

局地数値予報モデルによる気象ソリューション

Weather Solutions by Local Numerical Weather Prediction Model

和田 将一

WADA Masakazu

篠原 哲哉

SHINOHARA Tetsuya

高木 敏明

TAKAKI Toshiaki

個人の生活や組織の業務において気象の影響を受けることは多く、社会には気象に起因する多種多様な問題が内在している。それらの問題を解きほぐし解決していくためには、業務に直結したシステムを構築するだけでなく、観測・予測技術など気象ならではのツールを使いこなした総合的なアプローチが必要不可欠である。

東芝は、局地数値予報モデルを用いて24時間以上先の気象状況を予測する気象予測システムを開発した。このシステムが生み出す気象情報を源泉に、これまで培ってきた技術やノウハウを結び付けることにより、気象に影響を受ける様々なユーザーに対して、観測、予測、運用支援をスルーしたトータルソリューションを提供していく。

The weather affects people's daily lives and business activities in many ways, and various problems caused by the weather are inherent in our society. In order to explore and solve these problems, an integrated approach is necessary such as building systems that directly support daily work by fully utilizing meteorological tools; that is, observation and prediction technologies.

Toshiba has developed a weather prediction system that enables atmospheric behavior to be predicted 24 hours or more in advance, using a local numerical weather prediction model. We provide a total solution to users including observation, prediction, and operational support, combining Toshiba's accumulated technologies and knowledge with the information generated by this system.

1 まえがき

気象は、私たちの日常生活や経済・産業活動に大きな影響を与えている。都市化が進む今日の社会では、防災における気象情報の重要性は増しており、電力システムの運用や小売店の在庫管理など産業分野においても気象情報が活用され始めている。今後は、IT(情報技術)社会の進展により、気象情報、とりわけ気象予測情報の活用範囲がますます拡大していくものと予想される。

東芝では、降雨や風のようなすを広域で観測するためのセンサである気象レーダを製造しており、その応用技術として1980年代から数値予報モデルの研究を行ってきた⁽¹⁾。アルゴリズムの熟成や計算機性能の向上を経て、このたび24時間以上先の気象現象をきめ細かく予測する“気象予測システム”の構築に成功したので、活用例を含めここにその概要を述べる。

2 気象予測システムの概要

2.1 局地数値予報モデル

流体力学や熱力学の法則により、未来の気象現象を定量的に予測するためのシミュレーションソフトウェアを数値予報モデルと呼ぶ。気象庁では世界各国から観測情報を収集し、大型計算機による演算により日本全国の天気を予報して

おり、これらの情報は多くの国民や企業にとって有益なものとなっている。

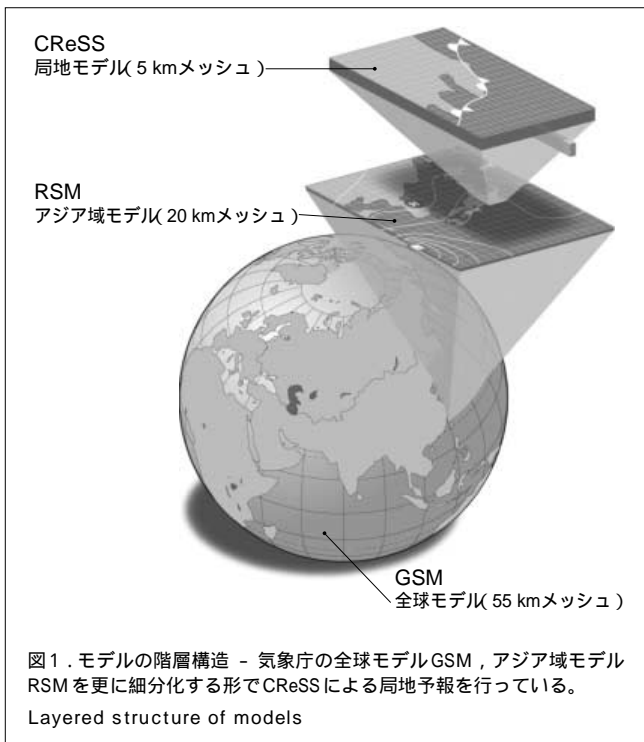
一方で日常の生活や業務において気象の影響を大きく受けながらも、一般的な気象情報では活用することが困難な場合もあり、予報情報の特質や提供のしかたをカスタマイズすることへの要望も大きい。すなわち、“あなたのための天気予報”である。

