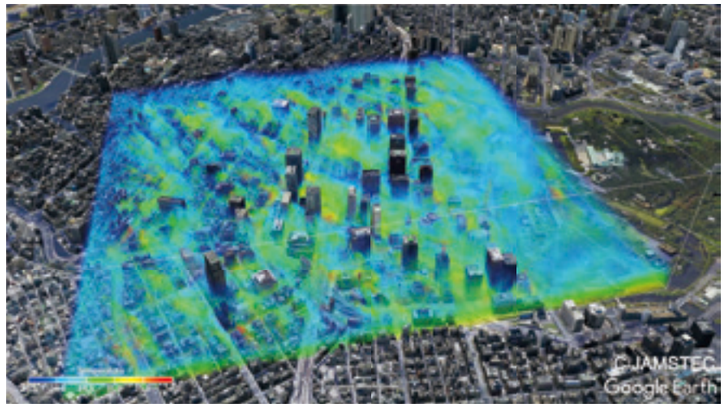
特集2

気象情報インフラを構築 快適な未来都市の実現へ

人工知能（AI）を活用した5メートル間隔の気象をリアルタイムで予測する気象情報インフラの構築に挑むのが、海洋研究開発機構地球情報基盤センターの大西領グループリーダーだ。気象関連の災害や被害などが起こらない、安全安心で快適な未来都市の実現を目指している。その足掛かりとして、都市空間の局所的な気象予測に基づき、個人の熱中症リスクを評価する技術の開発に成功した。

おおにし りょう
大西 領
海洋研究開発機構 地球情報基盤センター
グループリーダー
2018年より研究開発代表者

海洋研究開発機構の地球シミュレータ。2002年に「人類的課題に挑戦できる世界最速のスーパーコンピューター」として運用を開始し、現在は第3世代が稼働を続けている。



■図1 東京駅中心の2キロメートル四方のエリア。シミュレーションによって算出された2015年8月7日14時30分（晴れ、気温35度、湿度50パーセント）の3次元気温分布。青から赤になるにつれて気温が高くなる。

■図2 未来都市で実現を目指す気象情報インフラのイメージ。サイバー世界と実世界で情報をやりとりして、計測、予測、制御のフィードバックループを構築し、自然と調和した社会サービスを実現する。

都市空間で高精度予測 AIとの技術融合に挑戦

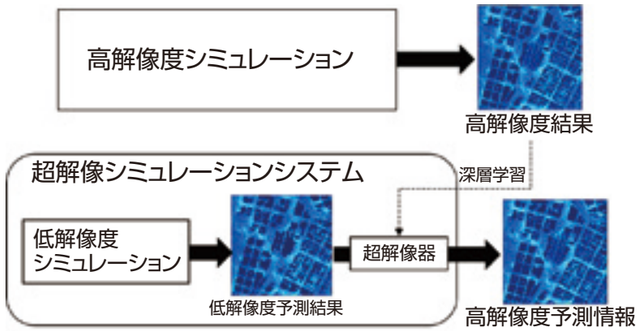
気象はもっぱら地球規模の現象として捉えられるが、海洋研究開発機構地球情報基盤センターの大西領グループリーダーによれば、数百メートル四方で生じる「微気象」こそが、快適な未来都市を実現する鍵を握るという。例えば、自動運転車が微気象情報を計測し、そのデータをもとにリアルタイムで数分後の微気象を予測できれば、ゲリラ豪雨のような急な天候変化にも自動運転車が対応し、事故が起きない安全なドライブを楽しめる。

機械が自然と調和して動く社会を目指して、大西さんは都道府県などの地域単位でなく、個人の生活に身近な狭い範囲での気象予測に取り組んでいる。そのために必要なのが、気温・気圧などの気象データと人間の社会経済活動データを同時に扱える気象情報インフラだ。「夏の暑い日に気温が上昇すると、多くのオフィスや家庭でエアコンを使用し、消費電力が増大してしまいます。室外機からは大量の熱気が排出され、さらに気温を上昇させるでしょう。都市街区内の微気象を高い精度で予測しようとすると、社会経済活動のデータも取り入れることが必要になるのです」。

