

feature article

# 「気象予測」を支える 日立グループのスーパーコンピュータ技術

*Supercomputing Technologies of Hitachi's Supporting Weather Prediction*

小野寺 進 Susumu Onodera

畑中 康一 Koichi Hatanaka

近年の地球温暖化問題や集中豪雨災害の発生などを受けて、  
将来の地球の姿を予想する「気候変動予測」や、  
自然の脅威から国民の生命や財産を守るための「気象情報」に対するニーズ、重要性が  
ますます高くなってきている。  
日立グループは、最新技術を駆使したスーパーコンピュータ技術をはじめ、  
長年にわたり「気象予測」という社会インフラを支えるシステムを提供している。

## 1. はじめに

天気の変化は、古来より人々の生活に多くの影響を及ぼし、台風や高波などの発生は、人命や財産を奪い取るような大きな災害にまで発展することもある。

このため、天気予報や気象現象の予測は生活に欠かせないインフラとも言えるが、その予報がどのように行われるか、意識されないことのほうが多いのではないだろうか。一般的には、気象予報士などが天気図を基に、経験や知識で天気予報を発表するというイメージを持つ人が多いと思われるが、現代の天気予報ではコンピュータシミュレーションによる「数値予報」の結果が天気予報の根幹となっている。

日立グループは、1967年から気象庁の数値予報システムにその時々の最新技術を駆使したスーパーコンピュータを納入し、気象業務の発展に寄与してきた。

ここでは、数値予報による「気象予測」の概略とそれを支える日立グループのスーパーコンピュータ技術について述べる。

## 2. 数値予報とスーパーコンピュータ

### 2.1 数値予報

人々の生活や生命にまで直結する未来の天気を予想するために、昔から雲や風などの空の状態を見て、「夕焼けの翌日は晴れ」のように経験的に局地的な天気を予想する「観天望気」が行われてきた。

その後、温度計や気圧計の発明によって大気の構造やふるまいが次第に明らかにされ、現在の天気予報は、数値予

報と呼ばれるコンピュータを駆使して計算された予報データを基礎として、それに予報者が気象学的な知識や経験を加味して最終的な予報を作成するという方法になっている。

数値予報は、物理学の方程式により、風や気温などの時間変化をコンピュータで計算して将来の大気の状態を予測する方法である。気象庁では1959年にわが国の官公庁として初めて科学計算用の大形コンピュータを導入し、数値予報業務を開始した。今日では、数値予報モデルの進歩とコンピュータの技術革新によって、数値予報は予報業務の根幹となっている（[図1](#)参照）。

数値予報では、まず世界中の多数の観測地点で測定された気圧、気温、風などのデータをコンピュータで取り扱ったりやすくするため、規則正しく並んだ格子状に区切った点（格子点）上に大気が配置されるように、ある時刻の大気の状態を計算する。これを基に未来の気象状況の推移をスーパーコンピュータで計算する。この計算に用いるプログラムを「数値予報モデル」と呼んでいる（[図2](#)参照）。

大気の動きは複雑であるが、その変化を表す法則は流体力学や熱力学の法則に基づいている。観測で得られた気圧、気温、風向、風速、水蒸気量などの大気の物理量から、物理法則に基づいて将来の値を定量的に予報する。

理論的には格子点の間隔をできるだけ小さくしたほうが規模の小さな気象現象を表現することが可能であり、精度の高い予報を行うことができる。しかし、格子点の数を多くすると、より多くの演算が必要となり、限られた時間内で予報結果を出すことができなくなってしまう。また、実際の天気は地形の影響を大きく受けるため、その影響を補

