

特集1

# “雲をつかむ話”で 太陽光を賢く利用

## 分散協調型エネルギー管理システム構築に向けた取り組み

オーストラリア大陸を縦断する世界最大級のソーラーカーレース「ブリヂストン・ワールド・ソーラー・チャレンジ2013」で昨年10月に東海大学のチームが開発した「Tokai Challenger」が準優勝した。その成果を支えたのが日本の高度な気象解析技術だった。ソーラーカーには、協賛・協力のたくさんの企業名とともに「CREST」のロゴが光っていた。CRESTで分散協調型エネルギー管理システムの構築を目指す東海大学の中島孝教授が率いる研究チームが協力していたのだ。不安定との評価もある再生可能エネルギーだが、気象学とリモートセンシング技術を用いることで一段と賢いものに成長しようとしている。



オーストラリアの荒野を走る「Tokai Challenger」。車体の左右には「CREST」のロゴマークも。提供：東海大学ソーラーカーチーム

### 準優勝を支えた気象情報

ソーラーカーは、車体に搭載した太陽電池（太陽光発電）で走る電気自動車だ。当然、その走りは天候に大きく左右される。レースを有利に展開するには、コース上の天気をいち早く把握し、走行管理に

生かさないといけない。オーストラリア北部のダーウィンから南部のアデレードまで、3,000km以上の距離を駆け抜けるこの大会ではなおさらだ。東海大学の現地チームに提供されたのは、地球観測衛星からの画像を使い、オーストラリア大陸の日射量をほぼリアルタイムで算出した画像と数値データだ。

画像では、どのくらいの日射量があるのかが地図上に色分けされる。データを見れば、コース上の各地点でどの程度発電できるかを読み取れる。それまでのデータの傾向からその後の天候や日射量変化も推測できる（p.5上図）。

「当研究チームには東海大学、東京大学、千葉大学、気象庁、富山大学の研究者グループが参加しています。気鋭の研究者の英知を集めて気象

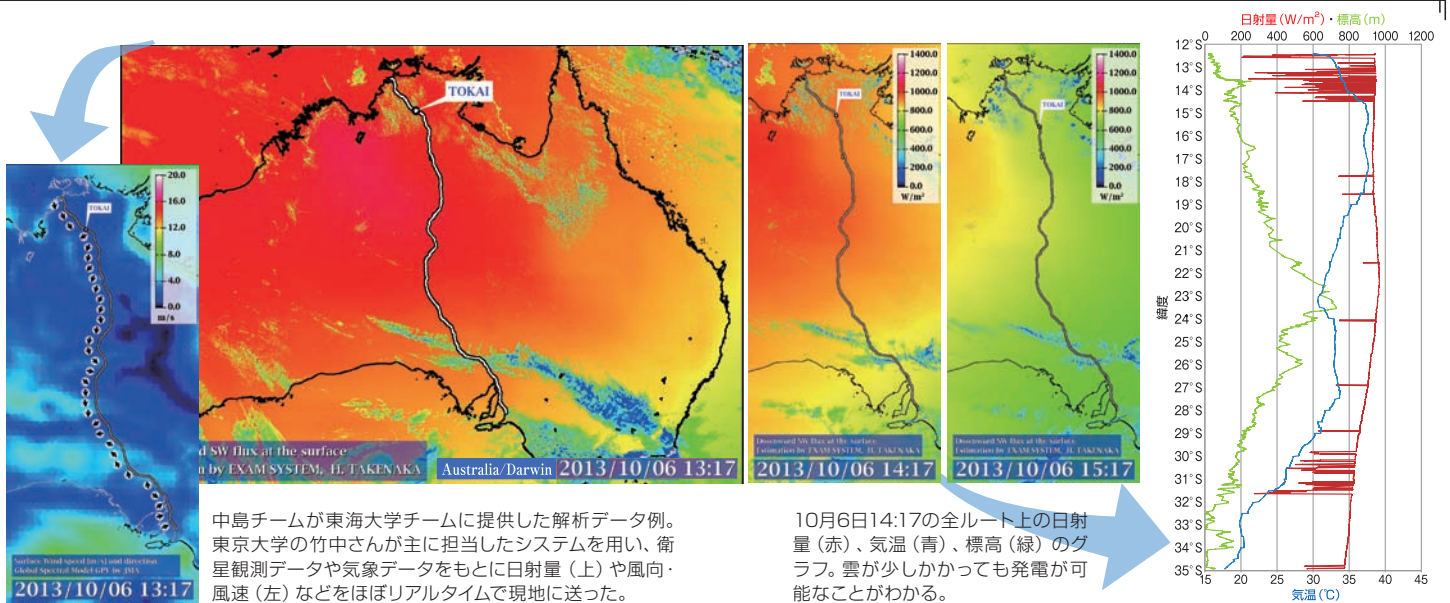
学や衛星観測技術の新しい活用方法を探っています」と胸を張る中島さんらがレースでデータ提供するようになったのは2年前の大会からだ。「このころ、東京大学グループの竹中栄晶特任研究員が中心になって開発していた新システムが生かせるのではないかと支援を申し出ました。演算に時間がかかるため完全なリアルタイムではないのですが、先々の日射量の見通しが立つのでチームにとっては安心材料になったようです」と語る。

