慣化には至らないというような報告もある⁴⁾。

MDRの実施には、消費者がDRシグナル等情報に接触して、その情報を理解して行動を変更し

ようと意思決定し、さらにはそれを行動に移してもらうことが必要となる。また一時的な行動変容ではなく、習慣化して長期的に継続してもらうことが重要である。消費者がDRシグナルに対して積極的に反応するためのコミュニケーション手法について、HEMSを用いて今後も検討を続ける予定である。

(c) HEMSモデルの実運用展開

再生可能エネルギーの更なる普及拡大を目指して2012年に開始された固定価格買取制度により、全国的に太陽光発電システム(以下PVシステム)の導入が急速に進んだ。中でも日照条件の良い九州地区では、10kW以上のPVシステムの導入申込みが集中し、その規模が系統容量規模に照らして著しく過大となったため、2014年9月の時点で、いったん接続契約を中断する事態が発生した。2015年1月に無制限に発電停止を指示できる新ルールを導入し、再開したが、いまだに供給過剰の懸念が払拭されていない。このいわゆる「九電ショック」によりその後の申請件数は減ったものの、旧ルールで契約していた設備の完成が相次ぎ、2015年6月4日、正午からの1時間に管内の太陽光発電の平均出力が過去最高407万kWに達し、この時の需要1016万kWの4割に達したという。2015年9月時点で、接続検討申込みが1747万kWに達しており⁵⁾、今後も更なるPV導入量の増加、それに伴う出力抑制の可能性が見込まれる。

この問題の解決策の一つとして、需要家側の需要の調整による系統の柔軟性向上を図るデマンドレスポンス(以下DR)の導入可能性が検討されている。本稿では、家庭用ヒートポンプ給湯器(以下HP給湯器)を用いた九州電力管内のデマンドレスポンスによる系統貢献効果について定量的に評価を行う。HP給湯器の実運用データに基づくモデル化、予測・計画・運用モデルの構築、世帯属性毎の需要の多様性を考慮した評価が本研究の特徴である。

(c)-1 HP給湯器の実運用データの分析

① 給湯需要およびCOPの算定

表 6に示す7件のHP給湯器の実測データ(1年間、3分間隔)を用いて分析を行った。下記式に基づき、貯湯タンクロス、HPCOPを算定した。

- 貯湯タンクロス=HP 供給熱量-総給湯負荷
- HP 供給熱量=HP 流量×(HP 沸き上げ温度-HP 給水温度)
- 総給湯負荷=
湯はり量×(湯はり温度-給水温度)+タップ給湯量×(給湯温度-給水温度)
- HPCOP=HP 供給熱量/消費電力量

表 6 HP給湯器実測世帯

No	気候区分	世帯人員	タンク容量L	計測年	HP消費電力データ
1	6	大人2子供3	460	2013	あり
2	6	大人2子供2	370	2013	あり
3	4	大人2子供0	370	2013	あり
4	1	大人2子供0	460	2009	あり
5	8	大人2子供2	370	2012	あり
6	6	大人2子供1	370	2013	なし
7	6	大人2子供0	370	2013	なし

タップ給湯にはタンク内貯湯との熱交換により再加熱する風呂保温負荷は含まれていない。文献6)を参照して、風呂保温用負荷を総給湯負荷の7%と想定し、タンクロスを補正した。得られた結果を表 7に示す。寒冷地であるNo3、No4世帯でHPCOPが低くなっている。

表 7 HP給湯器実測データの分析

世帯No.	1	2	3	4	5	6	7
総給湯負荷 (kWh/年)	5,854	4,224	2,477	2,224	1,821	3,224	2,460
平均気温 (HP稼働時) (°C)	10.4	8.8	6.0	2.9	17.4	9.2	9.9
平均水温 (HP稼働時) (°C)	16.6	16.7	15.0	11.0	22.4	18.2	15.8
年間平均HPCOP	3.7	3.5	2.9	2.5	4.1	-	-
タンクロス (%/h)	1.1%	1.1%	2.3%	1.4%	1.8%	2.3%	2.6%
有効データ数	267	268	338	334	358	333	301

② HP給湯器COP推計式

HP給湯器の一時間ごとの運用をシミュレートするために、時間ごとに集約した計測データをもとに、HP給湯器のCOP(HPCOP)を推計する式を作成する。HPCOP推計式は、文献7)8)において、説明変数として、外気温、外気湿度、給水温度、HP入水温度、HP沸き上げ温度、給湯需要等を用いた線形近似式として得られている。今回は、利用可能なデータより、外気温、沸き上げ温度および立ち上がり時間フラグをパラメータとして線形回帰を行った。立ち上がり時間フラグは、HP供給熱量が0の状態から一定の閾値を越えた時間帯を運転開始時間帯として1を立てるものとした。給水温度も計測データには得られているが、5世帯のうち3世帯で有意水準1%と有意とならなかったため除外している。No.1-No.5世帯において、 $1 < \text{HPCOP} < 6$ となる安定した時間帯で回帰式を作成したところ、偏回帰係数は図 7のように得られた。気温は 1°C 上がると、HPCOPを0.04~0.09改善し、沸き上げ温度は 1°C 上がるとHPCOPを0.03~0.07悪化させる。立ち上がり時のHPCOP悪化への影響は、世帯により0.1~0.5と幅が大きくなっている。COPの対数値を目的変数として回帰した場合、各変数の変化率への寄与度が得られるが、その結果、気温の感度が1.2~3.3%/°C、沸き上げ温度の感度が-0.8~-1.9%/°C、立ち上がり時は3-16%低い、という結果になった。

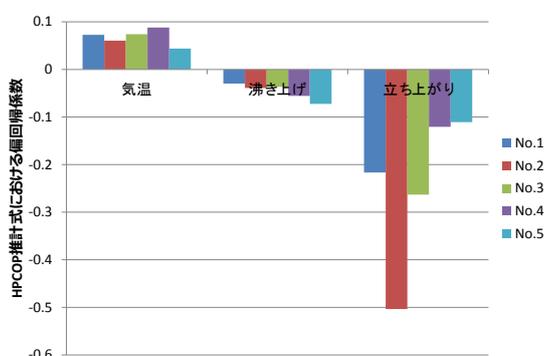


図 7 HPCOP推計式の偏回帰係数

(c)-2 HP給湯器運用モデルの構築

現在HP給湯器は、電力料金が安い深夜時間帯のうち、なるべく朝方に近い時間帯で予測された需要を満たすようお湯を沸かし、タンクに蓄熱する運転が実施されている。そして、お湯の利用によりあらかじめ設定された下限値に到達すれば、一定量の沸きましが実施される。この運用は、あくまで固定的な一定の時間帯の電力料金が安いことが前提であり、今後は、小売り自由化に伴う様々な電力料金メニューの登場、規制料金の撤廃、さらには再生可能エネルギー大規模導入時のDRシグナルへの対応等、より柔軟な運用が要求されるものと考えられる。本研究では、翌日の24時間の電気料金の最小化を目的として、給湯需要の予測、HP運転計画、さらに当日の運用を行うプロセスをモデル化した。それぞれのプロセスを以下に示す。

① 給湯需要の予測（翌日、時間別）

現状では過去1週間ほどのデータに基づいた日量予測値に、一定のマージンをのせて翌日朝までにHPを運転し、お湯を製造している。本モデルでは、前日23:00に翌日の時間別の需要を予測するものとする。予測手法としては、過去実績値の平均を用いるモデル、過去実績、気温、曜日をパラメータとする重回帰モデルを用意した。学習の時点で、過度に予測が外れたデータを除くロジックも含めている。

② 計画

翌日24時間先までのコスト最小化を目的とした最適化を行い、HPの運転時間を求める。前日23:00に実施するものとする。最適化モデルの定式化を以下に示す。

(1) 目的変数 翌日24時間コスト 最小化

(2) 制約式

・HP入出力バランス:

$$\text{HP入力}[t] \times \text{HPCOP}[t] = \text{HP出力}[t]$$

$$\text{HP出力}[t] = \text{HP運転加熱能力}(\text{運転時})$$

・貯湯タンクバランス:

$$\text{貯湯量}[t-1] \times (1 - \text{ロス}) + \text{HP出力}[t] - \text{需要}[t] = \text{貯湯量}[t]$$