このようなニーズに応えるために、局地的な気象現象をきめ細かく予測する数値予報モデルが必要であると考え、気象予測システムの予測エンジンとして、CReSS^(注1)(Cloud Resolving Storm Simulator)の活用を考えた。

CReSSは、局地的な気象現象を高精度にシミュレーションすることを目的として開発されており⁽²⁾、小さな領域で発生する気象現象の再現に適した非静力学モデル⁽³⁾と呼ばれるタイプの数値モデルである。

気象庁では、地球全体の気象現象をGSM(Global Spectrum Model)により水平格子間隔55 km単位で予測し、更に、RSM(Regional Spectrum Model)によりアジア域の予測を水平格子間隔20 km単位で行っている。CReSSは、このRSMの計算結果を基に、更に局地的な気象現象をきめ細かく

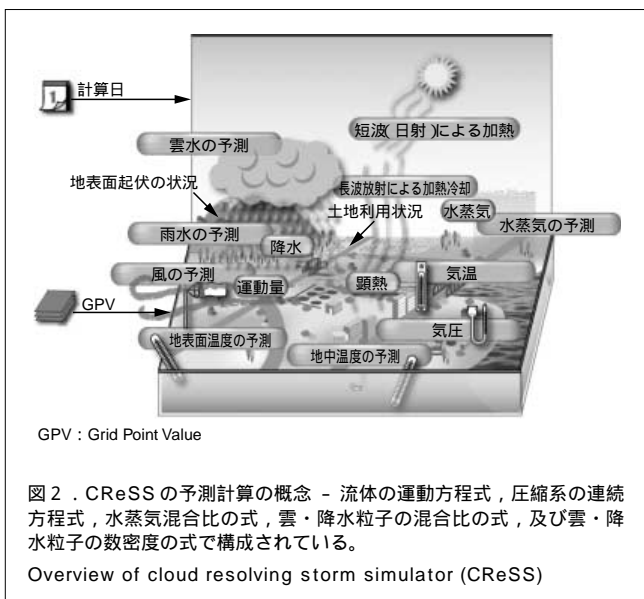
(注1) CReSSは、科学技術振興調整費“高精度の地球変動予測のための並列ソフトウェア開発に関する研究”の一環として、名古屋大学地球水循環研究センター及び(財)高度情報科学技術研究機構が中心となって開発した。



予測することができる(図1)。今回開発したシステムにおける演算の水平格子間隔は5 kmである。

CReSSの予測計算の概念を図2に示す。CReSSは時間発展型の偏微分方程式の集合体であり,その中身は,流体の運動方程式,圧縮系の連続方程式,水蒸気混合比の式,雲・降水粒子の混合比の式,及び,雲・降水粒子の数密度の式で構成されている。

計算内部では,5 km四方のメッシュごとに標高と土地利用状況が反映されている。標高の違いがもたらす地表面の起伏は,風の流れや気温に大きな影響を与える。また,地面



がたんぼで覆われているのか,建物やアスファルトなどで覆われているのかといった土地利用状況の違いによって,太陽光の反射や水の蒸発のしかた,風が吹いたときの摩擦熱などが異なり,気象現象に少なからず影響を与える。これらの局地的な環境条件の違いを考慮した予測計算を行えることもCReSSの特長である。更には,“Cloud Resolving Storm Simulator”という名が示すように,雲,とりわけ強い降水をもたらす積乱雲を表現するための数々の物理過程が内包されている。都市部の環境を表現でき,雲の表現に適していることから,近年都市部で問題となっているヒートアイランド現象に伴う集中豪雨の可能性を予測するうえでも有効なモデルであると言える。

