

シミュレーションと可視化

地球シミュレータセンター 松岡大祐

スーパーコンピュータを用いた大規模な数値シミュレーションは、地球環境のメカニズムを探るために必要不可欠な研究手法の一つである。近年では、高精度な大気大循環モデルや海洋大循環モデルが開発され、さまざまな現象のメカニズム解明や異常気象等の予測を目的としたシミュレーション研究が行われている。一方で、こういったシミュレーションの結果は単なる数値の羅列であるため、データの中で起きている現象を人間が把握するためには、視覚的に理解できる形にデータを変換しなければならない。このデータから視覚的な画像に変換する手法を、可視化とよぶ。本コラムでは、数値モデルの中で再現された海洋や大気などの地球の様子を、最先端の可視化手法を用いて表現した結果について紹介する。

海洋研究開発機構では、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いた高解像度の全球海洋大循環モデルOFES (Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator) の開発が進められてきた。OFESでは、0.1度(赤道上で約10km)という高い水平解像度で計算を行っている。図1はOFESによって計算された海面水温の分布を示している。図の下側に、データの値を色に変換するカラーマップを示している。冷たい水温から暖かい水温までを、紫から青、水色、緑、黄色、オレンジ、赤と変化するレインボーカラーで表している。水温と色と対応させながら図を見ると、太平洋の赤道海域では、インドネシア周辺は28度以上の高温であるのに対し、南米のエクアドル沖では23度以下になっていることが分かる。これは、東から西に向かって吹く貿易風の海面応力によるもので、海面近くの暖かい海水が西側に移動し、東側では下層から冷たい海水が海面に顔を出しているためである。また、図2は海面の流速分布を表している。明るい色は流れが速く、暗い色は流れが遅いことを表している。色の明るい領域には、大気の風の力によって駆動される海流や渦が再現されていることが分かる。特にOFESでは、数100km程度の大きさをもつメソスケールの渦まで細かく再現できている。

ところで、海の流れは低緯度から高緯度に熱を運ぶ役割を担っている。海水は空気と比べて4倍近く比熱が大きく、海流によって運ばれた熱は空気を暖める。これによって地球全体の熱収支がバランスよく保たれている。海流と水温の両者を一目で理解するためには、図1と図2を見比べるよりも、1枚の絵に重ね合わせる方が効果的である。図3は、水温の分布を紫から赤に変化する色(色相)で表し、同時に流速の分布を色の明るさ(明度)で表した、2次元のカラーマップを用いた可視化結果である。たとえば、赤くて明るい色は、暖かくて流れが速いことを意味し、青くて暗い色は、冷たくて流れが遅いことを意味する。世界中の様々な海流とそれらのもつ水温が表現されている。また、図4に1/30度というより細かい水平解像度のOFESの結果を、同様の手法を用いて可視化した結果を示す。日本の南岸に沿って北上する暖流である黒潮や、千島列島に沿って南下する暖流である親潮、それらが混ざり合う領域で数多くの細かい渦ができているのが見てとれる。

