

# 観測システムと連携するシミュレーションシステムの プロトタイプ構築

章 若潮<sup>†1, a)</sup> 板倉 憲一<sup>†1</sup> 上原 均<sup>†1</sup> 浅野 俊幸<sup>†1</sup> 塚越 眞<sup>†1</sup>

**概要:** 海洋研究開発機構では、観測船や無人探査機及び各種海上のブイなどでの観測を行っている。近年、観測の精度向上のためのシミュレーション技術の利用や、リアルタイムに近い形での観測とシミュレーションの融合により、新しい知見を得られるようになってきている。本研究では、観測システムとシミュレーションシステムの連携に必要な要件を洗い出し、両システムを連携させるサイバーシステムのプロトタイプのプロトタイプ構築の方向性を探る。

**キーワード:** 地球観測, シミュレーション, サイバーシステム, プロトタイプ

## 1. はじめに

国立研究開発法人海洋研究開発機構（以降 JAMSTEC）では、観測船や無人探査機及び各種海上のブイなどでの観測を行っている。また、地球シミュレータとスパコンを有し、シミュレーション研究も研究活動の大きな柱の一つである。

2015年3月から、3代目に当る地球シミュレータ（以降 ES）[1] が稼動を始め、先代の ES2 のおよそ 10 倍の計算性能を持つ。JAMSTEC が持つ観測能力とシミュレーション計算能力を融合し、観測・研究を深める為に、観測結果を準リアルタイムにシミュレーションに反映させることができれば、それを観測活動にフィードバックし、より効果的な研究を行うことができる。

本稿の構成は以下の通りである。2 章では ES のシステム及び運用状況について述べる。3 章では本研究で実現するシミュレーションシステムの先駆けとなった観測とシミュレーションの協調実験について述べる。4 章ではその協調実験から分かった本システムの必要となる要件についてまとめる。5 章で関連した研究について述べ、6 章はまとめの章とする。

## 2. 地球シミュレータとその運用状況

2015年3月に ES は 3 代目となるシステムにリプレイスされた。既存のシステムを運用しながら新システム導入を行ったが、並行運用時の使用電力の制限から、3 月当初は半数（2560）のノードでの運用開始となった。その後、3 ヶ月間で残りのシステムの現地調整を終え、6 月から全数（5120）のノードでの運用を行っている。



図 1 3 代目の地球シミュレータの全景写真

<b>機種: NEC SX-ACE</b>	
<b>総合性能</b>	
- ノード数	5,120 ノード
- 理論演算性能	1.31 PFLOPS
- メモリ容量	320 TB
<b>ノード単体性能</b>	
- CPU数	1基(4コア)
- 理論演算性能	256 GFLOPS (64GFLOPS×4コア)倍精度
- メモリバンド幅	256 GB/s
- メモリ容量	64 GB

図 2 3 代目の地球シミュレータの諸元

3 代目の ES は、これまでと同様に地球科学のアプリケーションを重視し、機種選定を行った。具体的には、地球温暖化シミュレーション（2 種）、全球大気大循環モデル、地震波伝播モデル（2 種）、領域大気モデル、海洋同化モデルを使い、それぞれ ES2 と 3 代目 ES で同数の CPU 数で 2 倍の高速化を目指した。図 3 にそれぞれのプログラムの性能評価結果を示す。ベンチマークプログラムは、チューニング無しで平均 2.1 倍、チューニング後には平均 2.8 倍の性能向上が得られた。システム全体としては、CPU 数が 1280 個から 5120 個の 4 倍に増えており、8.4 倍から 11.2 倍程度の計算能力の向上があるものと評価された。

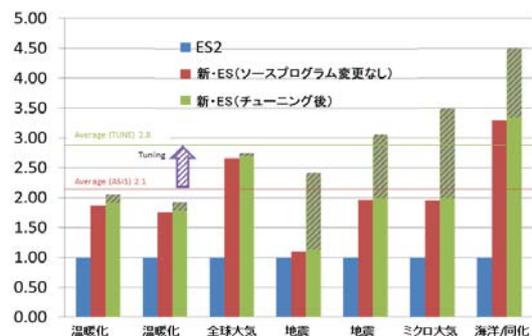


図 3 ベンチマークプログラムの性能評価結果

図 4 に 2015 年度の ES の運用状況を示す。12 月には運用期間中に計算資源がシミュレーション等の計算に使用された割合が 97%を超え、4~1 月の定期保守を除く運用期間中