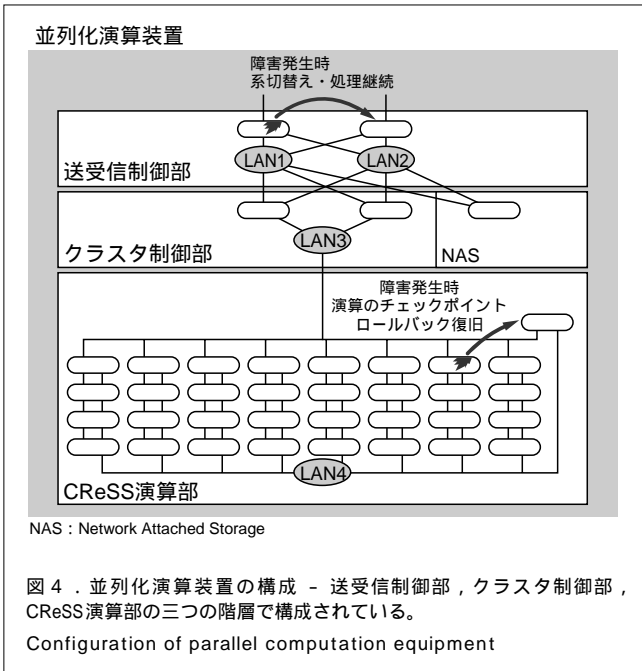
現在のところ予測計算においては,気象庁から提供されるRSMを中心に使用しているが,今後は,当社がこれまで培ってきた技術を活用し,気象レーダなどの実観測データを予測計算に反映していくことを計画している。将来的には,システムの拡張により5 kmよりも小さい格子間隔での計算も行っていきたい。

2.2 並列化演算装置

数値予報モデルにより未来の気象状況を予測するためには膨大な計算が必要となる。特に,きめ細かい予測を目指す局地予報は多くの計算機資源を必要とするため,従来ではリアルタイムでの演算には大型コンピュータが不可欠であった。

しかし,近年パソコン(PC)の演算速度は飛躍的に向上し,並列化演算技術も一般的なものとなっており,これまで困難であったPCによるリアルタイム演算も可能となっている。このシステムにおいても,64 CPUの並列化演算により,2時間程度で24時間以上先までの予測計算を実現している(図3)。





この装置で予測の対象とする領域は400 km 四方である。
並列化演算装置の構成を図4に示す。この装置は三つの階層から成る。一つは外部とデータをやり取りする“送受信制御部”,次にCReSSによる並列演算を監視・制御する“クラスタ制御部”であり,この二つは二重化による冗長化構成となっている。そして,最後の階層が64CPUによる並列演算を行う“CReSS演算部”である。CReSS演算部は実際には66CPUにより構成されており,CPUやメモリなどの障害

がクラスタ制御部により発見されると,自動的にバックアップのCPUが計算を引き継ぐことになる。このような冗長化構成された大規模なPCクラスタシステムの監視・制御は,当社のミドルウェア ^{DNCWARE} ClusterPerfect™ EX により実現されている。

PCクラスタシステムの構築には,次の三つの利点があると言える。

- (1) 大型計算機に比べ安価にシステムを構築することができる。
- (2) 並列化演算により大規模な予測演算を短時間で行うことができる。
- (3) 計算機を冗長化することにより,耐障害性の高い堅牢(けんろう)なシステムを構築することができる。

2.3 気象予測システムによる予測例

予測結果の一例として,2002年7月10日に関東地方に強い雨をもたらした台風6号の降雨の予測結果と実況の比較を図5に示す。赤い領域が時間雨量30 mmを超える降水域であるが,予測計算の元データであるRSMに比べて,強い雨の危険性をより表現できていることがわかる。