多様かつ膨大なデータの計算に威力を発揮するのが、大西さんが開発したマルチスケール大気海洋結合モデルMSSG（メッセージ）だ。気候変動や地震などの大規模なシミュレーションを行うスーパーコンピューター「地球シミュレータ」の高い計算能力が活用されている。「気象予測では一般的に、地球全体、特定の地域、都市スケールの異なるモデルが使用されます。MSSGは3つのスケールを単一の数値モデルで扱えて、大気現象と海洋現象の両方を計算できることが強みです」。MSSGを使えば、地球規模の気候変動から、東京駅周辺のような狭い地域の環境変化まで、シームレスにシミュレーションできる。加えて、建物や道路、樹木など周辺環境の影響も考慮した定量的な解析が可能になる（図1）。

データの計測手法や計算モデルを含む高精度なシミュレーションシステムを開発するだけでなく、予測結果を生活に役立つ技術やサービスにつなげる気象情報インフラを作り上げることが大西さんの目標だ（図2）。「そのためにはリアルタイム予測が欠かせない」と考えたが、5メートル間隔の気象情報を分単位で更新するには、地球シミュレータほどの高性能なスーパーコンピューターをもってしても、1時間先の微気象を予測するのに1時間かかるという。

「一般的なパソコンでも数分で処理できるデータ量で微気象の未来予測を行おうとすると、20メートル間隔で得られるデータを扱うのが精一杯です」。しかし、これでは予測精度が低くなってしまう。大西さんは気象シミュレーションとAIの技術を融合させることを思い付いた。5メートル間隔の微気象の条件や変化をAIに事前に学習させておくことで、20メートル間隔のデータで得た粗い解像度の予測を5メートル間隔のデータに基づく予測と



■図3 AIを活用した超解像シミュレーションシステムにより、20メートル間隔の低解像度の予測結果を5メートル間隔の高解像度相当に変換することが可能になった。

同程度の解像度に高める超解像シミュレーション技術の開発に成功した（図3）。テレビやレコーダーが数十年前の粗い記録を4K解像度相当の映像信号に変換して再生するのと同じアイデアだ。超解像シミュレーションによって計算量が250分の1に抑えられ、リアルタイム予測の実現へ道を拓いた。

人体モデルでシミュレーション 個人の熱中症リスクを評価

都市空間の微気象のリアルタイム予測はさまざまな社会サービスへの応用が期待される。その1つとして、大西さんは都市空間で実際に行動した場合の熱中症リスクの評価技術の開発に取り組んだ。毎年夏になると最高気温が35度を超える猛暑日が続き、高齢者や子供を中心に多くの人が熱中症で病院に搬送される。「熱中症のリスクは、活動場所の日射条件や年齢、健康状態によって大きく変わります。どこで倒れたのか、どんな活動していたのか、どういう熱環境だったのか。データを集めて、モデルを構築することが求められています。そのためにも気象情報インフラが必要なのです」。

気温が上昇すればそれだけ熱中症のリスクも高まるが、症状には個人差がある。実は人体を構成する体内組織も、それぞれ熱に対する応答が違っている。運動量に応じて熱を発する臓器もあるが、一方で組織が発した熱が発汗を促し、熱を逃がす仕組みも人体に備わっている。

熱中症のリスクを正確に評価するため、大西さんは都市街区の微気象のシミュレーションに、名古屋工業大学先端医用物理・情報工学研究センターの平田晃正教授が開発した熱中症リスクを予測する温熱人体モデルを適用した。50を超える体内組織の熱に対する応答の違いを考慮した詳細な人体モデルで、高齢者や乳幼児などの特性も加味されている。「人体にどのような角度で日光が照り付けるのかといった日射の情報も必要になります。MSSGを生かして、5メートル間隔で算出した気温、湿度、日射量、風速の気象データを入力し、3次元の熱放射環境をしっかり計算しています。開発した微気象シミュレーションは、暑さ指数を正確に予測できるのが強みです」と大西さんは誇る。