<sup>†1</sup> 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球情報基盤センター  
a) zhangr@jamstec.go.jp

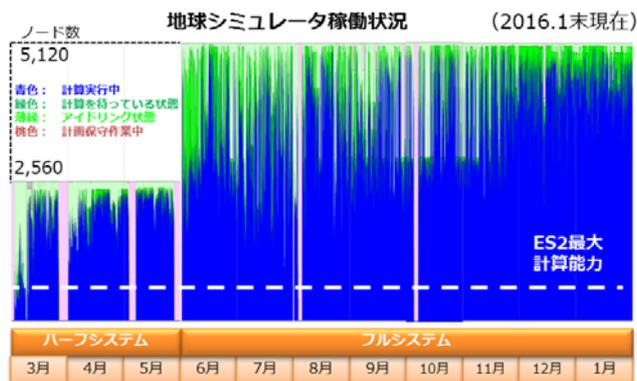


図 4 2015 年度の ES 運用状況

の故障等を除いた利用可能なノード時間の割合は、99.96%を達成した。今回のリプレースにより計算処理量が大幅拡大し、2015年度の年間総計算量（見込）は、ES2に比べ11倍以上に向上した。これは、性能評価結果（CPUあたり性能2.1~2.8倍、CPU数4倍の向上）と合致する。空調環境や運転計画を見直し、大型空調機の運用を14台から12台に削減した他、空調の効率化を図った結果、施設全体の使用電力量を前年度から約35%低減させ、省エネルギーによる費用削減を達成した。

### 3. 本研究の先駆けとなった観測研究

本研究では、JAMSTECで運用している観測船や無人探査機及び各種海上のブイなどの観測について、精度向上のためのシミュレーション技術の利用や、リアルタイムに近い形での観測とシミュレーションの融合により、新しい知見を得られるようになってきている。本研究では、観測システムとシミュレーションシステムの連携させるサイバシステムの構築を目指しているが、その先駆けとなった観測実験を2015年11月から12月にかけて行った。

本実験は、Pre-YMC [2]と呼ばれ、2017年7月~2019年7月に実施を予定しているYMC (Years of the Maritime Continent) 実験に先がけて行われた。YMC実験は、東インド洋からインドネシア・スマトラ島に及ぶ海大陸域の気象と気候の理解と予測技術の向上、及びこの地域が全球に与える影響の理解を目的としている。Pre-YMC実験は、YMC実験の実施前に、ENSOなどの大規模場の影響を評価するための比較データを取得したり、観測許可などのログも含めた技術的な問題点を洗い出す目的で行われた。

観測船「みらい」には、Cバンド二重偏波ドップラーレーダ、高層ゾンデ、CTD（電気伝導度、温度、水深を観測する装置）等を装備し、陸上の観測機器と合わせて、大陸域の海洋大気観測を行った。

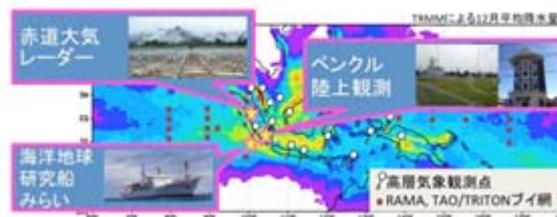


図 5 Pre-YMC 集中観測の観測点

この観測実験に合わせ、JAMSTECのシミュレーション予測を研究しているグループがモデル班として協力し、全球雲解像モデルNICAMを用いた準リアルタイム計算をES上で毎日実行した。その際に、集中観測で得られたデータは、毎日データ同化を行った後にシミュレーション入力データとして利用し、シミュレーション出力結果は、東インド洋スマトラ島沿岸で定点観測を行う「みらい」に、11月1日~12月25日の期間中、毎日配信した（図6）。この際、観測データのシミュレーションへのインプット、計算実行、結果の観測船への送付は手動によるものであった。



図 6 集中観測とシミュレーションの連携

モデル班の活動として、全地球上の雲を詳細に計算する「全球雲解像モデル NICAM」を用いた予測計算（一週間予測2本、1か月予測3本）を毎日行い、観測現場に配信した。予測計算は高解像度の大規模な計算のため、ESを用いなければ毎日の予測が間に合わない。午後の6時頃に全球の解析データを取得し、これをモデルに与えて、1週間先までの予測計算を開始すると、翌日の昼頃に計算が終了する。その後、描画等ポスト処理を行い、画像をWEBサーバ経由で「みらい」へ送る。