当社では,このような局地的な気象現象を予測し,的確な形でユーザーに提供することを目指している。

3 気象情報サービスと気象ソリューション

3.1 気象情報サービス Weather-Plus™

今回開発した気象予測システムは,多くのPCによる並列

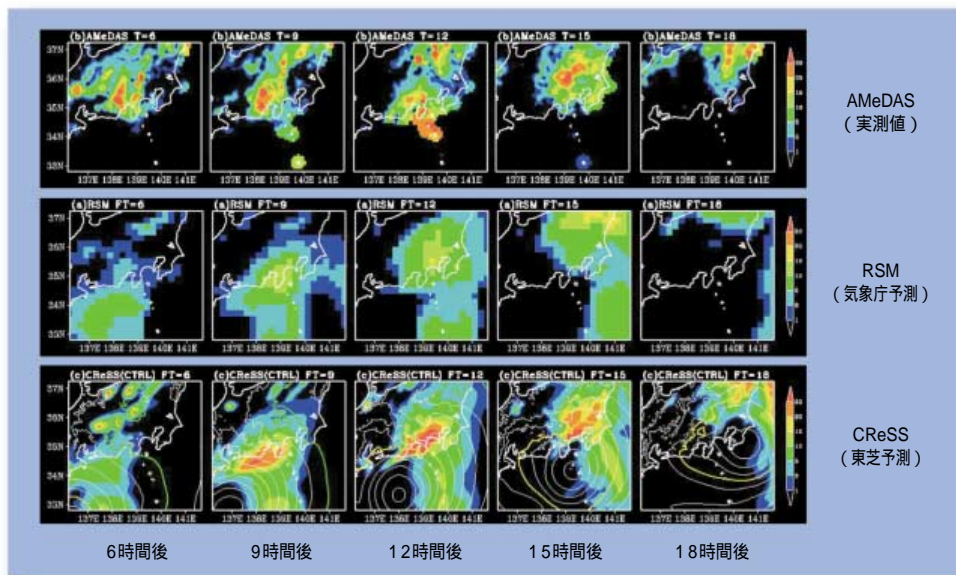


図5 . 予測例(台風の予測結果) - 東芝予測は強い雨の危険性をより表現できている。
Example of weather prediction

化演算を必要とするが、予測の対象とする領域は比較的広い。そのため、多くの場合、ユーザー個々に利用するよりも複数のユーザーで共有して使うほうが効率的であろう。

そこで、気象予測システムは二つの提供方法を用意している。一つは、システムの購入という形態である。これはトータルシステムをオーダーメイドでインテグレートする場合に有効である。もう一つは、気象情報サービス Weather-Plus™ による情報の提供という形態である。ここでは、Weather-Plus™ による情報提供について更に詳しく述べる。

2003年12月現在、関東地方を予測の対象とした気象予測システムが“東芝新宿データセンタ”で運用され、外部からオンラインで入手した気象情報を基に、24時間以上先の気象状況を日々予測している。気象予測システムは、前述のミドルウェア DNCWARE ClusterPerfect™ EX と東芝新宿データセンタの技術者により24時間監視され、不測の事態に備えている。