・貯湯量上下限制約

ただし、

・HPCOP[t]

$$= f(\text{外気温度}, \text{想定沸き上げ温度}, \text{立ち上がりフラグ})$$

・想定沸き上げ温度 = $\text{Max}(65, \text{必要沸上湯量日量} / \text{タンク容量} + \text{前日平均水温})$

・必要沸上湯量日量 = 予測日需要 + 12時間分ロス

・運転加熱能力

－ 370Lタンク 4.5kW

－ 460Lタンク 水温、想定沸き上げ温度の設定閾値を越えたとき6kW、それ以外4.5kW

③ 運用

前日の運転計画に基づき、運転を実施する。計画でHP出力>0となる時間にHPをONするものとする。実需要、毎時気温に応じて毎時HP出力、入力を計算していき、貯湯量が下限に達した時点で、追加で沸き増しを実施する。追加沸き増しを実施する貯湯量下限を80L(50℃)、追加沸き増し量を50Lとした。

④ シミュレーション（予測結果）

表 8に示した需要の予測方法を用いて、7件の給湯需要を予測した結果を表 9に示す。なお、予測誤差の指標は、下記式の平均二乗誤差を平均給湯需要で除した%RMSEを用いている。

$$\%RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(X_{a_i} - X_{f_i} \right)^2 / \overline{X_{a_i}}}$$

X_{a_i} は毎時の実需要、 X_{f_i} は毎時予測需要であり、 $\overline{X_{a_i}}$ は X_{a_i} の平均値である。回帰も7日平均もあまり差がなく、気温や休平日を変数に入れてもあまり差はない。これは、気温に関しては前日、前々日需要データにすでにある程度織り込まれるためであり、休平日に関しては、表 9の需要と休平日フラグ(土日祭日が1)の相関係数からわかるように、休平日の需要差があまりないと考えられるためである。相対的に一日前需要との自己相関が低い世帯で、予測誤差が大きくなる傾向が見受けられる。これらの世帯では、湯はりの頻度が毎日でないよう需要変動が激しく、予測しにくいものと考えられる。

表 8 給湯需要予測モデル

Case	予測手法	パラメータ
1	7日平均	過去7日間の毎時給湯需要量平均
2	回帰1	前日、前々日需要(学習期間30日)
3	回帰2	前日、前々日需要、毎時気温(学習期間30日)
4	回帰3	前日、前々日需要、休平日フラグ(学習期間30日)

表 9 給湯需要予測結果

世帯No.	%RMSE(予測誤差)				n数	自己相関(1日前)	需要-休平日フラグ相関(冬期)
	7日平均	回帰1(2日)	回帰2+気温	回帰3+休平日			
1	1.85	1.89	1.91	1.88	4,938	77%	-19%
2	2.00	2.05	2.11	2.02	5,535	71%	17%
3	3.03	2.95	3.00	2.96	7,585	46%	13%
4	4.22	4.17	4.21	4.18	7,054	-51%	28%
5	3.29	3.30	3.35	3.34	7,863	21%	-26%
6	1.83	1.81	1.83	1.85	7,182	93%	-11%
7	2.67	2.66	2.69	2.63	6,540	80%	-31%

⑤ シミュレーション（運用結果）

予測誤差およびマージンが経済性に与える影響を評価するために、5件のデータに、HP給湯器運用モデルを適用した。深夜電力料金を12円/kWh(23:00-7:00)、昼間30円/kWhとして、現状の運転パターンの再現を試みた。タンクロス、HPCOP推計式は(C)-1の分析結果に基づき決定している。予測手法として7日平均および前日、前々日データを用いる回帰1を用い、複数のマージンを想定してシミュレーションした結果を表 10に示す。なお、運用期間が世帯によってばらばらなのは、実データにおいて欠損がなく連続して得られる期間を選択したためである。

本モデルは最適化モデルであり、実運用モデルとは運転方法が異なるため、実運用(Case7)と大きく異なる結果となる世帯もある(No.5)。No.5 で特に乖離が大きいのは、気候区分8地域ということもあり、給湯需要が極端に小さいためと推察される。実運用の場合、完全予測(Case8)に比べて、23%-106%運転コストが大きくなっている。7日平均+1SE(Case1)は10-20%コストが大きい結果となっており、マージンを半分に減らすと(Case2)、No.4を除いてコストが削減されている。マージンをさらに減らしても、昼間の電気が高い時間の沸き増し運転が増加し、増コストになる場合もある。マージンを1σ(1SD)とすると、実運用よりもCase5を除いてコストがかなり大きくなっている。回帰予測も7日平均予測も同じマージンではあまり結果が変わらないことがわかる。

表 10 HP給湯器の運用シミュレーション結果における運転コスト
(上段：コスト(円/日)，下段カッコ内：完全予測時のコストに対する割合)

Case	予測手法	マージン	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Case 1	7日平均	1SE	112.1 (111%)	100.2 (110%)	92.2 (117%)	40.6 (120%)	23.5 (116%)
Case 2	7日平均	0.5SE	106.6 (106%)	95.5 (105%)	88.1 (112%)	41.0 (121%)	23.2 (114%)
Case 3	7日平均	1SD	149.5 (148%)	138.6 (152%)	125.2 (159%)	44.0 (130%)	27.7 (137%)
Case 4	回帰	1.96SE	122.0 (121%)	119.6 (131%)	100.5 (128%)	41.4 (122%)	25.8 (127%)
Case 5	回帰	1SE	110.8 (110%)	108.0 (119%)	92.1 (117%)	41.2 (122%)	24.1 (119%)
Case 6	回帰	0.5SE	107.3 (107%)	105.0 (115%)	90.4 (115%)	41.5 (123%)	23.5 (116%)
Case 7	実運用		123.7 (123%)	95.5 (105%)	89.3 (113%)	40.9 (121%)	41.9 (206%)
Case 8	完全予測	0	100.7 (100%)	91.0 (100%)	78.7 (100%)	33.8 (100%)	20.3 (100%)
運用期間			2013/ 2/3-5/15	2013/ 2/2-4/15	2013/ 2/2-7/16	2009/ 5/22-12/24	2012/ 4/2-9/27

SD:標準偏差, SE標準誤差=SD/√n. 1.96SE=95%信頼区間

図 8、図 9は比較の実運用結果に近いコストとなっているNo.2世帯のCase1の条件下でのモデルによる計算結果と実運用データの1週間のHP消費電力量を比較したものである。図 8より、若干立ち上がりを実運用のほうが早い、比較的良好に再現できているといえる。図 9より、需要の変動が大きい時点で、モデルにおける運転が大きく変化し、実運用と乖離が大きくなっていることがわかる。

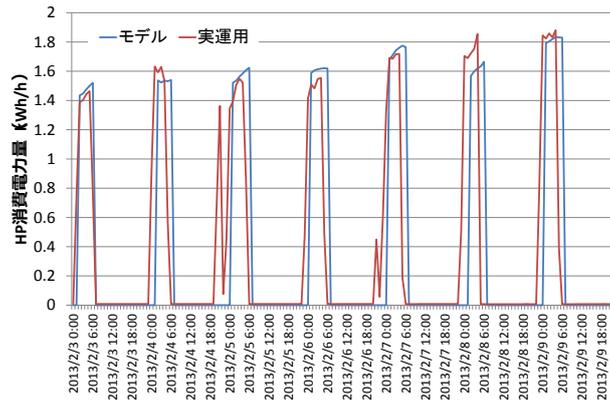


図 8 HP消費電力量におけるモデル計算と実運用結果の比較（時間別，世帯No. 2，Case1）

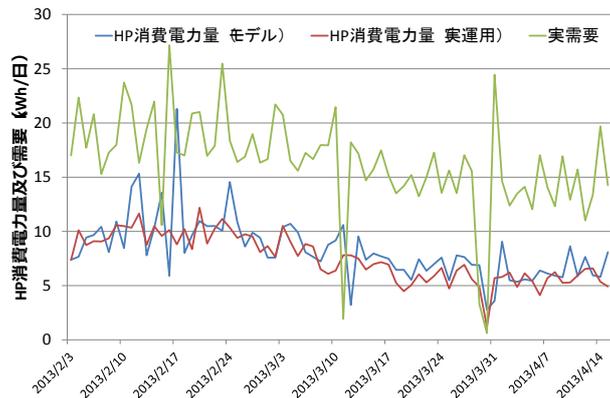


図 9 HP消費電力量におけるモデル計算と実運用結果の比較（日別，No. 2世帯，Case1）

(C)-3 九州地区におけるHP給湯器のDRポテンシャル

(C)-2のHP給湯器運用モデルを用いて、再生可能エネルギーが大量投入された九州地域において、HP給湯器がどのように、DRリソースとして貢献できるかを評価した。HP給湯器の運用を決定するために、電力卸価格に連動する電力価格(ダイナミックプライス)をシグナルとして用いることを想定する。