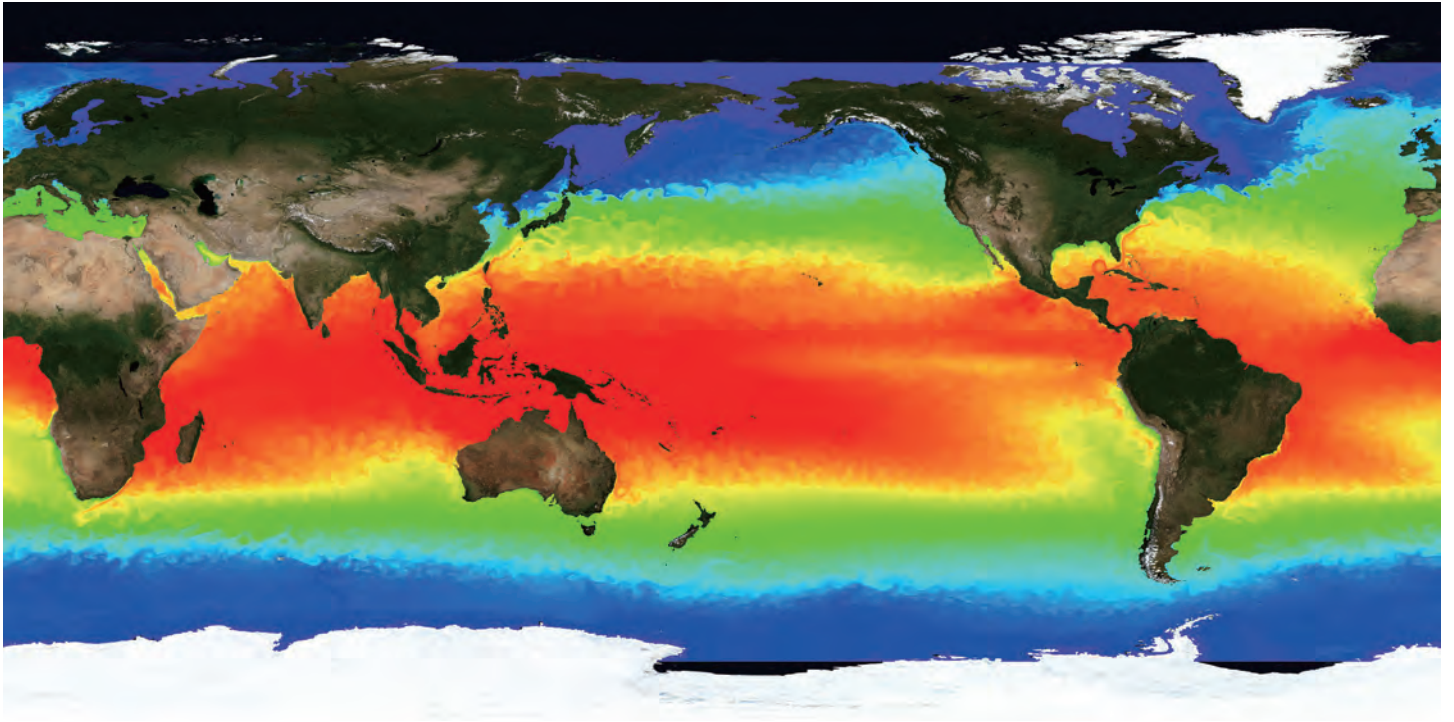


図1 OFESによって計算された海面水温の分布

