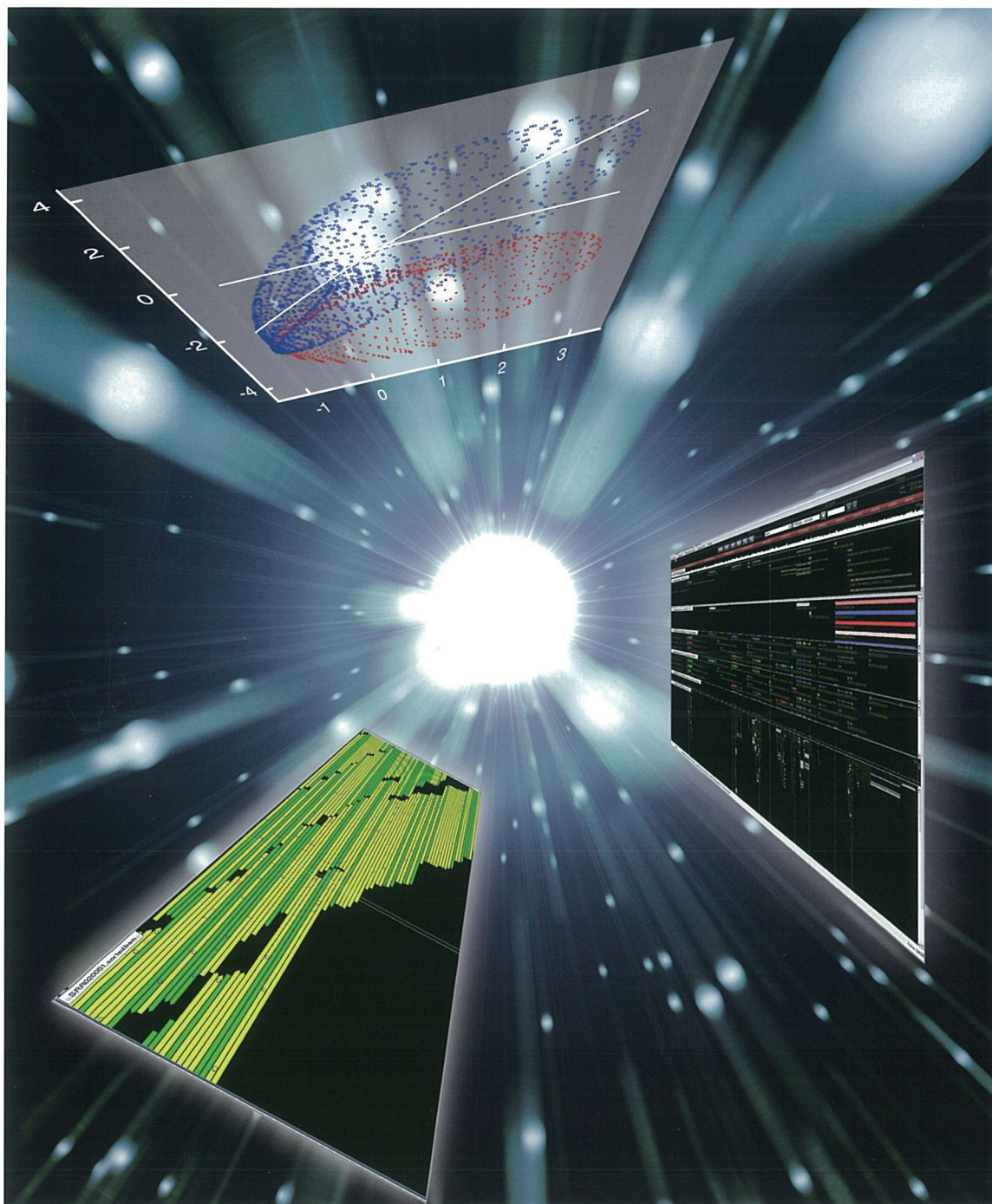


# MSS技報

特集「技術の進化・深化」



巻 頭 言「技術の進化・深化」

Preface

岡崎 健也

Kenya Okazaki

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| ロケット飛行経路シミュレーション・プログラムの特質と進化..... | 1 |
|-----------------------------------|---|

The Essence and Evolution of Rocket Flight Simulation Programs

林 健太郎、池田 佳起、中川 寛文

Kentaro Hayashi, Yoshiki Ikeda, Hirofumi Nakagawa

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 衛星搭載合成開口レーダによる海洋監視技術の進化と深化..... | 6 |
|---------------------------------|---|

Evolution of ocean surveillance technology using spaceborne Synthetic Aperture Radar

有井 基文、小岩 雅和、青木 佳史、河谷 嘉文

Motofumi Arii, Masakazu Koiwa, Yoshifumi Aoki, Yoshifumi Kawatani

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 次世代ゲノムブラウザ GenomeJack の開発 ..... | 13 |
|---------------------------------|----|

GenomeJack, The next-generation genome browser

谷嶋 成樹、野原 祥夫、石川 元一、上原 慶三、岡田 千尋、小原 康雄

Shigeki Tanishima, Sachio Nohara, Motokazu Ishikawa, Keizo Uehara, Chihiro Okada, Yasuo Ohara

|                   |    |
|-------------------|----|
| 地震防災分野への取り組み..... | 25 |
|-------------------|----|

Challenging History for Earthquake Disaster Prevention Fields

古瀬 慶博、成田 章、和田 安司

Nobuhiro Furuse, Akira Narita, Yasushi Wada

|                     |    |
|---------------------|----|
| 無線回線制御技術の進化と深化..... | 35 |
|---------------------|----|

Evolution and deepening of the wireless communication control technology

磯部 洋次

Yoji Isobe

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| M&S 技術の進化・深化 — 業務の中で見つけた共通性と類似性 ..... | 41 |
|---------------------------------------|----|

Evolution and Deepening of Modeling and Simulation : Commonalities and Similarities Found in Daily Work

矢田部 学

Manabu Yatabe

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 我が社における生産技術の進化と品質技術の深化..... | 48 |
|-----------------------------|----|

Evolution of manufacturing technique and enhancement of quality in our company

若宮 正男

Masao Wakamiya

|                  |    |
|------------------|----|
| 当社の知財の進化・深化..... | 54 |
|------------------|----|

Strategic advancement of our Intellectual Property

人見 清和

Kiyokazu Hitomi

総 括「科学技術分野におけるソフトウェア技術の進化・深化」

Closing

宮田 裕行

Hiroyuki Miyata

# 巻 頭 言



代表取締役社長

岡崎 健也

## 「技術の進化・深化」

今回は、「技術の進化・深化」をメインテーマとした技術論文の特集号と致しました。

当社は、企業理念「最先端の情報通信技術とソフトウェア技術を基盤とした科学技術を駆使し、新しい価値の創造により情報化社会に貢献する」の下、種々の分野でICT事業を推進して来ています。この事業基盤となる科学技術の進化・深化には、不断の蓄積と伝承が重要であり、「技報」はその一つの手段ともなるものです。MSS技報は、当社の事業規模が50億円を超えた平成に入ってから毎年発行してきており、その後の当社成長に大きく寄与して来ています。

今年度は、「技術の進化・深化」を基軸に、当社の各事業分野の中から以下の技術にスポットを当てました。

- (1) 過去から脈々と続いた技術やその技術を支える基礎技術
- (2) リメイクや技術融合などによる新技術
- (3) 他分野へ適用することで高付加価値技術に変化したもの

宇宙・航空分野からは、創立以来当社の基幹事業であるロケットの軌道解析・誘導制御技術について、その進化と動向を変遷も含めて紹介します。防衛分野からは、防衛技術と新技術の宇宙利用への融合事例として、合成開口レーダを移動体の識別に適用した結果を報告します。当社は、宇宙や防衛で培った技術を基に、バイオイ

ンフォマティクスや防災・環境、情報通信分野に進出し、ここで培った技術は、今では当社を支える基幹事業となっています。これらの分野からは、ゲノム解析技術とそれを支えるIT技術を、そして近年の国内大震災において活躍した緊急地震速報に関連する技術を、また衛星通信などを支える回線制御技術を、紹介致します。

一方、当社は、組込システムから大規模情報システムの構築まで、様々なタイプのソフトウェアを開発・製造してきており、その開発環境や品質保証、知的財産権活動にも独自の歴史があります。当社の各事業を支える、M&S (Modeling & Simulation) などの解析技術や品質・生産性技術、特許技術等の基盤技術について紹介します。

当社のコアコンピタンスは、宇宙・航空や防衛を始めたシステム技術とそれを実現する高度ICT（高度情報通信技術、高品質・高信頼性ソフトウェア技術）です。これからも、このコアコンピタンスに磨きをかけ、市場ニーズを把握した上で、ソリューションを提供する事業分野を拡大することで、より良く変わり続けます。そして、お客様とともに安心して快適に暮らせる社会創りに貢献し、MSSの歴史を築いて行く所存です。それに向けて、何卒皆様のご卓見をお寄せ頂き、今後ともご指導、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

# ロケット飛行経路シミュレーション・プログラムの特質と進化

## The Essence and Evolution of Rocket Flight Simulation Programs

林 健太郎\* 池田 佳起\* 中川 寛文\*

Kentaro Hayashi, Yoshiki Ikeda, Hirofumi Nakagawa

飛行経路シミュレーション・プログラムは、ロケットの開発と運用に必要な不可欠なツールである。数値積分や最適化アルゴリズムなどの数値計算を応用したソフトウェアである。近年、計算機能力の劇的な向上により、モンテカルロ法やリアルタイム運用システムへの適用が可能となった。このような新規用途の開拓や、プログラム開発の効率化などが課題である。

The flight simulation program is an essential tool for development and operation of rockets. This is the software applying numerical calculation such as numerical integration, optimization algorithm and so on. According to the drastic advancement of computer performance in recent years, the program has been applied to Monte Carlo simulation or real-time operation system. Now, we need to exploit these new applications, and the efficiency of the program development remains as one of our challenges.

### 1. まえがき

わが社において、ロケットの飛行経路シミュレーション・プログラム<sup>(1)</sup>は、航法誘導プログラムとともに、N-Iロケット開発から始まる長い歴史をもつ。われわれは、宇宙航空研究開発機構殿（旧宇宙開発事業団殿）をはじめとする各社から受注した業務および社内開発工事により、同プログラムを開発してきた。そして、打上げロケットの運用や、打上げ能力の調査、航法誘導制御系の検討などに利用してきた。

本報告では、ロケットの飛行経路シミュレーション・プログラムについて、その用途と特徴、近年の新しい用途と課題について示す。

### 2. プログラムの用途

まず、ロケットの飛行経路シミュレーション・プログラムの用途を説明する。同プログラムを利用して打上げミッションごとに実施される作業は、次のようなものがある。

- (1) 打上げ飛行経路の作成とそのミッション制約の成立性の検討
- (2) 搭載プログラム・ミッション定数の設定および検証・有効性確認
- (3) 飛行安全管制員の管制訓練情報の提供

(1)では、ステージ構成、エンジン推力などロケットの機体特性や飛行環境を拠り所とし、人工衛星や探査機などの搭載宇宙機が要求する軌道に投入するような飛行経路を作成する。そして、大気飛行中の空力荷重、ブースターや衛星フェアリングなどの落下域、搭載宇宙機への太陽入射角などのミッション制約を満たしていることを確認する。これら要求軌道やミッション制約は、機体特性や飛行環境に関して想定される誤差範囲内においても成立することが要求される。このため同プログラムは、規定された誤差源に関するシミュレーションが容易に実現できなければならない。

(2)は、打上げミッションごとに変わる飛行シーケンスや飛行状態に応じた値を、搭載プログラムの定数として設定する必要があるために実施する。どのような値を設定するかは、飛行経路シミュレーションの結果を利用する。また、その値で間違いないことの検証および有効性確認では、搭載プログラムと組み合わせた飛行経路シミュレーションの結果を用いる。

(3)は、ロケット飛行時に異常動作・故障が万一発生した場合の処置を、飛行安全管制員が訓練するためのデータを提供するものである。これには、飛行状態に大きく影響を与えるような、様々な機器の異常動作や故障時の動作を模擬する必要がある。

ロケットの開発段階あるいはそれ以前の概念検討段階

においても、飛行経路シミュレーション・プログラムは有用である。ロケットの打上げ能力が十分であるかのシステム検討や、航法センサや制御機器の仕様の有効性確認に用いられる。わが社が開発した航法誘導プログラムとの関連で言えば、トレード・オフ検討から性能の評価、プログラムの検証・有効性確認など、開発に不可欠なツールであると言える。

### 3. プログラムの特徴

ロケットの飛行経路シミュレーションを支える技術の一つは、常微分方程式系の数値積分である。ただし、赤道面通過や与えられた高度への到達など、何時起こるかわからないイベントが発生する時刻を特別に数値積分端点時刻とするように、積分刻み幅を適切に制御する必要がある。

次に、ロケットの飛行経路シミュレーションにおけるダイナミクスの特徴について述べる。ロケットのミッション時間は数十分程度であるので、衛星のシミュレーションほど精密なダイナミクスは要しない。慣性系と地球固定座標系の関係は、地球の歳差運動や章動などを考慮せず、自転だけで決まるものとしている。考慮する力は、ロケット自身の推力、制御力のほかには、地球重力と空力だけである。地球重力ポテンシャルは、帯球調和係数の低次の項までしか考えない。姿勢制御系の安定性解析などの特殊な用途を除き、機体は剛体として扱う。

このようにダイナミクスが比較的単純である反面、ロケットは短時間で機体特性が著しく変化することが特徴である。質量や慣性テンソルは時間変化し、質量中心は移動する。フェアリングや前ステージなど投棄物分離前後では、機体特性が不連続に変化する。エンジンやスラスタの推力、制御力はステージごとに異なる。さらに、発射前は地上に拘束、発射後は非拘束と、ダイナミクスが切り替わる。

このように変化が著しいことや空力データを扱っていることにより、ミッション時間が短い割に、ロケットの機体特性データは量が多い。そこで、飛行経路シミュレーション・プログラムには、大量で連続または不連続に変化するデータを、容易に識別できる方法で入力ファイルにより与えられる機能が必要である。

飛行経路シミュレーション・プログラムには、以上のような飛行経路シミュレーションを1回行うための機能のほか、2章で述べた打上げ飛行経路の作成のために、最適化問題を数値的に解く機能が必要となる。すなわち、独立変数の値を調節しながら飛行経路シミュレーションを繰り返し、各種制約条件を満たす解（飛行経路）を見出す機能<sup>(2)</sup>が要求される（図1参照）。打上げ飛行

経路作成を最適化問題として定式化する例を表1に示す。

飛行経路シミュレーション・プログラムは、浮動小数点演算を中心とした数値計算プログラムである。浮動小数点演算はプロセッサやOS、コンパイラやそのバージョンなど、環境によって結果が微妙に異なることがある。スラスタのオン・オフ制御など、微妙に異なった入力に対しても閾値によって出力が大きく異なる処理を含むシミュレーションでは、環境の違いによる結果の差異が目立つ場合がある。この場合には、差異が許容範囲内にあること、差異の要因に問題がないことを確認することが重要である。

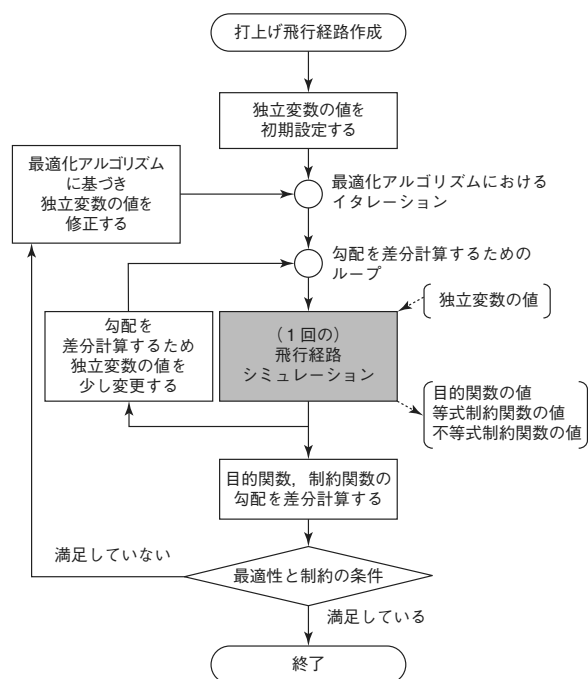


図1 打上げ飛行経路作成における最適化問題と飛行経路シミュレーションの関係

表1 打上げ飛行経路作成を最適化問題として定式化する例

| 要素    | 飛行経路シミュレーションによるパラメータ                       |
|-------|--------------------------------------------|
| 独立変数  | 搭載宇宙機質量<br>姿勢プロファイルを決めるパラメータ<br>エンジン燃焼停止時刻 |
| 目的関数  | 搭載宇宙機質量（最大化）                               |
| 等式制約  | 搭載宇宙機の要求軌道                                 |
| 不等式制約 | 空力荷重<br>投棄物の落下許容範囲                         |

### 4. プログラムの進化

計算機実行速度の劇的な向上により、飛行経路シミュレーション・プログラムの実行所要時間も劇的に短縮さ

れた。かつては、数値積分刻み幅を少しでも長く設定できるようにアルゴリズムを工夫し、実行所要時間の切り詰めに努めていたが、そのような技巧は過去のものとなった。一方、このような計算機環境の変化により、飛行経路シミュレーション・プログラムの新しい利用方法や利用目的が加わってきている。本章では、近年のこのような動向を例として紹介する。

#### 4.1 モンテカルロ法と分散コンピューティング

2章で述べた誤差環境下でのミッション制約の成立性の検討では、従来、以下の仮定により解析を行ってきた。

- (1) 対象とする誤差源（推力、機体質量、・・・）の誤差は、全て互いに独立なGauss分布（正規分布）に従う。
- (2) 各評価パラメータ（投入軌道要素、投棄物落下点、・・・）の誤差は、対象とする全ての誤差源の誤差に対して、多重線型である。

このような仮定をおくと、各誤差源について1ケースずつ<sup>(3)</sup>のシミュレーションだけで評価パラメータの統計量（標準偏差や共分散など）が得られるので、シミュレーション・ケース数が少なくてすむ利点がある。実際、計算機資源が貧弱であった時代、与えられた期間で解析結果を出すためには、このような仮定をおくことは止むを得ない選択であった。とは言え、上記2つのうち特に(2)については、仮定から逸脱することがある。例えば、推進薬枯渇時など作動限界に達した場合、軌道離心率や近地点引数などのパラメータについて円軌道に近い場合が該当する。

モンテカルロ法による誤差シミュレーションは、上の仮定を2つとも外すことが可能であるので<sup>(4)</sup>、極めて有効な方法である。しかしながら、必要な精度を得るためには大量のケースを実行しなければならず、1台の計算機では十分ではない場合がある。そこで複数台の計算機に分散してシミュレーションを実行できる環境を整えることが重要となる。

このような環境を、クライアント／サーバ型分散コンピューティングによるシステムとして構築した（図2参照）。このシステムでは、最初に管理サーバにおいて、対象とする誤差の確率分布に従う擬似乱数を発生させて、多数の誤差ケース入力データを作成しておく。シミュレーション・ケースごとに、クライアントからの要求に応じて、管理サーバが1つの誤差ケース入力データを抽出して返送する。クライアントでは、その誤差シミュレーションを実行し、その結果をサーバに返す。全ケースのシミュレーションが終了すると、管理サーバは結果を集計し、必要な評価パラメータの計算処理を行う。

現在（2011年秋）、H-IIA/H-IIBロケット用のシステムが完成している。また、イプシロン・ロケット用のシステムを構築中である。

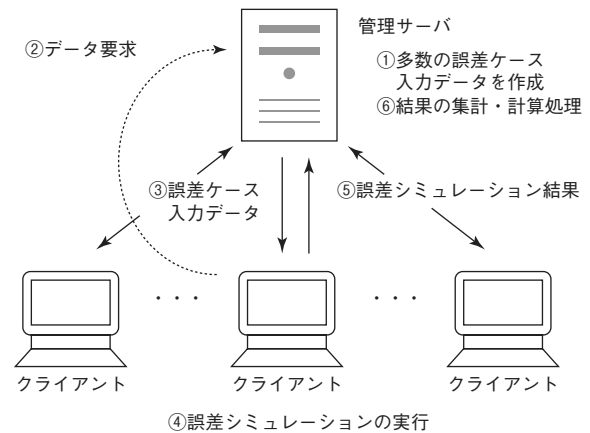


図2 クライアント／サーバ型分散コンピューティングによるモンテカルロ・シミュレーション

#### 4.2 リアルタイム運用システムへの適用

2011年1月22日、H-IIBロケット2号機が種子島宇宙センターから打ち上げられた。この打上げでは、実験的に制御落下が実施された。制御落下とは、スペースデブリとなることを避けるために、不要になった機体上段を、予め設定された計画落下域内へ安全に落下させることである。機体を落下させるための軌道離脱燃焼は、機体が正常な状態であること、落下点が確実に計画落下域内にあることを確認したうえで開始された（図3参照）。

落下点が確実に計画落下域内にあることを確認するのが、再突入推定落下点計算ソフトウェアである（図4参照）。入力データは、種子島局で取得された飛行状態に関するテレメータ・データである。この飛行状態を初期値とした飛行経路シミュレーションを行い、推定落下点を計算する。

テレメータ受信開始から軌道離脱可否判断までの時間は僅かであり、テレメータ・データにはビット化けなどの異常が発生する可能性がある。この条件下でなるべく多くの推定落下点を得るため、データが異常と判断される場合はシミュレーションの実行を直ちに中断して、次のデータに基づくシミュレーションを開始するように実行管理を行う。

また、シミュレーションの結果得られた推定落下点には、ばらつきが発生する。これは、データの低位ビットのビット化けのほか、センサのランダムな誤差により生じるデータの揺らぎがあるためである。そこで、得られた複数の推定落下点から不正常的な結果を排除し、落下点 が確実に計画落下域内にあるか否かを判定する。

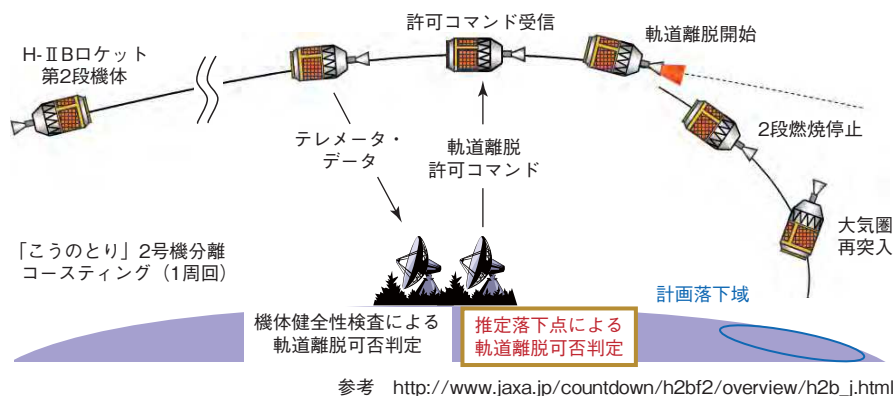


図3 H-II Bロケット2号機での制御落下実験

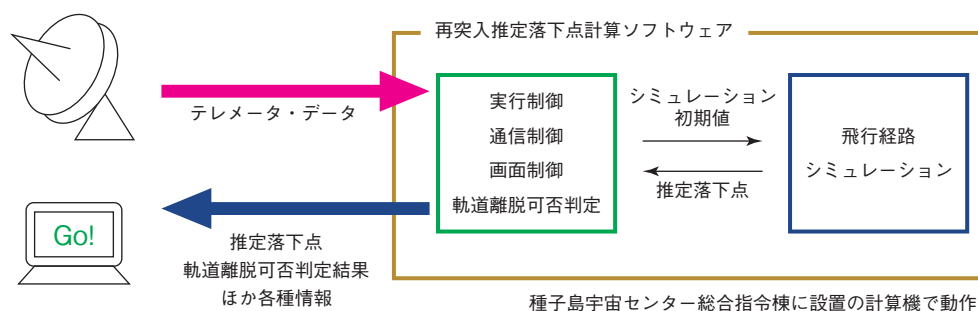


図4 再突入推定落下点計算ソフトウェアに関わるデータ・フローの概要

再突入推定落下点計算ソフトウェアは、以上の過程を経て得られた、推定落下点と軌道離脱可否判定結果を画面表示して、飛行安全管制員が行う最終判断に寄与する。飛行経路シミュレーションは、計算機実行速度の向上により、このようなリアルタイム運用システムに利用できるものとなった。