① 需要およびHP給湯器台数想定

九州地域の給湯需要の想定は、阪大グループが開発した住宅単位のエネルギー需要推計モデルを用いている⁹⁾。本モデルは住宅居住者の生活行為を確率モデルにより決定し、それに伴って操作される住宅機器・設備について、時刻別操作確率を考慮して決定し、エネルギー需要を推計するものである。このうち、給湯需要は、生活行為生成モデルによって得られる時刻別の行為データのうち、給湯を伴うものを抽出し、給湯行為(洗顔、入浴、炊事、風呂の湯はり)に伴うお湯の使用量を時系列に算出する、というモデルである。

対象とする7県における590万世帯(2010年時点)のうち、HP給湯器が導入されうる世帯セグメントを延べ床面積60m²以上、世帯人員2人以上の戸建て・集合居住の291万世帯とし、2013年度の九州電力管内3000世帯の給湯需要を模擬した。これは約0.1%サンプルに相当する。貯湯タンク

容量は370L一定とした。2030年の九州地域の世帯数推計値は506万世帯であり¹⁰⁾、2010年の推計値の5%減となっているが、今回は、2030年の世帯構成が2010年値と同じと想定し、対象世帯すべてでHP給湯器が導入される最大ポテンシャルについて検討した。九州電力管内のオール電化世帯数、HP給湯器普及数等に関して得られている公表値を整理した結果が表 11であり、グレーが著者らによる推計値である¹¹⁾¹²⁾。2030年には電気温水器がすべてHP給湯器に置き換わるものと想定した。なお、長期エネルギー需給見通し¹³⁾における2030年のHP給湯器導入目標は全国で1400万台であり、これを2030年の世帯数で案分すると、九州地区の導入量は127万台となり、電化率(HP給湯器普及率)25%となる。

気温データは、各県の県庁所在都市に位置する観測所の気象庁地上気象観測データの2013年度の1時間平均データを用いた。

表 11 HP給湯器ストック数の現状および将来推計^{11) 12)}

	オール電化 住宅数	HP給湯器 ストック	電気温水 器ストック	対象世帯 数	総世帯数	電化率
2009	60	23	37			
2013	85.4	50	35	291	531	16%
2030最大	291	291	0	291	506	57%
2030目標	127	127	0	127	506	25%

② 料金の設定

料金として下記の2種類を想定した。

(1) 時間別料金(TOU、夜12円/kWh、昼30円/kWh)

(2) ダイナミックプライス(DP)

(2)は、電力需給解析モデル^{口頭発表論文オ)}から算定された電力価格をベースに、ダイナミックプライスを算定したものである。本電力需給解析モデルは、系統間のエネルギー融通、連系線による調整力融通を考慮した上で、グリッドごとに毎時の電源の経済負荷配分を決定するモデルである。需給解析の結果得られるメリットオーダーにおける可変費最大となる電源の可変費の値は、すべての卸取引がスポット市場で完全な競争のもとで行われると仮定した場合の市場価格に相当するものと解釈することができる。本研究ではこの価格を卸価格と想定し、15円上乗せした価格を家庭における購入価格とした。

電力需給解析における需要の総量は長期エネルギー見通し2030年値を参照し、2013年度の時系列変化に連動した値を用いた。ただし、2013年度の需要から、導入済みのHP給湯器、電気温水器による需要分を差し引いた上で、将来のHP給湯器によるボトムアップ運転を模擬して残余需要(元需要－PV・風力・コジェネ発電量)の最小値を引き上げる調整を行い、系統運用者がディスプレイする最終需要を想定した。2030年断面の再生可能エネルギーは全国で太陽光発電103GW導入(九州12.1GW)、風力32.2万kW導入(九州2.4GW)を想定した。

③ シミュレーション結果

HP給湯器の効率、タンクロスなどは世帯No.1のものを用い、3000世帯の給湯需要に対して、1年間のHP給湯器運用をシミュレートした結果を合計し、2030年の目標台数127万台を乗じたものが^図

10～図 12である。ダイナミックプライスが低くなっているところが、太陽光が多く発電している時間帯であるが、そのような時間帯で5月の低需要期に約100万kW程度、8月に70万kW、1月に130万kW程度の昼間需要創生ポテンシャルがあることが確認された。もし、対象世帯全戸にHP給湯器が導入されると、PV余剰電力の問題が最も顕著となる5月で、PV導入量の2割程度に相当する200万kW以上の昼間需要を発生させることができる。3000世帯の年間消費電力量のヒストグラムを図 13に示すが、深夜運転がベースのTOUに比べ、DP運転時には消費電力量が大きく減少している。3000世帯平均で17%小さくなっているが、これは気温の高い昼間に運転するためHPCOPが10%向上することと、湯沸しから使用までの時間が短くなることで蓄熱ロスが27%減少することの相乗効果によるものである。貯湯熱量最大値も平均で33.7kWh (TOU)に対し28.8kWh (DP)と小さくなっており、これは85℃換算で40Lのタンク容量差に相当する。HP給湯器の昼間運用は、DRと省エネかつタンクのコンパクト化、というマルチなメリットを有するといえる。

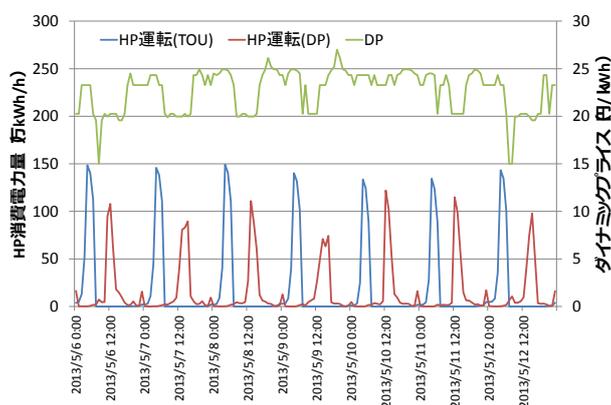


図 10 HP給湯器運用結果およびダイナミックプライス (5月, 2030年)

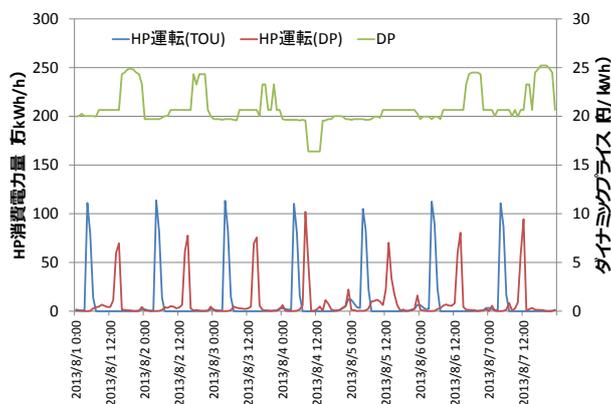


図 11 HP給湯器運用結果およびダイナミックプライス (8月, 2030年)

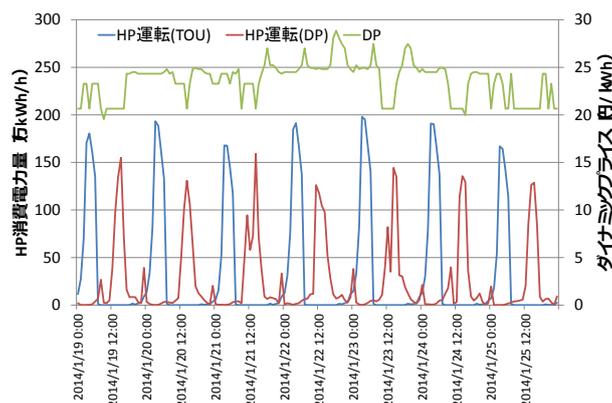


図 12 HP給湯器運用結果およびダイナミックプライス (1月, 2030年)