実際、現地では30分ごとの日射量情報の更新を逃すことなく確認していたという。悪天候でバッテリーが尽きかけた最終日は、暗雲の手前、薄曇りの雨の中で1時間ほど止まって充電する作戦も取られた。先頭を追いかけ、後続に追われる中、データあつての決断だ。世界最速を目指す22チームによる5日間の激戦の末、東



ゴール地点で準優勝を喜ぶ様子とレースの経過。提供：東海大学ソーラーカーチーム

予選 まさかのスピン  
初日 20位出走から3位へ  
2日目 6分差の2位に  
3日目 3位を引き離す  
4日目 32分差に望みを託す  
最終日 悪天候の中、準優勝！



海大学チームは堂々の準優勝に輝いた。

## 謎多き雲を研究対象に

中島さんは、人工衛星を使って地球環境を観測するリモートセンシング技術を駆使して気候や気象を把握する研究を進めている。衛星データは、宇宙から地球の広い範囲を一度に見渡せる。広大な耕作地の作物の生育状況や、地下に眠る未開の資源、北極海の海水の変化の観測など多方面で利用されるようになった。

中島さんが注目したのは雲だ。「地球の地肌を見ようとするとき、雲はじゃまな存在です。しかし気候や気象の予想では、激しく変化して大きな影響を与えている雲が主役なのです」と目を輝かせる。

「思えば、昔からぼんやり雲を見るのが好きだったのです。宇宙からなら、よく見えるだろうなと思いました」。それが研究のきっかけだった。

雲は、時々刻々その形や大きさを変えるだけに、影響の移り変わりも複雑だ。雲がなければ太陽光は直接地表まで届くが、雲があると反射して宇宙に逃げてし

まう。反対に、地表から逃げていく熱を雲が閉じ込めることもある。こうして雲は、地球に出入りするエネルギーの調整役を果たしている。しかし、その調整役がどのように誕生し、消えていくのかは、まさに雲をつかむような話で謎のままだった。

「雲の一生を追求したら他人とは違う面白いことができるはず」とこの分野に飛び込んだ。

## 複数の衛星画像から日射量を算出

気象衛星からの写真を見ると、雲は数日かけて日本列島の上空を西から東へと移動する。その様子から同じ雲がずっと存在しているように感じるが、1つの雲だけを観察すると、その一生はずっと短い。「雨雲の場合、実は発生してから1時間半ほどで消滅しています。雲は、人知れず世代交代しているのです。人間活動の影響を受けて、雲の質が変化することもわかってきました。雲の発達メカニズムが詳しく解明されれば、人がどのような影響を与えているのかもはっきりするはずですよ」