観測期間中、12月11日には非常に激しい降雨イベントが観測された（図7）。

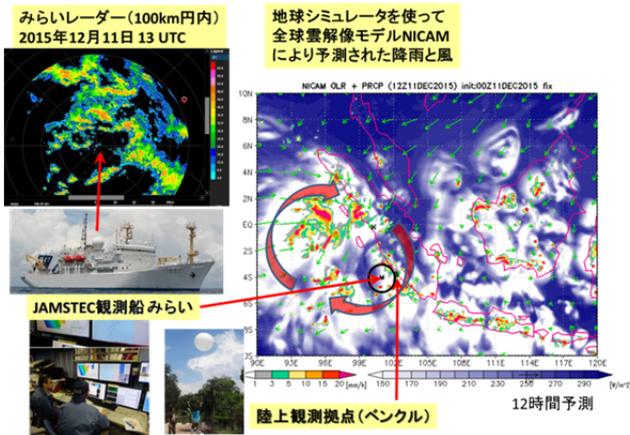


図 7 12月11日の降雨観測の様子. 左上, みらいレーダー画像. 中心がみらいの位置. 左はNICAMによる予測計算結果. 色は降雨強度. 黒い丸がレーダーの範囲. みらいが半径500km程度の大きな渦状の擾乱の中に位置している.

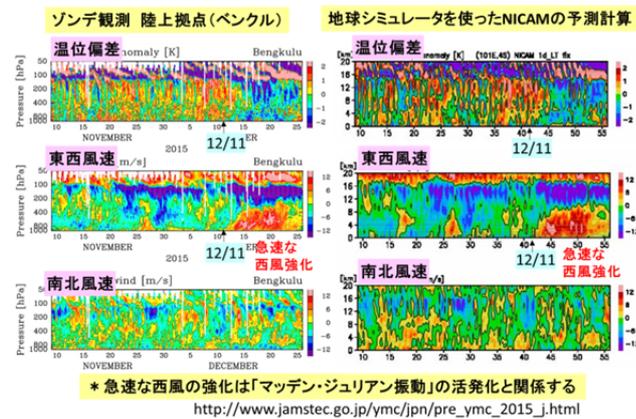


図 8 12月11日の西風強化現象の予測と観測の比較

みらいと陸上拠点(バンクル)では, ゾンデ放球による気象観測が実施された. 図8の左はバンクルで観測された温度と風速の高度分布の時間変化で, 図8の右はNICAMによる予測計算の結果である. 激しい降雨現象が観測された12月11日頃から急速に気温が低下し, 下層の西風が強化されたことが分かる. この西風の強化は熱帯の大規模な擾乱, 「マッデン・ジュリアン振動現象」の活発化と関係する.

#### 4. 観測研究に示唆されたサイバーシステムインタフェースの要件

第3章で示したように, 観測活動と計算機シミュレーションを準リアルタイムに連携させることは大変革新的であることが分かった. 本章では, このような場合, ひいてはより汎用的に, 観測をシミュレーションに活かし, シミュレーション結果を還元させるにはどのような「観測(外部ユーザ)ーコンピュータシミュレーション(内部)」インタ

ーフェースが必要かを考えていきたい.

#### 4.1 観測システムと連携するシミュレーションシステムの構想

JAMSTECのHPC情報システム全体として目指すべき方向として, 観測データの収集, 解析とシミュレーションから社会への情報発信までをトータルシステムで実施する情報基盤「海洋地球情報サイバーシステム」の実現を目標にして, 検討と一部機能の試作を進めている. 以下では, その概要と取組み状況を述べる(図12).