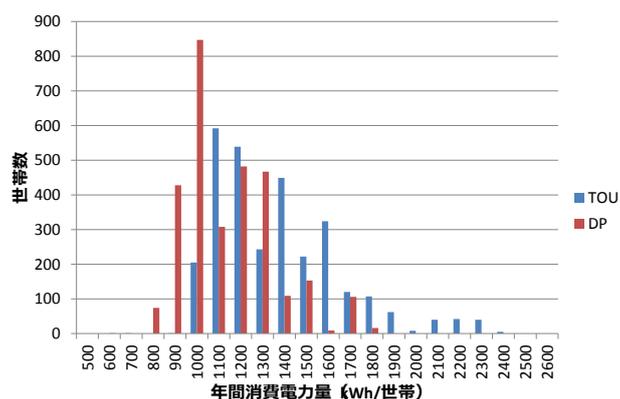


図 13 HP給湯器運用結果の世帯別年間消費電力量頻度分布

(C)-4 おわりに

本研究では、実運用データに基づいてHP給湯器のDRモデルを構築し、需要の多様性を考慮し、九州電力管内のデマンドレスポンスによる系統貢献効果について分析を行った。PVが大量に導入された系統においては、昼間の卸価格が低下し、これに連動したダイナミックプライスが家庭に適用されると、HP給湯器の昼間運転が発生し、PVの発電を相殺する大きな需要創生ポテンシャルとなる結果が得られた。

単純にダイナミックプライスに基づいてすべての世帯のHP給湯器が運用されると、別のピークを生じさせる可能性もあるため、アグリゲータによる集約された運用によって、もっと穏やかな反応をさせるロジック等について、今後検討する必要がある。また、DPに基づくHPの運用結果が、再度電力系統側にフィードバックされると、系統のオペレーションも変化し、DPも変化する。最適な系統運用と最適なHP給湯器の運転について、収束計算によってWin-WinとなるHP給湯器の運転パターンを探る必要がある。

さらに、HP給湯器の昼間運転は、省エネ、貯湯タンク容量削減という点においても大いに可能性があることが、本研究より確認された。需要マージン、貯湯タンク容量、適応しうる世帯類型等、従来のHP給湯器の導入条件を大きく変えて、多様なシミュレーションを実施し、HP給湯器の省エネとDRで担う役割を明確にしていく予定である。

(3) 誌上発表論文 *

- (ア) Iwafune, Y., T. Ikegami, J. G. S. Fonseca Jr., T. Oozeki, and K. Ogimoto, “Cooperative home energy management using batteries for a photovoltaic system considering the diversity of households”, Energy Conversion and Management, vol. 96, pp.322–329, 15 May 2015. 【発行済論文 3】
- (イ) Ikegami, T., H. Yano, K. Kudo, and K. Ogimoto, ”Effects of Smart Charging of Multiple Electric Vehicles in Reducing Power Generation Fuel Cost”, Electrical Engineering in Japan, vol. 193. No. 2, pp.42–57, 20 Jul 2015. 【発行済論文 9】
- (ウ) Iwafune, Y. and Y. Yagita, “High-Resolution Determinant Analysis of Japanese Residential Electricity Consumption Using Home Energy Management System Data”, Energy and Buildings, Vol. 116, pp274–284, 15 March 2016. 【発行済論文 16】
- (エ) 八木田・岩船・畑、「見える化 HEMS の閲覧行動とコミュニケーション効果」、エネルギー・資源、vol. 35, No. 4, pp.50–58, 2014.

(4) 口頭発表論文 *

- (ア) 岩船・八木田ほか、「HEMS データベース及び家庭用エネルギー診断ロジックの構築」、第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (2015) 109–114.
- (イ) 八木田・岩船・荻本、「HEMS データを用いた家庭用エネルギー診断の実施とその評価」、第 34 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文要旨集, (2015) 21. 【口頭発表 77】
- (ウ) 岩船・河合ほか、「HEMS データを活用した家庭用エネルギー診断の効果検証ーその1 定量的評価ー」、第 32 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集, (2016) 119.【口頭発表 45】
- (エ) 八木田・森ほか、「HEMS データを活用した家庭用エネルギー診断の効果検証ーその2 定性的評価ー」、第 32 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集, (2016) 120.【口頭発表 78】
- (オ) 荻本ほか、「将来の電力システム卸市場価格に関する基礎検討」、第 32 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2016)

* 【 】内は、H27成果情報収集シート.xls ファイルにおけるシート名及び番号を示す。

(5) そのほか参考文献

- 1) H.Allcott; Social norms and energy conservation, Journal of Public Economics, vol.95, 9-10 (2011), 1082-1095.
- 2) OPOWER Inc., 「類似した消費者を選択する方法およびシステム」特許出願公表番号 2014-513840 (2014)
- 3) P.W. Schultz, J.M. Nolan, et al. ; The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms, Psychological Science, 18-5 (2007),429-434
- 4) H.Allcott and T.Rogers; The Short-Run and Long Run Effects of Behavioral Interventions: Experimental Evidence from Energy Conservation, American Economic Review, 104-10 (2014), 3003-3037
- 5) 九州電力プレスリリース; 九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申込みの回答保留について(2014年9月25日)
http://www.kyuden.co.jp/press_h140924-1.html
- 6) JIS C 9220:2011 家庭用ヒートポンプ給湯機
- 7) R. Hashimoto, H. Yano, K. Kudo, T. Ikegami, K. Kataoka, and K. Ogimoto, "Novel Planning and Control Method of Heat Pump Systems Based on Estimation of the Instantaneous Coefficient of Performance for Demand Response", CIGRE, AORC Technical Meeting 2014, 1119(2014)
- 8) 北山ほか;住宅におけるCO₂ヒートポンプ式給湯機の稼働実態と性能評価に関する研究 : 第2報-住宅における湯の使われ方と給湯負荷の解析, 空気調和・衛生工学会論文集(180), (2012), 1-11
- 9) Kotaro Ukawa, Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda. Development and Validation of Residential Water Heating Demand Simulation Model Reflecting Variation among Households, Proceedings of ASim2014, Nagoya Japan, pp. 633-640, 2014
- 10) 国立社会保障・人口問題研究所, 『日本の世帯数の将来推計(都道府県別推計)』(2014年12月推計)
<http://www.jmbsec.or.jp/hp/ftp/ftp1.html>
- 11) 九州電力プレスリリース;オール電化住宅 累計60万戸突破について(2010/5/25)
http://www.kyuden.co.jp/press_h100525-1.html
- 12) 九州電力ファクトブック2014
<http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0047/9697/factbook2014.pdf>
- 13) 経済産業省;長期エネルギー需給見通し関連資料(2015年7月)
http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/011/pdf/011_07.pdf
(Webサイト最終アクセス日:2016/4/13)

3-2-7 需要家行動モデルの開発(東工大グループ)

(1) はじめに

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を研究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。

電力の需要家に対して、行動の意義や効果を提示することは電力消費行動に影響があると言われている。本研究では、需要家に対して望ましい行動を促すアドバイス(行動アドバイス)をランダム表示した上で、6つの行動意義メッセージを表示することでその効果について検討した。実験の結果、多くの行動意義メッセージは行動アドバイスのみよりも電力消費削減効果が見られた。特に社会規範(記述的規範+命令的規範)の効果が高いことが分かった。さらに、米国と比較して、環境保護メッセージに対する効果が高いことが分かり、これをBECC Japan(錦織ほか, 2015)^{口頭発表63)}で発表した。

また、前年度(H26)の実験結果である、需要家に依存して電力消費情報および平均値情報表示の効果が異なること、またこれは、各需要家の平均値からのずれの程度に依存する可能性があること、をBECC2015の国際会議(Hidaka et al., 2015)^{口頭発表6)}において発表した。