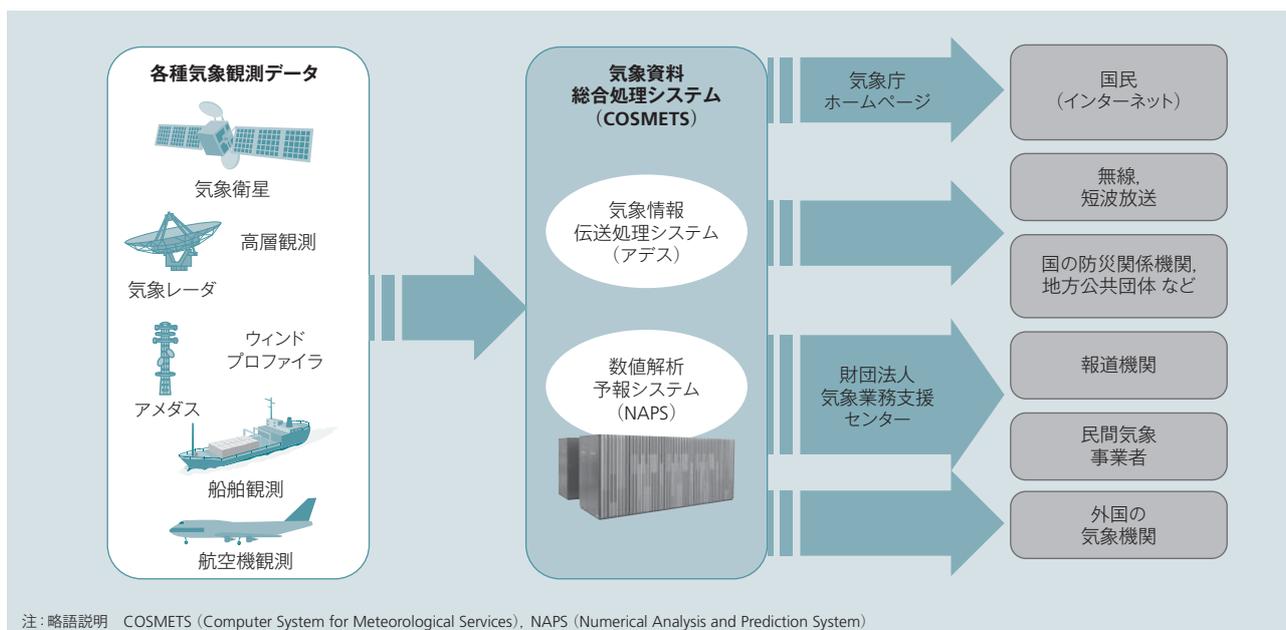


図1 気象データの収集・処理と気象情報の伝達・発表

さまざまな観測方法によって各種気象観測データの収集が行われた後、気象資料総合処理システムで処理・作成された情報を基に各種気象情報が作成され、必要な配信先に伝達・発表される。

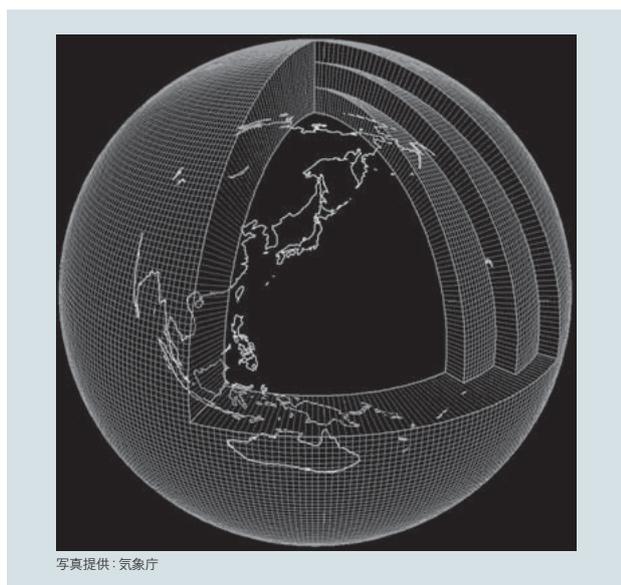


図2 全球数値予報モデルの概念図

地球全体を格子点状に区切り、それぞれの格子点での大気の状態を計算する。

正する必要がある。

気象庁が気象予報・警報などに利用している現在の主な数値予報モデルは、全世界 (全球) をシミュレーション範

囲とする水平格子間隔が20 kmの「全球モデル」と、日本とその周辺域をシミュレーション範囲とする水平格子間隔が5 kmの「メソモデル」である (表1参照)。

## 2.2 数値予報システムの変遷と予報モデルの改善

気象庁のコンピュータシステム「COSMETS (Computer System for Meteorological Services)」は、気象データの編集・中継などを行うオンラインシステムと、数値解析・予報を行う「NAPS (Numerical Analysis and Prediction System)」から成っている。