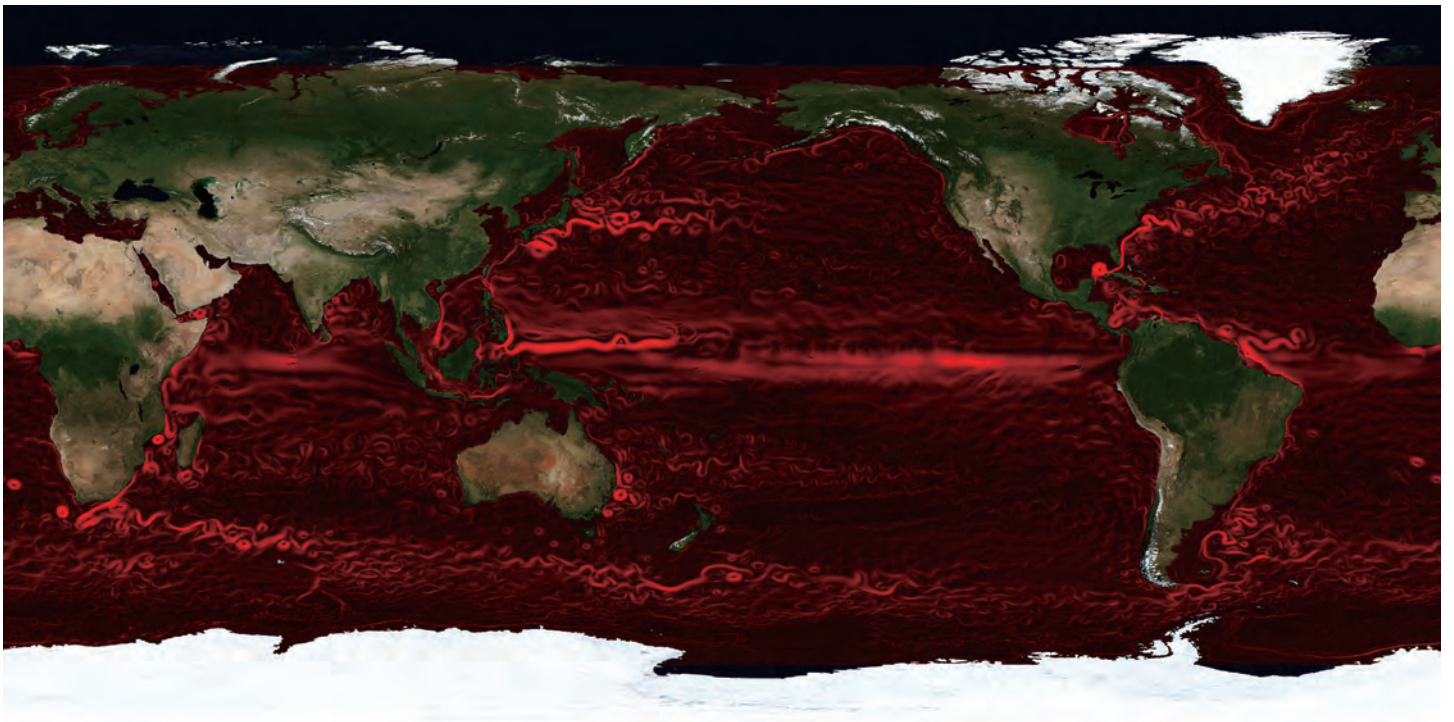


図2 OFESによって計算された海面流速の分布