H27年度は社会実験を行うための、実証地選定とシステム設計・構築、実験計画策定を行った。今後、スマートメーターが電力会社によって順次配置されていくことを前提に、近い将来の実際の環境と同じにすべくスマートメーターを利用したシステム構成を設計した。

実証地選定とシステム設計・構築、実験計画について、以下に説明する。

(2) 実証地選定

様々な自治体や関係者との協議を重ね、次の点を考慮して長崎県の離島である対馬市を実証地として選定した。

- ・ 離島のため本土との連系線がないため、分散協調型エネルギーにおける協調すべき範囲が明確である
- ・ 現時点で太陽光の接続可能容量が上限に達し、新規受け付けを中断しており、多様なエネルギー源の導入のためには、具体的対策が必要である。
- ・ 市長の環境プロジェクトに対する積極的な理解と行動
- ・ 離島のため石油価格が本土に比べて高い。九州電力としては本土に比べて対馬市での収益率は低い。対馬市としては、電力自由化後の電力価格安定のためには、再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギー導入を進めたい
- ・ 全島にケーブルテレビ網があり、ケーブルテレビを利用した情報提供が実現できる

(3) 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7-1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計画は2016年4月からということであり、スマートメーターを用いた実験環境整備のために対馬におけるスマートメーター配置計画を協議した。その結果、2016年夏～秋には実験協力者に対するスマートメーター配置工事を行っていただくことになり、スマートメーター配置後に構築したシステムとの接続を行うことになる。

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になるシステムを設計した。

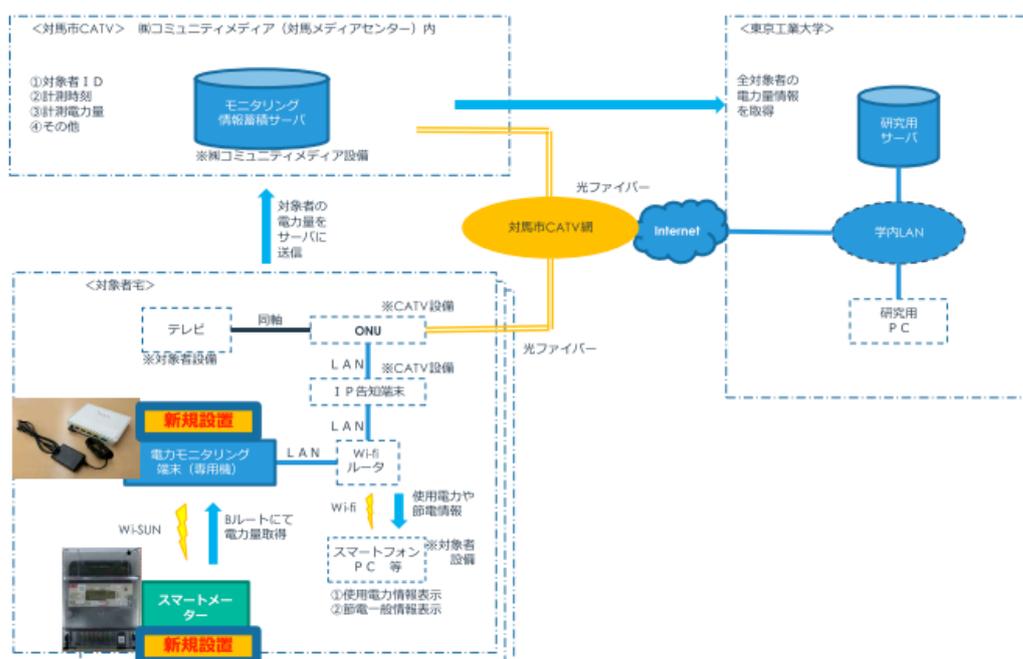


図7-1 対馬市実証実験システム構成図

(4) 実験計画

システム構築と同時に実験計画を策定した。今後も対馬市や住民との協議を重ねるが、現時点では次の通りのスケジュールと実験内容を検討している。

- 2016年夏～2017年夏 社会規範メッセージにおける集団サイズの影響
- 2017年夏～2018年夏 個人に対するインセンティブと集団に対するインセンティブの効果
- 2018年夏～2019年夏 情報的手法と経済的手法の組み合わせ効果
- 再生可能エネルギーと需要の同期性

また、スマートメーターを用いた機器分離技術導入をあわせて検討をおこなう。この技術導入により、機器別行動が把握できることによる需要行動の構造化と行動推定の高度化、さらには具体的な行動にあわせた行動アドバイスが実現できると考えている。

(5) 成果および発表

BECC2015の国際会議(Hidaka et al., 2015) ^{口頭発表6)}において発表した研究成果は、以下のようになる。

The electricity consumption monitoring and information presentation system (using tablet pc) is newly developed and installed into 50 residential houses in Kitakyusyu City, Japan. The electricity consumption data is acquired every 20 seconds, stored into the cloud server, and analyzed. Several information including real-time feedback, average of consumer clusters which that consumer is included in, and average of best practice consumers, are displayed on the tablet. Then, the effect of displayed information is analyzed by monitoring the change of the energy consumption afterward.

As results, it is observed that both of over-average and under-average consumer clusters are approaching to the average along the time line. Some dependency is also observed between the degree of behavior change and the distance of the consumption level from the average. This results support that information showing the position of the consumer in his/her cluster can work to control that consumer's behavior, and the information have different effects on each consumer cluster.

BECC Japan(錦織ほか, 2015) ^{口頭発表63)} で発表したこれまでの研究成果は以下のようになる。

電力の需要家に対して、行動の意義や効果を提示することは電力消費行動に影響があるとされている。特に社会規範メッセージの電力消費の削減効果が明らかになっている。一般的に、社会規範は個人の行動に対する拘束性を伴うが、拘束の強さや影響の及ぶ範囲は個々に異なり、国別でも異なっている。先行研究では、日本の電力消費における社会規範等の行動変容効果測定を目的とした研究は多くない。持続可能な電力消費の削減を実現するには需要家の主体的な行動が不可欠であり、社会規範による行動変容の研究は重要と考える。

本研究では、需要家に対して望ましい行動を促すアドバイス(行動アドバイス)ランダム表示した上で、次の6つの行動意義メッセージを表示することでその効果について検討した。1) 社会規範(記述的規範) 2) 社会規範(記述的規範+命令的規範) 3) 自己利益 4) 自己損失 5) 環境保護 6) 社会的責任。これらは海外の先行研究で用いられたものに加え、プロスペクト理論における利益と損失の行動変容差異を測定する目的で設計した。実験対象は、自己の使用電力が閲覧できるサービスを導入済みの約 100 世帯である。電力消費傾向に偏りがないうクラスタリングし、コントロールとトリートメントに分けた。上記サービスが提供されている画面に6つのメッセージを表示した。期間は約3ヶ月半である。

実験の結果、多くの行動意義メッセージは行動アドバイスのみよりも電力消費削減効果が見られた。特に 2) 社会規範(記述的規範+命令的規範)の効果が高いことが分かった。なお、3) 自己利益と 4) 自己損失については、大きな差が見られなかった。本結果から日本においても社会規範は電力消費削減の行動変容に一定の影響があると言える。今後は、社会規範に影響がある属性や比較対象範囲、行動アドバイスとの組み合わせ効果を明らかにしていく。

3-2-8 需要家情報の整理(需要科学サブグループ)

(1) はじめに

中島チームでは、エネルギー管理システムにおける重要な要素である気象とエネルギー需要に関する研究をおこなっている。うち、阪大(下田)グループ、東大生研(岩船)グループ、東工大(日高)グループではエネルギー需要に関するさまざまな研究を推進しているが、そもそもエネルギーマネジメントシステムの研究において「エネルギー需要を研究する」とはどのような内容を指すのか、従来明確には整理されてこなかったように思われる。そこで、この3研究グループでは、それぞれの研究課題とは別に、エネルギー需要を扱う研究を体系化し、「エネルギー需要学」ともいべき新しい学術分野の総説を提言するための議論を始めることとした。