##### ① 全体の概要

現在, 人工衛星, 気象観測装置, IoT(Internet of Things)を背景にした各種センサーを活用して, 多様で大量のデータがリアルタイムに得られるようになりつつある. 当機構でも, 地球深部探査船「ちきゅう」による掘削調査および掘削孔に設置した観測装置からのデータ, 「みらい」をはじめとする研究船, 海上・海中の観測ブイからの情報, 自律型無人潜水機(AUV)による調査記録など多様なデータが収集されている. 「海洋地球情報サイバーシステム」は, これらのデータを, ネットワーク技術, ビッグデータ解析技術を用いて効率的, 効果的に収集, 処理し, データ同化, ダウンスケイリング処理などスーパーコンピュータによるシミュレーションを組み合わせて, 価値のある情報として発信したり, IoTを介してサービスの形で提供したりするための基盤と考えている. 「海洋地球情報サイバーシステム」の構成は, (1)ユーザインターフェースと外部ネットワークとのインターフェースを提供しユーザサービスを実現する「サイバーマネージャ」, (2)データ管理サーバ, データベースサーバ, 大容量ストレージシステムなどデータ関わる業務の基盤であり, データの出し入れのインターフェースを提供する「データ管理層」, (3)ESなどから構成する「計算基盤層」の三層から成り, これらの三層は高速の基幹ネットワークで結合され, 広帯域でSINET5とも接続される. さらに, 「海洋地球情報サイバーシステム」の外側には, 観測機器, センサーやIoTとの通信を行なうとともに, それらに近い位置から情報を収集, 抽出し, 情報の送付やIoTを介したサービスも実現する「ネットワークサービス」がある.

##### ② サイバーマネージャのプロトタイプ

サイバーマネージャは, 計算処理の操作やデータ取り出し等のユーザインターフェースを実現するとともに, ユーザサービスとして, システム内外に存在するデータのdirectory(メタデータベース)を持ち, リクエストされた情報をデータ保管庫または外部より取得して提供するものである. さらに, 内部, 外部の情報に関し, 自律的な探索, 蓄積を行いながら, 外部への情報発信を行うレベルを目標にしている. 現在, プロトタイプ実装を行い, 今後, 実際の利用シーンで操作性などを吟味し, さらに改善と機能追

加を行ないつつ、データサービス機能も追加していく計画である。

### ③ データ管理層

データ管理層は、各種のデータに関わる業務のIT基盤を提供するとともに、システムの中核として、データ管理サーバ、データベースサーバ、大容量ストレージシステムを持つ。また、センサー、スマートフォン等からのビッグデータのリアルタイムでの取りこみ、観測衛星、調査船、観測機器からのリアルタイム、準リアルタイムなデータの取り込みと管理、ユーザ/サービス層へのデータ提供を行う。更に外部データとの連携機能を持つ。データ管理層は、主に統合仮想化基盤上に構築する計画である。

### ④ 計算基盤層

現在、JAMSTECにはESとそれに付属する「大容量メモリシステム(SGI製UV2000)」およびインテル製CPUの分散メモリ型ノード(SGI製ICE-X)を中心に大容量共有メモリ型ノード(SGI製UV1000)と小規模のベクトル型並列計算機(NEC製SX-9)で構成される「大型計算機システム」があり、それぞれ、大規模シミュレーション、産業利用、データ解析とオープンソフトなどの分散並列処理などに用いられている。

次の段階として、「大型計算機システム」の後継として分散メモリ型並列計算機を基本とする「サイエンスIT基盤」システムを導入し、「ES」と運用面でも統合した「大規模地球科学計算システム」を実現することを目指している。

「大規模地球科学計算システム」では、統合スケジューラと共用高速ストレージによるデータ連携により、大規模シミュレーションとデータ解析処理を結合して実行することを可能とする他、共通のユーザ情報管理により、利用者が一元的に登録処理、認証や資源利用をおこなう仕組み(シングルサインオン)を導入する。これにより、「大規模地球科学計算システム」の利用者は、シームレスに計算システムや大容量ストレージにアクセスし、必要な計算を行ない、データを移動させることができる。

### ⑤ 基幹ネットワーク

現在、「ES」と「大容量ストレージシステム(MSS)」などは40Gbps、横浜研究所、横須賀本部構内は10Gbpsの基幹ネットワークで接続されている。また、今年度末までに、SINET5と横浜研究所の間は20Gbps以上で接続される予定である。今後は、増大するビッグデータ対応、他機関とのデータ連携に対応し、SINET5の接続帯域及び基幹ネットワークの帯域を増強していく計画である。

### ⑥ ネットワークサービス

「海洋地球情報サイバーシステム」の外側のネットワークに存在し、サイバーマネージャ、データ管理層、計算基盤層と密に連携するシステムである。観測機器、センサーやIoTとの通信を行ない、多様で膨大なデータを、それらの生成源に近い位置で処理し、有用な情報を収集、抽出する。