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会のマラソンコースに予定されていた東京都中央区の銀座周辺で、熱中症リスクの評価を試みた（図4・5）。人が時速4キロメートルで23分間歩いたと想定し、日向のルートと日陰のルートでの深部体温（体の内部の温度）上昇と発汗量の予測を比較した。成人では日向で0.39度、日陰で0.22度、子供では日向で0.48度、日陰で0.28度、体温が上昇するという予測が得られ、成人と子供のリスク差が確認された（図6）。米国政府の労働衛生専門家会議による熱中症リスク管理では1度の深部体温上昇を作業中止の基準としており、この差は小さくないといえる。

時々刻々と変化する熱中症リスクを個人単位で定量的に推測すれば、熱中症リスクを軽減した行動を提案するシステムを構築できる。大型イベントの開催時、暑さを感じる観客が多くいる場所に休憩所やタクシー乗り場を設置すれば、熱中症で倒れる人を減らせるだろう。個人のみならず都市全体の熱中症リスクも最小化できるのだ。「熱中症リスク評価技術が、炎天下で開催されるスポーツイベントや音楽フェスティバルなどで、熱中症リスク軽減策として利用されることを期待しています」。

ビル風の発生を予測して ドローンの安定飛行を支援

大西さんの考える気象情報インフラの活用は、熱中症リスクの低減に留まらない。エネルギー・マネジメント、さらにはドローンの安定航行に貢献するための技術開発が同時並行で進められている。

気温の上昇を正確に予測できれば、気温が上昇する少し前にエアコンを稼働させ、あらかじめ室温を下げることで、電力消費のピークを抑制する管理運用が可能になる。電力の最大消費を抑えること（ピークカット）と、移すこと（ピークシフト）により、次世代のエネルギー・マネジメントの確立に貢献する。

近い将来、ドローンが物流に革新をもたらすと期待されているが、肝心のドローンが風に弱いことが指摘されている。安定して吹いている風なら、比較的強風でも耐えられるが、乱気流のようなビル風には非常に脆弱だという。そのため、需要が高いと想定されるにもかかわらず、都市街区でドローン物流を確立するには大きな壁が立ちはだかっている。シミュレーション結果を活用すれば、ビル風の発生を予測してドローンを安定して飛ばすのに役立てられるだろう。

スマホを気象センサーに 微気象予測が都市を変える

より高精度な熱中症リスクの評価や、ドローンの安全飛行のための微気象予測を実現するには、どのように都市気象データを得るかが課題である。

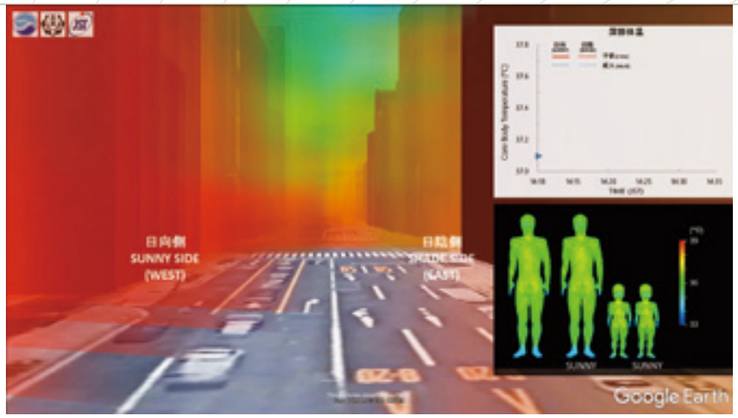
通常の天気予報で用いられる観測網は日本全国をくまなく網羅するため、国内約1300カ所、降水量の観測網で17キロメートル四方の正方形につき1カ所の密度である。微気象の予測には粗過ぎるが、数メートルや数十メートル間隔の細かな観測網を新たに整備することは現実的でない。

そこで気象センサー代わりに利用しようとしているのが、スマートフォンだ。人や物が集中する都市空間では、無数に存在するスマートフォンから多くの情報が得られるに違いないと考えたからだ。