(2) エネルギー需要構造の理解

「エネルギー需要学」の総説を提言するにあたって、エネルギー需要構造を理解する必要がある。そこで、3-2-5(2)で示した①～⑥の直接エネルギー需要を決定している要因のみならず、①～⑤の要因を間接的に決めている要因までを含めてその構造を理解することを計画した。これを実現するため、3グループで連携をとりながら、工学、経済学、社会科学、行動科学など既存の学術分野に蓄積された知見の調査を実施する計画を立案した(図8-1)。

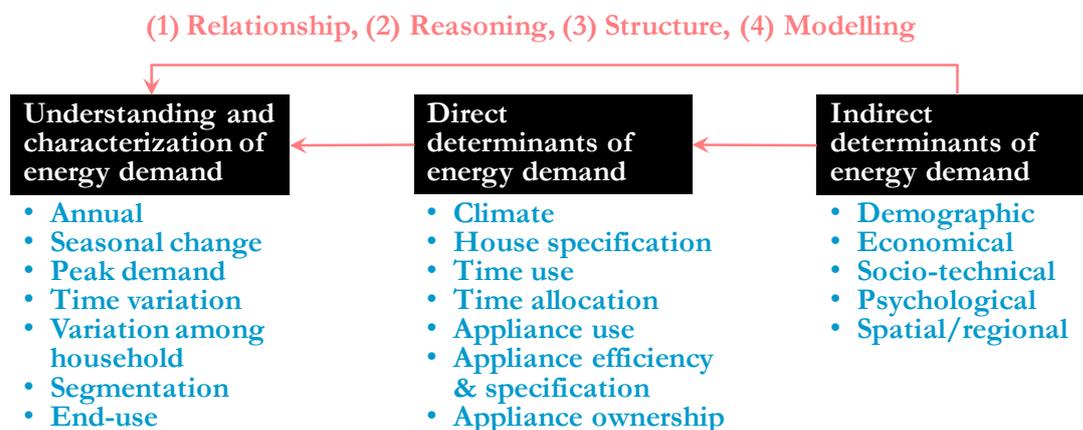


図8-1 住宅エネルギー需要にかかわる諸要因とエネルギー需要関連研究の整理

また、エネルギーマネジメントシステムやデマンドレスポンス等によってエネルギー需要を制御する際の需要変化量(制御量)の発生構造についても整理が必要である。そこで、図8-2をベースに3グループが各専門分野に関連する箇所を中心にさらなる整理を行うことによって、制御量の発生構造の理解を深めるための計画を立案した。

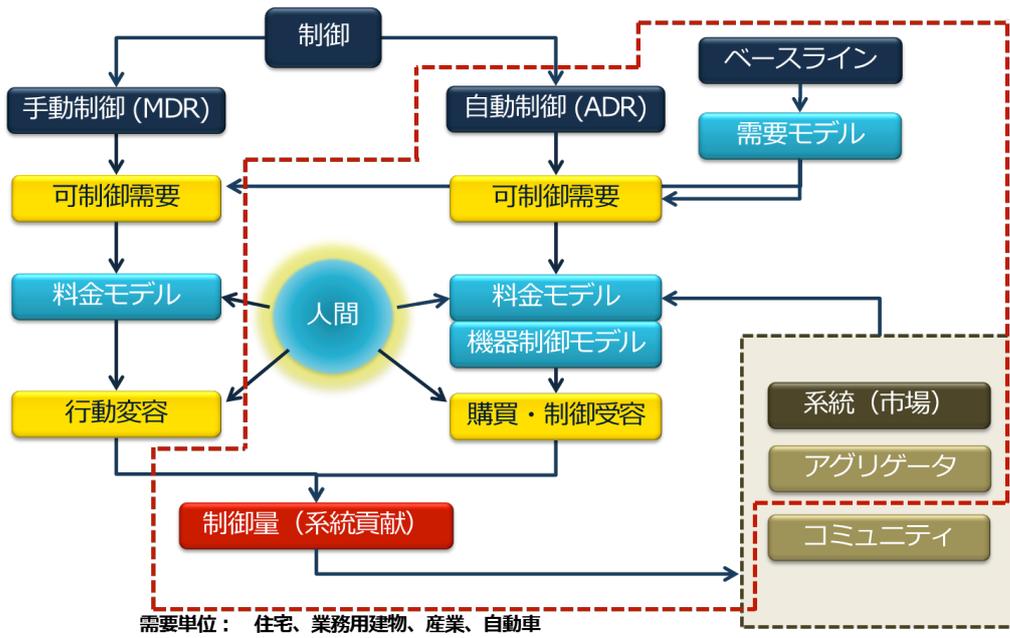


図8-2 エネルギー需要制御における制御量の発生構造の整理

3-2-9 地球物理量データによるシナリオデータの作成

(JAXA-東大ほか全グループ)

(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年度はそのうち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検討を行う。

(2) シナリオ設計の検討

異分野間の連携を有効化し現実に有効な分散協調型EMSの研究を行っていくためにはエネルギー需要と供給の基盤となる気候/気象場のデータを共通/共有することが不可欠である。CREST第一期及びFSにおいて他チームとの連携を展開した。これまでのEMS研究のために必要となる気象パラメータの情報交換を通じて、シナリオデータの設計に繋げる。H27年度はシナリオ構築のための予備的検討としてどのようなシナリオが有効であるか検討を行った。また、共有されるべきパラメータの選定を行った。シナリオ構築の目的は、本CREST研究対象となるEMS理論を実際の状況下に投入することで、その健全性を評価する基盤を形成するためである。

様々な状況シナリオが考えられるが、聞き取り調査を行った結果最も必要とされるものはエネルギー需要が逼迫する猛暑と真冬であることが分かった。したがって、第一に構築するシナリオを猛暑及び真冬の二つに絞った。また、気候変動予測のシミュレーション結果を適用することも視野にあるが第一段階として実際に起こった過去の観測データからシナリオを構築した。これは過去に起こった事象を再現するHind cast実験の意味を持つ。

ターゲット領域は人口密度によってエネルギー需要が決まっていることから図9-1に示す東京電力管区と関西電力管区を中心とした領域を設定した。領域を小さく設定することでデータの小型化の要請に答える。これはエネルギー需要と供給、そして配電網研究を網羅するために最大公約数として設定したものである。また、本チーム需要科学SGの日高教授からの要請により対馬を別途設定した。領域を若干広く設定してあるのは日射量等を見る際に風に乗って雲が移動してくる事を確認出来るように配慮した。

猛暑日の定義は世界気象機関(WMO)によって最高気温の平年値を連続5日間以上、5℃以上上回るとされているが、実際は各国の気候傾向によって様々な定義がなされている。ここでは気象庁の定義に合わせて日最高気温が35℃以上の日を猛暑日、日最高気温が0℃未満の日を真冬日とした。この定義が2007年以降の気象庁観測データから該当する最も過酷な日時を選択した。

図9-2に三つの地域における猛暑日と真冬日を記録した観測点の最も集中した日を示す。猛暑日は三地域ともに2013年8月11日であった。図9-2aでは東京を中心に広く猛暑日を記録しているが、図9-2bでは栃木及び群馬を中心に真冬日を記録している。このことから関東域のエネルギー需給としては夏場が過酷である事が分かる。図9-2cでは大阪を中心に広く猛暑日を記録しているが、図9-2dでは真冬日の観測はまばらである。関西においても関東と同様に夏場が過酷であることが予想される。衛星による日射解析において2013年は日射量の高い年であったことが分かっている。気温の高さに対して日射量が高いということは太陽光発電の利用の観点からもエネルギー需

給の研究に有効なシナリオを構築できることになる。真冬日はそれぞれ2014年2月8日、及び2012年2月2日であった。また、対馬は真冬日に該当する観測は存在しなかった。

今後は、シナリオデータとしての基本パラメータを日射量、太陽光発電量、気温、湿度、風向風速とし、初回のシナリオの長さを一ヶ月と定め、衛星解析日射量、気象庁客観解析、地上観測等のデータを複合的に利用して猛暑/真冬日シナリオデータセットを構築する。時空間的な解像度に関しては様々なリクエストがあるためデータ・インタフェースGと連携して配布を行う。

