

## 第3章 JAMSTEC のシミュレーションについて

### 3.1 地球シミュレータ

地球シミュレータは、2002年3月に、地球温暖化を始めとする気候変動の解析・将来予測、地震や地球内部変動の解明等、世界に類を見ない「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」として運用を開始した。特に気候変動研究分野では、温暖化予測実験に広く利用され、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書作成に大きく貢献した。また、その高い計算能力は、材料開発、輸送機器改良、デバイス開発、医薬品開発など、最先端の産業分野にまで広がり、従来のシミュレーション研究では到達できなかったレベルの成果が発表された。

その後、2009年3月、2015年3月、2021年3月に更新を行っており、現在は第4世代になる。これにより、従来では難しかった複雑なパラメータを扱うシミュレーションや、より大規模なシミュレーションを高速に行うことが可能となり、地球環境問題の解決や地殻変動、地震発生機構の解明や津波被害の予測などへの更なる貢献が期待される。



図3-1 地球シミュレータの外観 (JAMSTEC ホームページより引用)

### 3.2 シミュレーションモデルについて

共同研究では、JAMSTEC で開発されたマルチスケール大気・海洋結合モデル MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment、略称は“メッセージ”)を用いた<sup>1)~4)</sup>。MSSGは全球スケール、メソスケール(特定の地域)、及び都市街区スケールの大気海洋シミュレーションをシームレスに実行できるように設計されている。MSSGの大気コンポーネントの力学過程は非静力学方程式系に基づいており、密度、運動量、圧力及び水物質の輸送方程式を逐次的に解くことで時間的に変化する大気場を計算する。全球～都市街区の各スケールでは、計算領域サイズに応じて異なる計算メッシュサイズ(解像度)が用いられ、高解像度の場合には、全球スケールで数km、メソスケールで数百m、都市街区スケールで数mの計算メッシュでのシミュレーションが可能である。全球及びメソスケールでは、個々の建物などの都市構造物は計算メッシュサイズよりも小さいため、建物群としての影響を都市キャノピーモデルにより考慮する。一方、都市街区スケールでは、建物などの形状が陽に解像されたシミュレーションを実行することができる。ここでは、便

宜的に全球・メソスケールでのシミュレーションを気象シミュレーション、都市スケールでの建物解像計算を微気象シミュレーションとして区別する。

気象シミュレーションでは、都市の影響以外にも様々な物理プロセスの影響を考慮するために、境界層モデル、雲物理モデル、放射モデル、地表面フラックスモデルなどの要素物理モデルを用いた計算を行う。地形に沿った計算格子を用い、メッシュごとの土地利用種別等の情報を入力することで、対象地域の特性を反映したシミュレーションを実行することができる。

微気象シミュレーションでは、微細なスケールの物理プロセスに適した要素物理モデルとして、建物や樹冠（樹木の葉の茂っている部分）の三次元的な分布に応じた三次元放射モデルや樹冠モデル、乱流輸送モデルなどを用いた計算を行う<sup>3),4)</sup>。建物についてはボクセル法により表現し、建物が風の流れに及ぼす影響や、屋上や壁面での熱収支の効果などを計算することができる。樹冠については、葉面積密度の空間分布により表現し、風の流れを遮る効果、熱放射の効果及び樹冠と大気との熱・水蒸気の交換に及ぼす効果を計算することができる。なお、都市街区内の暑熱環境においては、気温と湿度だけでなく、太陽から差し込む日射や熱を持つ壁面から射出される熱放射等の放射熱も重要な要素である。そこで、複雑な三次元形状を持つ都市空間内での放射熱輸送を精緻に考慮するために、MSSG による微気象シミュレーションでは、建物や地面による日射の遮蔽・反射、樹冠による日射の透過・吸収・散乱及び建物・樹冠・地面などからの熱放射などの効果を考慮した三次元の放射計算を行うことができる<sup>3),4)</sup>。

MSSG による微気象シミュレーションはこれまでも実在街区の暑熱環境評価に活用されてきた。2014年には、新国立競技場（旧設計案）周辺の暑熱環境評価を行い、そのシミュレーション結果が日本学術会議による提言の中で引用された<sup>5)</sup>。三菱地所設計と竹中工務店との共同研究では、丸の内パークビルの中庭の熱環境に及ぼす樹木の効果を解像度 1 m の微気象シミュレーションによって明らかにした<sup>6)</sup>。その後、環境省及び文部科学省からの協力要請に基づいて、2020 年東京オリンピック・パラリンピックを契機とした効果的な環境対策の在り方の検討の参考とするため、東京湾臨海部の緑地の効果の解析を実施した<sup>7)</sup>。その際には、東京湾臨海部をカバーする 12.5 km × 14.0 km を計算領域とした大規模シミュレーションを実施した。横浜みなとみらい 21 地区を対象とした暑熱環境解析では、冷涼な海風や緑陰による暑熱緩和効果の再現に成功した<sup>8)</sup>。2019年には、埼玉県の熊谷スポーツ文化公園を対象に集中観測と MSSG 建物解像計算を実施した結果が、暑熱対策のための公園改修計画に活用された実績がある<sup>9)</sup>。

#### 参考文献：

- 1) K. Takahashi, R. Onishi, Y. Baba, S. Kida, K. Matsuda, K. Goto, and H. Fuchigami: Challenge toward the prediction of typhoon behavior and down pour, *J. Physics*, 454, 012072 (2013)
- 2) W. Sasaki, R. Onishi, H. Fuchigami, K. Goto, S. Nishikawa, Y. Ishikawa, and K. Takahashi: MJO simulation in a cloud-system-resolving global ocean-atmosphere coupled model, *Geophys. Res. Lett*, 43, 9352-9360 (2016)
- 3) K. Matsuda, R. Onishi, and K. Takahashi: Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 173, 53-66 (2018)
- 4) 松田景吾、大西領、杉山徹、高橋桂子: 高解像度気象 Large-Eddy Simulation を用いた街区スケール暑熱環境解析、シミュレーション、38-3、138-144 (2019)
- 5) 日本学術会議環境学委員会・都市と自然と環境分科会による提言: 神宮外苑の環境と新国立競技場の調和と向上に関する提言、<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/division-15.html> (2023年3月時点)
- 6) 国立研究開発法人海洋研究開発機構、株式会社三菱地所設計、株式会社竹中工務店: 高層ビルに囲まれたオアシス緑地の低温化現象と樹木の効果 — 3次元連続観測と街区解像シミュレーションにより解明— [https://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20150319/](https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20150319/) (2023年3月時点)

- 7) 国立研究開発法人海洋研究開発機構:超高解像度数値シミュレーションにより東京湾臨海部の緑地の効果を解析 ～2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を契機とした暑熱環境対策の検討に貢献、[https://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20160331\\_2/](https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160331_2/) (2023年3月時点)
- 8) 国立研究開発法人海洋研究開発機構:「海洋都市横浜」を海風利用で涼くさせるまちづくりへ —みなとみらい21 地区をフィールドとした数値シミュレーションと観測から解析—、[https://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20170519/](https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20170519/) (2023年3月時点)
- 9) 埼玉県:スパコン技術を活用したヒートアイランド対策を検証!熊谷スポーツ文化公園で集中気象観測を実施、<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2019/0725-07.html> (2023年3月時点)