と言う(p.6上図)。

雲には薄いものも厚いものもある。雲をつくる水滴や氷の粒の大きさによっても、光を反射する度合いに違いが出る。また、多湿な地域では晴天でも目に見えない水蒸気が赤外線などの光を吸収している。こうして地表に届く日射量に差が生まれる。

「人工衛星から雲をみることで、地上に到達する日射量がわかります。これが気象や気候の変動をとらえるための基本情報となるのです」と説明する。

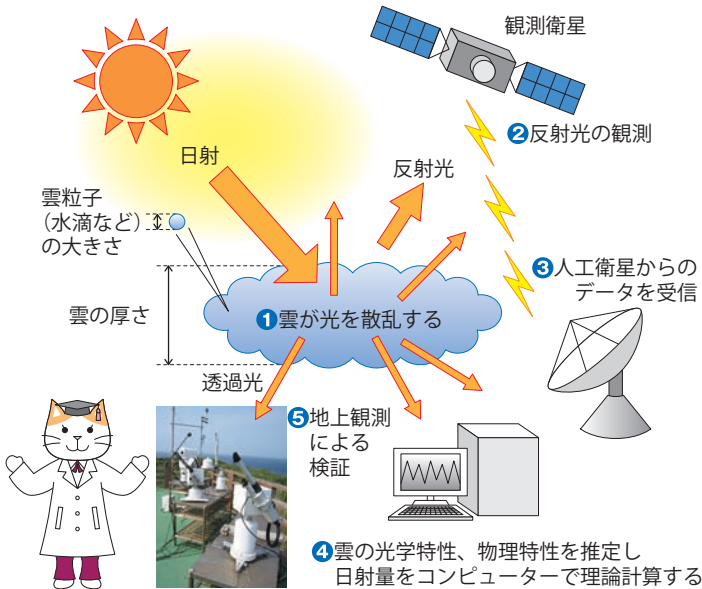
地球観測衛星は、可視光や赤外線など、いろいろな波長の電磁波を測定するセンサーを搭載している。雲の情報はほ

## 中島 孝 なかじま たかし

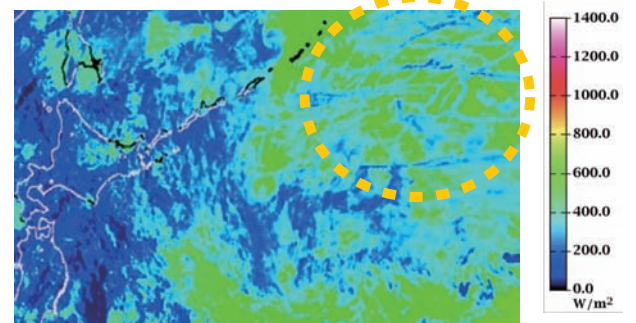
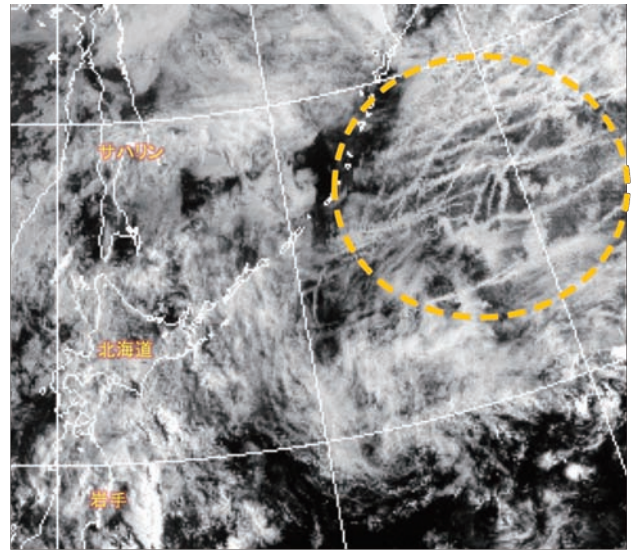
東海大学情報技術センター／東海大学情報理工学部情報科学科 教授