## 5. 課題

4章では飛行経路シミュレーション・プログラムの進化として、新規システムへの適応について述べた。これらはすでに実用に供されているが、このような飛行経路シミュレーションが貢献できるシステムは、他にもあるのではないだろうか。

例えば、ロケット搭載の誘導プログラムへの応用が考えられる。現在H-IIA/H-IIBロケットに搭載されている誘導プログラムは、軌道投入までの最適飛行経路を実現するように設計されているが、計算機資源が十分でなかったために、飛行途中の通過点に関する制約条件を考慮していない。そこで、避けるべき通過点に配慮して遠回りに作成されているような飛行経路に対して、ショートカットせず忠実に遠回りする誘導を行うためには、ミッション定数の調節で対処している。3章で述べたような、制約条件が課された飛行経路を見出す機能を有する

プログラムが、リアルタイムで動作可能でロケットに搭載できれば、誘導計算で重要な役割を果たすことができる。

一方、ロケットの開発段階あるいは概念検討段階において、2章に示したような検討結果をなるべく早く得たいとの要望がある。現在は、プログラム言語によりロケットの機体モデルを記述するため、相応の時間を必要とする。コア部分に関しては既存のシミュレーション・プログラムを活用し、検討用機体モデルに関しては市販の数式処理・数値解析ソフトウェアによるモデルでの記述ができれば、開発期間の短縮が可能である。ただし、そのようなソフトウェアの導入コストやライセンス管理に留意する必要がある。

課題としては、以上のようなことが考えられる。今後も、応用分野の拡大や開発方法の改良に取り組んでいきたい。

## 6. むすび

本報告では、ロケットの飛行経路シミュレーション・プログラムについて、その用途と特徴、近年の新しい用途と課題について記した。本文で触れることはできなかったが、同プログラムはロケットのみならず、軌道再突入実験機 (OREX) や宇宙往還技術試験機 (HOPE-X)

の研究や開発にも利用された実績がある。

われわれは同プログラムの開発者というだけでなく、最大の受益者でもある。同プログラムがなければ実施できない業務も多数に上る。同プログラムが長い歴史を生き抜くためには、宇宙航空研究開発機構殿をはじめとする関係各社の御理解と御指導が不可欠であった。あらためて御礼申し上げたい。

そして、同プログラムには、退社・異動された方々の苦心も深く刻み込まれている。特に、現在つくば事業部第三技術部在籍の昇次長と、氏がプロジェクト・マネージャを務められたプログラム開発チームの功績は大きい。これらの方々に深く謝意を表したい。

#### 注

- (1) 軌道シミュレーション・プログラムや、飛翔シミュレーション・プログラムなどとも呼ばれ、名称は一定していないので、他の文献等を参照されるときは、注意されたい。
- (2) アルゴリズムとしては、局所最適解の必要条件を確かめているに過ぎないが、実用上十分である。
- (3) 実際には、正負の誤差についての非対称性を見るために、各誤差源について2ケースずつシミュレーションを行うことが多い。
- (4) もちろん、(1)の仮定に代わる誤差の確率分布が必要になる。

#### 執筆者紹介

##### 林 健太郎

1986年入社、本社宇宙開発部配属。2000年から3年間旧宇宙開発事業団に出向。宇宙機の搭載ソフトウェア、シミュレーション・プログラムの検討・開発・運用に従事。現在つくば事業部第一技術部第一グループ・マネージャ。



##### 池田 佳起

1985年入社、本社宇宙開発部配属。1992年から2年間旧宇宙開発事業団に出向。宇宙機の搭載ソフトウェア、シミュレーション・プログラムの検討・開発・運用に従事。現在つくば事業部第一技術部長。



##### 中川 寛文

1994年入社、筑波事業所配属。宇宙機の搭載ソフトウェア、シミュレーション・プログラムの検討・開発・運用に従事。現在つくば事業部第一技術部第一グループ所属。



# 衛星搭載合成開口レーダによる海洋監視技術の進化と深化

Evolution of ocean surveillance technology using spaceborne Synthetic Aperture Radar

有井 基文\* 小岩 雅和\* 青木 佳史\* 河谷 嘉文\*

Motofumi Arai, Masakazu Koiwa, Yoshifumi Aoki, Yoshifumi Kawatani

本稿では、衛星搭載型の合成開口レーダ（SAR）の歴史や原理について分かり易く説明すると共に、当社が保有する独自のソリューション技術について解説し、「安全な社会」、「豊かな社会」、および「安心な社会」を実現するための貢献という3つの観点から、それらをどのように我々の暮らしに役立てて行くかという事に対して展望を述べる。

This paper discusses how remote sensing technology using space-based synthetic aperture radar (SAR) particularly for ocean surveillance can be utilized to contribute to our daily life. The approaches are comprehensively described in terms of safe, wealthy, and secure societies, based on principles and histories of related technologies.

## 1. まえがき

地球観測のみならず、深宇宙探査や有人飛行まで実現させるほどに目覚ましい発展を遂げてきた宇宙開発も、いよいよ真価の問われる実利用の段階に移った。今後は、宇宙利用が我々の生活にどう貢献するのかに依って行くことが当社のような宇宙開発に携わる企業の至上命題と考える。

宇宙から地球を観測する技術、「リモートセンシング」を事業の柱に掲げる当社は、リモートセンシングデータからどのような物理量を抽出し、それをどのように暮らしに役立てるか、いわゆる「リモートセンシングデータの利用」という点にスポットライトを当てて活動している。特に、合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）と呼ばれる高分解能アクティブセンサで取得された画像の解析に長年携わっており、様々な物理量の抽出に実績を積んできた。

我々は、リモートセンシング事業のビジョンとして次の3つの社会貢献掲げる。すなわち、「安全な社会」、「豊かな社会」、そして「安心な社会」への貢献である。本稿では、これら社会の実現に向けた当社取り組みについて、独自のソリューションを交えつつ紹介することを目的とする。特に、我が国が海に囲まれた島国であることを鑑み、衛星搭載SARによる海洋監視技術に軸足を置いて議論を展開する。

まず、SARの歴史についてその原理や特性に基づいて述べることで、安全保障に密接に関連して発達してき

たことを2章に示す。続いて、そのような軍事技術をどのように豊かな暮らしに応用しようとしているかといった取り組みを3章に示し、最後に、2011年3月11日に発生した東日本大震災からの復興に向けて当社がどのように海洋監視技術を活用したかを示すことで、安心な社会への貢献を模索する。

## 2. 衛星搭載SARの歴史 ～安全な社会への貢献～

本章では、合成開口原理、および衛星搭載SARの特徴について簡単に述べた後、マクスウェル方程式の完成から衛星搭載SARの実現に至るまでにSAR技術が、いかに安全保障と密接に発展を遂げてきたかについて述べる。

### 2.1 SARの原理と特徴

合成開口原理を理解するためには、レンズを思い浮かべるとよい。我々は、既にレンズの口径が大きいものほど対象をはっきりと映し出すことができることを知っている。SARは、センサ自体を移動させることで仮想的に大きなレンズ（大開口）を実現したものであり、合成開口原理とは、細かい部分を鮮明化する（すなわち高分解能化）ための技術である。図1の（A）に航空機や衛星のような移動プラットフォームに搭載した実開口レーダの例を示す。実開口レーダとは、1回のパルス照射による短い観測で対象を撮影するもので、小さいレンズ（小開口）で対象を見ようとするのと等価である。続いて、（B）に観測対象を連続的な複数のパルスで撮影し

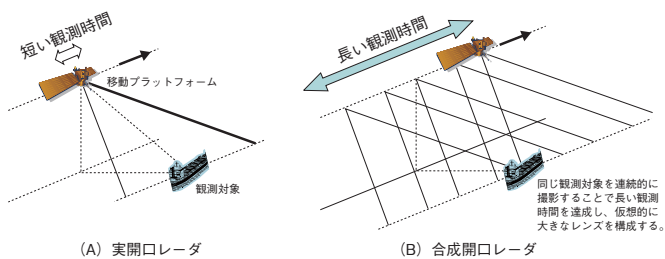


図1 合成開口原理による高分解能化

た例を示す。このような観測を実施することにより、進行方向に仮想的に大規模なレンズ（衛星だと数10km）を構成することができ、従って（A）の実開口レーダに比べて格段に分解能を向上することが可能となる。分解能の影響を示すために、図2に、停泊中の船舶を観測した異なる2つのSAR画像を示す。PALSAR（Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar）は、人工衛星ALOS（Advanced Land Observing Satellite）に搭載されたLバンドSARであり、分解能は10mである。一方、PI-SAR-L（Polarimetric and Interferometric Airborne SAR）は、航空機搭載のLバンドSARであり、分解能は3mである。どちらも宇宙航空研究開発機構（JAXA）により開発されたセンサである。光学画像をベースにこれら2つの画像を比較すると、分解能が高い方が明確に個々の船舶を分離できていることがわかる。なお、両SAR画像の入射角が異なるため、船舶からの散乱及び海面からの散乱に対する強弱はここで議論できないことに留意する<sup>(1)</sup>。

ここで、光学画像の方がSAR画像より視認性が優れていると考える読者もいるだろう。しかし、衛星搭載SARとして通常使用される3cm（Xバンド）～24cm（Lバンド）という波長は水蒸気の影響を受けにくいことがわかっており、即ち天候に左右されないという大きなメリットがある。更に、アクティブセンサの特性として、昼夜問わず観測可能であるため、対象の定期的なモニタリングが必要とされるミッションには最適なセンサといえる。

## 2.2 SAR発展の歴史

ここでは、前項に示したような特性を持つSARについて、その発展をうまくまとめた防衛大の大内教授執筆の文献<sup>(2)</sup>を参照し、マクスウェル方程式から衛星搭載SAR実現までの歴史を振り返る。

- 1864年 J.C.Maxwellによるマクスウェル方程式の完成
- 1903年 C.Hülsmeierが船舶を検知する初のレーダ実験を実施

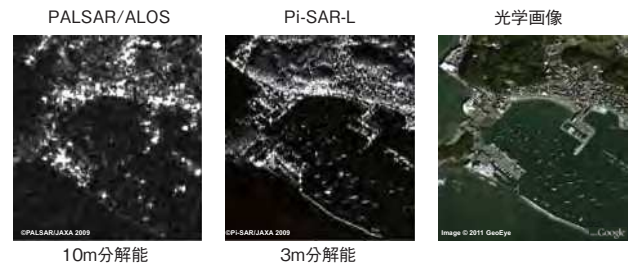


図2 分解能の違いによる船舶の見え方の違い

- 1952年 C.Wileyにより、移動する単一アンテナによる合成開口技術が開発される。この年代にSLAR（Side Looking Airborne Radar）が開発されたが、ほとんどは軍事利用目的で機密的に用いられ、公開されることはなかった。
- 1961年 軍の機密として発達してきたSAR技術の民間への公開がなされ、初のSAR画像が発表される。
- 1964年 民間の航空機搭載SARとしては初のERIM（Environmental Research Institute of Michigan）XバンドSARが開発される。
- 1972年 衛星搭載としては初のCSAR（Coherent SAR）がアポロ17号に搭載される。
- 1978年 地球観測目的として初の人工衛星搭載SAR（海洋観測衛星SEASAT）がジェット推進研究所／NASAにより打ち上げられる。

以上から一見して初期のレーダ開発が安全保障を司る軍事技術の発展と密接に関連していることがわかる。とりわけSARについては、1950年代に基礎研究が進められ、1960年代に軍事技術として水面下で発達した。それが1970年代になって衛星搭載SARとして実現されたことでようやく地球観測への活用の扉が開かれたといえよう。なお、先に述べた通り衛星搭載SARの最大の利点は、昼夜天候を問わず広い観測幅と国境線を越えた観測が可能になる点にあり、2011年現在、数100kmまで一度に観測することが可能である。今後は、更に高観測幅／高解像度化が進むことが予想される。

## 3. 豊かな社会に向けて

各国の安全保障を担う軍事技術として発展を遂げたSARであるが、近年欧米を中心に、一度に広い領域を観測できる衛星搭載SARを積極的に海洋権益の確保のために活用しようという動きがある<sup>(3)</sup>。我が国の海に囲まれた地理的状況を考慮すると海産物の安定供給、海洋資源の安定供給、更には安定した海上物資輸送等が確保されることによる国益は計り知れない。

例えば複数の商用の衛星搭載SARを活用することで、図3のような海洋監視システムが考えられる<sup>(4)(5)</sup>。ここでは、船舶が海洋に広く分布しており、事前に登録された船と未登録の船（いわゆる不審船や違法操業漁船、および海賊船等）が混在すると仮定する。この特定の海域を定期的に衛星搭載SARにより撮影し、データを地上にダウンリンク後、まずSAR画像再生処理を実施する。その後データ解析において、SAR画像から船舶情報や位置を抽出し、関係機関（ここでは、例として沿岸警備隊）に情報を提供する。情報を受けた機関は、状況に応じて直接取り締まりを実施するか、もしくは、緊急事態であることをブロードキャストする等の対策を講じることが可能となる。

本システムでは、既存の商用宇宙インフラをベースとしていることがポイントであり、そのパフォーマンスを決定付けるのは、データ解析においてどのような物理情報をどのぐらいの精度、および効率で抽出できるかにある。このデータ解析部は、更に3つのプロセスにブレイクダウンされ、それぞれ、船舶探知（Ship Detection）、識別（Classification）、および認識（Recognition）となる。各キープロセスにつき、当社独自のソリューションを次に示す。

### 3.1 船舶探知（Ship Detection）

有井の研究<sup>(6)(7)</sup>により、SAR画像上の船舶は、標準偏差という統計量に非常に感度が高いことが明らかになった。当社では、この物理的性質を応用して船舶探知に特化した標準偏差フィルターを開発し、従来用いられてきた船舶と海面の散乱強度比をベースとしたCFAR（Constant False Alarm Rate）処理と比べて格段に精度、および効率を向上させることに成功した。図4にその結果を示す。SAR画像には、海洋が広く撮影されており、船舶が広く点在しているのがわかる。それに対し、標準偏差フィルター処理結果では、海面の影響が抑

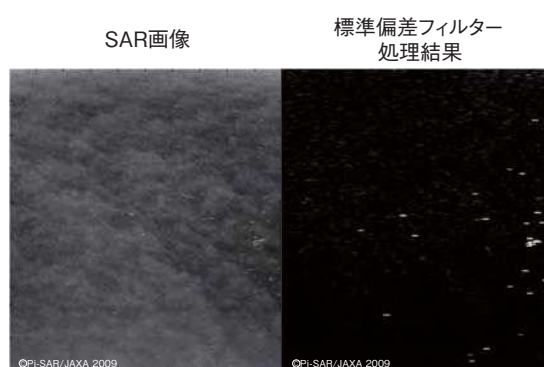


図4 標準偏差フィルターによる船舶探知

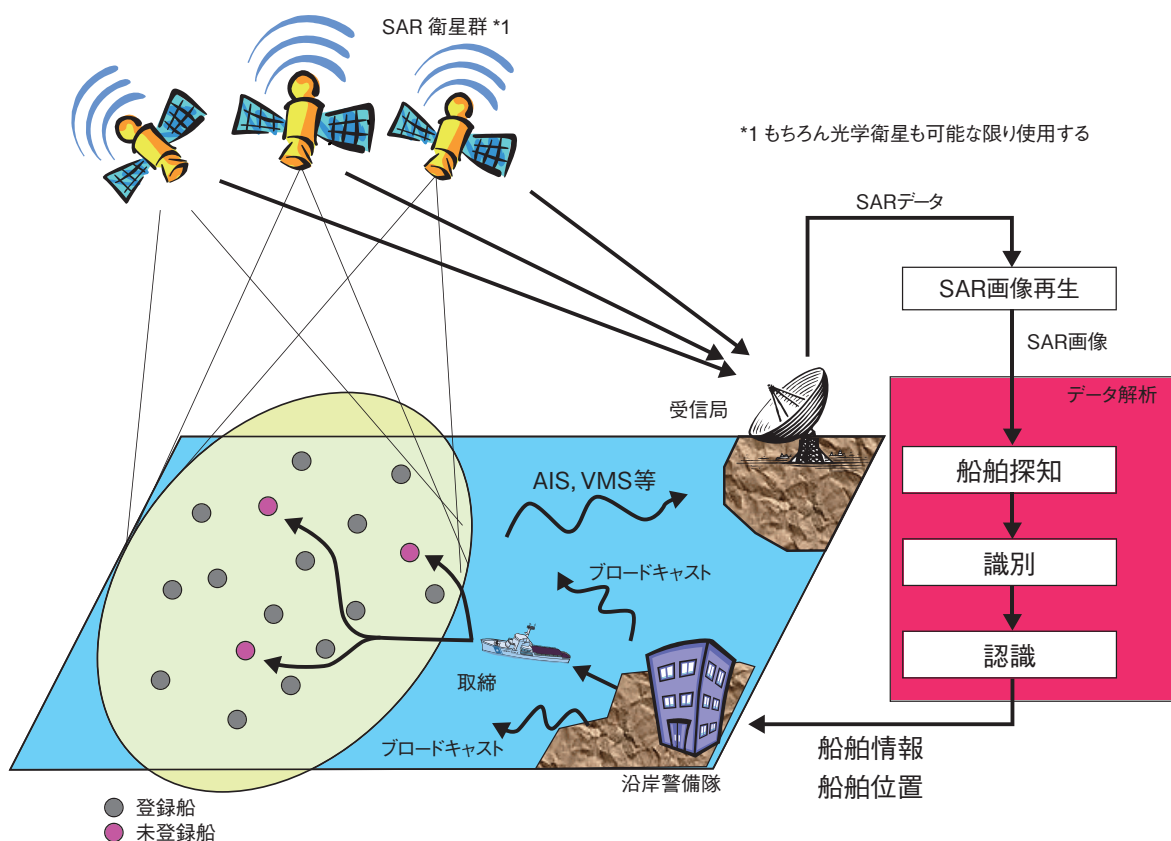


図3 衛星搭載SAR群による海洋監視システム

圧され、船舶のみが明確に抽出されていることがわかる。なお、本フィルターに関しては、他の研究機関でも検証がなされ、その有効性が示されている<sup>(8)(9)</sup>。

### 3.2 識別 (Classification)

本プロセスでは、SAR画像から探知された登録／未登録の両方を含む船舶情報を、AIS (Automatic Identification System) やVMS (Vessel Monitoring System) といった船舶自身が発信する情報と相関をとることで識別することを目的とする<sup>(1)(10)</sup>。なお、本システムでは、違法性の高い未登録船は自ら情報を発信しないことを前提としている。

高い相関精度を達成するためには、光学画像では発生しないSAR画像特有の現象、“ドップラーシフト”を考慮しなければならない。図5にドップラーシフトの実例を示す。点線で示されたものが航行中船舶の航跡であり白丸の位置に船舶があることが期待されるが、実際のSAR画像上では、図のようにずれた位置に船舶が写る。この現象は、船舶の速度によるものであり、真の位置に相当するAISやVMS情報から得られる位置との相関が劣化することを意味する。例えば、PALSAR／ALOSを用いて、直下視から40度傾けた角度（オフナディア角40度）で、時速30kmで衛星進行方向と直交する方向（レンジ方向）に移動する船舶を観測することを仮定すると、SAR画像上で1 km程度の未知のずれが生じ、特に複数の船舶が存在する場合、相関精度は著しく劣化する。このような位置ずれを補正するには、SAR画像上の航行中船舶の速度を正確に計測しなければならない。この問題を解決するために、当社は、複数のソリューションを持つが本稿では、特にリフォーカス逆合成開口レーダ (Inverse SAR : ISAR) による速度推定手法について述べる。

本手法は、SAR画像再生原理に立脚したものであり、通常、観測対象が静止していると仮定して合成開口処理

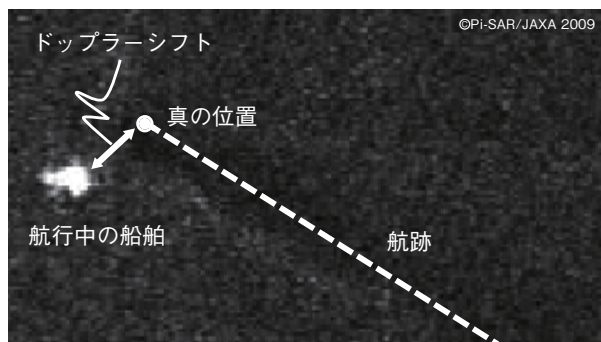


図5 ドップラーシフトに伴う画像上の位置ずれ

(アジマス圧縮とも呼ばれる)を実施するが、その時移動している物体は、ドップラーシフトにより結像点がずれるだけでなく、ぼけを生じる。これは、高速で移動する電車内から遠くの山に焦点を合わせるときに、目の前を通り過ぎる電信柱がぼやけることと等価である。この場合、電信柱に焦点を合わせるためには、どちらの方向にどのスピードで電信柱が通り過ぎるかが既知であることを利用し、その方向に首を振る等するであろう。もちろんそれにより、遠くの山々は、ぼけることとなる。実際のSAR画像取得時には、船舶の速度は未知であるため、仮定する船舶速度を次々と変化させながらアジマス圧縮を繰り返し、ぼけが最小になる、すなわち信号強度が最大になるときの速度を船舶速度と推定する<sup>(11)(12)(13)(14)</sup>。本手法は、従来高精度であることは知られていたが、どのような速度刻みにすればよいか等、効率に関する重大な課題があった。例えば、変化させる速度刻みが小さすぎると速度推定に時間がかかり、大きすぎると、速度を見落としてしまう可能性がある。近年、有井による研究<sup>(15)</sup>で、効率に関する課題が解消され、ようやく実用に供するものとなった。図6にリフォーカスISARによる速度推定後の識別結果を示す。図中赤丸がAISからの情報であるのに対し、実線の緑丸は航行中船舶のSAR画像上での探知位置である。この2つはそのままでは離れた位置にあるが、リフォーカスISARによる速度推定後、ドップラーシフトを考慮して破線による緑丸の位置に探知位置が補正される。赤丸と破線の緑丸を比較した場合、格段に識別精度が向上したことがわかる。なお、本データは全て実観測によるものであり、当該AISの位置情報が画像中の船舶のものであることは、既知である。

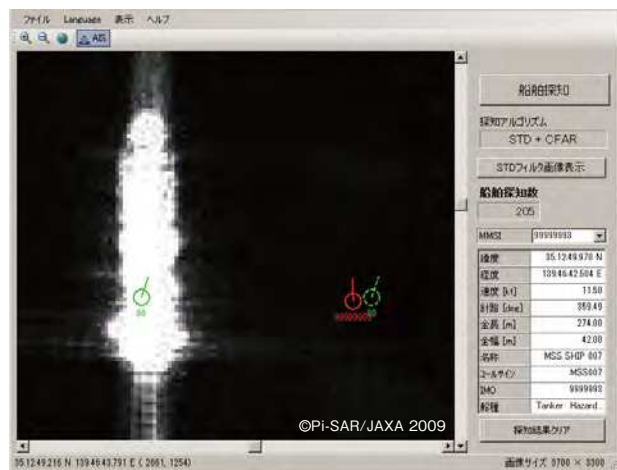


図6 リフォーカスISARによる速度推定による識別精度向上 (画面は、当社開発中の製品HuygensWorks®で実行)

### 3.3 認識 (Recognition)

識別プロセスにおいて、未登録の不審船と判別された場合、その目的を把握するために、可能な限り船舶の情報（進行方向、サイズ、形式等）を抽出することが求められる。本プロセスのために新たに高分解能なSAR画像や光学画像を撮影することも考えられるが、周回衛星の軌道特性を鑑みると技術的課題が多い。そこで、当社は、既に存在する船舶探知に用いた1枚のSAR画像から情報を抽出する技術開発にこだわり、その結果ポラリメトリックリフォーカスISAR技術の開発に成功した。

本手法のベースは、前項に述べたリフォーカスISARであり、その違いは、推定された速度を用いて画像の鮮明化を行う点にある。更に、当社で培ってきたポラリメトリックSAR画像に関する技術<sup>(16)(17)(18)(19)(20)</sup>を組み合わせたものが、ポラリメトリックリフォーカスISARである。図7に、本手法を適用した処理結果を示す。ここで、SAR撮影方式の一つに、電磁波の特性を考慮したポラリメトリックSARと呼ばれる技術があり、それにより、1度の観測で偏波特性の異なる複数の画像を生成することができることに留意する。左のSAR画像は、図6の船舶をカラー表示したものであり、ぼけが生じているのがわかる。それに対し、ポラリメトリックリフォーカスISAR処理後の画像は、船舶の外形や内部構造等がシャープに画像化されていることがわかる。図では、垂直（V）偏波と水平（H）偏波を組み合わせることで、HH、HV、およびVVの3つの偏波画像とそれらを平均した画像の計4枚が示されており、画像の映り方が