また、情報の端末側への送出やIoTを介したサービスも実現する双方向性を持つ。計算資源をネットワークのエッジに分散配置し、「海洋地球情報サイバーシステム」や他のアプリケーションサーバ等と連携・分担して処理を進める「エッジコンピューティング」によりサービスを行なう方向である。この部分の開発については、この分野に強みを持つ他機関との連携を視野に入れている。

以上「海洋地球情報サイバーシステム」への取組みを述べたが、ユーザの利便性を高めるとともに、社会に有用な情報やサービスを提供するための基盤を構築することが目的であるので、今後の開発においては、具体的な機能ごとに順次有用性を検証し、必要なフィードバックを行ないながら進めるべきであると考えている。

## 4.2 VNC等による計算処理の操作やデータへのダイレクトアクセス

外部にいるユーザからシミュレーションを行うES・スパコンを司るには幾つかの方法が考えられる。端的に言えば、ダイレクトであればあるほど、シミュレーションを熟知するパワーユーザにとって、内部にいる自分の計算機環境から一番近い状態で計算機を操作でき、制約が少なく、効率が良い。図9はTigerVNC viewer [3]によってWindows PCに投影されたLinux PCのディスプレイ画像である。

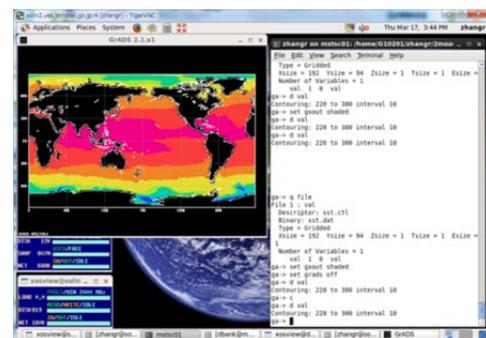


図9 TigerVNC viewer 使用例

他方、このような内部に一番近い形であればあるほど、外部ユーザにとってしきいが高くなってしまふのが明らかで、ユーザフレンドリーなインターフェースではない。また、パワーユーザにとっても、何らかの補助インターフェースがある方が効率的である場合もある。

とはいえ、そのダイレクトな操作性は扱いの良さという意味では大変ユーザフレンドリーであるので、今後何らかの方法でその手法・思想を取り入れるなど活かしていきたい。

## 4.3 専用アプリケーションによるジョブ制御

一例を挙げると、ヴァイナス社によるCCNV(Cloud Computing Navigation system) [4]がある。ログインサーバに対応する二段階ログイン機能、ESを始めとするスパコン

へのジョブランチャー、同時転送による不利なネット環境への対応、クラウドサーバ利用料金の試算もできるなど、クラウド支援システムの一つの方向性を示している製品と考えられる。



図 9 ヴァイナス社による CCNV

(<http://www.vinas.com/seihin/ccnv/index.html> より引用)

#### 4.4 ウェブブラウザによる GUI ベースでのジョブ制御

ウェブブラウザを用いて、ネット経由で観測・シミュレーション結果を、範囲等のパラメータを指定して、ダウンロードするのは既に一般に利用されている。パラメータを受け付けてからデータ処理を行い、結果を返してくれるサイトも良く見られる。

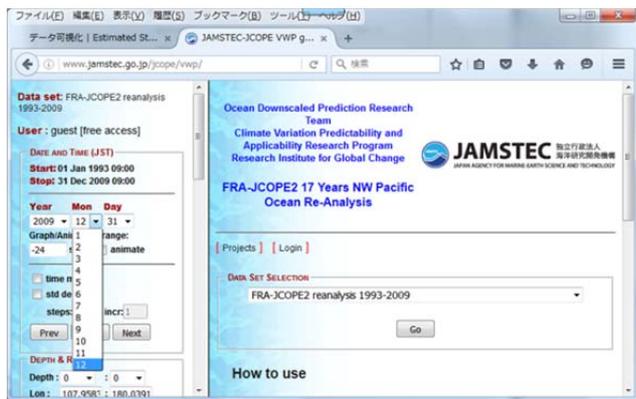


図 10 観測・シミュレーションデータのダウンロードサービスの例

そこから一歩進んで、今まで SSH によるログイン、シミュレーションを司るパラメータのテキストファイルを手動で変更し、ジョブ投入といったこれまで行われてきた操作を、ウェブブラウザ経由による GUI ベースへの移行を考えるのは自然であろう。機能拡充の柔軟性、機器・OS による制限を無くすなどのメリットが考えられる。