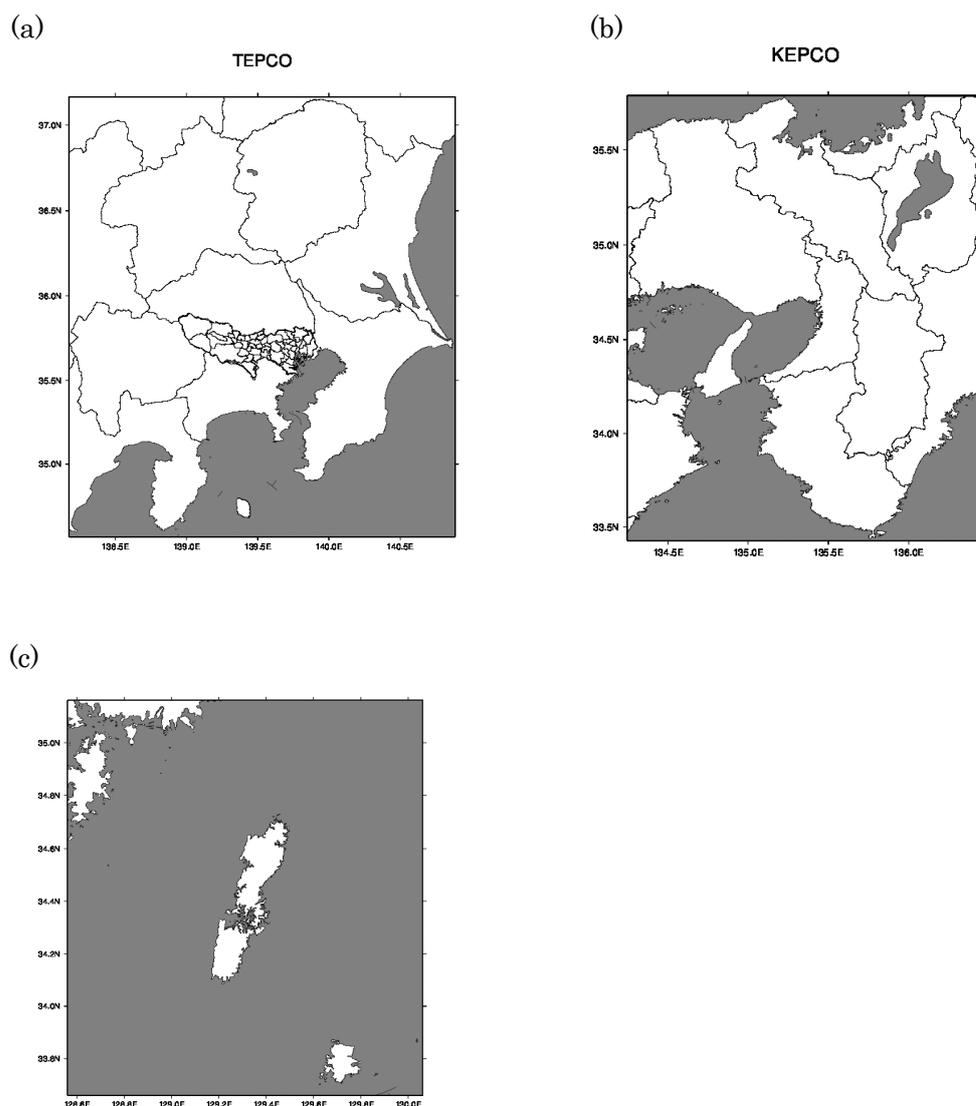


図9-1 シナリオ構築に対するターゲット領域。(a)関東地域。(b)関西地域。(c)対馬。(a)及び(b)は人口密集とエネルギー需要の規模が東京電力管区と関西電力管区を中心に設定した。広く電力管区を網羅することで共通したシナリオデータにて送配電から需給の研究までをカバーする。(c)はエネルギー的に閉じた島として設定。

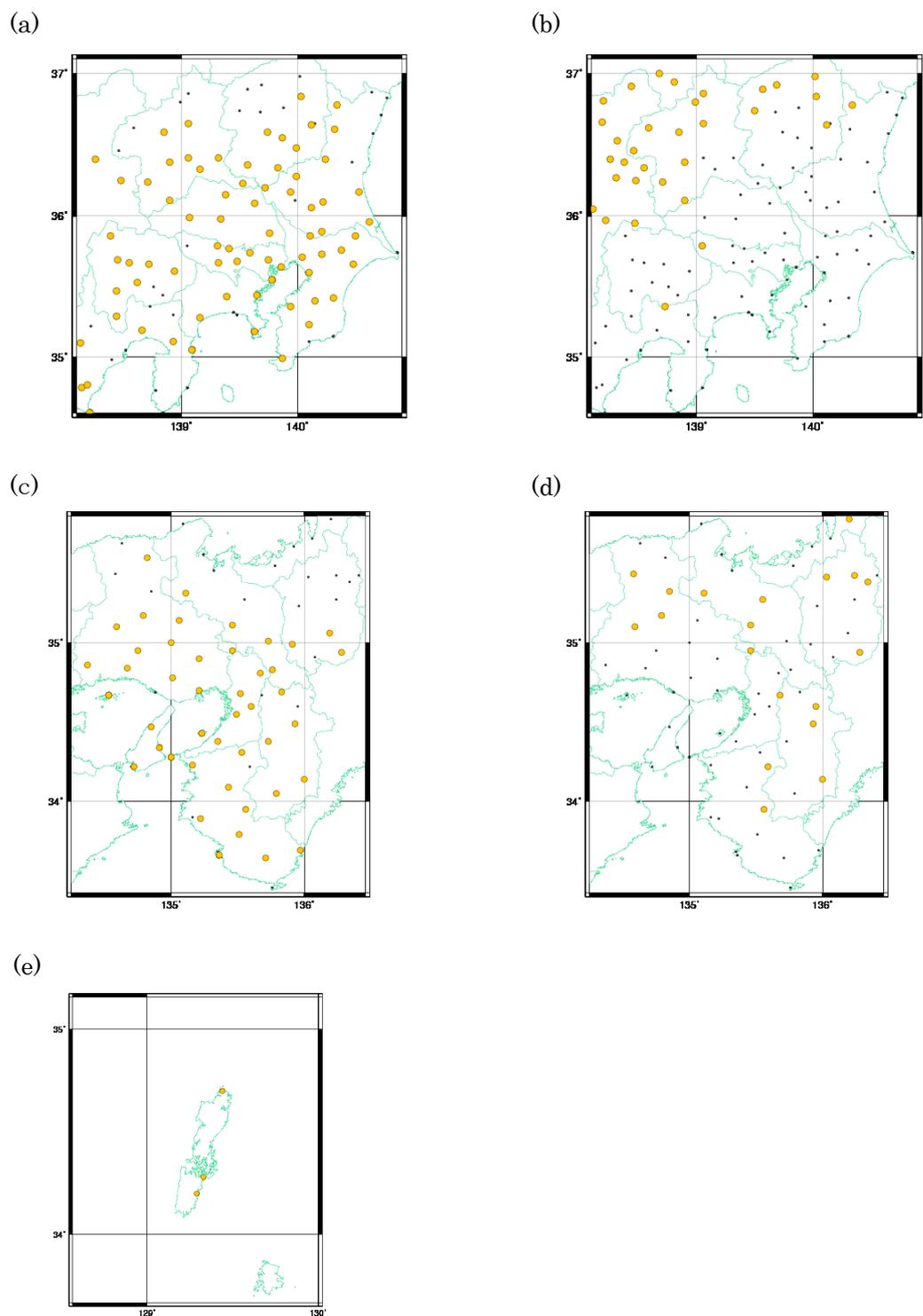


図9-2 ターゲット領域において猛暑日と真冬日を記録した気象庁観測点の図示。各点は気象庁観測点を示し、オレンジ色で示す点が猛暑日/真冬日を記録した点である。(a)関東地域猛暑日記録点、2013年8月13日。(b)関東地域真冬日記録点、2014年2月8日。(c)関西地域猛暑日記録点、2013年8月13日、(d)関西地域真冬日記録点、2012年2月2日。(e)対馬猛暑日記録点、2013年8月11日。(東海大G渡邊武志氏作成)

3-2-10 データ・インタフェースの開発(東海大ほか全グループ)