このNAPSの数値計算を担っているコンピュータが、日立製作所のスーパーテクニカルサーバ「SR11000」である。

気象庁ではほぼ5年に一度、システムの更新を行っており、歴代のシステムは、初代以外はすべて日立グループのシステムが採用されている (図3参照)。

「S-810」は日立グループ初のスーパーコンピュータであり、S-810と「S-3800」はベクトル型、「SR8000」は独自のベクトル・スカラー融合型、SR11000はスカラー並列

表1 主な数値予報モデル

気象庁では目的に応じていくつかの数値予報モデルを運用している。

予報モデルの種類	予報領域	水平解像度	予報時間 (予報期間)	予報の種類
メソモデル	日本周辺	5 km	15時間 33時間	防災気象情報、降水短時間予報
全球モデル	地球全体	20 km	84時間 216時間	分布予報、時系列予報、府県天気予報、台風予報、週間天気予報
その他 台風アンサンブル、週間アンサンブル、 1か月・季節予報モデル など	地球全体	60 km 110 km 180 km	—	台風予報、週間天気予報、 1か月予報、3か月予報 など

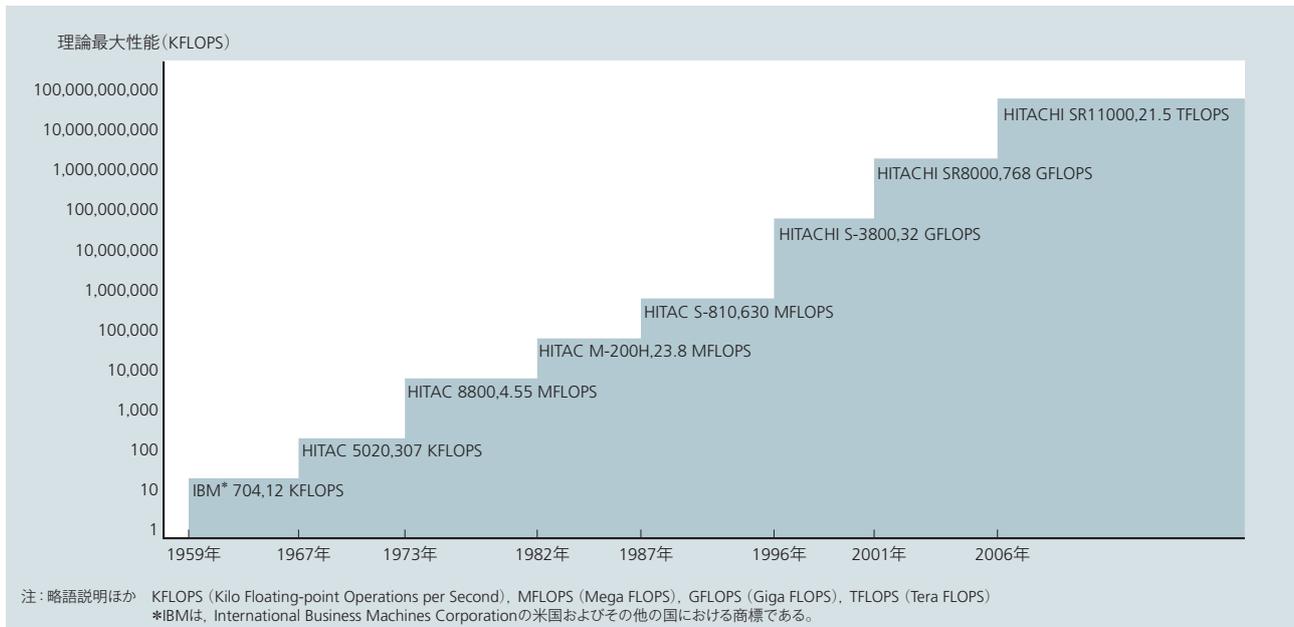


図3 気象庁NAPSの歴代システム  
1967年以降、日立グループのコンピュータが採用されており、更新のつど10倍程度以上の演算性能の向上がなされている。

型と、その時々最新のスーパーコンピュータ技術を採用し、数値予報に必要とされる性能を発揮してきた。

2006年3月に更新されたSR11000システムにおいては、前システムから約20倍以上の大幅な性能向上により、全球モデルの解像度はそれまでの水平格子間隔60 kmから20 km格子へと高解像度化された。全球モデルによる台風予報などの精度向上により、これまでよりも早く、かつ計画的な台風への備えを行うことが可能となった。

またメソモデルにおいては、それまでの水平格子間隔10 kmから5 km格子へと高解像度化され、さらに予報頻度も1日4回から8回へと高頻度化された。