### 5. 関連研究

科学研究分野では、NICT サイエンスクラウド（以降 NICT-SC）[5]、情報通信研究機構が開発し、サービスを行っている科学研究専用クラウドがある。このシステムは、

- データ収集・伝送機能、
- データ保存・管理機能、
- データ処理・可視化機能

の三つの基盤技術から成る科学研究用クラウドである。「データ収集」に関しては公開データを自動収集とあるが、「リクエスト」による選択収集と思われる（無制限に収集しては無限なネット帯域とストレージが必要になってしまう）。その他の二つの機能と合わせて、あるレベルを維持しつつ、具体的なプロジェクトに対応するように最適化できるように汎用的にインフラを設計・提供しているように思われる。計算機シミュレーションを第3の研究手法として、第4の研究手法とされるデータ指向型研究手法（The Fourth Paradigm: Data-Intensive Science）をサポートすることを目的としている。

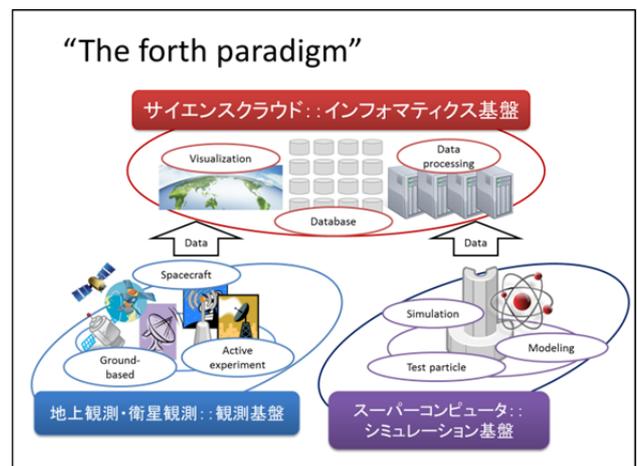


図 11 NICT サイエンスクラウド

([http://sc-web.nict.go.jp/sc\\_aboutsc.html](http://sc-web.nict.go.jp/sc_aboutsc.html) より引用)

JAMSTEC では内部向けという制限があるが、スパコン等にデータバンクサービスを提供していて、リクエストされたデータを自動収集・オペレータチェック付きで稼働させている。

本研究では観測（特定目的データ収集）—シミュレーションを連携させるサイバーシステムという意味では NICT-SC と幾分異なる方向性を目指しているが、6章のまとめに示したように、JAMSTEC 海洋地球情報サイバーシステム全体としては膨大なシミュレーションデータを効率的に処理する、所謂ビッグデータ処理手法では先人的という部分があると考えられる。

### 6. まとめ

本研究では、目的となるサーバーシステムの外部ユーザーインターフェースは次のような機能が期待される。

- ブラウザ或いは独自アプリによる GUI ベースでのジョブ制御（入力含む）

- SSH / HTTPS によるデータ転送
- 圧縮機能, 同時転送による不利なネット環境への対応
- ジョブ投入, 監視等を直感的に, 効果的に行えること
- 計算出力の効率的な表示・転送

現時点では, 「ウェブブラウザによる GUI ベースでのジョブ制御」が最有力と考えられるが, 他の方式の良い実装・思想を取り入れ, 実装を進めて行きたい。

**謝辞** 本研究をまとめるにあたり, 日頃より議論をさせていただいている JAMSTEC 地球情報基盤センターの皆様へ感謝します。また, Pre-YMC において, JAMSTEC 大気海洋相互作用研究分野の米山分野長をはじめ, 関係者に多大のご協力をいただきましたこと感謝します。本研究は, JAMSTEC における地球シミュレータの利用・支援のもとで行いました。