1992年、東京理科大学理学部第1部物理学卒業。94年、東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻(修士)修了。同年、宇宙開発事業団(現・宇宙航空研究開発機構)研究系職員として、約10年にわたり「みどり」、「みどりII」プロジェクトに従事。2002年に博士号を取得(東京大学)。04年より千葉大学環境リモートセンシング研究センター客員助教授(～07年)。05年より東海大学情報デザイン工学部情報システム学科准教授、国立環境研究所客員研究員を兼任(～11年)。08～09年、米国コロラド州立大学大気科学科訪問研究員。12年に東海大学情報デザイン工学部情報システム学科教授。13年より現職。





地表における日射量の推定方法。衛星が観測する反射光から、雲の光学特性・物理特性を雲粒子サイズや雲の厚さを含めて詳細に推定し、地表の推定日射量をコンピューターで理論計算する。また、地上での観測データによる検証や衛星データの品質管理、モデルの改善により高精度化を目指している。



人間活動が雲に影響を与えた例。船舶や航空機の排気ガスがきっかけで生まれた雲（航跡雲）を衛星画像がとらえた（上、黄色の点線部分）。中島さんの研究チームが推定した日射量（下）にもその影響が大きく表れている。

ほとすべての波長の観測から得られる。衛星から届く画像にはノイズやしま模様が含まれる。実際の地形からの歪みなども修正しながら補正するだけで膨大な計算量になる。その後、それぞれの波長の画像から明るさや温度などの情報を読み解き、どこにどのような雲があるのかを推定していく。中島さんのチームでは地上の測定データで検証しながら、より正確な雲モデルをつくってきた。解析アルゴリズムも改良を重ね、何日もかかる計算を数十分で処理できるまでになった。

データは日本の気象観測衛星「ひまわり」だけでなく、JAXAが打ち上げる衛星、また米国やヨーロッパの衛星からもたくさん集めている。より質のよいデータが得られるよう、新しい地球観測衛星には設計段階からかわり、利用する立場からセンサーの仕様などを細かく提案している。

## 気象学の枠を飛び出してCRESTに参加

研究の原点は、雲が誕生し消滅するまでの過程を純粋に解き明かすこと。理学分野の1つである気象学を基本に、雲がどのように太陽光を反射し、透過させるのかを調べ、観測データから日射量を算出するシステムを開発した。気象学は、天気予報や気候変動予測はもちろん、運輸・

防災などの分野で役立てられているが、もっと幅広い分野に展開できないだろうか考えた。

注目したのが、再生可能エネルギーだった。太陽光発電は、どれだけ発電できるかが文字通りお天気任せのため、主要なエネルギー源として頼るには不安定な部分もある。中小規模で出力が一定しない電力を大規模な電気網で活用するには、賢いエネルギー管理システムが必要となる。

「太陽光発電も、燃料に相当する日射量を知ることができれば、発電量が予測できます。正確な供給量がわかれば、電力網への組み込みが進むと考えた矢先、CRESTに分散協調型エネルギー管理システムを実現するための研究領域ができたと聞きました。私たちの研究が役に立



チーム再編成のためのフィジビリティスタディに向けて、異分野融合を促進させる目的で実施された東海大学宇宙情報センター（熊本）での会議にて、5チームが集まった。



つはずだと思い、応募することにしました」と振り返る。

その研究領域は新しいシステムの構築が目的のため、なじみのない工学分野や社会科学分野の研究者との連携が欠かせない。中島さんらの研究チームの提案は2012年度に採用され「せっかく新しい分野に取り組むなら、とことんやろう」と、一念発起して研究をスタートさせた。ただ、物事の真理を探る地球科学の研究に取り組んできた中島さんにとって、他分野の研究者の関心のありかや専門用語の違いがつかめず戸惑うことも多かった。