メソモデルの高解像度化によって予測できる気象現象のスケールも小さくなり、局地的に発生する大雨など、防災上、必要不可欠な予報の精度向上が期待できる。

### 2.3 船舶・航空機の気象情報利用

船舶の運航には、台風や発達中の低気圧などによる荒天時の安全性のほか、海上輸送における経済性や定時性が求められる。

また大気中を飛行する航空機も、空港での離着陸時を含めて気象の影響を常に受けているため、安全性、快適性、定時性、および経済性が求められる運航において、気象情報が重要な役割を担っている。

例えば、航空機はできるだけ最低限の燃料を搭載したほうが、重量が軽くなる分、燃費がよくなり経済的である。しかし天候が悪いときは、上空で待機する分も見越して燃料を搭載する必要がある。したがって、航空機の運行に際しては、航空路の天候によって搭載する燃料の量を考慮す

る必要があり、気象情報がその運航上、必要不可欠なものとなっている。

数値予報モデルの高解像度化による予測精度向上によって、船舶や航空機はさらに安全・経済的に運航を行えるようになることが期待できる。

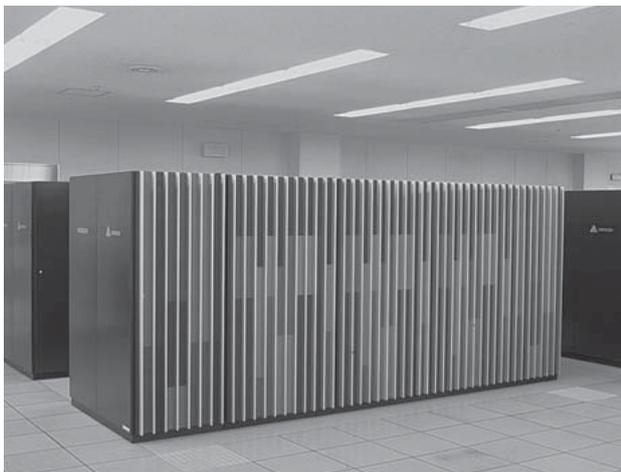
### 3. 気象予測を支えるスーパーコンピュータ技術

ここまで述べたように、気象庁が行っている高度な数値予報モデルの開発・運用では、限られた時間で精度の高い予報結果を計算するための高い演算能力と同時に、365日止まることのない信頼性も必要である。

日立グループは、長年培ってきた気象予測プログラムに対する知見を基にしたスーパーコンピューティング技術で、気象庁のニーズに答えている。

数値予報モデルに要求される高性能を実現しているのが、数十TFLOPS (Tera Floating-point Operations per Second：浮動小数点を1秒間に1兆回実行する能力)級の演算能力を発揮する科学技術計算向け高性能並列コンピュータである日立スーパーテクニカルサーバ「SR11000」である(図4参照)。