一つ一つ異なっている。これは、偏波ごとに主体となる散乱メカニズムが異なるためであり、この差異は、船舶の材質や構造等によって生じるものである。すなわち、1回の撮影で鮮明化されたSAR画像だけでなく、識別に必要な多様な情報が得られることを示している。

本章では、海洋監視システムのパフォーマンスを決定付けるデータ解析部について、3つのキープロセスを定義し、それに従って独自のソリューションを紹介した。これらの技術は、開発中の製品HuygensWorks®にて実現される。本製品は、リモートセンシングデータから様々な物理情報を抽出するためのライブラリであり、多様な販売形態に対応することを可能にする。例として、デスクトップアプリケーション、およびウェブアプリケーションへの適用例を図8に示す。

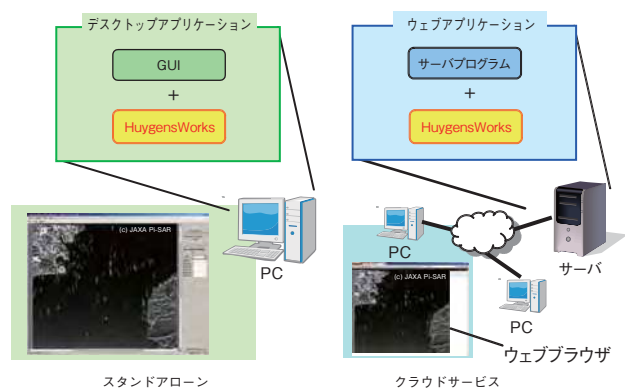


図8 HuygensWorks®の適用形態例

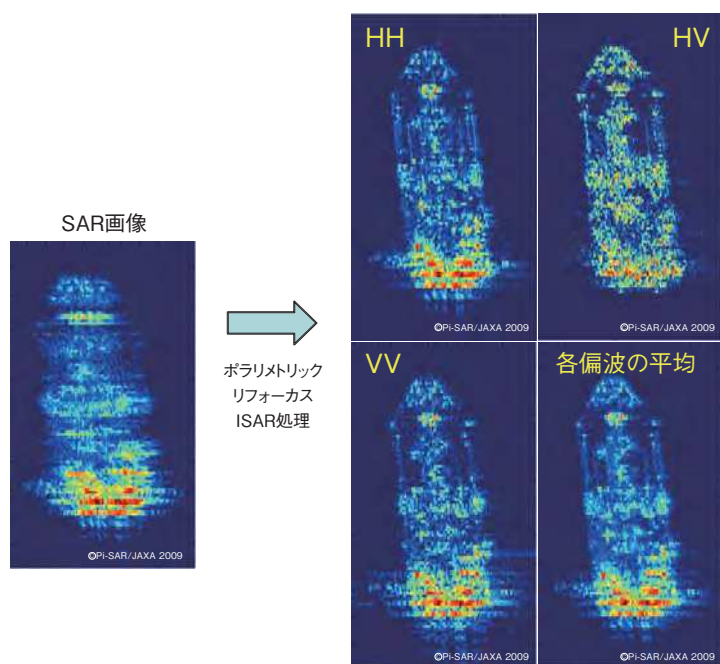


図7 ポラリメトリックリフォーカスISAR処理結果

#### 4. むすび～安心できる社会の実現に向けた取り組み～

当社は、衛星搭載SARをベースとした海洋監視技術を地震や津波、洪水等天災からの復旧、復興にも積極的に活用することにより、予期せぬ事象に対して安心できる社会への貢献を目指している。

2011年3月11日の東日本大震災発生後、当社の海洋監視技術を駆使し、JAXAを通じて日本政府に対し、人命救助、海運物資の輸送、および漂流物の監視に供する情報を積極的に提供してきた。一例として、当社が実施した2011年3月13日の東北地方太平洋沖のPALSAR／ALOS画像からの漂流物解析結果が、JAXA 地球観測研究センター（EORC）ウェブサイトにて2011年3月23日付けで掲載された。（図9参照。）

また、2011年末にタイに甚大な被害を与えた洪水災害が記憶に新しいが、当社は、特に経済的損失の大きかった工業団地の冠水／非冠水エリアの解析について、技術支援を実施した。本詳細についても上記ウェブサイトにて2011年12月8日付けで掲載されている。（図10参照。）なお、本解析では、航空機搭載 SARであるPI- SAR-Lで取得されたHV画像から情報抽出を実施した。

当社は、今後も衛星搭載SARによる海洋監視に限らず、リモートセンシングに関して幅広く取り組むことで、そのポテンシャルを存分に引き出し、社会に貢献できる“宇宙利用”を進めて行きたい。

なお、本稿で使用した全てのSAR画像は、JAXAより提供頂いたものであり、その御好意に厚く御礼申し上げます。

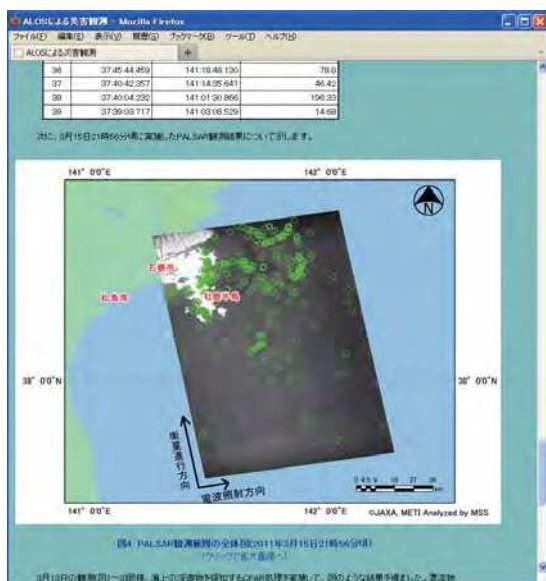


図9 当社漂流物解析結果  
（提供：宇宙航空研究開発機構（JAXA））



図10 タイ洪水解析結果  
（提供：宇宙航空研究開発機構（JAXA））

#### 参考文献

- (1) 有井 基文、「ALOSシリーズによる海上サーベイランス」、ALOS-2ワークショップ、Mar. 2010
- (2) 大内 和夫、「合成開口レーダの基礎」、東京電機大学出版局、東京、2004年。
- (3) Technical Exchange on AIS via Satellite (TEXAS) やCollaboration in Space for International Global Maritime Awareness (C-SIGMA) といった欧米中心のフレームワーク
- (4) M.Arii, “Contribution of SAR observation systems for ocean security”, Indonesia-Japan Workshop on Earth Observation Satellites, Jakarta, Indonesia, May, 2011.
- (5) M.Arii, “Conceptual design for spaceborne ocean surveillance system based on radar scattering theory”, Collaboration in Space for International Global Maritime Awareness (C-SIGMA) , Frascati, Italy, Jun., 2011.
- (6) M. Arii, “An analysis of scattering from a floating object on the sea using three-component backscatter model for polarimetric radar”, Asia Pacific-Radio Science (AP-RASC) 2010, Toyama, Japan, Sep. 2010.
- (7) M. Arii, “Improvement of ship-sea clutter ratio of SAR imagery using standard deviation filter”, IGARSS 2011, Vancouver, Canada, Jul. 2011.
- (8) K. Ouchi, “Ship detection by ALOS-PALSAR: An

- overview” , The Asia Pacific Conference on SAR (APSAR) 2011, Seoul, Korea, Sep. 2011.
- (9) E-S. Won, and K. Ouchi, “Comparison of ship detection algorithms using ALOS-PALSAR, ground based maritime radar and AIS” , The Asia Pacific Conference on SAR (APSAR) 2011, Seoul, Korea, Sep. 2011.
- (10) M. Aarii, “The result of ALOS collaborative investigation” , 18th Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (APRSAR-18) , Singapore, Dec. 2011.
- (11) 有井 基文, 「速度測定装置、速度測定方法および速度測定プログラム」、特許登録番号4791136
- (12) 有井 基文, 「位置特定装置、画像再生装置、位置特定方法および位置特定プログラム」、特許登録番号4791137
- (13) 有井 基文, 「レーダ画像処理装置、レーダ画像識別方法およびレーダ画像識別プログラム」、特許登録番号4651499
- (14) 有井 基文, 「目標物速度測定装置、目標物速度測定プログラム及び目標物速度測定方法」、特許登録番号4791239
- (15) M. Aarii, “Velocity correlation functions of a moving target in SAR imagery” , International Polarimetric SAR Workshop in Niigata 2010, Niigata, Japan, Sep. 2010.
- (16) M. Aarii, J. van Zyl, and Y. Kim, “Retrieval of soil moisture under vegetation using polarimetric scattering cubes” , IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2010, Hawaii, USA, Jul. 2010.
- (17) M. Aarii, J. van Zyl, and Y. Kim, “Measuring orientation and randomness of vegetation using polarimetric SAR data” , IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2011, Vancouver, Canada, Jul. 2011.
- (18) M. Aarii, J. J. van Zyl and Y. Kim, “A general characterization for polarimetric scattering from vegetation canopies,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 48, no. 9, pp. 3349-3357, Sep. 2010.
- (19) M. Aarii, J. J. van Zyl and Y. Kim, “Adaptive model-based decomposition of polarimetric SAR covariance matrices,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 49, no. 3, pp. 1104-1113, Mar. 2011.
- (20) J. J. van Zyl, M. Aarii, and Y. Kim, “Model-based decomposition of polarimetric SAR covariance matrices constrained for non-negative eigenvalues,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 49, no. 9, pp. 3452-3459, Sep. 2011.

#### 執筆者紹介



有井 基文

1997年入社。鎌倉事業部にて、宇宙、防衛分野におけるリモートセンシングに関連した研究開発業務に従事。  
工学博士。リーディングエンジニア。



小岩 雅和

1991年入社。鎌倉事業部にて、宇宙、防衛分野におけるリモートセンシングに関連した製品開発業務に従事。



青木 佳史

2007年入社。鎌倉事業部にて、宇宙、防衛分野におけるリモートセンシングに関連した製品開発業務に従事。



河谷 嘉文

2008年入社。鎌倉事業部にて、宇宙、防衛分野におけるリモートセンシングに関連した製品開発業務に従事。

# 次世代ゲノムブラウザ GenomeJackの開発

GenomeJack, The next-generation genome browser

谷嶋 成樹\* 野原 祥夫\* 石川 元一\* 上原 慶三\* 岡田 千尋\* 小原 康雄\*  
Shigeki Tanishima, Sachio Nohara, Motokazu Ishikawa, Keizo Uehara, Chihiro Okada, Yasuo Ohara

我々は、次世代ゲノムシーケンサに対応した全く新しいゲノムブラウザGenomeJackを開発している。GenomeJackは、次世代シーケンサのマッピング済みリードデータおよび全ゲノムシーケンス、エクソーム、トランスクリプトームおよび変異解析に用いられるソフトウェアツールの結果を簡単な操作で閲覧することができるJavaアプリケーションである。GenomeJackは当社ダウンロードページ (<http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/genomejack/english.html>) よりダウンロードして誰でも無償で使うことができる。

Recent 10 years, we developed several software products for genome-informatics data analysis. The GenomeJack is Java application program and it has been developed as novel genome-browser software for a flood of genome-sequencing data as results of that many improvements of next-generation genome sequencing platforms.

GenomeJack provides quick operation and intuitive visualization "at a glance" for biological researcher against such very large genome data sets and to flexibly integrate various data types, including not only sequencing data but also micro-array data. And visualization function of GenomeJack is including genome-mapping data and resulting data from analysis software tools for whole-genome and exome sequencing, epigenome and transcriptome analysis, and structural variants and copy number profiling.

Now the GenomeJack is freely downloadable from an official web-site of MITSUBISHI SPACE SOFTWARE (<http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/genomejack/english.html>) .

## 1. まえがき

当社では、「千ドルゲノム解析」時代に向けて「次世代ゲノムブラウザ GenomeJack」を開発した。

近年の次世代ゲノムシーケンサの技術革新により数年以内に「千ドルゲノム解析」が実現し、創薬、医療および健康分野で革新的なゲノム情報の応用が始まると言われている。そして、「千ドルゲノム解析」の成否には、処理速度が速い解析ソフトウェアと使いやすいゲノムビューアが鍵を握っていると言われている。そこで当社では、本格的な「千ドルゲノム解析」の到来に備えて、研究者にとって軽快に動作し、使いやすい次世代ゲノムブラウザを製品化した。

西暦2000年前後に起こったヒトゲノム解読ブーム以降、当社ではゲノム機能解析に応用できる様々なソフトウェアを製品化してきており、それらは現在、様々な応

用研究分野で活用されている。GenomeJackは、これまでの当社の製品開発ノウハウを活かして独自開発した次世代ゲノムブラウザである。

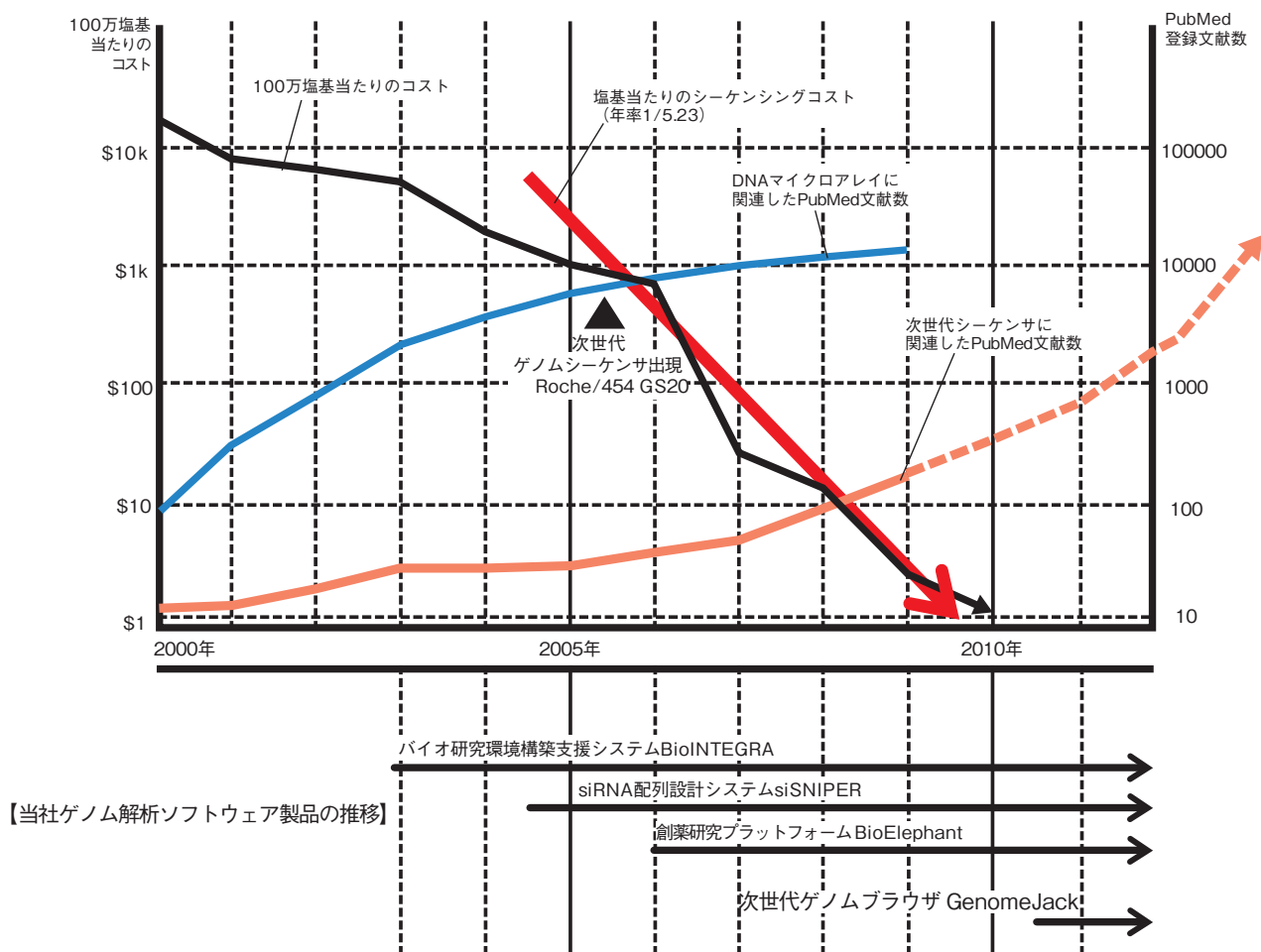
現在GenomeJackは無償ソフトウェアとして当社ウェブサイトからダウンロード形式で提供されており、簡単なアクティベーション操作により誰でも利用できるようになっている。

## 2. 次世代ゲノムシーケンス時代の到来

### 2.1 次世代ゲノムシーケンサの特徴

2005年前後に次世代シーケンサが出現して以来、1塩基当たりの解析コストが年率約1/5以下の割合で低下しており、研究現場では急速に応用範囲が広がっている(図1)<sup>(1)(2)(3)</sup>。

次世代ゲノムシーケンサの特徴は、これまで主に用いられてきたサンガー法のゲノムシーケンサに比べて、高



THE SEQUENCE EXPLOSION, nature, Vol.464 1 April 2010、  
 Next-generation sequencing: adjusting to data overload. Monya Baker, Nature Methods 7, 495 - 499 (2010) および  
 What would you do if you could sequence everything?, Avak Kahvejian, John Quackenbush & John F Thompson, Nature Biotechnology 26,  
 1125 - 1133 (2008) よりデータを合成して作成

図1 次世代シーケンサのコスト、関連文献数の推移と当社製品

速、かつ、低コストでゲノム配列をシーケンシングできる点に尽きる。例えば、代表的な次世代シーケンサの1つであるillumina社のHiSeq2000システム<sup>(4)</sup>は、1ラン（1回のシーケンサの運転）当たり600Gb（b：ベース。核酸配列1塩基を意味する単位）の配列読取り能力を有している。2000年時点での代表的なサンガー法ゲノムシーケンサ ABI3700システムと比較すると、ラン当たり約125万倍、時間当たり約13万倍の解読速度である。HiSeq2000システムには今後発展型の出現が予定されており、潜在的にはラン当たり1Tbの能力を発揮できると言われている。

## 2.2 ゲノム分野における当社の既存製品

当社は、2003年に「バイオ研究環境構築支援システムBioINTEGRA」<sup>(5)</sup>を発売開始以来、siRNA配列設計システム<sup>(6)</sup>および創薬研究プラットフォームBioElephant<sup>(7)</sup>を製品化してきた。これらの製品は、ゲノムデータベ

スとDNAマイクロアレイ解析のデータマイニングに適したウェブサーバーシステムであり、研究組織全体に解析サービスを共有する方式で運用されている。これらの製品は、ヒトゲノム解読が完了した後の「ポストゲノム時代」に発売開始し、現在では主に創薬研究に活用されている（図1）。

次世代シーケンサは継続的に性能が改善されており、それに伴って研究現場での活用も指数関数的に増加している。図1の通り、これまで遺伝子研究に用いられてきた代表的な実験デバイスであるDNAマイクロアレイによる文献の増加率は減少している。一方で次世代シーケンサに関連した文献数は大きな伸び率で推移しており、今後伸びはさらに加速すると予測されている。

今回紹介するGenomeJackは次世代シーケンサを活用した遺伝子研究用に開発したソフトウェアである。次世代シーケンサで生み出されるデータは前述の通り非常に大量であり、「見るだけ」の動作においてもソフトウェ

アの処理負荷は非常に重いものになる。GenomeJackはその点の対策に注力し、次世代シーケンサのデータを「見る」ツールとして、軽快な動作を実現させている。これにより、ユーザはソフトウェア操作レスポンス上のストレスを感じることなく、必要なデータの抽出を行うことができる。

従来の当社製品とは異なり、GenomeJackはアプリケーション形式であるが、GenomeJackのデータ管理技術には、BioINTEGRAにて開発された独自のゲノムデータベースエンジンの技術が継承されている。この技術により、今後想定される次世代シーケンサの改良に伴うデータ量の増大に対応できるように設計されている。

### 3. GenomeJackの開発経緯

#### 3.1 世界のゲノムブラウザ状況

ゲノムブラウザは次世代シーケンサのデータ解析結果を閲覧するためのソフトウェアであり、実験結果の評価を行うためには必要不可欠なツールである。

現在、次世代シーケンサデータに対応した以下の様なソフトウェアがリリースされている。

##### (1) UCSC Genome Browser (<http://genome.ucsc.edu>)<sup>(8)</sup>

米国カリフォルニア大学サンタクルーズ校が開発し、ウェブサービスとして公開しているゲノムブラウザである。UCSC Genome Browserは世界で最も知られているゲノムブラウザの1つであり、以下の様な特徴を持つ。

- ・ウェブサービスである
- ・アノテーション情報が充実している
- ・ユーザデータをアップロードして表示させることが可能
- ・リファレンスゲノムや多様なアノテーション情報を公開している

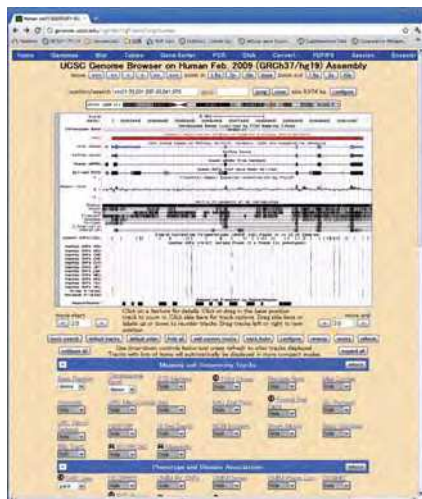


図2 UCSC Genome Browserの表示画面例

##### (2) Integrative Genome Viewer (IGV)

(<http://www.broadinstitute.org/igv/>)<sup>(9)</sup>

米国BROAD INSTITUTEが開発し、無償ソフトウェアとして公開しているゲノムブラウザである。世界的な知名度ではUCSC Genome Browserと双璧をなすものである。Javaアプリケーション形式で提供されているため、プレゼンテーションなどで良く用いられる。IGVは以下の様な特徴を持つ。

- ・Javaアプリケーションである
- ・操作性が良い。スクロール等の操作を軽快に行える
- ・個人PC上のデータを表示できる。特に生データ（リードデータ）の表示が容易である

#### 3.2 既存ゲノムブラウザの問題点

UCSC Genome Browserには以下の様な問題点がある。

- ・ウェブシステムであるため、スクロール、ズームなどの操作レスポンスが非常に遅い
- ・ユーザデータの検索ができない
- ・セキュリティ上の問題からデータをインターネット上のUCSCサイトにアップロードできない場合がある
- ・表示データのフィルタリングなど、候補データの絞り込みが不可能である
- ・ユーザ側で生データ（リードデータ）の公開サイトを設置する必要がある

一方、アプリケーション形式であるIntegrative Genome Viewer (IGV) にも以下の様な問題点がある。

- ・大量のリードデータ、特にトラック当たり1億リード以上のデータ量では、表示が非常に遅くなる
- ・ユーザデータをクライアント／サーバー形式で共有して参照することが非常に困難



図3 Integrative Genome Viewer (IGV) ダウンロードページ

- ・ユーザーデータの検索ができない
- ・データの抽出操作が複雑で使いにくい
- ・Excel等から出力されたデータをそのままインポートできない

### 3.3 GenomeJackの開発コンセプト

当社は次世代シーケンサのデータ受託解析ビジネスを手掛けており、解析結果の確認にはUCSC Genome BrowserやIGVを利用してきたが、前述の問題点に悩まされていた。特に、性能の向上した最新の次世代シーケンサのリードデータのブラウジングでは、使用に耐えられない程度の遅い操作レスポンスであった。

そのような経験に基づき、以下のコンセプトで新規にゲノムブラウザの開発を開始した。

- ・操作レスポンスと表示レスポンスにおいて、ユーザーにストレスを感じさせない程度の軽快な動作を実現すること
- ・様々な計算機プラットフォーム上で快適にプレゼンテーションができること
- ・後段の高次解析処理や実験に供する候補データを簡単に検索、絞り込み、抽出できること