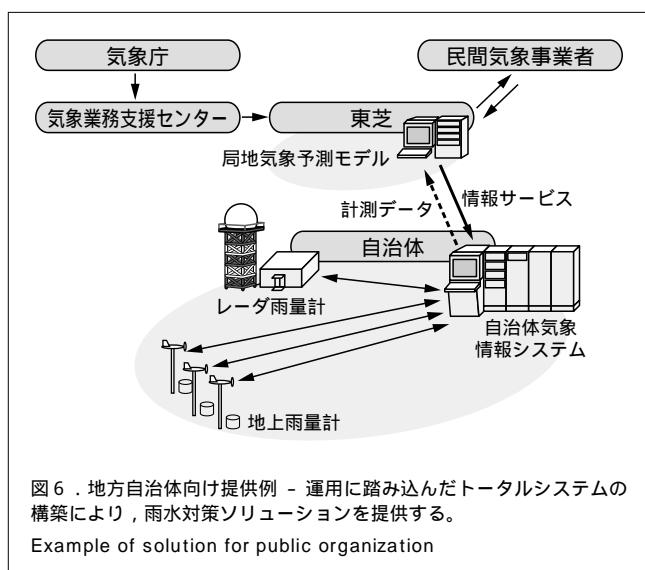
利用者は、このシステムから気象情報の提供を受け、当社が提供する端末や運用支援システムを利用することにより、様々な用途に活用できるのである。

3.2 地方自治体向け提供例

当社はこれまで、地方自治体向けにレーダ雨量計や運用支援システムなどを納入してきた。これらのシステムにおいて Weather-Plus™ が提供する情報を活用することで、より高度な“雨水対策ソリューション”の提供が可能である。自治体向けの提供例を図6に示す。

自治体で既に構築しているレーダ雨量計、地上雨量計、水位計などのデータを利用し、更にここで述べた気象情報サービスも活用して、トータルのソリューションシステムを構築することにより、例えば次のような応用が可能である。

- (1) 浸水対策のリスクマネジメント
 - (a) 体制整備と配備計画の立案・検討支援



- (b) 豪雨に備えた発電機、ポンプなどの試運転
- (c) 流入予測と組み合わせたシミュレーション
- (2) 合流改善対策の高度化
 - (a) 貯留施設の能力を十分に活用した運用支援
 - (b) 貯留と排水の優先度切替え判断支援

4 あとがき

局地数値予報モデルを活用して24時間以上先の気象状況をきめ細かく予測する気象予測システムの開発に成功した。

気象情報サービス Weather-Plus™ によって予測情報を利用者に提供し、様々なシステムで活用することにより、気象に影響を受けるユーザーに対して、有益な支援が行えると考えている。

今後は、情報の質を高めつつ多様化させていくことにより、様々な企業や組織、コンシューマに対して“東芝の気象ソリューション”を提供していきたい。

謝辞

気象予測システムの開発においては、名古屋大学地球水循環研究センターとの共同研究により得た知見が役立てられている。また、気象予測システムのなかではCReSSが重要な役割を果たしている。

名古屋大学地球水循環研究センター（財）高度情報科学技術研究機構をはじめとする、CReSS開発に携わった関係者各位に深く感謝の意を表す。

文献

- (1) 堀端康善. 3次元雲モデルによる集中豪雨シミュレーション. シミュレーション. 5, 1, 1986, p.34 - 43.
- (2) 高木敏明, ほか. “雲解像モデルCReSSのレーダデータ同化を導入した予報実験”. 2003年度秋季大会, 仙台, 2003-10, 日本気象学会. p.415.
- (3) 加藤輝之. 湿潤対流における非静力学効果. 気象研究ノート. 196, 1999, p.153 - 168.



和田 将一 WADA Masakazu, D. Eng.

社会ネットワークインフラ社 官公電波システム事業部 電波システム技術部課長代理, 工博。気象・防災システムのエンジニアリング業務に従事。
Defense & Electronic Systems Div.



篠原 哲哉 SHINOHARA Tetsuya

電力・社会システム社 社会システム事業部 公共システム開発部長。公共分野の事業開発, 企画業務に従事。電気学会, 環境システム計測制御学会会員。技術士(電気・電子部門, 総合技術監理部門)。
Infrastructure Systems Div.



高木 敏明 TAKAKI Toshiaki

社会ネットワークインフラ社 小向工場 ネットワークシステム技術部主務。気象・防災システムの研究・開発に従事。日本気象学会会員。気象予報士。
Komukai Operations