(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のデータおよび他の気象データを、EMSに関わるもの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年度は、主にチーム内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提供するWebベースのプロトタイプを構築し、利用するグループとのヒアリングによりシステムの改善を行った。そのシステムをベースに、豪州ソーラーカーレースへの日射及び気象データの提供を行った。

(2) データ提供サーバの導入によるユーザ指定データの提供

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データなどについては、必要時点に関するデータをダウンロードしておけば必要なデータを抽出するプログラムを、FORTRAN、C、Java、MATLAB言語でホームページにて提供している。しかしながら、データをダウンロードし、プログラミング処理し、その後更に処理が必要となり、手間が多い。そのため、利用者のニーズに応じて必要なデータのみ提供するデータ・インタフェースが要望された。H27年度は、本チーム需要科学グループなどからのヒアリングをもとに、本格的なシステムを構築するためのプロトタイプとして、3ヶ月程度の期間について、日射量などを取得できるシステムを構築することとし、東海大学にデータ提供サーバを導入し、システム構築を行った。

データ・インタフェースの最初のプロトタイプとして、必要な地点のみのデータを提供できるWebアプリケーションを作成し(図10-1)、これまで日射量データを提供している早稲田大学の林チームにヒアリングし、データの提供方法(指定するデータの種類と出力形式)について改善を行った。更に、本チームの東大生研(岩船)グループおよび阪大(下田)グループとのミーティングにより、エネルギー需要の研究者が利用しやすいデータの提供方法について議論でき、H28年度以降のシステムの検討ができた。

日射量データダウンロード

データタイプの選択

月を指定で抽出 日にちを指定で抽出 月を指定で抽出(変数複数選択) 日にちを指定で抽出(変数複数選択)

緯度 :

経度 :

年 : 2012 ▼

月 : 1 ▼

変数名 : 地面全天日射量 ▼

データ範囲 : msm ▼

決定

入力フォーム

図10-1 データ・インタフェースのWebアプリケーション

(3) 豪州ソーラーカーレース支援

2013年の大会に引き続き、2015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 (WSC)を支援するために、衛星に基づく地上日射データ、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チームに提供し、同レース3位入賞に貢献した。

2013年のレースではひまわり7号からの気象データを1時間間隔で提供したが、2015年はひまわり8号による高頻度、高解像度のデータを10分間隔で提供した。全天日射推定量、散乱日射推定量は竹中らにより開発された、ニューラル・ネットワークを用いた超高速放射伝達計算手法(EXAMシステム、Takenaka et al., 2011; 中島ほか, 2013)を改良したものを千葉大学から、気温、風速、風向に関しては、気象業務支援センターが配信している全球数値予報モデルからの出力データGPV/GSM をもとに算出したもので、NPO法人太陽放射コンソーシアムからそれぞれ取得し、画像データとしてWebページで取得できるシステムを構築し提供した(図10-2)。これは、レースチームがレース中にインターネットに接続するのはインマルサット車載用衛星電話を使用するため、画像データ(図10-3)を100kpbs程度の速度の衛星通信でもストレス無く気象情報を取得できるようにする必要があったためである。

10分間隔のデータ提供が可能となり、その情報を活かせるよう、レースカーの位置をデータ提供システム側で常時把握し、レースカーおよび周辺領域の気象情報が明瞭に判明するような工夫を行った。この詳細については、山本ほか(2016)^{口頭発表⁸²⁾} および船山ほか(2016)^{同⁷²⁾}で報告を行った。

日射量推定の高速化の成果もあり、10分間隔のデータ提供を実観測から3分程度で提供することが可能となり、移動体を追跡しながらの地球情報の提供が十分に可能であることが示された。

何かありましたらメッセージを送信してください。(このページの下にメッセージ送信ページへのリンクがあります)

更新日時(ACST) : 2015/10/22 17:43

オーストラリア	経路	観測時間(ACST)	アップロード日時(ACST)	データ情報
散乱日射量	散乱日射量	2015/10/22 17:20	2015/10/22 17:43	最新
BTQ	BTQ			
気温	気温			
全天日射量	全天日射量			
風向・風速	風向・風速			
グラフ	風向・風速			

図10-2 データ選択のためのWebページ

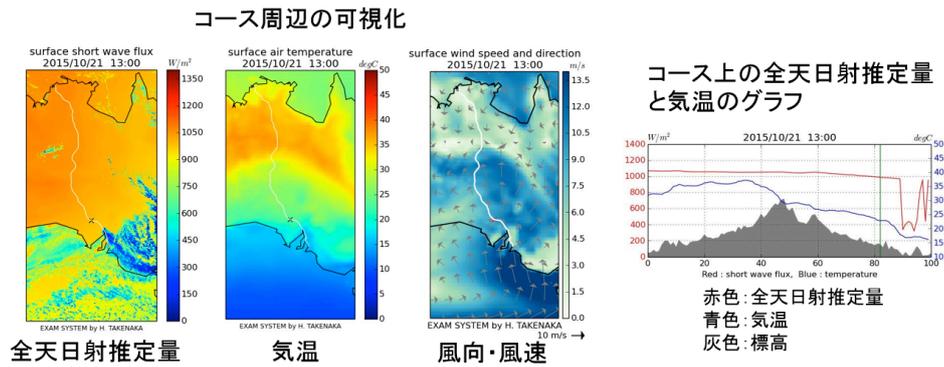


図10-3 ソーラーカーレース支援のための気象情報の可視化

(4) 参考文献

Takenaka, H., T.Y. Nakajima, A. Higurashi, A. Higuchi, T. Takamura, and R. Pinker, 2011: "Estimation of solar radiation using a neural network based on radiative transfer", J. Geophys. Res., Vol.116, Issue.D8, doi: 10.1029/2009JD013337.

中島孝, 竹中栄晶, 中島映至, 高村民雄, 渡邊武志, 2013: "大気科学と太陽エネルギー", 太陽エネルギー, Vol.39, No.6, pp.57-64.

3-2-11 異分野との交流(全グループ)

本中島最強チーム内においては、H27年10月に千葉大学で中島チーム全体会合を開催するなど、地球科学、エネルギー需要科学、データ・インタフェースの各サブグループ間の異分野交流を推進した。さらに、CREST/EMSの他最強チームとの連携も適宜実施した。

東海大グループは、H26年度のフィージビリティスタディから引き続き慶應義塾大学グループと連携し、H27年度は論文の提出および口頭発表を行った。また、これまで日射量データを提供している早稲田大学の林最強チームと研究調整を行い、データ・インタフェースの改善につなげた。

CREST第二期においてひまわり8号解析結果を軸とした地球科学データの異分野への展開が喫緊の課題となる。JAXA-東大グループでは、エネルギー需要科学グループ、データ・インタフェースグループとの意見交換を行いつつ地球科学グループとして76種類の物理量を準リアルタイムにて公開する準備を整えた。また、他最強チームである井村チームと連携の議論を進めた。既にひまわり7号からデータ提供を行っていた東京理科大学植田先生の推進する「しっかりSUN」、産業総合研究所太陽光発電研究センター、また情報通信研究機構(NICT)村田研究統括が展開する「NICTサイエンスクラウド」へのデータ提供も開始している。さらに、異分野の様々な意見を取り入れることで再現実験(Hindcast)用シナリオデータの基礎設計を行った。今後は他最強チームへの地球科学データ提供として日射量を始めとする現況解析結果に加えてシナリオデータセットの構築と配布も行っていく。

千葉大グループは、他最強チームである林最強チームと、林チーム全体会合への参加だけでなく個別の共同研究に関する会合の機会をもった。それらの機会を通じて、進行中の共同研究の議論や論文化を行った。さらには、数年先を見据えた共同研究計画の議論も行い、異分野交流を深めた。

阪大グループは、開発したエネルギー需要モデルを用いて、コミュニティ、都市、都市圏などの空間スケールでエネルギー需要および可制御負荷を推計し、推計結果をCREST全体の共通資源として提供する。具体的には、配電システムスケールでエネルギー需要を推計して林最強チームに提供するほか、鈴木最強チームに対しては、コミュニティや都市を単位としたエネルギー需要推計結果を提供する予定である。

(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。)

特になし