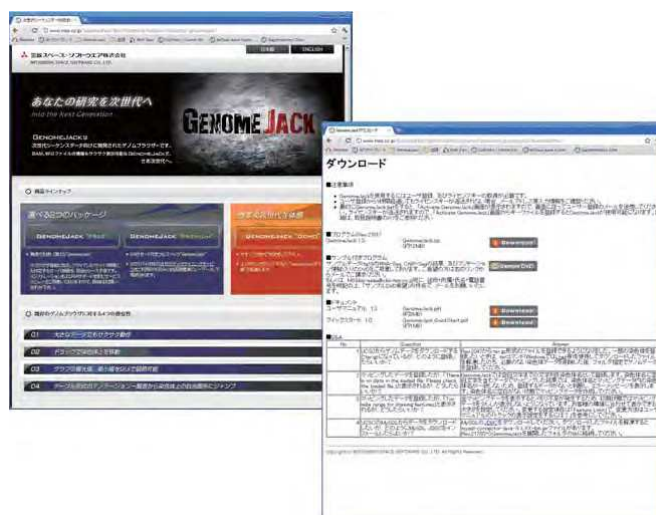
その結果、2010年10月にβ版のリリース開始し、2011年4月にVer.1.0を公開した。現在では、改良が進んだ

Ver.1.3を当社ウェブサイトから無償ソフトウェアとして世界中の研究者向けに公開している（図4）。

## 4. GenomeJackを用いた次世代シーケンサデータ解析

### 4.1 ゲノム機能解析の概念（図5）

基礎医学や分子生物学では、異なる状態の2つ以上の生体サンプルの遺伝子発現等、分子生物学的差異を明確



<http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/genomejack/>

図4 GenomeJackダウンロードページ<sup>(10)</sup>

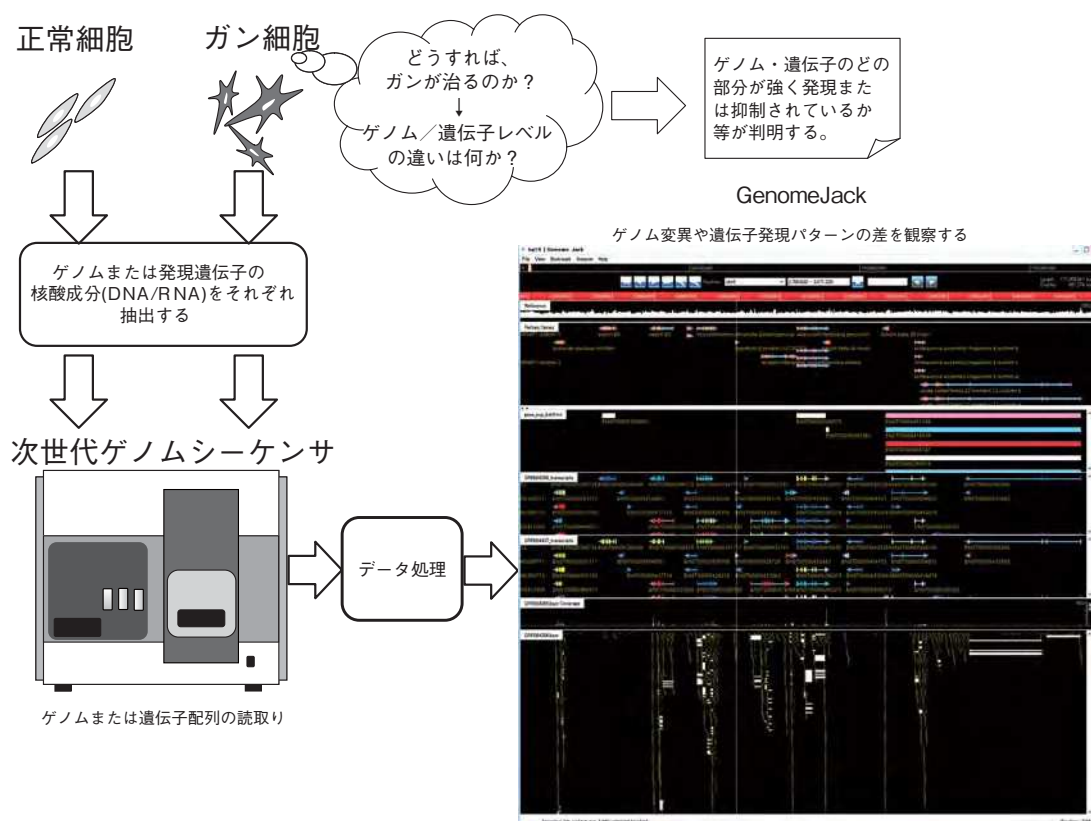


図5 ゲノム機能解析の概念

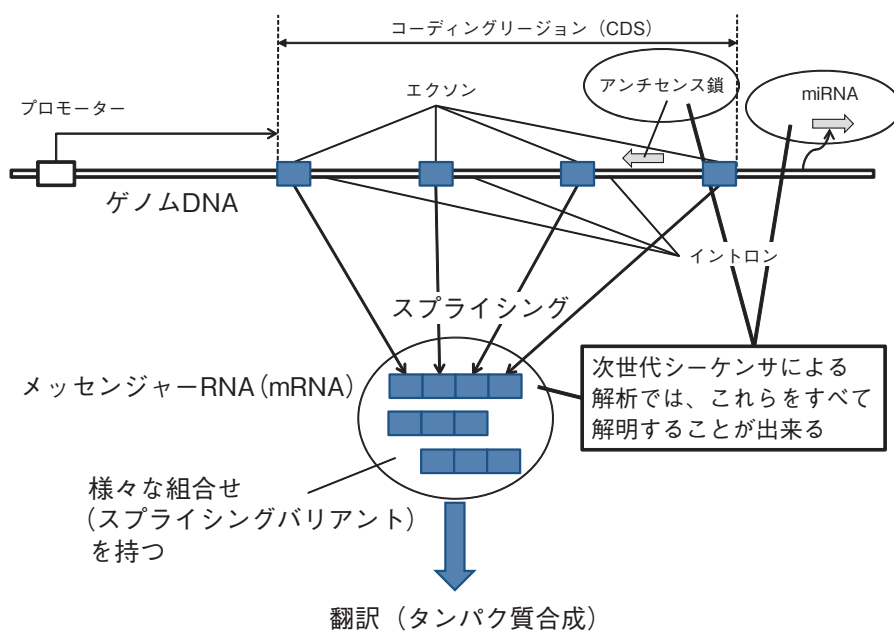


図6 遺伝子の構造

化することにより疾患の原因遺伝子や化合物の作用機序を解明する。そのような場合に、GenomeJackはサンプル間のDNA/RNAの変動、発現の差を明確に表示するために用いられる。例えば図5に示す通り、特定のガンの治療法を研究する場合、正常細胞とがん細胞の遺伝子発現パターンの差から原因遺伝子を特定することがある。次世代シーケンサにより、正常細胞およびがん細胞内に存在しているRNA分子の分布と量を測り、その差を求めて、大きな差異のあった部分の近傍に存在する遺伝子を疾患の原因遺伝子の候補として抽出する。従来のRNAマイクロアレイを用いた遺伝子発現解析法では、あらかじめ決められた遺伝子領域の一部分のみをプローブとして利用するため、遺伝子領域全体の状態を解明することはできなかった。

ゲノムDNA上の遺伝子の構造は図6に示す通りである。ゲノム上の遺伝子コーディングリージョンには「エクソン」および「イントロン」と呼ばれる領域があり、スプライシングにより「エクソン」領域だけが連結されてmRNA（メッセンジャーRNA）となり、タンパク質に翻訳されて生体内で機能する。次世代シーケンサによる解析では、エクソン単位での解析が可能になるため、スプライシングバリエーションを含むすべての遺伝子発現パターンを解明できる。一部のイントロンに相当する配列に対して「アンチセンス鎖」と呼ばれる遺伝子発現を抑制する分子が存在する場合があります、これも次世代シーケンサで解析可能である。また、遺伝子と遺伝子の間の領域からmiRNAと呼ばれる短いRNA分子が翻訳されて細

胞内で機能している場合があります、これに関しても次世代シーケンサで解明することが可能である。

エクソンの組合せ、アンチセンス鎖およびmiRNA等の領域は非常に多様であり、これら検出された領域を簡単かつ確実に閲覧するソフトウェアがGenomeJackである。

GenomeJackにより、ユーザは図5に示すゲノム上の遺伝子構造と対比しながら、各サンプルから得られた実験結果の比較が可能になる。

#### 4.2 次世代シーケンサによるゲノム機能解析の原理（図7）

サンプル細胞から抽出されたDNAまたはRNA分子はシーケンシングの前処理段階で数100b～数kbの長さで断片化され、次世代シーケンサにより塩基配列を読み取られる。塩基配列の読取り長はシーケンサの種類や運転条件によって異なるが、100b程度の場合が多い。ランで600Gbの読取りができるHiSeq2000の場合は、100bのリード配列が約60億個出力される。

読み取られたリード配列はゲノム配列の一部であるため、既知のゲノム配列との照合により染色体中の場所が判明する。これをマッピングという。マッピングは既知ゲノム配列とギャップやミスマッチを考慮した最適アライメントにより行われる。

一般に、次世代シーケンサにより読み取られる核酸配列の数は、リファレンス配列の塩基数の10倍～30倍程度の密度で読み取られる。これを冗長度10～30という。また、局所的な冗長度のことをカバレッジという。カバレ

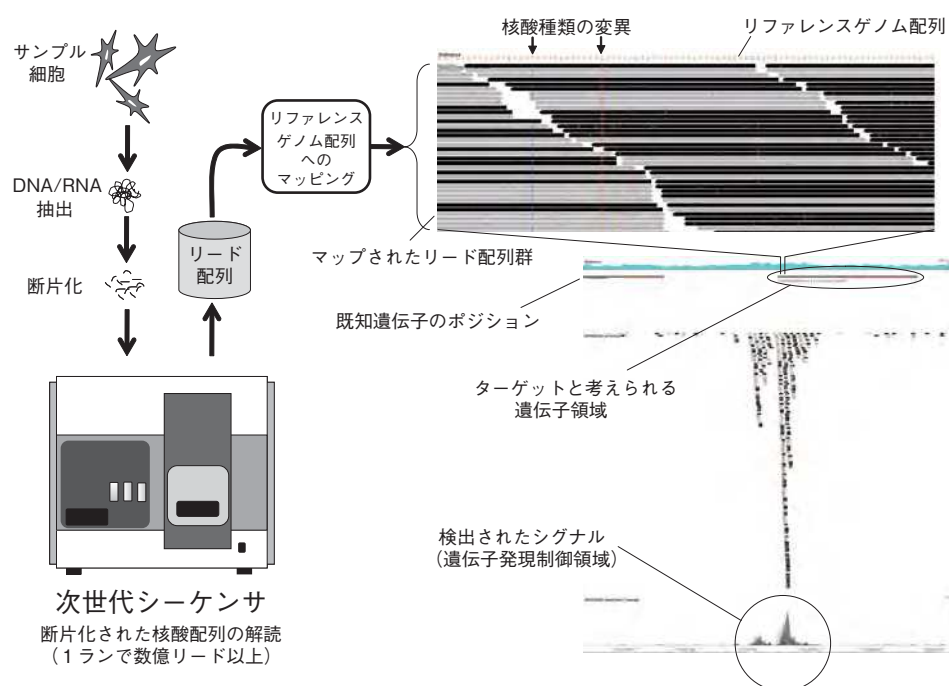


図7 ゲノム機能解析の原理 (ChIP-seq解析の例)

ージが2以上の場合はゲノム配列が重複して読み取られるため、カバレッジが10以上の領域ではリード配列に0.1%程度含まれる読み取りエラーの判別が可能になる。

リファレンスゲノム配列に対するゲノム変異を解析する場合、すべての染色体上で均一に重複してリード配列が読み取られるようにサンプルが調製される。ゲノム上のすべての領域で均一なカバレッジが保たれることにより、ヒトの個人差や特定作物の株に生じているゲノム変異を網羅的に解明することができる。

また、ゲノム上の特定の場所に結合しているタンパク質の分布を解明する場合は、タンパク質が結合している状態でゲノムDNAを断片化して、その断片を読み取ることで、タンパク質が結合しているゲノム上の位置を特定することが可能になる (ChIP-seq法<sup>(11)</sup>)。

ゲノムから発現している遺伝子のRNAを読み取った場合、RNA配列をゲノム上にマッピングすることにより、全遺伝子の発現強度を網羅的に解明することができる (RNA-seq法<sup>(11)</sup>)。

なお、ChIP-seq解析やRNA-seq解析においても、カバレッジが高い領域に関してはサンプルのゲノム変異 (核酸種類の変異) が検出される場合が多い。

#### 4.3 GenomeJackが想定する次世代ゲノムシーケンサ

GenomeJackでは以下のような次世代シーケンサのデータ表示を想定している。

(1) Roche Genome Sequencer FLX (GS FLX)<sup>(12)</sup>

スループットはラン当たり0.5~2Gbであり次世代シーケンサの中では少ない方であるが、有効リード長が400bpと比較的長いことから、de-novo genome assemblyやde-novo transcriptome assemblyに適したシーケンサである。GenomeJackでは、de-novo genome assembly後のアノテーション表示、de-novo transcriptome assemblyの結果をBLASTまたはBLATで既存ゲノム情報にマッピングした結果を表示できる。

(2) illumina Genome Analyzer IIx/HiSeq2000 (GAIIx/HiSeq2000)

有効リード長は50~150bpと短い<sup>3</sup>、スループットがラン当たり100Gb~600Gbと非常に大きく、次世代シーケンサの本命と言えるタイプである。変異解析、発現解析、エピゲノム解析等応用範囲は広い。スループット向上による塩基当たりの読取りコストの低減が進んだため、DNAマイクロアレイに代わる定量性の高い発現解析デバイスとして利用が進みつつある。

GenomeJackでは、以下のような解析ツールの結果を表示できる。

- ・マッピングツール  
BAM/SAM形式に対応したマッパー。例えば bowtie<sup>(13)</sup>、BWA<sup>(14)</sup>
- ・ゲノムの多型解析ツール  
SAMtools<sup>(15)</sup>
- ・RNA-seq解析ツール  
tophat<sup>(16)</sup>、cufflinks<sup>(17)</sup>、cuffdiff<sup>(17)</sup>

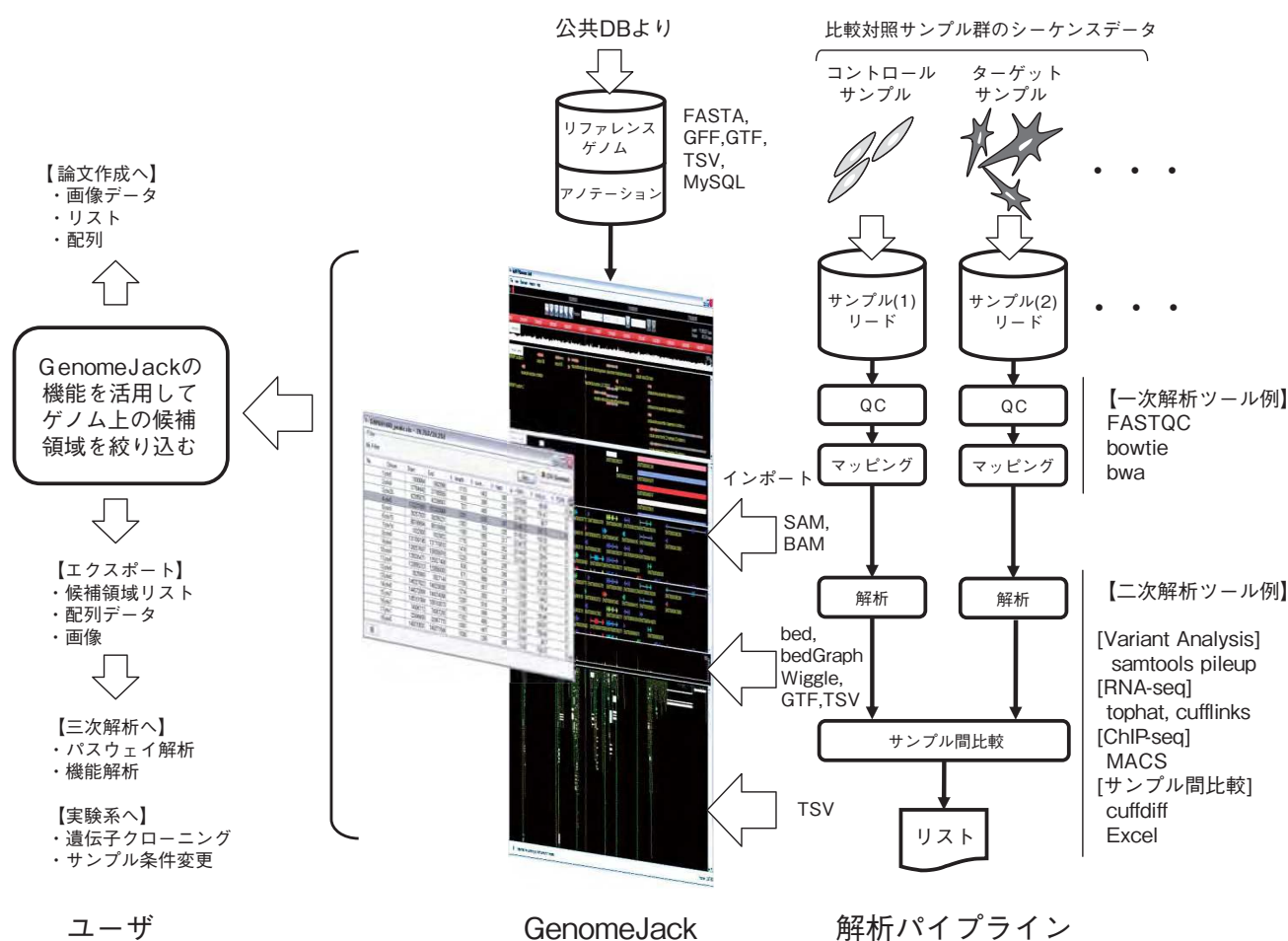


図8 GenomeJackを使ったデータ処理の流れ

- ・ ChIP-seq解析ツール  
MACS<sup>(18)</sup>

上記以外でも、大規模変異解析、CNV (Copy Number Variation) 解析およびFusion Gene解析など、最新の解析ツールの結果やExcel等のスプレッドシートでユーザがダウンロードしてデータをTSV (タブ区切りテキスト) 形式に変換してインポートし表示できる。

### (3) ABI SOLiD 4 (SOLiD4)<sup>(19)</sup>

次世代シーケンサのもう一つの雄である。GAIIx/HiSeq2000に近いスループットを有し、同様に有効リード長も50~75bpと短めである。color spaceと呼ばれる独自の塩基読取りフォーマットでデータが出力されるため、使用できる解析ソフトウェアに制限があったが、2009年前後からデータ解析に用いるフリーソフトウェアの対応が急速に進み、現在では問題なく使用することができる。使用できるソフトウェアは、GAIIx/HiSeq2000と同様である。

### (4) その他

Helicos社からもタイプの異なる次世代シーケンサが

販売されているが<sup>(20)</sup>、データ解析においてはGAII/HiSeq2000とほぼ同じソフトウェアが利用できる。

## 4.4 GenomeJackによるデータ解析の流れ

図8にGenomeJackを使ったデータ解析の流れを示す。

GenomeJackは、解析パイプラインの各段階で発生するデータの閲覧が可能である。

一般に、解析対象となるサンプルデータは、正常細胞から得られたコントロールデータと実際に解析対象になるターゲットサンプルデータが何組も発生する。GenomeJackではそれらの解析データを、階層的に管理することができる (図9)。例えば、1つのコントロールサンプルに対して、時間経過毎のデータや、病態のステージ毎の細胞から得られたデータを、図9に示す階層構造にて管理することができる。

よって、ユーザはGenomeJackを解析結果の管理場所として活用することができ、必要に応じて検索や絞り込みを行った結果を、次の処理である三次解析、実験系や



図9 GenomeJackの登録データ管理画面（トラック管理画面）

論文作成に必要なデータ抽出に利用することができる。

なお、GenomeJackを使ったデータ解析の原理やコマンド等の詳細手順に関しては、参考文献（21）を参照されたい。

## 5. GenomeJackのソフトウェア構造

### 5.1 GenomeJackの内部構造（図10）

GenomeJackはJava 1.6上で開発されたアプリケーションソフトウェアであり、Windows XP/Vista/7、Mac OS XおよびLinuxベースのオペレーティングシステムでの動作を前提としている。

ビューは、解析データを表示するモジュールであり、トラックビューとテーブルビューから構成されている。ビューに表示するデータは、データインポーターによりGenomeJackの内部形式に変換されてローカルファイルシステムに保存される。モデル・コントローラは、ローカルファイルシステムに保存されたデータに適宜アクセ

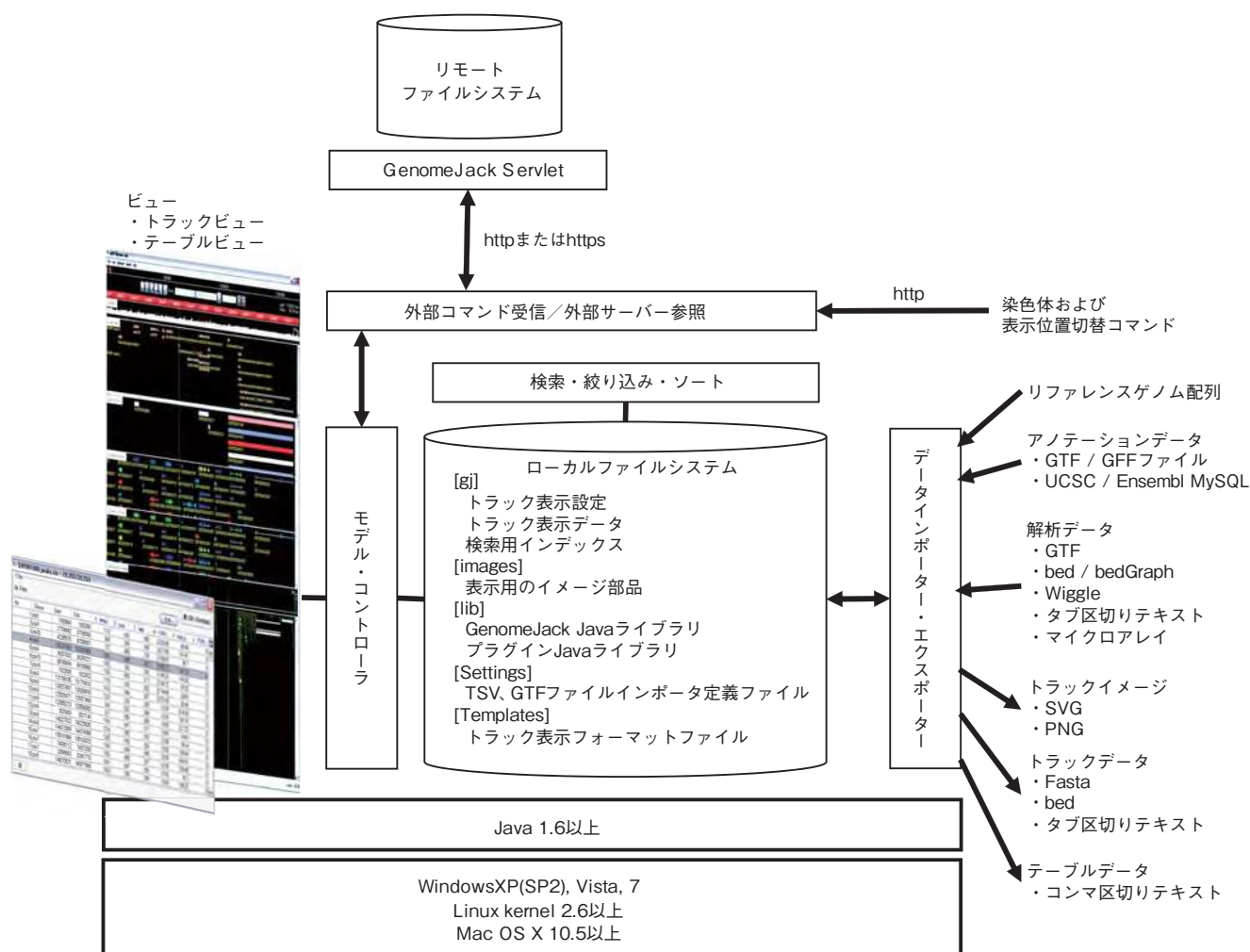


図10 GenomeJackの内部構造

また、GenomeJackはクライアント／サーバーシステムとして動作させることも可能である。これには、GenomeJack Servletというモジュールが用意されてい



topfeature/subfeature表示  
(スコアによる色変化あり)