SR11000のハードウェアは、プロセッサ性能、メモリ性能、ノード性能、ノード間ネットワーク性能などを最適化し、優れたシステムバランスによって高い実効性能を実現するハードウェア設計となっている。その高い性能とスケラビリティを持つハードウェアの性能を最大限引き出すために最適化された独自の自動並列化FORTRANコンパイラは、既存のソフトウェア資産を活用しつつも、さらなる高性能を実現している。また、高い演算性能を支える



**図4 日立スーパーテクニカルサーバ「SR11000」**

数値予報解析システムは二つのサブシステムから成り、サブシステム1セットは1.5 tのプロセッサ筐（きょう）体10体から成る。

ために、ファイル入出力に関しても大容量データの入出力を高速に行える GPFS (General Parallel File System) を採用している。

しかしながら、これら高性能を実現するハードウェアとソフトウェアだけでは1年365日休むことなく行われる予報業務を行うシステムを実現することはできない。いかなる事態にも対応できるようにシステムのさまざまな個所にバックアップ機能を持たせたいと、さらに保守員が24時間体制で常駐してメンテナンスにあたっている。

最高性能を提供することはもちろん、気象業務という性質上、最高レベルの信頼性保証も欠かせない。

#### 4. 気象分野における将来展望

今後、地球温暖化への対策はますます重要な課題となっていくが、地球温暖化予測などの将来の気候をより正確に予測するためには、数十年から数百年といった長期間先まで地球規模のシミュレーションを行う精度の高い全球気候モデルが必要となる。

また、台風や集中豪雨災害の被害の高まりを受け、防災気象情報には短い時間でより狭い範囲の気象現象を予測することが求められている。そのためには、現在よりもさらに高解像度のモデルを使った精度の高い数値予報が必要である。

その実行のためには今後ますます膨大な計算量が必要とされ、数年後には現在のスーパーコンピュータの10倍程度の演算性能が求められると予想される。また、それだけの大量の演算結果を高速かつ確実に保存する大容量のストレージ装置も必要となり、現在主流である並列計算機アーキテクチャの多数の演算装置から高速でファイル入出力をする分散ファイルシステム技術がいつそう重要となってくる。

#### 5. おわりに

ここでは、気象予測の中心である数値予報の概略とそれを支える日立グループのスーパーコンピュータ技術について述べた。

防災気象情報に対する国民のニーズの高まりや地球温暖化を中心とした気候変動予測の重要性から数値予報に必要なとされる計算資源は増え続けており、スーパーコンピュータはますます高性能なものが必要となる。

しかしながら、スーパーコンピュータの演算能力増大に伴い、必要な設置面積と消費電力も大幅に増加し、さらにコンピュータからの発熱を処理する冷却装置も巨大なものが必要となるため、冷却装置が消費する電力も無視できない規模になってしまう。

今後、現実的な設備条件で気象予測に必要とされる、現在の10倍以上の演算性能を持つスーパーコンピュータを実現するには、演算装置の高密度実装技術による省設置面積化を図るとともに、スーパーコンピュータ自体を低消費電力とし、高密度実装による集中発熱を効率よく冷却できる冷却方式の開発・実装が必要である。

日立グループは、今後も最新のコンピューティング技術を取り入れた高性能かつ低消費電力のスーパーコンピュータを中心としたシステムを開発・提供し、気象予測に貢献していく考えである。

#### 参考文献など

- 1) 気象庁：気象業務はいま2009. 研精堂印刷株式会社 (2009.6)
- 2) 下山, 外：最新の観測技術と解析技法による天気予報のつくりかた, 東京堂出版 (2007.8)
- 3) 気象庁, <http://www.jma.go.jp>

#### 執筆者紹介



##### 小野寺 進

1992年日立製作所入社, 情報・通信システム社 情報・通信グループ 公共システム事業部 学術情報システム部 所属  
現在, 気象関連システムのエンジニアリング業務に従事



##### 畑中 康一

1989年日立製作所入社, 情報・通信システム社 情報・通信グループ 公共システム事業部 学術情報システム部 所属  
現在, 気象関連システムのエンジニアリング業務に従事