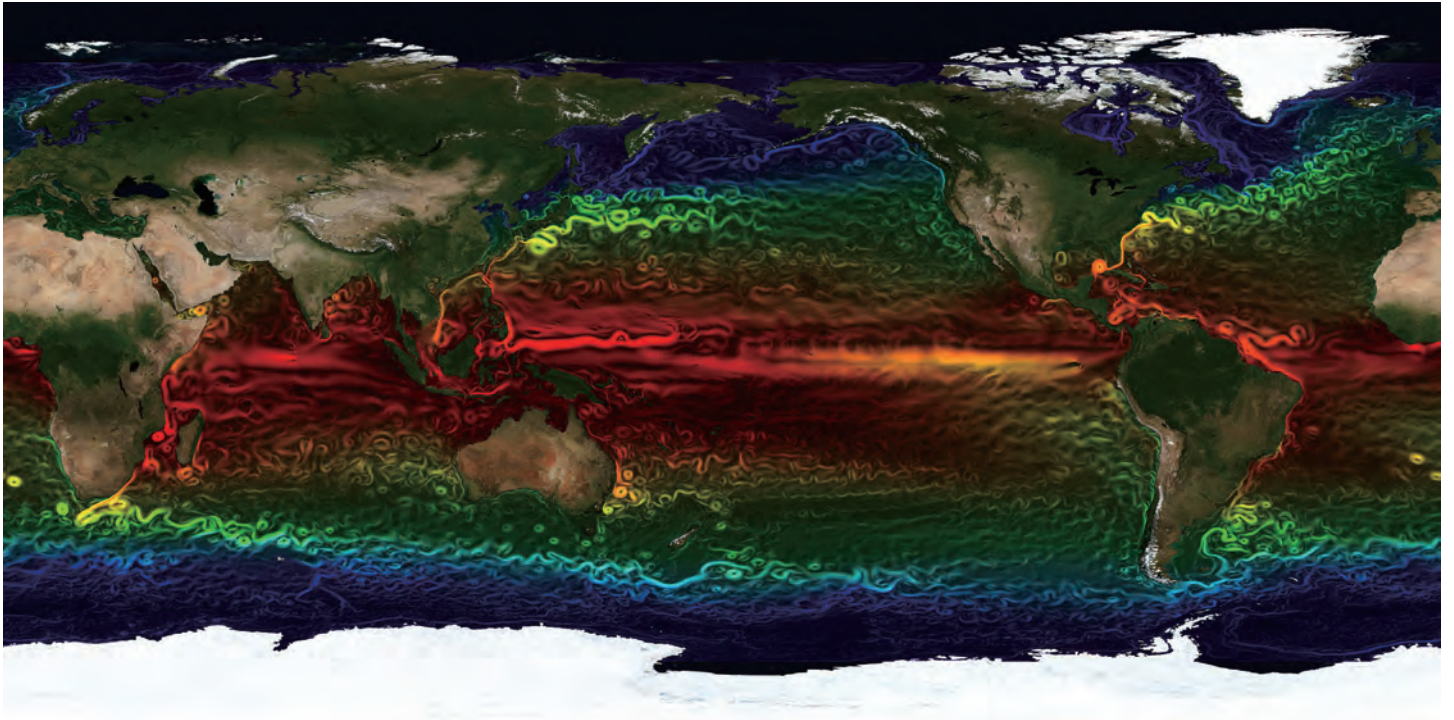


図3 海面水温と流速を同時に可視化した結果(動画あり)