一覧表の呼び出し



図12 featureトラック表示例

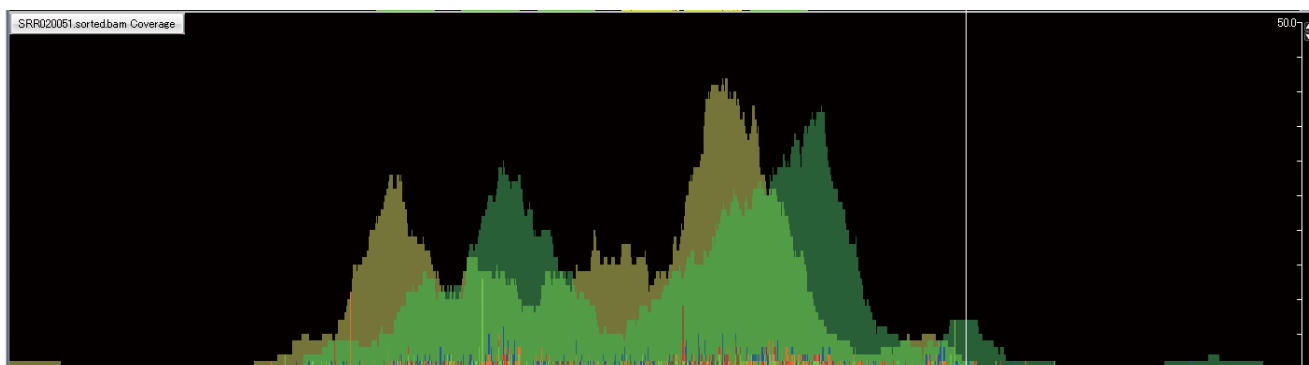


図13 グラフトラック

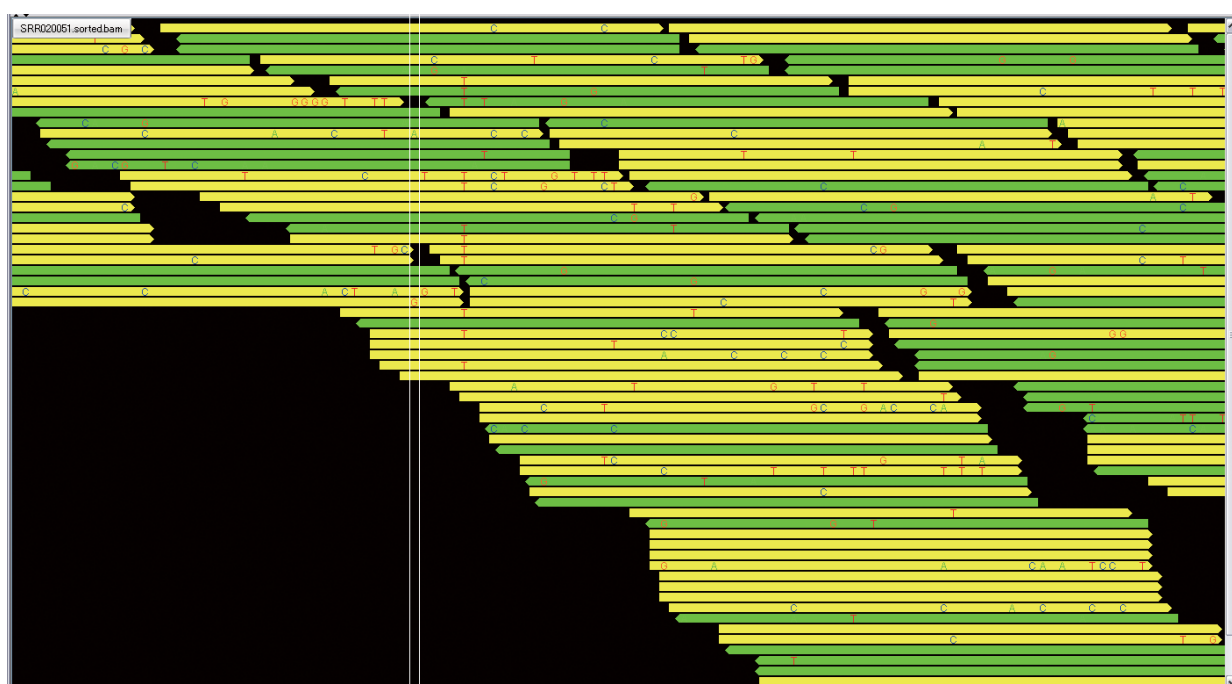


図14 リードトラック

## 5.2 表示画面の構造

図11に示す通り、GenomeJackでは解析結果は「トラック」と呼ばれる領域に表示される。

各トラックの位置は、マウスのドラッグ&ドロップ操作により自由に入れ替え可能である。また、横方向のスクロールは、マウスのドラッグ、矢印キー操作、コントローラ上の操作ボタンにより可能である。横方向のスケールは、染色体全域表示から塩基種別が表示可能なレベルまで自由に拡大縮小が可能である。拡大縮小はマウスのダブルクリックとショートカットキーにより軽快に操作できるように考慮されている。

## 5.3 featureトラック（図12）

ゲノム上の遺伝子の位置を示すアノテーション情報や、解析の結果検出されたゲノム上の領域を表示するト

ラックである。GenomeJackにおいてこれらの領域はfeatureと呼ばれており、図12に示す通り、単純に領域を表示する形式と、親子関係を持ったtopfeature/subfeature表示形式が利用できる。一般的にfeatureには、スコアやエラー確率などの数値が付加されており、これら数値をつかった表示色変化機能やラベリング機能を実現している。

featureトラックで表示されるデータは、同時にテーブルビューで一覧表形式にて表示することができる。一覧表上でデータを絞り込むことができ、同じ条件に従って、featureトラックに表示されている要素も絞り込まれる。

## 5.4 グラフトラック（図13）

検出したリードのカバレッジやシグナル値などの連続値を表示することができる。

表1 入出力データフォーマット

| トラック種類      | 用途                    | インポート形式                                       | エクスポート形式            |                            |
|-------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------------|----------------------------|
| リファレンストラック  | リファレンスゲノム表示           | FASTA                                         | FASTA               | 画像データ<br>(PNGまたは<br>SVG形式) |
| リードトラック     | マッピング結果表示             | SAM<br>BAM                                    | －                   |                            |
| featureトラック | 変異解析結果表示              | VCF                                           | FASTA<br>(IUPAC)    |                            |
|             | アノテーション表示<br>解析結果表示   | GFF<br>GTF<br>bed<br>bedGraph<br>MySQL (UCSC) | タブ区切りテキスト<br>またはbed |                            |
|             | シンテニー表示               | MFA<br>MySQL (BioMart)                        |                     |                            |
|             | マイクロアレイ表示<br>ユーザデータ表示 | タブ区切りテキスト                                     |                     |                            |
| グラフトラック     | カバレッジ表示               | SAM/BAM                                       | Wiggle (wig)        |                            |
|             | 検出シグナル強度表示            | Wiggle (wig)                                  |                     |                            |
| テーブルビュー     | featureトラック要素の一覧表示    | featureトラックと同じ                                | CSV                 |                            |

図9に示す通り、透過性をもったグラフ表示機能が備わっているため、一つのグラフトラックに複数のグラフデータを重畳することが可能である。

## 5.5 リードトラック (図14)

次世代シーケンサが読み取った塩基配列であるリードを表示するトラックである。リードの方向性、変異した塩基、リードのペア、ギャップの表現が可能である。

## 6. むすび

従来のゲノムブラウザと比較した場合のGenomeJackの特徴は、以下のようにまとめることができる。

- ・軽快な操作性

32bitオペレーティングシステムでも軽快にリードデータを閲覧できる。さらに64bitオペレーティングシステムに移行すれば、将来予想される次世代シーケンサのスループット向上にも余裕を持って対応できる。

- ・多様な入力データフォーマットに対応

業界標準のデータフォーマットに加えて、マイクロアレイデータファイル、任意のタブ区切りテキスト形式に対応できる。

- ・データ出力機能が豊富

データを検索、絞り込み、ソートし、多様な形式で出力することができる。(FASTA、bed、CSV、PNG、SVG)

- ・多様なトラック形式、一覧表形式の表示

- ・データ管理機能を有する

階層構造で表示データを管理できる。プレゼンテーション等で表示データを簡単に切り替えることが

できる。

- ・クライアント／サーバーシステムを容易に構成できる

研究所内のイントラネット等で解析データを共有して閲覧できる環境を容易に構築できる。

当社はGenomeJackを通じてエンドユーザとの情報交換を密にし、次世代シーケンサによるゲノム解析技術の発展に寄与していきたいと考えている。GenomeJackに関しては、当社ウェブページの他に、Twitterによる情報発信も行っている。Twitterアカウントをお持ちの方は、是非genomejackをフォローしていただきたい。

今後、GenomeJackは世界のゲノムブラウザのデファクトスタンダードを目指して改良を加えながら、無償ソフトウェアとして提供を続ける予定である。次世代シーケンサでの解析を実践している研究者の方々には、是非軽快な操作感を味わってほしい。また、これから次世代シーケンサによる解析に挑戦していく方のために、データ解析のデモンストレーションデータ付きDVDの配布も行っている。詳しくは、GenomeJackのダウンロードページを参照されたい。

## 参考文献

- (1) THE SEQUENCE EXPLOSION, nature, Vol.464 1 April 2010
- (2) Next-generation sequencing: adjusting to data overload. Monya Baker, Nature Methods 7, 495～499 (2010)
- (3) What would you do if you could sequence everything?, Avak Kahvejian, John Quackenbush & John F Thompson, Nature Biotechnology 26,

1125~1133 (2008)

- (4) <http://www.illumina.co.jp/product/system/hiseq2000.shtml>
- (5) BioINTEGRA : <http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/biointegra/index.html>
- (6) siSNIPER : <http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/sisniper/index.html>
- (7) BioElephant : <http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/bioelephant/index.html>
- (8) <http://genome.ucsc.edu>
- (9) <http://www.broadinstitute.org/igv/>
- (10) <http://www.mss.co.jp/businessfield/bioinformatics/solution/products/genomejack/>
- (11) Shirley P. et.al.: Computation for ChIP-seq and RNA-seq studies. Nature Methods 6, S22~S32 (2009)
- (12) <http://454.com/products-solutions/product-list.asp>
- (13) Ben L. et.al.: Ultrafast and memory-efficient alignment of short DNA sequences to the human genome. Genome Biology 2009, 10:R25
- (14) Li H. et.al.: Fast and accurate long-read alignment with Burrows-Wheeler Transform. Bioinformatics, Epub (2010).
- (15) SAMtools : <http://samtools.sourceforge.net/>
- (16) Trapnell C. et.al.: TopHat: discovering splice junctions with RNA-Seq. Bioinformatics. 2009 May 1; 25 (9) : 1105~1111
- (17) [12] Trapnell C. et.al.: Transcript assembly and quantification by RNA-Seq reveals unannotated transcripts and isoform switching during cell differentiation. Nature Biotechnology Nature Biotechnology 28, 511~515 (2010)
- (18) [10] Zhang et.al.: Model-based Analysis of ChIP-Seq (MACS). Genome Biol (2008) vol. 9 (9) pp. R137
- (19) <http://www.appliedbiosystems.jp/website/jp/product/modelpage.jsp?BUCD=121824&PLCD=121823&MODELCD=121822>
- (20) <http://www.helicosbio.com/Products/Helicosreg-GeneticAnalysisSystem/HeliScopetrade-Sequencer/tabid/87/Default.aspx>
- (21) 谷嶋 成樹・石川 元一：ゲノムインフォマティクスー次世代シーケンサデータ解析の実践、最新創薬インフォマティクス活用マニュアル 創薬研究シリーズ／遺伝子医学MOOK別冊 2011 メディカルドゥ

## 執筆者紹介



谷嶋 成樹

1989年入社。防衛分野および電力分野を経て2000年よりバイオインフォマティクス分野に携わる。以来、BioINTEGRAシリーズ、GenomeJackなど自社製品の開発に従事。



野原 祥夫

1998年入社。電力分野を経て2000年よりバイオインフォマティクス分野に携わる。BioINTEGRAシリーズ、siSNIPER、GenomeJackなど自社製品の開発リーダー。



石川 元一

2002年入社以来、バイオインフォマティクス分野のソフトウェア開発に携わる。大学・研究所向けソフトウェア開発とsiSNIPER、GenomeJackなど自社製品の開発に従事。主に製品の企画、評価、用途開発を担当。



上原 慶三

2002年入社以来、バイオインフォマティクス分野のソフトウェア開発に携わる。大学・研究所向けソフトウェア開発とBioINTEGRAシリーズ、GenomeJackなど自社製品の開発に従事。主に、製品のコアライブラリ開発を担当。



岡田 千尋

2006年入社以来、バイオインフォマティクス分野のソフトウェア開発に携わる。大学・研究所向けソフトウェア開発とGenomeJackの開発に従事。



小原 康雄

2008年入社以来、バイオインフォマティクス分野のソフトウェア開発に携わる。大学・研究所向けソフトウェア開発とGenomeJackの開発に従事。

# 地震防災分野への取り組み

## Challenging History for Earthquake Disaster Prevention Fields

古瀬 慶博\* 成田 章\* 和田 安司\*  
Nobuhiro Furuse, Akira Narita, Yasushi Wada

防災事業のうち、過去15年近くにわたって継続的に取り組んできている地震防災をとりあげる。1995年の兵庫県南部地震を契機に、地震防災への社会的な要求も大きく変化した。この分野における研究機関等の取り組みや運用サービスを実現するために、どのような情報技術で取り組んできたかをふりかえる。本稿はMSS技報20号に掲載したものに東日本大震災を受けて加筆したものである。

Recent 15 years, we have been challenging business for earthquake disaster prevention fields. Main advantage of our unit is to provide the service solution of strong motion networks for domestic research institutes and industrial companies through web technologies. We review our software technology and contribution to research works for the estimation of ground motion and observation network.

### 1. まえがき

つくば事業部での防災事業は地震防災を中心にとらえている。それは、強震観測網（防災科学技術研究所 NIED）のサーバ構築運用<sup>(1)</sup>ならびに強震動予測解析業務、鉄道事業分野でのシステム開発（新幹線地震防災シ

ステム）<sup>(2)</sup>、自主事業（緊急地震速報配信サービス）<sup>(3)</sup>の3つの柱からなる。その系譜をまとめると図1のようになる。過去15年を振り返ると、地震防災における社会的なニーズは大きく変化した。この分野において、情報技術だけをもって継続的に取り組むことは難しく、研究へのかかわりも不可欠といえる。その歩みを振り返ってみたい。

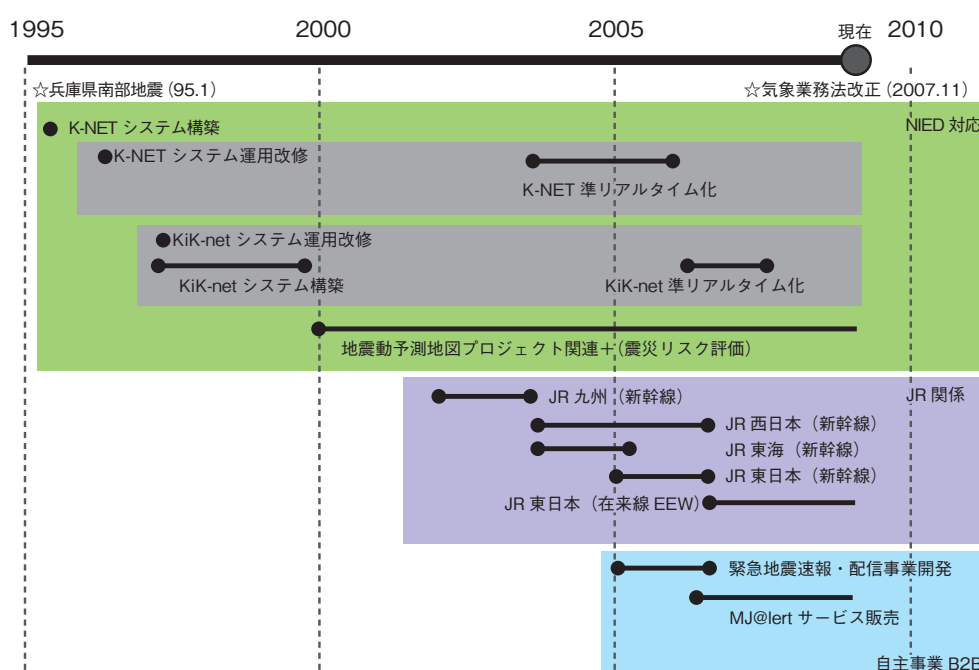


図1 現在（2009年）までの地震防災への取り組み

## 2. 契機となった平成7年兵庫県南部地震

わが国の強震計の開発は、1951年に発足した「標準強震計試作試験研究会（委員会）」に始まった。翌52年、SMAC（Strong Motion Accelerometer Committee）型強震計が東京大学地震研究所に設置され、強震観測が始まった。当時の強震計は高価な精密機器（機械式加速度計）であることや電源供給の制約があり、所有者の許可で設置しやすい建造物への設置が8割を占めた。この傾向はその後10年間続いた。62年に建築基準法が改正され、超高層ビルが出現し、強震計設置による高層建築物の応答観測が行われるようになった。港湾での設置も開始され、地盤対象の観測がはじまったのもこの時期である<sup>(4)</sup>。この時期の主要な被害地震を振り返れば、95年まで大都市圏では発生がなかったといえる。これは、建造物の動的設計時の入力波形として、米国の加速度時刻経歴波形（1940年Imperial Valley地震のEl Centroで記録された最大加速度330ガルの波形）が永らく多用されたことから伺い知れる<sup>(5)</sup>。

95年1月の兵庫県南部地震では、地震災害のとりえ方を大きく変える契機となった。この地震では被災域で既往最大級の地震動が観測された。地震後の調査からは、神戸市や淡路島などの一部で震度7の地域がみられたが、この「震災の帯」とよばれる地域での強震記録は得られなかった。そこで発災直後の被災状況の迅速な把握と災害救助支援のため精度の高い情報が望まれるようになった。そのために、地震発生後、「すみやかに」地震動情報を入手し、必要に応じて地震被害状況をも推定するリアルタイム地震防災が注目されるようになった<sup>(6)</sup>。

これを契機に、科学技術庁（現文部科学省）防災科学技術研究所は、全国に1000台の強震計観測網（以下、K-NET）を翌96年に設置した。原則として地表の基礎に地震計を設置した。地盤観測の根拠となったのは、78年の「地震危険度推定に必要な強震観測に関する勧告」<sup>(7)</sup>と強震観測事業推進連絡会議の強震計配置計画といわれている。これ以降、地震に関する基盤的調査観測は、95年に発足した国の地震調査研究推進本部（平成7年6月の「地震防災対策特別措置法」による）で推進することになった。

ところで、当時（平成7年）のインターネットの利用事情について触れておきたい。わが国の普及事情としては、既存の放送、新聞メディアにおいてはその殆どでWebサーバを立ち上げる以前の時期であった。このため、神戸市立外国語大学のサーバから発信された被災地情報「We had a severe earthquake」には数週間で50万ヒットを超えるような海外からのアクセスが集中し

た。また、一説によると、震災当日のニュースはnetcomのユーザ（netizenと呼ばれた）がBBCで放映されたニュースをusenetに投稿したのがきっかけといわれている。CGI/1.0 scriptを使ったWeb伝言板（NTT）が開始され、震災情報は、alt やsoc, fjといったusenetニュースでも数多く議論された。情報技術者の人々がさまざまな形で救援ボランティア活動を行ったのである。同年7月に改訂された国の防災基本計画（中央防災会議）では、各自治体によるパソコン通信（インターネットを含む）の利用が防災計画の中に位置付けられた。なお、ネットワークの利用格差を象徴する例として、活断層地図に「震災の帯」を重ねた全体地図が、震災数週間後にUSGS（米国地質調査所）のサイトで閲覧可能となっていたが、果たしてダイヤルアップでの従量制接続が中心であった当時（NTT のテレホーダイは同年8月開始）、どれだけの利用者が高精度な地図画像をダウンロードして閲覧できたかは不明である（ちなみに利用に耐えうるAcrobat 3.0が発売開始されたのは97年5月である）。

こうして96年以降、全国を約25km間隔で覆ったK-NETの実記録波形は地震後にインターネットで公開され、地震防災のための利活用が加速した。また同年、気象庁は震度の計測化を行い（計測震度の導入）<sup>(8)</sup>、600を越す震度計を配置し観測体制を整備するとともに、自治省（当時）は全国の約3000の市町村に震度計を配備することになった。さらに、防災科学技術研究所では、深さ100m以上の観測井と地表をペアした基盤強震観測網の設置（KiK-net）<sup>(9)</sup>を全国で推進した。KiK-netはK-NET同様に同研究所のデータセンターで一括管理され、地震波形記録が利用公開されるようになった。次章以降では、初代K-NET からかかわった運用開発への取り組み、その後のリアルタイム地震防災への展開ならびに、地震動予測地図作成について時間順に振り返りたい。

## 3. 強震ネットワークK-NET

前章でみたように、K-NETは96年3月に防災科学技術研究所の強震観測ネットワークとして運用を開始した。同時に波形記録はデジタルデータとして地震発生後にWebで公開される。運用開始からの現在に至る14年間のすべてのデータは検索可能であり、ダウンロードして利用することも可能である。地震記録波形としてはインターネットを通して利用可能なサービスとしては、その規模や利用頻度から類をみないものであった。一方、弊社業務としては未経験の専門分野でもあったため、運用開始後も、研究所のスタッフの方には時間をとっていただき地震（学）に関して多くの説明を戴いた。観測点

の整備は大手建設会社（大成建設）、強震計（K-NET95）の製作と設置は地震計精密機器メーカ（アカシ）が担当し、弊社はデータ収集・収録装置以降のセンター側を担当した。

先の兵庫県南部地震では観測された波形が一部飽和してしまったため、サーボ計の理論にもとづき復元されたことがある<sup>(10)</sup>。K-NET95では、微動から最大2000ガル（2G）の加速度を記録可能な $\Delta\Sigma$ 式のA/D変換<sup>(11)</sup>が初めて実装された（以降、この方式の強震計が広まった）。センター側のデータ収録・装置と全国1000ヶ所の強震計とは公衆回線（20回線、センター側は20台のPCが通信処理対応）で結ばれた。1回の強震記録は、数分間程度であるが、記録側の不揮発性メモリには容量に制約がある。制約のため閾値によるトリガ方式で記録はするものの、その一方で、重要な波形の取り逃がしがないよう、地震波形がそれ以外かの判断が曖昧なものも含めて多めに記録しておきたい。そこで、地震発生のトリガーは、気象庁から得た地震発生の情報をもとにセンター側から公衆回線を使い、逐次取得する方式を採用し、地震発生時刻に近い時間帯の記録を収集するシステムとなった。

それでも、地震以外の記録も紛れ込む可能性がある。強震観測点のサイト固有の微動環境や季節変動、近隣の人工的な環境の変化によるノイズパターンの変動、群発性の地震により複数の地震が重なる場合や地震計そのものの劣化や故障と想定されるものなど、収集時の判断の自動化は容易でない。個別の時刻層波形だけから判断処理するより、たとえば距離・時系列に波形をペーストアップで並べてみるとか、あるいは速度波形に数値変換して不自然さがないかをみるなど、地震学的な観点から総合的に問題の有無を判断することが望ましい。そのため、観測記録の品質を評価・確認する波形検証支援シス

テムを運用システムに組み込んでいる。これにより、誤った観測値の情報が公開されるリスクの低減をはかっている。

データの社会的な利用価値や重要度を意識し、公開前の波形検証作業は、弊社が継続的にかかわった第2世代以降のシステムでも引き継がれている。地震学、地震工学で一般的に利用される時系列解析、スペクトル解析、応答解析機能をもつWindows用波形表示・解析のソフトウェアSMDA（Strong Motion Data Analysis）<sup>(12)</sup>として公開した。このSMDA（現在はver2.1.1）は、K-NETのサイトからダウンロードして利用できるようになっている。