「会議でも、話の内容がしっかり理解できない状態が半年以上も続き大変でした。それでも合宿などを通じていろいろな人たちと話す中で、この世界で必要とされている気象データの質や更新頻度など、何を提供すればよいかという着地点がお互いだんだんと見えてきました」と今は手応えを感じている。

同研究領域では、最初から大きなチームは組まず、現在の中小のチームを再編成して2015年度から研究を本格化させ

るCREST初の試みを予定している。準備として、いくつかの研究チームが試験的に共同研究しながら実行可能性を探っている。中島さんも他のチームに種々の日射量のデータを提供し始めた。

例えば、1軒の家に当たる日射量がピンポイントで欲しいという要請もあった。太陽電池パネルが付いた家のエネルギー利用をコントロールする研究のためだ。簡単なようだが、衛星データは画素1点で1キロ四方をカバーする。衛星の姿勢のちょっとしたずれでまったく別の場所のデータになってしまう。千葉大学グループの研究者が苦心して検討した結果、緯度経度を正確に補正できるようになった。

「それぞれのチームに必要なデータが異なるため、どこまで対応できるのかを見極め、応用力を高めているところです。天気予報などで身近な気象学ですが、その利用はまだまだ限られています。この取り組みを通して、工学分野の人たちにも気



中島さん（中央）と研究室のスタッフたち。

象データがもっと役立つものであることを実感して使ってもらいたいですね。そのためにも、地道な検証を重ねながら、さまざまなニーズに応える確かな気象データを構築していきたい」と力を入れた。

日本の電力システムが転換点を迎える今、実用的な新しいエネルギー管理システムの確立は大きな意味を持つ。太陽光発電は、天候などによる不安定さがつきまとうが、気象学と工学や社会科学との異分野融合が進むことで弱点を克服する新たな道が開けるに違いない。

## CRESTが挑戦する新たな研究運営手法

**藤田 政之** ふじた・まさゆき

CREST「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」研究領域 研究総括  
東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻 教授



この研究領域は、再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需要の最適化を可能とする分散協調型エネルギー管理システムの構築を目指しています。CRESTの他の領域にはない大きな特徴として、2015年の春に研究チームの再編成を計画しています。通常は同じ研究チームで最後まで研究を進めますが、この研究領域では2～3年の助走期間の後、現在の研究チームを複数組み合わせ最強チームで5年間活動してもらう予定です。

エネルギーシステムなど、社会的問題を「しくみづくり」で解決するには、もはや限られた研究分野だけではカバーできません。エネルギーや制御、通信、情報といった工学系分野だけでなく、理学や社会科学に至るまで、数多くの分野の研究者が協力する必要があります。しかし、個々の研究者にそのような幅広いネットワークを期待するのは無理があります。真の異分野融合を実現するにはどうしたらよいか、という議論から今回の試みが始まりました。最初の1年余りは領域全体で合宿などとして議論を深め、お互いを知ることに重点を置きました。2年目からは少しずつチーム間で連携できるテーマを掲げ、再編成を見据えた取り組みをしています。その試行錯誤から、最強チー

ムが生まれれば良いと考えています。

優れた研究者たちが集まっていますので、それぞれの自主的で自由な発想を大事にしていきたいと考えています。ただし、任せすぎて実用的なシステムの構築につながらなければ意味がありません。そのため、産業界・大学など各方面のリーダーに領域アドバイザーとなってもらい、海外の専門家なども含め各チームに助言するようにしました。

新しいシステムを生み出す研究は、新しい分野そのものをつくることに等しいと思います。分散協調型エネルギー管理システムというお題目はありますが、その具体的な姿ははっきり見えていたわけではありません。目の前の目標に向かって研究を進めながら、折々新たな目標設定を繰り返し、できる限り最適な運営を心がけています。

学際的にも国際的にも総動員で、今月は米国（NSF）やドイツ（DFG）の研究者たちとの合同ワークショップも予定しています。さまざまな試みを交えながら、最強チームでエネルギー政策に貢献し、分野融合による新しい理論や学問体系の創出を目指します。