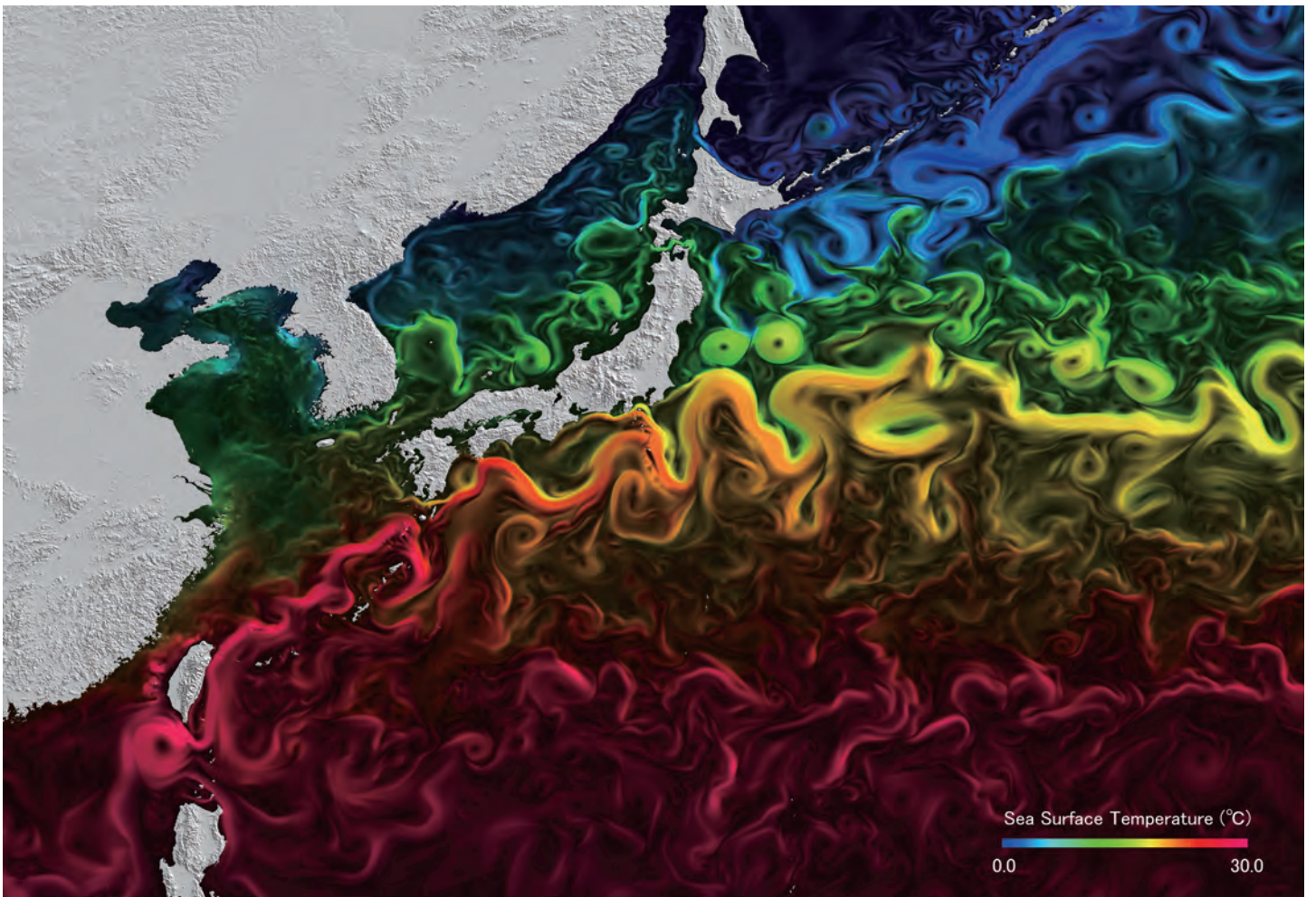


図4 海面水温と流速を同時に可視化した結果(日本周辺)

次に、大気シミュレーションの例として、海洋研究開発機構や東京大学の研究グループを中心に開発が進められている、全球大気大循環モデルNICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model) の可視化結果を紹介する。NICAMでは一つ一つの積雲を解像できるように、3.5kmという非常に高い空間分解能の計算格子を採用している。NICAMによって再現された、2004年6月11日のシミュレーション結果を図5に示す。図5は、外向き長波放射とよばれている、地表面や雲からの赤外線エネルギー量を示している。値が小さいほど背の高い雲があることを示しており、図中下側のカラーマップのように小さい値を白く描くことによって、雲の分布を知ることができる。まるで衛星写真のように、細かな雲が再現されていることが見てとれる。また、西側の熱帯太平洋では、発達中の台風が見える。