ところで、どのような形式の地震記録であっても、K-NET記録形式の波形に変換してしまえば、SMDAの機能を用いれば解析が容易となる。もし記録波形がネットワーク上のデータベースであっても、波形記録を直接呼び出して、解析処理ができれば波形の地震学的な品質管理や検証のための作業も一元化され、効率が良い。NetSmdaはこの要求を満たすため開発された。また将来への拡張性や運用の持続性を考慮して、開発にあたってはオープンソースを中心とした構成とし、OSにできるだけ依存しない動作、メンテナンスの容易性等を考慮してJava言語で開発した。一般にJava言語のもつセキュリティの制約から、メモリの使用制限の設定の必要があり、このため一度に解析可能な波形数は、搭載マシンのハードウェアスペックに大きく依存する。反面、データベースのあるサーバ側の、NetSmdaの複数利用による負荷分散の効果は大きいことがわかった<sup>(13)</sup>。なお、NetSmdaは、大型三次元震動台（E-ディフェンス）への入力地震動として必要となる既存の世界の強震記録をデータベースに登録する時に、波形データの特性値や品質のプロトタイプ検証作業に利用された。

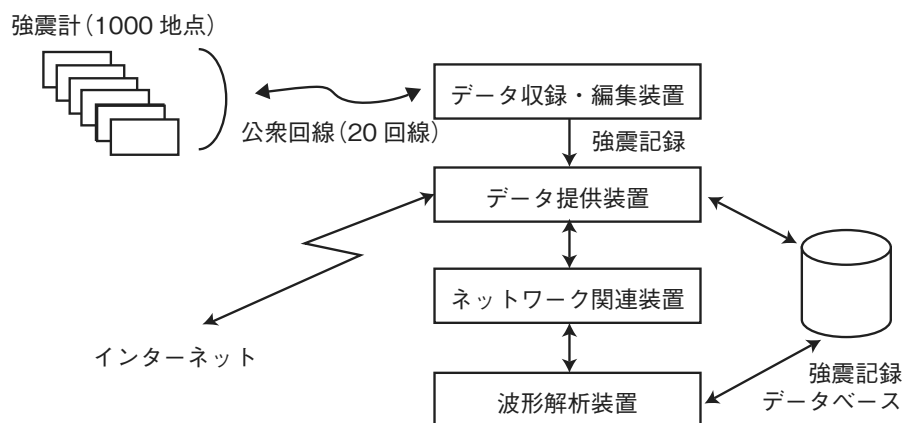


図2 K-NETシステム構成の概念図<sup>(1)</sup>

#### 4. リアルタイム地震防災

ネットワーク通信の普及とその技術的な進展がすすむことで、リアルタイムの捉え方にも変化が現れた。サービスの開発および運用コスト面での大きな変化として、第一は、公衆回線を利用した通信部分がネットワーク通信に置き換えられたこと、第二はVPNに代表される技術（ソリューション）の普及によりネットワーク境界部分でのソフトウェア開発を意識しなくてよくなったことがあげられる。

かつて強震観測は、イベントトリガー方式（強震観測点での波形記録は、地震終息判定などが完了後に、データ伝送される方式）が一般的であった。しかし、転送手段として電話回線を利用している場合、回線の輻輳や断線のため激震地から記録波形のセンター側への収集ができなくなる可能性がある。これは、P波イベントをトリガー後、十数秒程度の遅延時間をもって観測点からセンター側に転送を開始することによって回避できる（準リアルタイムデータ伝送）。弊社は、04年以降のK-NET、KiK-net準リアルタイム化において、センター側の構築運用にかかわった。新型K-NET強震計（K-NET02）は、震度計としての機能と準リアルタイム波形伝送機能を持ち、従来の加速度記録波形にくわえて、地震の揺れを検知すると最大加速度、計測震度、速度応答値（PGV、SI）を送信する。本機能により、都道府県や特定の市制区域で実施されている震度情報観測網とのリンクが容易となった。強震計とセンター間はTCP/IP通信で行い、リアルタイムフィルタ処理や、他システムへマルチキャスト／ユニキャスト通信による波形転送を実現している。

通信技術の進展は、地震発生直後の震源と地震動分布をできるだけ即時に予測決定するための研究も創発した<sup>(15)</sup>。ネットワーク通信技術の進展以前のものとしては、1990年にはじまった南カリフォルニアのリアルタイム地震情報システム（CUBE）や92年に東海道新幹線で稼動した地震動早期検知警報システム（UrEDAS）<sup>(16)</sup>が知られていた。前者は、複数の地震観測点から得られる波形データの解析から発生後数分程度で地震諸元（マグニチュードや時刻、発生場所、決定精度）や観測された震度分布（最大加速度、わが国であれば震度）を公共機関または社会インフラとなる機関へ伝達する仕組みである。気象庁のEPOS（地震活動等総合監視システム）も情報提供する仕組みとしてはこれに相当する。後者は、複数の観測点へ地震波の到達を待つことなく単一の観測点でとらえた数秒間の記録波形から、地震発生中にでも地震諸元を推定する仕組みである。防災システムの観点からは、前者と後者は情報伝達の即時性と推定された精度のトレ

ードオフの関係にあるといえよう。ナウキャスト地震情報<sup>(17)</sup>（04年2月に「緊急地震速報」という名称になる）は、気象庁やK-NET等の地震記録をもとに両者の手法や解析精度を再検討した<sup>(18)</sup>、新しい地震早期検知手法である（図3）。

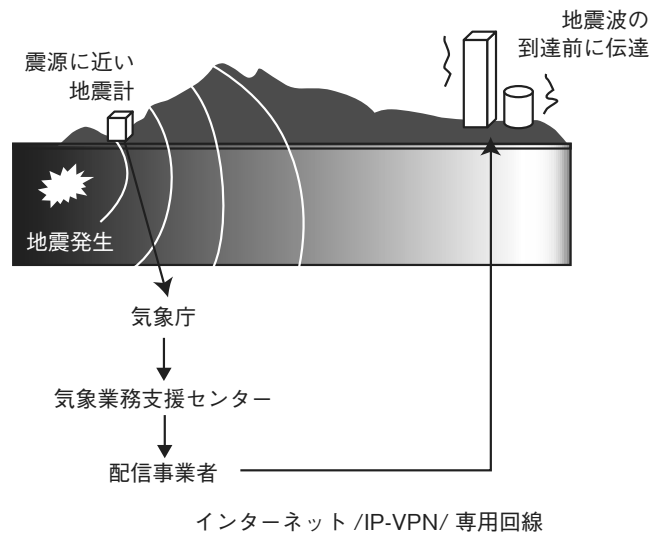


図3 ネットワークを利用した地震早期検知のとりえ方

弊社としては、ネットワークを利用した地震観測システム開発の経験を生かし、鉄道分野においては02年度（JR九州（新幹線））から早期地震警報システム構築へ参加を始めた。また、気象庁と防災科学技術研究所のリアルタイム地震情報を統合する緊急地震速報（Earthquake Early Warning）については、03年度に文部科学省リーディングプロジェクト「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」の一環として発足した「NPOリアルタイム地震情報利用協議会（REIC）」に人員を投入し、利活用の研究支援<sup>(19)</sup>を積極的に試みた。

先に述べたように、新幹線地震防災システムは、地震発生をいち早く検知し、地震の影響が想定されるエリア内の沿線上で、大きな揺れが到達する前に自動的に列車制御を行う必要がある。現行システムの老朽化等によるリプレースのため、鉄道総合技術研究所等の指示の下、03年度以降順次、各新幹線の地震防災システムの開発に参画した<sup>(2)</sup>。新幹線防災システムは、沿線の地震検地点、遠方または海岸の地震検地点群、それらをネットワーク（TCP常時セッションなど）で結んだ中継サーバ、および監視用端末（PC）であり、地震検出情報をもとに、地震発生時もしくは発生中に運転制御判断を行う機能を備えている。地震発生の有無や地震検知点障害の有無をリアルタイムで情報収集し、管理することに加えて、障害発生時には復旧までの定量的な見通しも要求される。このため、システムを構成する各装置には遠隔で

メンテナンス操作や障害の原因の特定にかかせないネットワークの疎通状態や自機器の物理的状态監視記録の収集などの機能も実装されている。なお、一部の鉄道事業とは引き続き、地震検知点情報とK-NET、気象庁等の観測波形を用いた、地震早期検知アルゴリズムの評価、検証作業を行っている<sup>(20)</sup>。

06年8月より気象庁は先行利用者向けに「緊急地震速報」の提供を開始した。弊社では、これを受けて企業・団体等の法人向け情報提供サービスMJ@lert<sup>TM</sup>を開始した<sup>(3)</sup>。さらに、翌年11月には、気象庁は一般の利用者への配信開始を想定した気象業務法の改正<sup>(21)</sup>を行い、翌12月1日に民間配信事業は予報業務となった(地震動予報業務許可：気民第126号・許可第103号を取得)。弊社サービスの特徴は、ネットワークを介した専用端末(パトライト社製、明星電気社製など)への配信サービスで、速報電文の暗号化とエンドユーザ(評価点)ごとに猶予時間と予測震度を弊社配信側で予報している点にある。予測震度の評価には、後述の地震動予測地図でも利用されている防災科学技術研究所作成の地盤増幅率メッシュデータ(1kmメッシュ)を利用している。弊社の配信サーバ群は、耐震構造を持つインターネットデータセンタに設置するとともに、配信の冗長化を行っている。また、センター側は電文送信時にのみ帯域負荷があるため、模擬的な各種パフォーマンス試験にもとづいた配信構成をとっている。メディアで取り上げられた話題であるが、弊社でも、平成19年能登半島地震、平成20年岩手・宮城内陸地震において、近隣(県)の利用者の方々に対して主要動到着前に有効なサービスを提供することができた実績がある。また、平成23年東北地方太平洋沖地震においても、センター側システムは停止することなく運用を続けた。

## 5. 全国地震動予測地図への展開

わが国や米国で地震断層モデル(震源に働く力が二対の偶力による結果)が確立されたのは1963年頃である。その後20年間に地震時の変位や速度の地震工学的な研究が進み、たとえば建築分野では「震源から建物頂部まで」が掲げられ、地震動研究は図4の全体に及ぶものとなった。90年代当初までの強震動予測では、その時代で効果的と考えられた手法が選択され、設計や防災に活用されていた<sup>(22)</sup>。平成7年の兵庫県南部地震において、断層の破壊進行の影響(ディレクティビティ(パルス))や断層面の非一様なすべり(アスペリティ)、ならびに深層地盤構造の影響など堆積層との速度差による回折波のエッジ効果を伴う、詳細な一連のシミュレーションにより、強震動時刻歴波形の定量的な再現が可能であることが示された(たとえば<sup>(23)</sup>)。これを契機に、強震動の関係する情報を整理して、予測に必要なパラメータを順番に与える方法の標準化は「レシピ」<sup>(24)</sup>とよばれ、その後、震源を特定できる想定大地震についての強震動予測手法として、地震調査委員会や中央防災会議で逐次情報公開されている。

2005年(平成17年)3月に公開された全国を概観した地震動予測地図は、「震源断層を特定した地震動予測地図」と「確率論的地震動予測地図」との二種類の予測地図からなる<sup>(25)</sup>。前者は各地の主要な震源断層に対して作成したレシピにもとづく詳細な強震動シミュレーションの評価結果である。後者は、地震を特定せず地震発生の長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせることで、ある一定の期間内(たとえば今後30年間)にある地域(△△町)が強い地震動(たとえば震度6弱以上)に見舞われる可能性を確率で予測したものである。これら

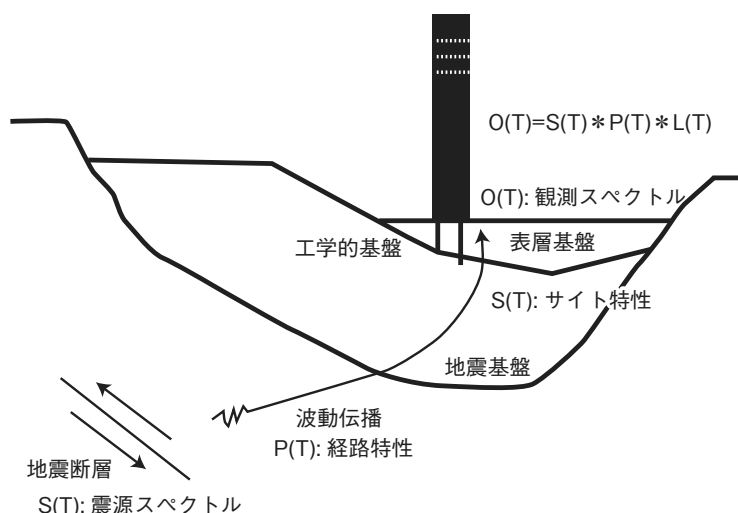


図4 地震動シミュレーションに必要な情報

の地震動予測地図を作成するときに、震源断層モデルを想定し複雑な媒質の波動伝播を考慮した「詳細法」と経験的距離減衰式にもとづく「簡便法」という2つの方法がそれぞれに採用された。弊社は、予測地図作成に必要な計算解析業務の多くと、その基本データの整備と精度の検討もおこなった（例えば関連研究として（26）、（27）など）。

地震動予測地図は、地震ハザードステーションJ-SHIS（参照URL<sup>(28)</sup>）にて公開されている（確率的地震動予測地図は年度更新）。弊社は、地震動予測地図公開システムの全般に携わった。想定シナリオ地震に対するハイブリッド法を含めた強震動評価の計算業務にもかかわった。計算手順の詳細については、上記参照URLでも公開されている。GISファイルとして整備した地震動予測地図データは、Ajaxで実装されていてGoogle Maps<sup>TM</sup>のインターフェイスに対応している。この成果を踏まえて、新J-SHISは、GISからデータベースまでをオープンソースの組み合わせ（マッシュアップ）で実現した。特に複数の地図レイヤーを重ねたとき（貼り合わせたとき）に、レンダリングエンジンのないクライアントでも表示応答速度を劣化させないため、ラスタ／ベクターデータの変換タイミング、ミドルウェアとWebサーバ

スとの機能分担、および非同期処理等の設計にとりわけ留意している。種々のOSおよびブラウザでの利用を想定しているので、公開前に負荷試験やランダム操作によるパフォーマンス試験等を行っている。Web マッピング技術を含めて、今の技術でどこまでできるかを検討し可能性を追求する業務が多いといえよう。

地震動予測地図の前者の計算作業を、研究者や防災担当技術者が実現するための3次元差分法パッケージとして、防災科学技術研究所からGMS（Ground Motion Simulator）が公開されている。<sup>(29)(30)</sup>。GMSでは、ユーザが震源・観測点・構造・計算条件等の膨大なパラメータを視覚的直感的に設定することができ、さらにフィルタ・動画作成などポスト処理を支援する機能も備えている。弊社は、GMSのプリ・ポストツールの設計・開発、ソルバーの機能追加・並列化コード作成作業、および公開サイトの構築・運用を担当した。その技術的背景としては、近年の被害地震において、地球シミュレータ等を活用した長周期（超高層ビル・大型石油タンクの液面動揺、長大橋などの固有周期帯である周期1秒から20秒程度の）地震動のシミュレーション研究の経験も生かされている<sup>(31)(32)(33)(34)</sup>。

「全国を概観した地震動予測地図」は、それまでの10年間の検討結果を踏まえて、2009年7月に各種データの追加や作成手法の高度化が行われ、これまで約1kmメッシュで表現された地図が約250mメッシュに細分化された表現になる等、大幅な改良が加えられると同時に「全国地震動予測地図」と名称も変更された。弊社はこの高度化作業において、年度更新されていく全国地震動予測地図の作成プロセスのための、データ管理システムや各種評価検証ツールの作成及びWebGIS技術を中心とした公開システムの構築に携わった。

## 6. 今後の展望

以上、弊社の3つの柱になる取り組みについて述べてきた。上述では詳しく述べなかったが研究所や大学向けには、独自の強震観測やデータの整備、気象庁の地震火山津波情報との融合など、さらにそれらを地図上に表示するシステムなどの構築に携わってきた。たとえば、弊社の携わったシステムは、さらに震災リスク評価への入力情報として使われる場合もある。Webを支える利用技術としてはGoogle MapsのAPI、その開発手法、仕組みとしてのAjax、あるいはAdobe Flashのような伝統的なリッチクライアントインターフェイスに至るまで取り扱う。開発の土台となるフレームワークは、オープンソースが今後も主流となろうことを念頭に置き進めている。

一方、より研究的な側面からは、近年、新たな微動観

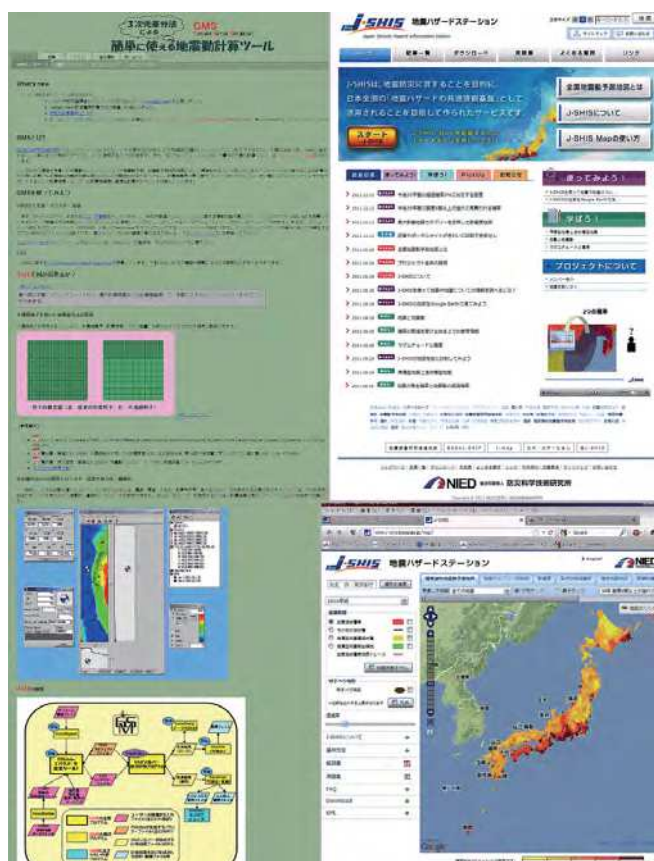


図5 NIED GMS (左)<sup>(30)</sup>・J-SHIS (右)<sup>(28)</sup>

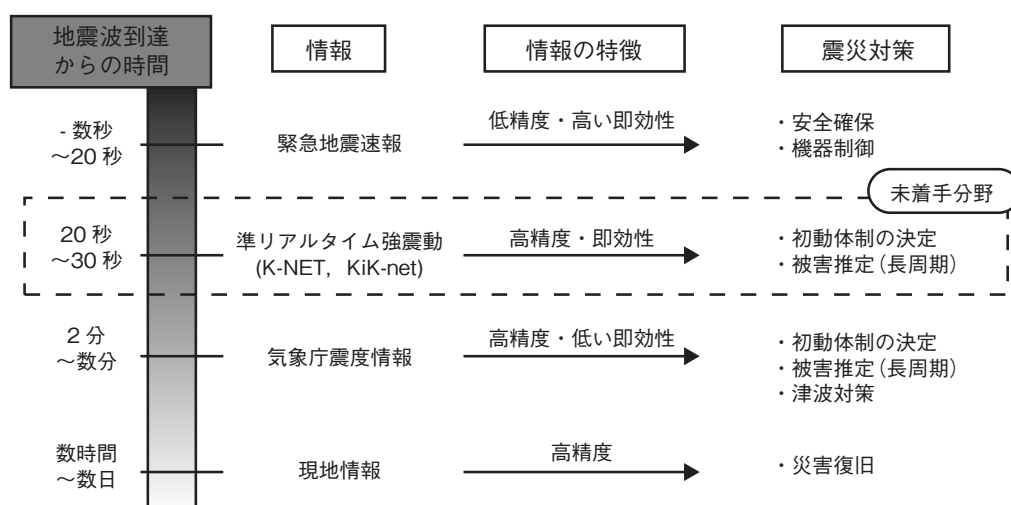


図6 時系列でみた震災対策

測の開発解析に参画している。全国一律に地盤の増幅特性を評価する方法としては、これまで、国土数値情報に含まれる地形分類から地盤の平均S波速度の推定を通して、地盤増幅率を推定する手法が確立されていた。しかし、耐震工学の設計の観点からは、周波数に依存する地震動のスペクトル振幅であることが望ましい。もし常時微動のH/Vスペクトル比が観測できるとすれば、それと微地形区分との関係を検討することで、スペクトル増幅率を推定する関係式を求めることができよう<sup>(35)</sup>。防災科学技術研究所はハンディ型の微動探査機兼強震計を開発し、弊社はその微動解析用ソフトウェアを開発した<sup>(36)</sup>。この微動観測の成果として<sup>(37)</sup>、つくば市では「防災マップ：揺れやすさマップ」<sup>(38)</sup>として50mメッシュで予測震度ごとに詳細な色分け図が一般にも配布されている。

今後は、準リアルタイム化された強震動の利用および、その流通が喫緊の課題となろう。その背景としては、時系列で震災対策をみた場合、図6のようなハッチの部分の情報提供が始まったところである。K-NET、KiK-netのポータルサービスを統合している防災科学技術研究所が中心となり、施策や研究を行う方向に対しては、弊社としてもその開発経験を生かして積極的な支援をしていきたい。

## 7. むすび

地震防災を中心とした防災事業への取り組みについて、過去15年間の歩みを情報技術と研究へのかかわりという観点から振り返ってみた。ネットワーク技術と地震観測網のリアルタイム化で、情報を瞬時に得られるようになり、かつて想像であった対象は制御可能な範囲まで近づいたとみることもできる。しかし、地震に関する基

本的な検証による知見の変化は、大地震ほど稀な現象であるため、世界的にみても20年という長いスパンでとらえられることが多い(たとえば(39))。これに、dog yearな情報技術で問題解決を試みるため、もしかしたらその組み合わせは常に何らかのトレードオフを強く意識させる分野といえるかもしれない。そこでは伝統的な枯れた技術の価値・観点が有効な場合と、革新的な新技術の実装が新たな可能性を具現化できる場合がある。知識と知識とのセマンティック技術(機械的確率推論や自然言語処理等)は、GISをプラットフォームとした地震防災分野ではより身近なものとなろう。弊社の既存事業を生かし、当該分野におけるシステムに要求されるライフサイクル、経験やノウハウを強みに、想定地震災害のリスク評価やBCP(事業継続計画)<sup>(40)</sup>の支援など、安全安心な社会技術(たとえば(41)など)を使った研究調査および事業活動も進めていきたい。

特集号の性格上、本稿をまとめるあたり、早川俊彦(理博)、先名重樹(工博)には改めて労をお願いした。これらのメンバーは、現在も防災科学技術研究所を中心に従事している。

原稿段階で査読をお願いした関係機関の各位にはお礼申し上げます。とりわけ、青井真室長(防災科学技術研究所・強震観測管理室)、藤原広行プロジェクトディレクター(同・防災システム研究センター)、木下繁夫教授(現：横浜市立大学)にはご助言をいただきました。本文中の関係機関・組織名称およびお名前の記載については、敬称を略しています。

## 8. 補遺

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災と命名された)を受け、弊社の地震防災分野における



図7 ALL311プロジェクト（防災科学技術研究所）<sup>(42)</sup>

事業を取り巻く環境は大きな変化をしている。地震ハザードの根幹である想定地震の見直しだけでなく、ハザード評価の手法及びその情報の伝達方法について、新たな問題点が明らかになった。津波による甚大な被害、誘発された液状化現象は、既存の地震ハザードにて考慮されていたとは言いがたい。すなわち、連動して発生する諸現象を含めたハザードマップの展開、さらにハザードからリスクへの投影が重要な課題となった。

弊社における復興支援として、被災した強震観測網センターシステムの復旧作業及び防災科学技術研究所が主催するALL311プロジェクト<sup>(42)</sup>の立ち上げ支援を実施した。震災後、時々刻々と変化する避難場所情報の整理支援、現地ボランティアへのeコママップ導入支援、消防庁より発表されている災害情報詳細を用いた人的被害と建物被害をまとめた東日本大震災被害情報地図の作成の支援を完遂した。

様々なレベルでの課題を抱えつつ、地震防災は新たな

表1 防災BUで復興支援として取り組んだこと

| 現地復旧                           | 被災情報の伝達                                        | 行政支援                       |
|--------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|
| 強震観測網センターシステム<br>(並びに現地復旧作業支援) | ALL311プロジェクト支援<br>(避難場所情報整理、<br>現地ボランティアeマップ等) | 震災被害情報地図の<br>統合<br>(消防庁発表) |
| J-SHISポータルの立ち上げ<br>強震モニタのクラウド化 |                                                |                            |