**参考文献**

- [1] “地球シミュレータ”. <http://www.jamstec.go.jp/es/jp/>
- [2] “YMC - JAMSTEC”. [http://www.jamstec.go.jp/ymc/ymc\\_japanese.html](http://www.jamstec.go.jp/ymc/ymc_japanese.html)
- [3] “TigerVNC”. <http://tigervnc.org/>
- [4] “ヴァイナス社 CCNV”. <http://www.vinas.com/seihin/ccnv/index.html>
- [5] “NICT サイエンスクラウド”. [http://sc-web.nict.go.jp/sc\\_aboutsc.html](http://sc-web.nict.go.jp/sc_aboutsc.html)

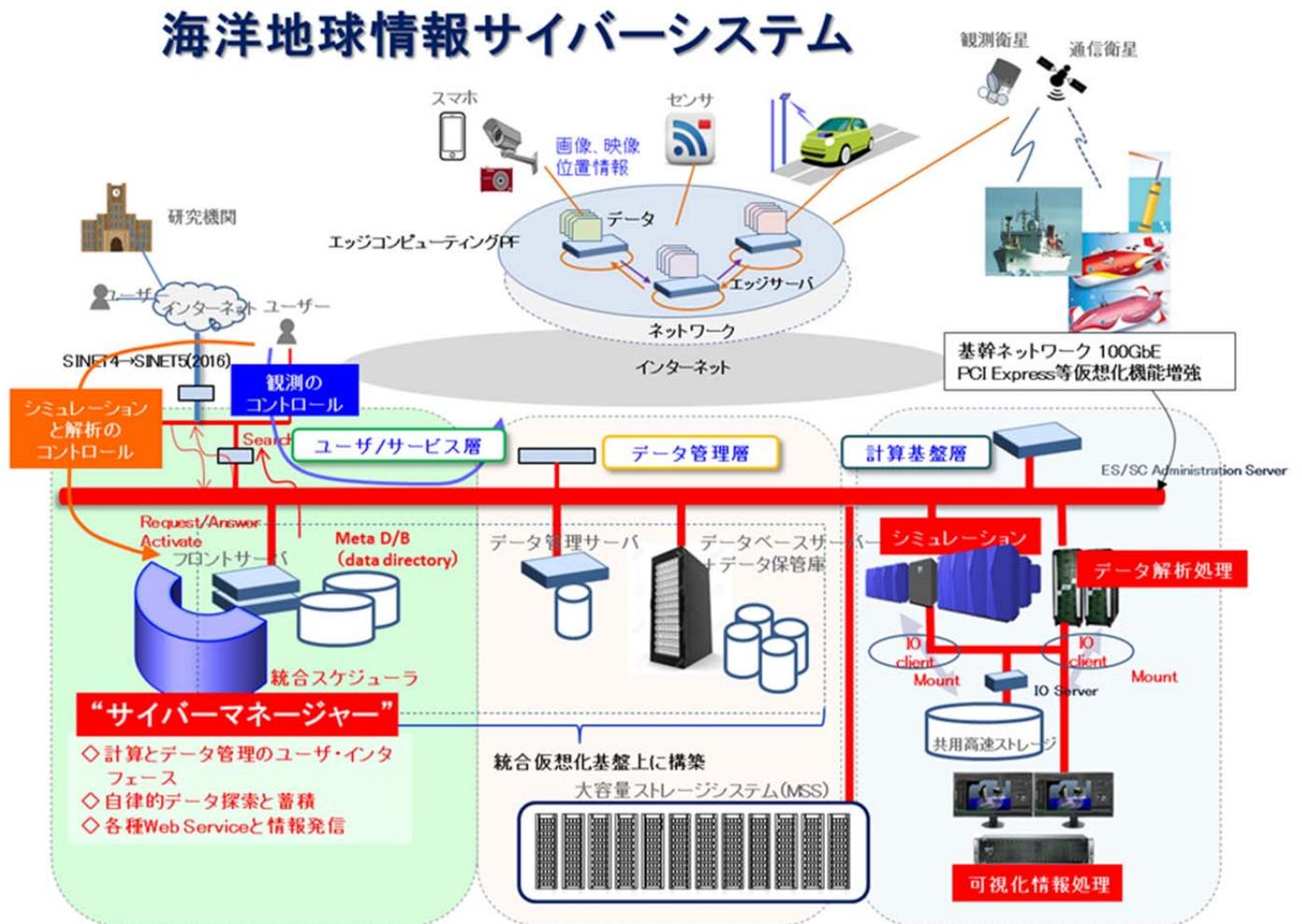


図 12 海洋地球情報サイバーシステム構想図