動画

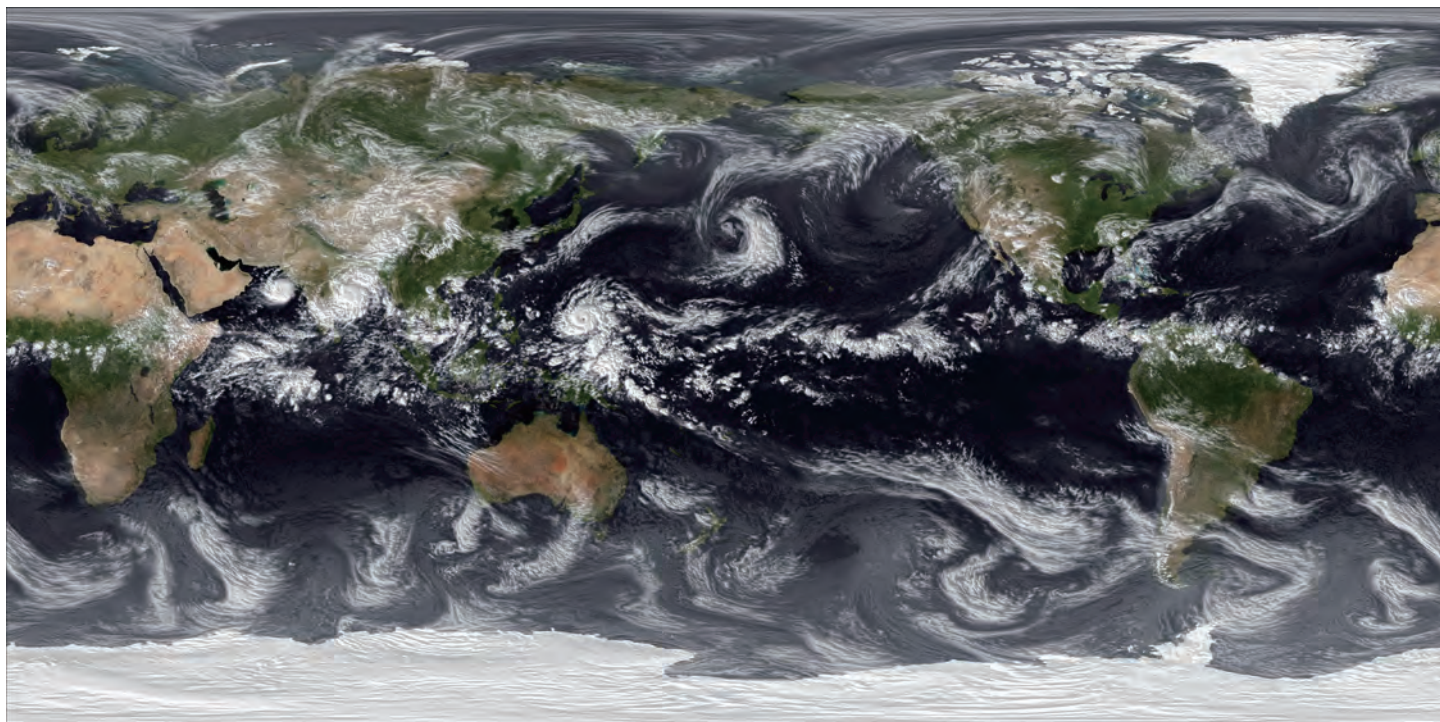


図5 NICAMによって計算された雲の分布(動画あり)

それでは次に、別の可視化手法を用いてシミュレーション結果を見てみよう。図6は、LIC (Line Integral Convolution) 法とよばれるベクトル場の可視化手法を用いて、大気下層の風の流れを白いスジのように表したものである。同時に、雲がある場所は太く濃い白のスジを、雲がない場所は細く薄い白のスジで表現している。日本の南側に見える発達中の台風の中に、渦巻き状の流れがスジのように見える。また、その他にもさまざまなスケールの流れがあることが分かる。

図7は、同様の手法を用いて地球全体のデータを可視化した結果である。その中でも、梅雨前線や台風等のよく知られた気象現象が発生している領域を図中下側に拡大して切り出した。拡大図では、雲の分布に降水量を重ねて描画している。図左下は日本に大雨をもたらす梅雨前線、中央は日本にも大きな被害をもたらす台風、そして右下は熱帯赤道域の上空で対流活動が活発な領域が1~2ヵ月かけて東に進んでいくマッデン・ジュリアン振動とよばれる現象を表している。