解決に向かいスタートを切ったばかりである。そのひとつは「全国地震動予測地図」の改良である。「全国地震動予測地図」は将来わが国で発生する恐れのある地震による強い揺れを予測し、予測結果を地図として公開するもので、国の地震調査研究本部により作成されてきた。前提条件となる地震活動・震源モデル及び地下構造モデルなどの評価プロセスに係わるデータ群までも含めた地震ハザードの共通情報基盤として位置付けられている。これを、昨年の震災を教訓に地震だけでなく、津波や噴火、地すべりなどの随伴現象を含めた複合的な災害のハザードやリスク評価へ拡張しようというものである。地震動予測地図高度化への取り組みに加え、予測地図と連動した災害リスク情報プラットフォーム（BOSAI-DRIP<sup>(43)</sup>）の研究開発や運用に、防災科学技術研究所のご指導のもと、今後も貢献していく所存である。

最後に、つくば地区の各研究所は大きな被害を受けたところがあり、特に北部ほど被害も大きかった。電源確保にも数日を要する中、その復旧に係わった弊社つくば事業部関係者の貢献は大きなものがあった。加えて、震災後に東北新幹線の早期運行再開に協力したということで東日本旅客株式会社鉄道事業本部設備部より感謝状を授与された。これまで以上に業務への社会的な使命感を持ち進んでいきたい。

※本稿は、2009年度MSS技報の掲載内容に東日本大震災をうけて加筆したものである。

## 参考文献

- (1) 和田 安司、村田 雅人、小久江 洋輔：K-NET（強震ネットワーク）構築、MSS技報、第10号、35～44（1996）
- (2) 渡辺 篤、本間 芳則、大庭 健太郎、奥富 剛史：新幹線地震防災システムの開発、MSS技報、第19号、12～17（2007）
- (3) 製品・サービス特集：法人・団体向け、緊急地震情報配信サービス-MJ@lert（エムジェイ・アラート）-、MSS技報、第18号、8（2008）
- (4) 田中 貞二：わが国の強震観測事始めを振り返ってー加速度強震計の開発と初期および発展期の強震観

- 測－、記念シンポジウム「日本の強震観測50年」－歴史と展望－講演集、防災科学技術研究所研究資料、7～20、第264号（2005）
- (5) 大崎 順彦：新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会、299（1994）
  - (6) 香川 敬生、入倉 孝次郎、武村 雅之：強震動予測の現状と将来の展望、地震2、vol.51、339～354（1998）
  - (7) 科学技術庁資源調査会：地震危険度推定に必要な強震観測に関する勧告、科学技術庁資源調査会勧告第31号、89（1978）
  - (8) 気象庁地震火山部：計測震度計システムの運用・管理に関するガイドライン、平成17年10月、11（2005）
  - (9) 青井 真、小原 一成、堀 貞喜、笠原 敬司、岡田 義光：基盤強震観測網（KiK-net）、日本地震学会ニュースレター、12号、31～33（2000）
  - (10) Kagawa, T., K. Irikura, and I. Yokoi: Restoring clipped records of nearfield strong ground motion during the 1995 Hyogo-ken nanbu (Kobe), Japan, Earthquake, J. Natural Disas. Sci., vol.18, 43～57,（1995）
  - (11) 木下 繁夫、上原 正義、斗沢 敏雄、和田 安司、小久江 洋輔：K-NET95型強震計の記録特性、地震2、vol.49、467～481（1997）
  - (12) 木下 繁夫：近地地震の記録、防災科学技術研究所研究資料、No.240、190（2003）
  - (13) 工藤 一嘉、成田 章、本間 芳則：強震データベースの開発|枠組みについて、（演旨）、日本地震学会秋季大会講演予稿集、114（2003）
  - (14) 強震観測網ポータルサイト（<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>）visited at Jul-13-2009 では、K-NET,KiK-net 全国観測網の5秒毎のPGA（最大加速度）リアルタイムモニタの様子が閲覧できる。
  - (15) 菊地 正幸：リアルタイム地震学、東京大学出版会、232（2003）
  - (16) 中村 豊：研究展望：総合地震防災システムの研究、土木学会論文集、vol.531、1～33（1996）
  - (17) 芦谷 公稔、小高 俊一、東田 進也、横田 崇、加藤 孝志、上垣 内修：ナウキャスト地震情報とその早期地震警報への活用、物理探査、vol.55、484～494（2002）
  - (18) 東田 進也、小高 俊一、芦谷 公稔、大竹 和生、野坂 大輔：P波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法、地震2、vol.56、351～361（2004）
  - (19) 目黒 公郎、藤縄 幸雄、川上 則明、西野 哉誉：緊急地震速報導入による社会へのインパクト、緊急地震速報利活用システムに関するシンポジウム講演集、平成16年9月、53～59、防災科学技術研究所・NPOリアルタイム地震情報利用研究会（2004）
  - (20) 他谷 周一、中嶋 繁、下野 五月：単独観測点での早期震度予測手法（演旨）、日本地震学会秋季大会講演予稿集、310、2008
  - (21) 気象業務法令集平成20年度版、（財）気象業務支援センター、238（2008）
  - (22) 工藤 一嘉：強震動予測を中心とした地震工学的研究の歩み－総合報告：強震動地震学・地震工学シリーズの序にかえて－、地震2、vol.46、151～159（1993）
  - (23) 入倉 孝次郎：“震災の帯”をもたらした強震動、科学、vol.66、86～92（1996）
  - (24) 入倉 孝次郎：「レシピ」による大地震の揺れの予測（和文）、大都市大震災軽減化特別プロジェクト第2回国際ワークショップ予稿集（2005）
  - (25) 地震動予測地図工学利用検討委員会：地震動予測地図の工学利用－地震ハザードの共通情報基盤を目指して－、防災科学技術研究所研究資料、第258号、336（2004）
  - (26) Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima: A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bull. Seism. Soc. Am., vol.96, 3, 879～897（2006）
  - (27) Morikawa, N., T. Kanno, A. Narita, H. Fujiwara, T. Okumura, Y. Fukushima and A. Guerpinar: Strong motion uncertainty determined from observed records by dense network in Japan, J. Seismol., vol.12, 529～546（2008）
  - (28) 地震ハザードステーションJ-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>, visited at Jan-19-2012.  
地震調査研究推進本部地震調査委員会（2010）『全国地震動予測地図』手引・解説編2010年版  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10\\_yosokuchizu/tebiki\\_kaisetsuhen.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/tebiki_kaisetsuhen.pdf) visited at Jan-20-2012.
  - (29) 青井 真、早川 俊彦、藤原 広行：地震動シミュレータGMS、物理探査、vol.57、651～666（2004）
  - (30) 簡単に使える3次元差分法による地震動計算ツール <http://www.gms.bosai.go.jp/GMS/>, visited at Jul-13-2009
  - (31) Hayakawa, T., T. Furumura, and Y. Yamanaka: Simulation of strong ground motions caused by

- the 2004 off the Kii peninsula earthquakes, Earth Planets Space, vol.57, 191~196 (2005)
- (32) 早川 俊彦、古村 孝志：2005年8月16日の宮城県沖の地震による関東地方の大揺れと東日本広域の地震動シミュレーション (PM28) (ポスターセッション) (演旨)、日本地震学会秋季大会講演予稿集、304 (2005)
- (33) 早川 俊彦、古村 孝志、斉藤 竜彦、武村 俊介：能登半島地震による近地地震波の伝播と長周期地震動の生成 (Z255-P045) (ポスターセッション) (演旨)、日本地球惑星科学連合大会予稿集 (2007)
- (34) 古村 孝志、武村 俊介、早川 俊彦：2007年新潟県中越沖地震 (M6.8) による首都圏の長周期地震動、地学雑誌、vol.116、3、576~687 (2007)
- (35) 先名 重樹、翠川 三郎、若松 加寿：常時微動のH/Vスペクトル比と地形・地盤分類を用いたスペクトル増幅率の推定、地震工学会論文集、vol.9、1、67~81 (2008)
- (36) 先名 重樹、藤原 広行：微動探査観測ツールの開発その1—常時微動解析ツール—、防災科学技術研究所研究資料、第313号、133 (2008)
- (37) 先名 重樹、大井 昌弘、藤原 広行：微動探査データの収集管理とデータベースシステムの構築—K-NET、KiK-net地点およびつくば市等における微動探査結果を例として—、物理探査学会学術講演会講演論文集、vol.116、250~252 (2007)
- (38) つくば市揺れやすさマップ、地域の危険度マップ <http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/1330/002823.html>, visited at Jul-13-2009
- (39) Frohlich, Cliff : Deep Earthquakes, Chap.9 Answered and unanswered questions, 339~362, Cambridge Univ.Press (2006)
- (40) 内閣府：事業継続ガイドライン第一版、一わが国企業の減災と災害対応の向上のために一、民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会、平成17年8月1日、33 (2005)  
<http://www.bousai.go.jp/MinkanToShijyou/guideline01.pdf>, visited at Jul-19-2009.
- (41) 堀井 秀之：安全安心のための社会技術、東京大学出版会、368 (2006)
- (42) ALL311 東日本大震災—協働情報プラットフォーム <http://all311.ecom-plat.jp/>, visited at Jan-19-2012.
- (43) BOSAI-DRIP 災害リスク情報プラットフォームの開発に関する研究 <http://bosai-drip.jp/>, visited at Jan-19-2012.

#### 執筆者紹介



古瀬 慶博

1989年入社。防衛システム分野、バイオインフォマティクス分野、医療支援システム分野に携わる。2004年から、つくば事業部第四技術部所属。



成田 章

1992年入社。1995年まで主として宇宙開発分野、それ以降は地震防災分野に携わり現在に至る。



和田 安司

1985年入社。宇宙システム分野で解析業務に従事、防災システム分野で強震動観測網システム構築、システム開発部長、営業部長、2004年より第四技術部長。

# 無線回線制御技術の進化と深化

Evolution and deepening of the wireless communication control technology

磯部 洋次\*

Yoji Isobe

無線通信分野は、＜第1世代（1G）＞アナログ方式の携帯電話（FDMA方式）、＜第2世代（2G）＞デジタル方式携帯電話（TDMA方式）、＜第3世代（3G）＞デジタル方式携帯電話（W-CDMA方式）と無線周波数の有効利用に向けたデジタル化が進むと共に、インターネットの普及によるパケット伝送の需要が急増、低コスト化・高速化・低遅延化のための伝送技術の標準化、さらに次世代への大容量高速通信化へと変化を遂げている。

無線回線制御技術においても、制御するデータ量ならびにユーザ数（呼数）が増大し、リアルタイム組込ソフトウェアの重要性が高まる中、当社は、通信制御装置の組込ソフトウェア開発に従事し、時代に応じた市場の発展に伴うキャリアの要求に応えるべく、経験を積んできた。

本論文では、これまでの開発経験を踏まえた無線回線制御におけるソフトウェア設計に関する変遷（構造化設計からオブジェクト指向へ）、ならびに、アーキテクチャの進化と深化について述べる。

In the field of wireless communication, with the advance of the digitization to utilize the radio frequency, throughout <the first generation (1G) > analog cell-phone (FDMA method), <the second generation (2G) > digital cell-phone (TDMA method), and <the third generation (3G) > digital cell-phone (W-CDMA method), the technology has changed to rapidly increase of demand for packet transmission by the spread of Internet, the standardization of the transmission technology for price reduction, speeding up and low delay, furthermore a large-capacity high speed communication toward the next generation.

In the wireless communication control technology, quantity of to control data and the number of users (the number of calls) increased, and importance of real-time embedded software is increased.

Under such situations, we have engaged in development of real-time embedded software, and acquired experiences to meet the demand of the carriers with the development of the market.

In this article, we describe the change about the software design (from a structured design to object-oriented design) on the basis of past development experience and evolution and deepening of the architecture in the wireless communication control.

## 1. まえがき

1980年代に登場したアナログ方式は音声中心の携帯電話であったが、1990年代にアナログ方式からデジタル方式へ、加えて、低速データ通信も始まった。2000年代後半には、音声、画像、高速データ通信が広まり、公衆網のIP化に伴う大容量高速通信の需要が高まり、現在では、第四世代（4G）に向けた拡張が行われており、当社が無線通信制御装置（無線回線制御技術）の開発に携わったのは1993年頃で、90年代には第二世代無線基地局、

無線制御装置、第三世代無線基地局のS/W開発を経て現在に至る（図1）。

## 2. システム概要

一般的に無線通信インフラのシステム構成は、図2のようになる。

伝送装置は、ネットワークを通じて、情報（データや音声等）を伝える装置である。例えば、電話のように有線や無線で情報を伝達する際、外部からの雑音などの影響により、情報が欠損したり、破損して正しい情報が伝

わからなかったりすることがあるが、伝送装置で情報を伝達しやすい信号に変換することで、相手に正確に情報を伝えることができる。

基地局は、移動局との通信を行うための装置である。有線網と無線網の末端に位置し、有線・無線間の情報変換、移動局の管理、制御を行う。

移動局は、携帯電話、船舶・航空機の局のように、移動する無線局のことである。近くの基地局と通信を行い、情報を発着信する。

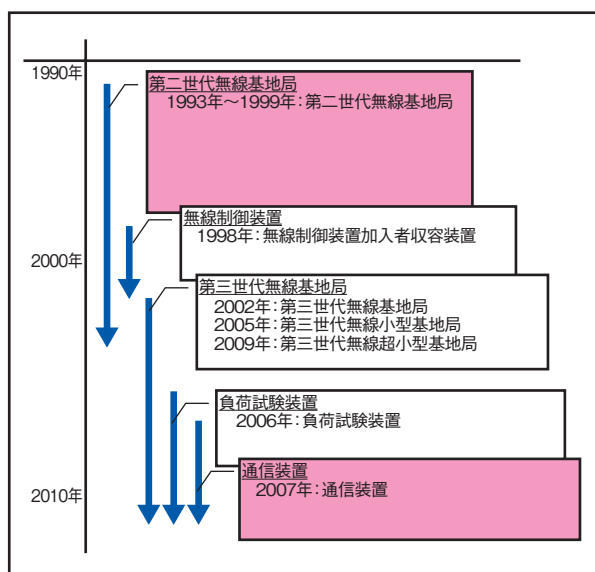


図1 当社の歩み

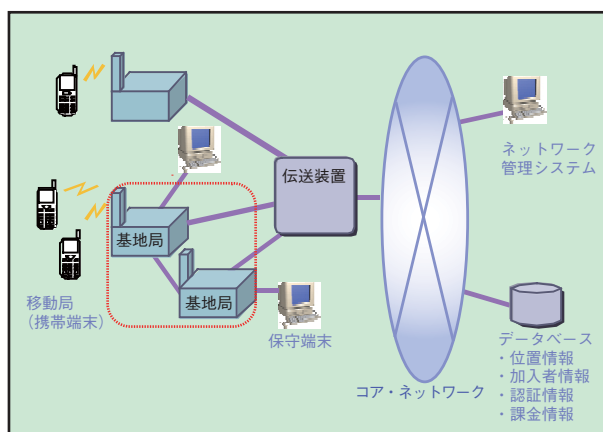


図2 システム構成図

### 3. ソフトウェア・アーキテクチャ

無線通信制御装置では、大きくは4つの機能ブロックで構成される。①無線管理、②認証管理、③呼制御、④運用・保守管理である。

90年代の無線通信制御装置のソフトウェアのアーキテ

クチャでは、仕様変更・追加に強い設計が求められ、4つの機能ブロックをさらに機能単位で分割するような構造化設計が主流であった。

一方、最近の開発では、性能や信頼性だけでなく、仕様変更・追加の容易性ならびに短期開発も重視されるようになってきており、従来の構造化設計からオブジェクト指向設計に変遷を遂げている。

以降の章では、1990年代に開発したA装置と2000年代に開発したB装置を例に、ソフトウェア・アーキテクチャの変遷もしくは変化について述べる。

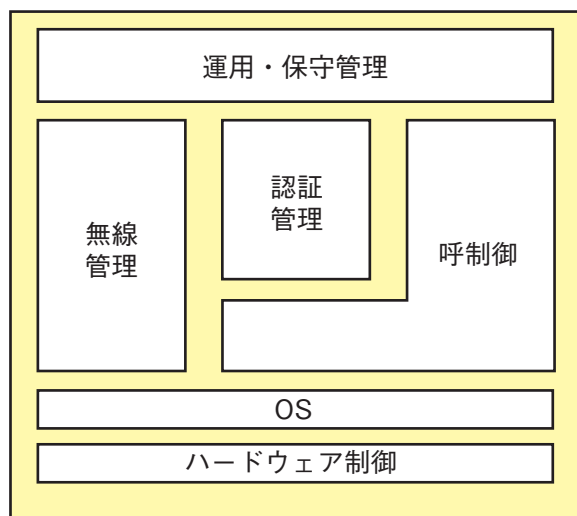


図3 機能ブロック図

#### 3.1 A装置

A装置は、1つの装置がカバーするエリア範囲が狭く、収容数も少ない小規模システムである。アーキテクチャ設計では、過去の実績（流用）も視野に、構造化設計を採用した。

##### 3.1.1 ソフトウェア構成

A装置のソフトウェア構成は、当該システムが並列処理する機能単位でタスク分割し、リアルタイム性を確保する構造とした。

例えば、無線チャネルの割当、閉塞制御、リスタート処理、規制制御、再同期制御等、チャネル全般に関連する機能はチャネル管理タスク、同期確立、電解監視、通信品質監視、同期はずれ制御、チャネル切替、切断、エア側（L2以下）障害監視、通信品質報告等の通信チャネルに関わる機能はリソース管理タスクというように、機能とタスクを紐づけた構成となっている。

本装置のソフトウェア構造のように、機能単位でタスクを分割することのメリットは、機能構造が明確でわかりやすく、設計誤りが見つけやすい点にあるが、システ

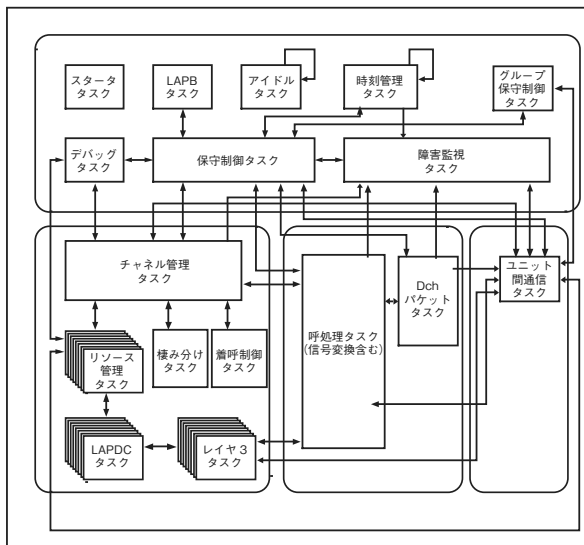


図4 A装置ソフトウェア構成図

ムが複雑になると、構造化設計での開発は処理を複雑に  
してしまう可能性があり、かつサービス追加に伴う仕様  
変更では、影響範囲が多岐に渡り、デグレードの誘発、  
開発工数・工期の肥大化等のデメリットを経験した。

### 3.2 B装置

B装置では、「高信頼性」「高性能」の実現要件が条件  
であり、かつ大規模システムであるため、アーキテク  
チャ設計においては、従来の構造化設計からオブジェクト  
指向設計とした。ただし、本装置のようなイベントドリ  
ブン方式のS/Wでは、オブジェクトは受動的となり、  
複数イベントが発生した際に時間制約条件が異なるもの  
を限られたCPU能力で、すべて満足できるかどうかを  
立証することが難しくなる。そこで、アクティブオブ  
ジェクトの概念に基づきタスク設計を行った。

また、アーキテクチャ設計を行うにあたり、システム  
スペック上の観点に加え、開発環境（大規模、短納期）、  
仕様変更のし易さを考慮して、呼処理の「通信基盤フ  
レームワーク」を構築した。

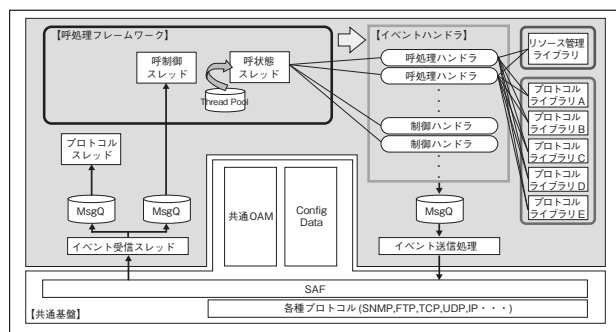


図5 アーキテクチャ構成図

### 3.3 通信基盤フレームワーク

通信基盤フレームワークのアーキテクチャは、RUP  
の4+1ビュー（ユースケースビュー、配置ビュー、プロ  
セスビュー、論理ビュー、実装ビュー）の考え方に基づ  
き、規定・設計した。

#### 3.3.1 ユースケースビュー

当該ソフトウェアの機能網羅性を観点に、適用するシ  
ーケンスのパターンを抽出、それらを全て処理できるアー  
キテクチャの実現により、設計の妥当性を担保した。

#### 3.3.2 配置ビュー

配置ビューについては、スコープを呼制御のみとした  
ため、ソフトウェアと実行環境の対応が1:1となり、今  
回の設計では対象外とした。

#### 3.3.3 プロセスビュー

呼制御プロセスのソフトウェアは1プロセスで動作  
し、並列処理が必要なクラスについては、スレッドで実  
装する。スレッドで動作するクラスは、論理ビューで示  
した論理クラスのうち、アクティブオブジェクトとして  
規定されているもの（各パッケージの論理クラス図内で

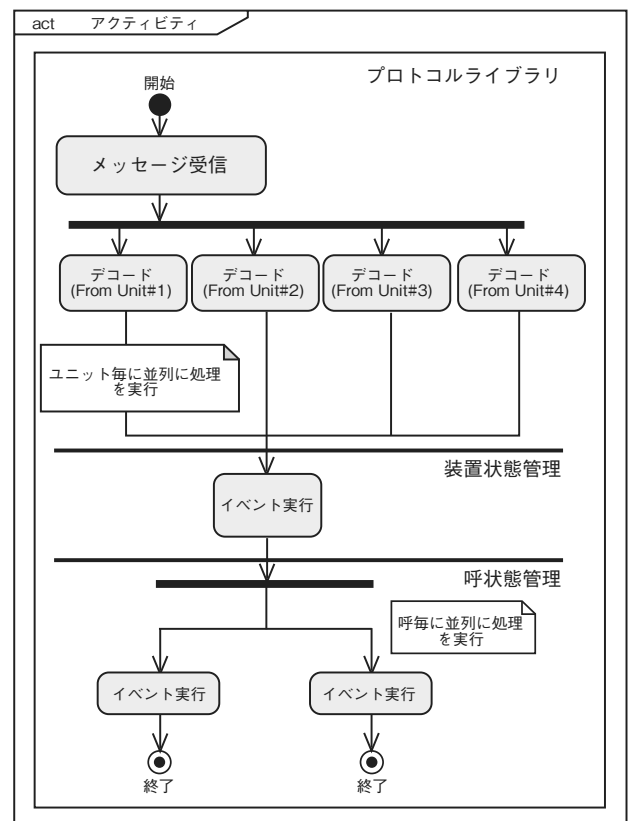


図6 並行性設計のアクティビティ図

スレッドと明記したもの)が該当する。スレッドの優先度については、応答時間の制限よりも、スループットの重要性を加味し、タイムシェアリングでOSが動的に割り当てることとした。並行処理を実施する箇所を図6に示す。

### 3.3.4 論理ビュー

機能分割した各機能は論理パッケージとして表現し、論理パッケージ内にはパッケージの機能を構成する主要な論理クラスを規定、また、規定した論理クラス群が、ユースケースビューで抽出したユースケースをどのように実現するかの検証を行った。全パッケージに共通した基本方針は以下のとおりである。

- (1) 論理的なレイヤ構造として、仕様に特化するApplication Layerと、OSのシステムコール等、仕様に特化しないSystem Layerの2つに分けた。このレイヤ構造により、実行環境に依存する処理は、System Layerで吸収できる。また、ハードウェアの性能に応じたチューニング、実行環境の不具合等の影響範囲の絞り込みが容易になる。
- (2) CPUは効率を最大限に活かすため、アーキテクチャが複雑にならない範囲（保守性とのトレードオフ）でスレッド化した。なお、スレッドは、論理クラス図でアクティブオブジェクトとして定義する。
- (3) Application Layer内のパッケージ分割については、各パッケージが明確な責務を持ち、疎結合となるようにした。このことにより、保守性の向上を図っている。