大西さんはこう説明する。「スマートフォンには多様なセンサーが搭載されています。撮影した画像には位置情報が含まれますし、写っている雲の種類や量を推定する技術も開発しているところです」。

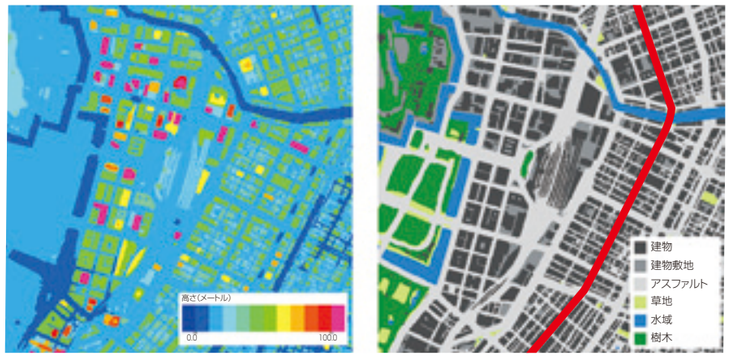
スマートフォンが測定した気象データを定量化して、微気象を高精度にシミュレーションすることにより、自然と調和した気象情報インフラが構築される未来は近い。

「未来を正確に予測できるなら死んでもいい」と冗談まじりに語る大西さん。「微気象のスケールで捉えることで、今まで考えもしなかった因果関係が見えてきます」と確信している。「どこで風が吹き、どこが太陽光発電に適しているのか。微気象を踏まえて、再生可能エネルギーを取り入れた都市計画もできるようになるでしょう」。微気象の予測シミュレーションを基盤として、新たな技術やサービス、そして、より豊かで持続可能な未来がもたらされるに違いない。

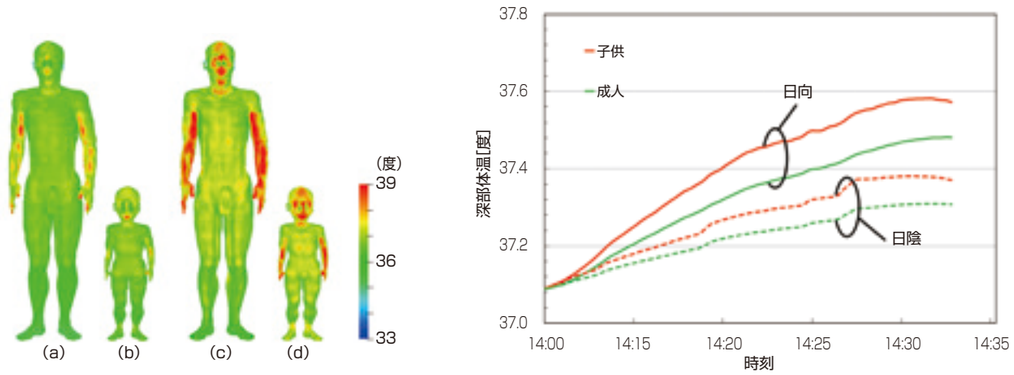


■図5 通りの日陰側（西側）と日向側（東側）で、およそ最大で1.5度、平均で0.4度の違いがある。どこの交差点が暑いか、道のどちら側が暑いか、などが明確にわかる。

https://youtu.be/BFH7vxa1lqw



■図4 2キロメートル四方で、上空1キロメートルまでを対象として、解像度5メートルの計算を実施した。左図は計算に利用した建物高さ情報、右図は土地利用情報。東京オリンピックのマラソンコースに予定されていた通り沿い（右図の赤線）を時速4キロメートルで歩くことを想定して、歩行者がさらされる熱環境変数（気温、湿度、風速、日射量）の時間変化を算出した。



■図6 左：23分の歩行後、(a)成人（日陰）、(b)子供（日陰）、(c)成人（日向）、(d)子供（日向）それぞれの体表面温度分布。日向を歩いた場合は、頭や腕を中心に体温が顕著に上昇している。右：歩行者の深部体温の時間変化。太陽光の影響に加え、成人と子供で熱中症リスクが異なることが確認された。