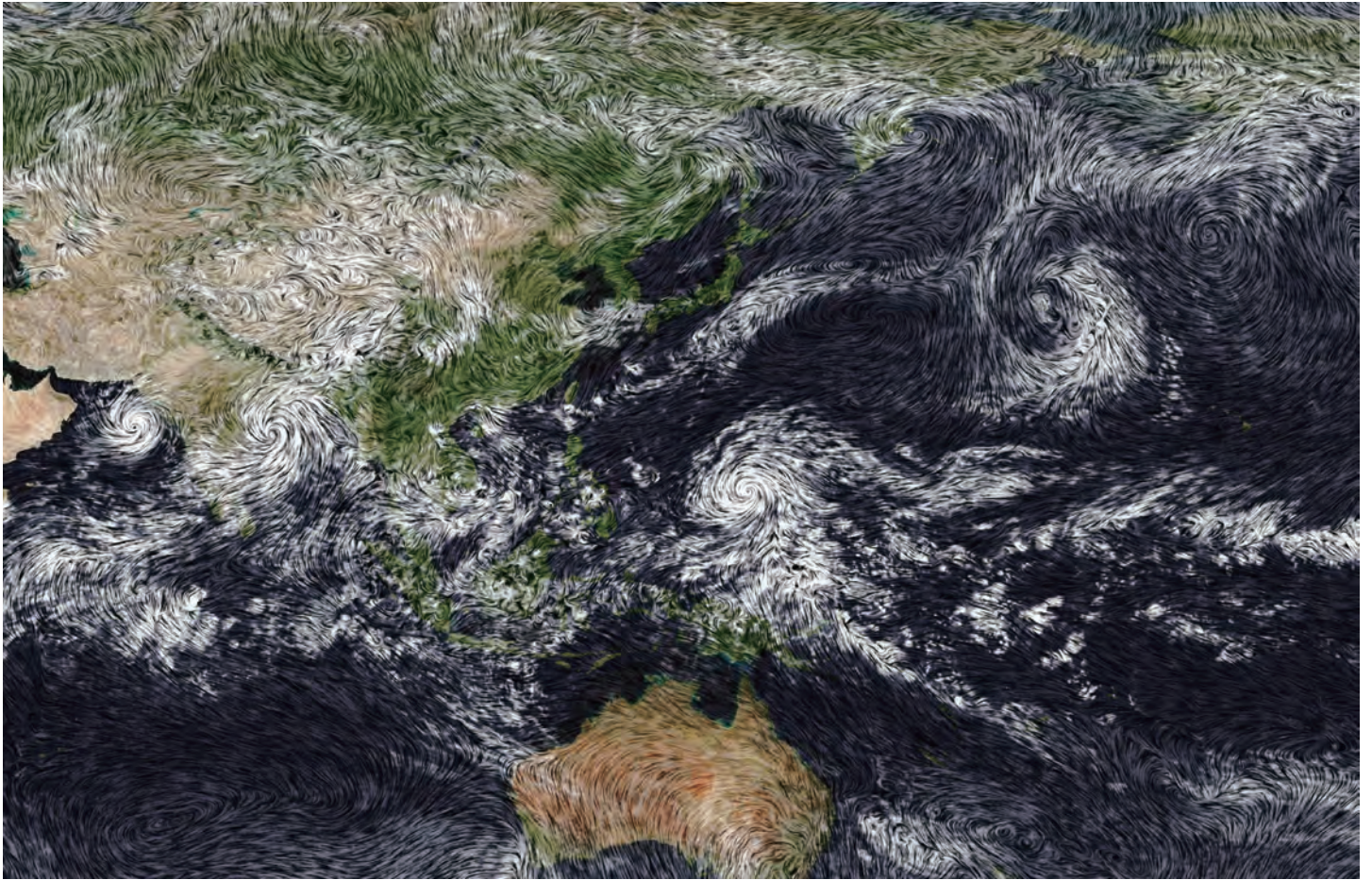


図6 NICAMによって計算された大気下層の風の流れと雲の分布

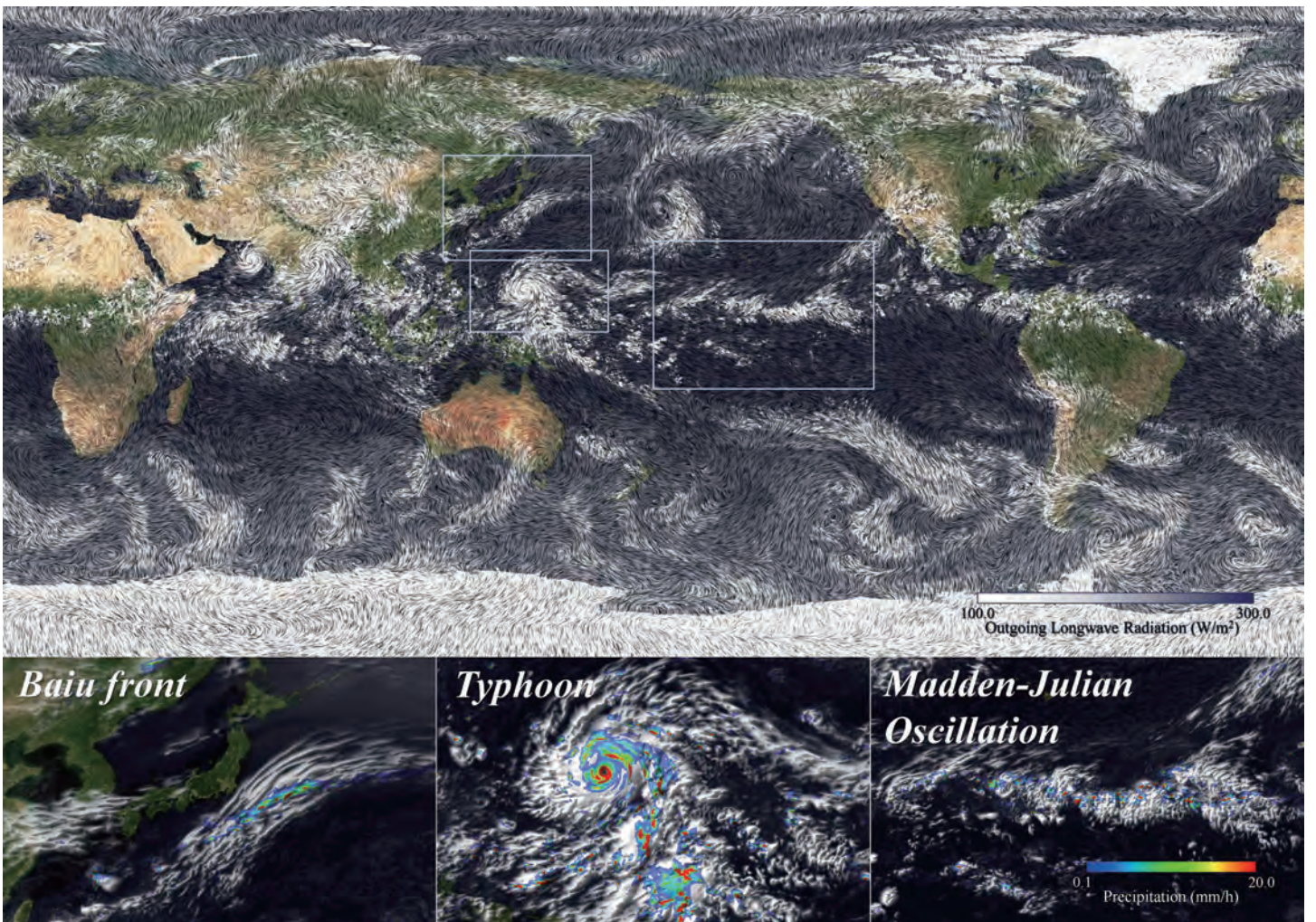


図7 NICAMによって再現された様々な現象. 梅雨前線(左下), 台風(中央下), マッデン・ジュリアン振動(右下)

本コラムでは、最先端のシミュレーションによって再現された海の流れや水温、または風の流れや雲、降水量の分布等、いろいろな関連する物理量を、最先端の可視化手法を用いて表現した結果について紹介した。複数の物理量を重ね合わせて同時に表現する「多変量可視化」によって、これまで理解することが困難であった様々なものを直感的に理解しやすくなる。シミュレーション技術と同様に、計算結果を理解するための可視化技術についても大きな発展が期待されている。