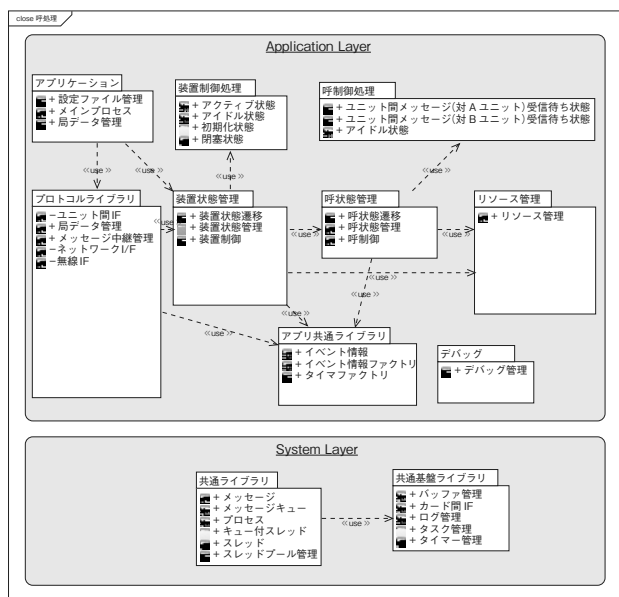


図7 論理パッケージ構成図

- (4) メモリの動的確保は行わない。インスタンスはアプリケーション起動時に必要数生成しておき、インスタンスが必要な場合は、Factoryクラスから払い出す。不要になった場合はFactoryクラスへ返却する。
  - (5) スレッド間通信では、インスタンスのコピーは行わない。ポインタの受け渡しとする。
- 論理パッケージ構成は、以下の通り。

#### アプリケーションパッケージ:

メインパッケージであり、アプリケーション全体を制御するクラスから構成する。独自のコンフィグレーションファイルの管理や局データへのアクセサクラスを提供する。

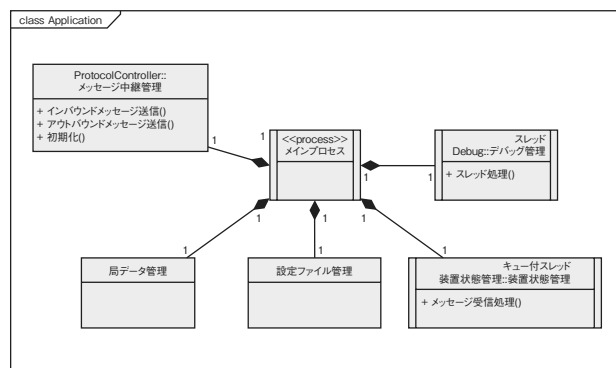


図8 アプリケーションパッケージ論理クラス図

#### デバッグパッケージ:

本ソフトウェアの開発者向けのデバッグ機能を制御するクラスから構成する。

#### アプリ共通ライブラリパッケージ:

Application Layerのパッケージにおいて共通で使用するユーティリティ的なクラス群から構成する。タイマの管理を行うクラスや、受信したイベントの処理に必要なデータを保持するセッションクラスが本パッケージに含まれる。

#### プロトコルライブラリパッケージ:

他ユニット間との通信、エンコード/デコード等、プロトコル処理に特化したクラスから構成する。他パッケージは本パッケージを介して他ユニットとの通信を行う。呼を意識しないプロトコル毎に汎用的な処理の責任を持つ。プロトコルのレイヤ、コネクション毎に並行して処理を行うことで、処理性能の向上を図る。

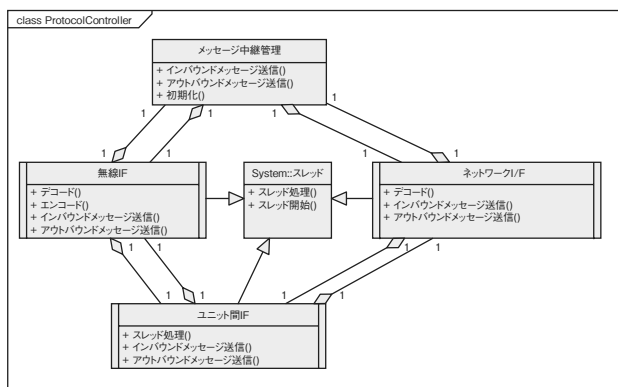


図9 プロトコライブラリパッケージ論理クラス図

### 装置状態管理パッケージ：

ユニット状態および運用・保守系のイベント処理を管理するクラスから構成する。全ての呼の一括処理、呼を意識しない処理の責任を持つ。

プロトコライブラリからのメッセージは、本パッケージで終端するか、呼毎の処理であれば呼状態制御パッケージに処理を委譲する。

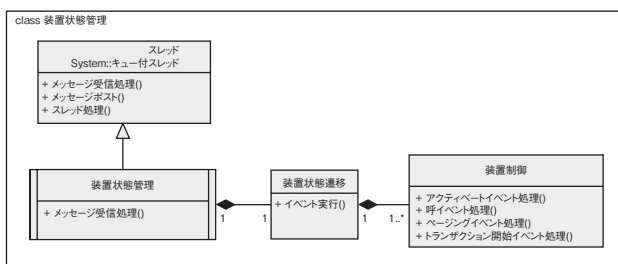


図10 装置状態管理パッケージ論理クラス図

### 状態制御処理パッケージ：

状態に応じたイベント処理を実行するクラス群から構成する。StateパターンにおけるConcreteStateに該当し、本パッケージのクラスは装置制御クラスから派生する。

ユニットの状態遷移における各状態をクラスとし、イベントはクラスの方法となる。

### 呼状態管理パッケージ：

呼の状態を管理するクラスから構成する。特定の呼を対象とした処理の責任を持つ。呼毎の処理を並列化し、処理性能の効率化を図る。

受信したイベントから呼を識別した上で、処理を実行する。当該オブジェクトが存在しない場合は新たにオブジェクトを生成し、呼が解放された時点でオブジェクトを削除する。

また、オブジェクトを起動時に予め最大数プールしておき、オブジェクトの動的生成に要する処理時間のオー

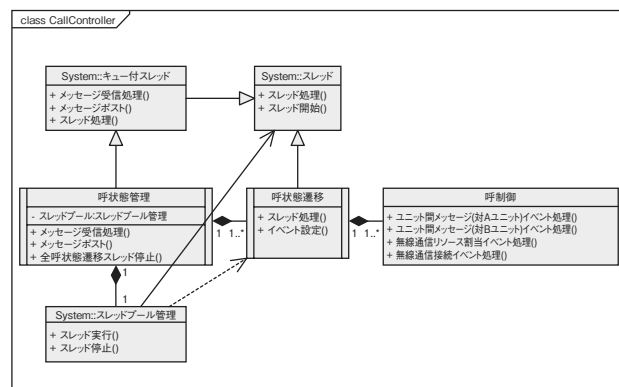


図11 呼状態管理パッケージ論理クラス図

バーヘッドを回避した。

なお、呼状態管理クラスは特定の呼ごとの状態管理、および状態毎の処理を呼状態遷移オブジェクトとしてスレッドプール管理クラスに渡すことで、当該処理の実行を委譲する。

### 呼制御処理パッケージ

呼としての状態に応じたイベント処理を実行するクラス群から構成する。

本パッケージのクラスは、ひとつの呼の状態遷移での各状態をクラスとし、イベントはクラスの方法となる。

### リソース管理パッケージ：

通信リソースを扱うクラス群から構成し、通信リソースは、本パッケージで一元管理する。

本パッケージのクラスは、通信を実現するために必要な無線区間、有線区間、他ユニット間の物理/論理回線を制御するための資源を一元管理するクラスである。通信路を生成する際、関連するリソース管理オブジェクト種別毎にインスタンスを生成し、各種インスタンスを相互管理することで論理的に通信回線の制御を行う。

### 共通基盤ライブラリパッケージ：

共通ソフトウェアをラップするクラスから構成する。C言語APIで提供される共通ソフトウェアからさらに高水準のC++APIを提供する。

### 共通ライブラリパッケージ：

仕様に特化しないスレッドやメッセージ制御、キュー制御等の汎用的な機能を提供するクラスから構成する。システムコールを隠蔽し、高水準のAPIを提供することを目的とする。

### 3.3.5 実装ビュー

本アーキテクチャにおける機能面の検証はプロセスビューのユースケース実現で行ったが、性能面等の動的な検証については、プロトタイプを作成して行った。

## 4. むすび

近年の通信制御装置のソフトウェア開発は、「大規模化」「高信頼性」「高性能」要件に加え、「短工期」、「低コスト化」が求められ、また、市場投入後のサービス追加による仕様追加・変更の容易性が求められ、加えて、短工期、大人数での同時並行開発に耐え得るアーキテクチャが必要になる。さらに、他社との競争力強化の観点でも機会損失を防ぐ手立てが必要となり、これら課題を解決するには、

- レガシーな構造化設計からオブジェクト指向設計ソフトウェアへの変革
- 基盤フレームワーク適用による「方式設計の流用率向上」

の実現が不可欠であると考ええる。

本論文で紹介した通信基盤フレームワークも、イベント処理の並列化、状態遷移・シーケンス制御のフレーム化、システム固有のビジネスロジックを分離しており、上述の課題解決の実現に向け、一歩近づいたものと考ええる。

今後は、この通信基盤フレームワークを洗練化させ、他機種、他装置への横展開を推進し、要件から実装までのトレーサビリティ確保、ならびに、開発手法をガイドライン化し、ソフトウェア開発における「包括フレームワーク」として、深化させていく所存である。

### 執筆者紹介



磯部 洋次

1990年入社。無線回線制御等、通信システムのソフトウェア開発に携わり、現在に至る。現在、関西事業部 第三技術部次長。

# M&S技術の進化・深化 — 業務の中で見つけた共通性と類似性

Evolution and Deepening of Modeling and Simulation : Commonalities and Similarities Found in Daily Work

矢田部 学\*

Manabu Yatabe

M&Sは工学、自然科学、社会科学などの広い分野を対象とし、数学モデルを作り上げることから出発する。そして、これらのモデルを用いてコンピュータシミュレーションを行い、新たな知見を得ることを目的の一つとする。対象分野が広範囲にわたるため、一見すると、モデルや数学的手法は全く異なるように見える。しかし、その中には共通性や類似性が存在する。それらに着目すると本質が見えてくる。本質の理解は、意外な新分野へ発展することが期待できる。本稿では、M&S業務の中で見つけた共通性と類似性について紹介する。

The aim of modeling and simulation (M&S) is to analyze systems in engineering, natural and social sciences, and so on. M&S starts from building mathematical models. Using the models computer simulations are done, and the results provide new knowledge regarding the systems. On the surface, the models and techniques seem to be different from one another because of their extensiveness. However there exist commonalities and similarities, which reveal the essence of the models. Understanding their nature is expected to develop new fields. This report mentions the commonalities and similarities found in daily work.

## 1. まえがき

モデルは興味の対象の特徴を単純化したものである。ソフトウェアを用いたシミュレーションは数理モデルに基づいて実施され、新たな知見を得ることが目的の一つである。例えば、工学分野ではシステム設計の段階で、システムの最適化や予期せぬ障害の回避を目的としてシミュレーションによる検討が行われる<sup>(1)</sup>。今日、数理モデルとコンピュータシミュレーションを統合した分野はM&S (Modeling and Simulation)と言われる。

当社におけるM&S技術の原点は宇宙・防衛分野におけるエンジニアリング業務と考えられる。ロケットやミサイルの誘導・制御、宇宙空間や超音速などの特殊な環境における熱・構造解析、軍事オペレーションズ・リサーチなどは、工学や数学・物理の基礎知識が必要になる。このため、当社におけるM&S業務の根底には、表面に現れているIT技術の下に、数式を基礎とした仕事のやり方が存在する。

M&Sという用語は漠然としていて具体的にイメージし難いが、大別すると以下の手法が考えられる。

- (a) ゼロから数学モデルを定式化してプロトタイプ的なモデルを作り解析を実施

- (b) 確立されたモデリング手法やシミュレーション・ツールを用いて大規模で緻密なモデルにより解析を実施

本稿では、表舞台に出ることが少ない「社内の隙間産業」的な(a)のタイプのM&S業務に視点をおき、そこで見出された数理モデルの共通性と類似性について述べる。隙間産業と言っても卑下するものではなく、基本原理からの理解を出発点としているため、物事の本質が見えてくるというメリットがある。本質の理解は、確かな仕事の基礎となり、競合他社との差別化につながり、意外な新分野へ発展することも期待できる。

## 2. 数理モデルの中にある共通性と類似性

### 2.1 宇宙・防衛の業務に登場する方程式から

業務の中には様々な方程式が登場する。しかし、本質に気付けば共通性・類似性が見えてくる。例えば、宇宙分野のロケット・衛星の運動解析では運動方程式

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}(t)}{dt^2} = \mathbf{F}(t)$$

が基本となる。ここで、 $m$ は質量、 $\mathbf{r}$ は位置、 $\mathbf{F}$ は力である。これは時間 $t$ に関する2階の微分方程式である。

一方、防衛分野では兵力や戦闘能力を検討するオペレ

ーションズ・リサーチに関連してLanchester方程式が登場する<sup>(2)(3)</sup>。これは時間に関する1階の連立微分方程式で

$$\begin{cases} \frac{dR(t)}{dt} = -bB(t)R(t) \\ \frac{dB(t)}{dt} = -rR(t)B(t) \end{cases}$$

である。ここで、 $R$ はR軍の兵力、 $B$ はB軍の兵力、 $b$ はB軍の単位兵力当たりの戦闘能力、 $r$ はR軍の単位兵力当たりの戦闘能力である。

運動方程式とLanchester方程式は、一見すると異なるように見える。しかし、速度を取り出し $dr/dt \equiv v$ とすると、運動方程式は1階の連立微分方程式

$$\begin{cases} \frac{dr(t)}{dt} = v(t) \\ \frac{dv(t)}{dt} = \frac{F(t)}{m} \end{cases}$$

となり、Lanchester方程式に類似した形式で表される。

更に、運動方程式もLanchester方程式も、状態量 $X$ を導入して

$$X = \begin{pmatrix} r \\ v \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} R \\ B \end{pmatrix}$$

とすると、共通な形の方程式

$$\frac{dX}{dt} = f(X, t)$$

に表すことができる。右辺の $f(X, t)$ は任意の関数である。M&S業務では、数値計算を行い結果を考察することが目的の一つであるが、この形の方程式は、常微分方程式の数値解法として、Euler法やRunge-Kutta法などが確立されている<sup>(4)</sup>。

このように、運動方程式とLanchester方程式は共通の手法で解くことができる。つまり、業務の中に共通性・類似性を見出すことは異なる分野の業務を行うときの手掛かりとなることがある。

## 2.2 Brown運動から金融工学へ

欧米流の金融工学が注目され金融ビッグバンが騒がれていた1997年頃、当社においても「金融工学とは如何なるものか」を調査し新規事業を模索することになった。金融経済に弱い理系出身者が金融分野を理解することは困難が予想されるが、何とかして金融工学への入り口を見出す必要がある。このような場合、「経験分野との類似性」を金融工学の中に見出し、それを入り口とすること

が一つの方法と考えられる。以下は、当時の担当者がゼロの状態からスタートして、金融工学の先駆けとなったBlack-Scholes方程式に到達するまでの概要である。

金融工学は株価変動などのランダム性をモデルに取り入れるために確率過程を基礎に置く。確率過程では確率分布を規定するパラメータが時間的に変化する。例えば、平均が $\mu$ で分散が $\sigma^2$ の正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ の確率密度関数は

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

と表されるが、確率過程では確率密度関数を支配するパラメータ $\mu$ と $\sigma$ が時間とともにランダムに変動し生起確率に影響を及ぼす。つまり、時間ごとに確率密度関数が異なる。その結果、実現値 $x$ を与える確率変数が時間的に変化する。当時、このあたりを入り口として金融工学の理解を試みた。

金融工学に登場する確率過程はWiener過程である。これは水中に浮遊する微粒子が水分子と衝突してジグザグ運動するBrown運動の数学モデルである。株価などの金融商品の価値はWiener過程に従って変動すると考える。Wiener過程の確率密度関数は、ランダムウォークを記述するFokker-Planck方程式を出発点とし、この方程式に運動の対称性を仮定した拡散方程式の解として得られる<sup>(5)</sup>。時刻 $t$ における粒子の位置を $x(t)$ とすると確率密度関数は

$$p(x; t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi Dt}} \exp \left( -\frac{x(t)^2}{2Dt} \right)$$

のように表される。ここで、 $D$ は拡散係数である。

上式の形より、Wiener過程の確率密度関数は平均が $\mu = 0$ で分散が $\sigma^2 = Dt$ の正規分布 $N(0, Dt)$ に従うことが分かる。このため、正規分布の広がりを表す標準偏差は $\sigma = \sqrt{Dt}$ となり、時間とともに正規分布の山の高さは低くなり裾野が広がっていく(図1)。これを参考にして、Wiener過程 $w(t)$ の時間 $\Delta t$ の変化を

$$\Delta w(t) = \varepsilon \sqrt{\Delta t}$$

とする。ただし、 $\varepsilon$ は標準正規分布 $N(0, 1)$ に従うとする。このようにすると、 $\Delta t$ あたりの $w(t)$ の分散が $\Delta t$ となる。

株価などの金融商品は、短い期間で見るとWiener過程に従い平均値まわりを「ウロウロ」しているが、長期的にはある傾向(トレンド)をもって増加すると考えられる。そこで、株価 $S(t)$ の時間 $dt$ の変動を、 $\mu$ と $\sigma$ を定数として

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dw(t)$$

とモデル化する。右辺の第1項の $\mu S(t)$ は株価の長期の

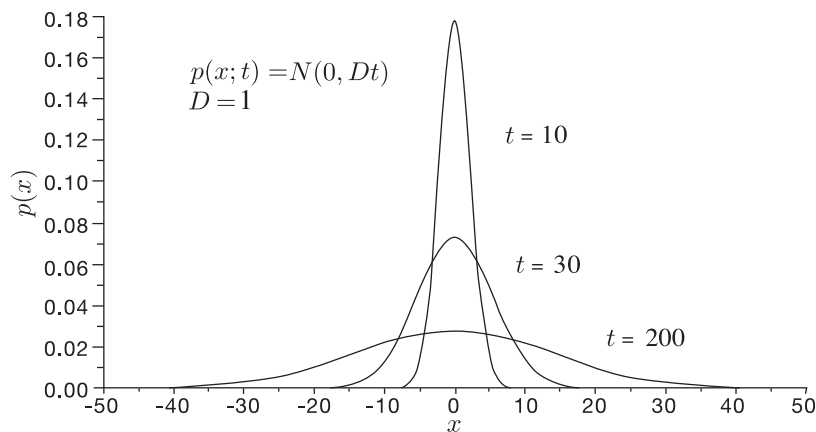


図1 Wiener過程の確率密度関数の時間変化

変化を、第2項は短い期間の平均値まわりの変動を表す。この方程式は確率微分方程式と言われるものであり、方程式の中に  $dw(t)$  のような確率過程の要素が含まれる。これより

$$\frac{dS(t)}{dt} = \mu S(t) + \sigma S(t) \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\varepsilon}{\sqrt{\Delta t}}$$

となるが、右辺の第2項は発散する。つまり、Brown運動のようにランダムに変動する現象は、滑らかな関数を扱う通常の解析学の範疇にないことを意味する。ランダムに変動する現象を扱うには伊藤清が生み出した確率解析学が必要である。金融工学では、その中に登場する「伊藤の補題（レンマ）」が重要な役割をはたす。

ランダムに変動する株価とそれに依存する金融派生商品（デリバティブ）からなるポートフォリオを考える。それより、株価の変動を表す式  $dS = \mu S dt + \sigma S dw$  と伊藤の補題を用いて、確率的な変動分  $dw$ （リスク）を除くと、デリバティブの価格  $f(S, t)$  を記述するBlack-Scholes方程式

$$\frac{\partial f(S, t)}{\partial t} + rS \frac{\partial f(S, t)}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f(S, t)}{\partial S^2} = rf(S, t)$$

に到達する。リスクの要因を除いたため、方程式の中には無リスク利子率  $r$  が現れている。この方程式を境界値問題として解くことにより、ヨーロッパタイプ（満期日のみ行使可能）のコール・オプション（買う権利）やプット・オプション（売る権利）の価格評価モデルが得られる。

当時、Black-Scholes方程式に関する情報は少数であった<sup>(6)(7)(8)</sup>。現場における「金融工学との格闘」は当時の技報の中に見ることができる<sup>(9)</sup>。

現時点において、金融工学は事業になっていない。しかし、金融工学を理解する過程で得られた数学的なノウハウは宇宙・防衛分野で使われるKalmanフィルタや防衛分野の搜索モデルなどの確率やランダム現象の絡んだ仕事の中に生かされている。

## 2.3 ISS内の微小重力環境からの発想—月の形状と歴史

国際宇宙ステーション（ISS：International Space Station）で行う宇宙実験のために微小重力環境を解析していたときに気付いた類似性について紹介する。

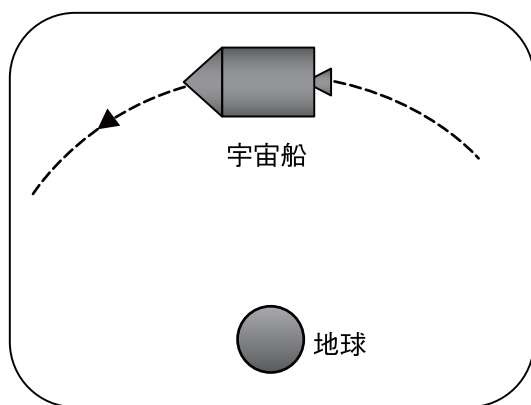
宇宙実験は理想的には無重力を想定しているが、搭載機器の振動などによる擾乱を除いても、一般にISS内部は無重力ではなく微小重力場が存在する。この微小重力場は次のように説明できる。特定の面を地球方向に向けて軌道運動している宇宙船を考える。宇宙船は回転座標系と見なされるため遠心力が現れる。宇宙船の重心では地球の引力と遠心力が釣り合い重力はゼロになる。他方、重心から外れた位置では引力と遠心力の釣り合いが崩れて微小な重力が残ることになる（重心より地球側：引力>遠心力、重心より反地球側：遠心力>引力）。この意味で、この微小重力場は「残留加速度」<sup>(10)</sup>、「残留重力」<sup>(11)</sup>とも言われる。

問題の本質に気付けば、この「ISS内の微小重力環境」は、意外な方向に発展する。地球の衛星である月の運動を考える。月は同じ面を地球に向けて軌道運動している。つまり、月の軌道運動は上で述べた宇宙船の運動に類似していると見なされる（図2）。

これより、月の内部には宇宙船と同じ残留重力場が発生する。これは月の形状に影響を与えるはずである。地球に向かって  $+x$  軸、南極から北極に向かって  $+z$  軸を、それらと右手系をなすように  $+y$  軸をとると、この残留重力の分布は、比例定数を除くと

$$\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

のように表される。3つの軸方向の大きさの割合は  $A_x : A_y : A_z = 3 : 0 : -1$  となる。残留重力は地球方向に  $+3$ （伸び）、極軸方向に  $-1$ （縮み）の割合で作用



⇕ 類似

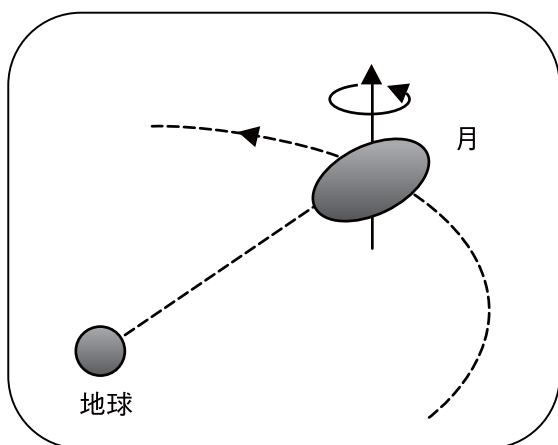


図2 宇宙船と月の軌道運動の類似性

する。公転軌道方向には0となり、残留重力は作用しない（図3）。

この残留重力の割合（NRG：Normalized Residual Gravity）と月の形状の関係をプロットしたものが図4である。図に示すようにNRGと月の地形は相関がある。この相関は月の表側と裏側で異なる。裏側の地形の相関は表側より強い。この相違は月の歴史により説明できる。原始の月は表面がマグマオーシャンで覆われていたと考えられている。それが固化して原始地殻ができたとき、当時の残留重力場に適合する平衡形状であったと考えられる。その後、表側で玄武岩質マグマの噴出により海が形成され、原始地殻が保存していた固化当時の残留重力の情報が失われてしまった。このため、月の表側の地形では裏側に比べて相関が弱くなる<sup>(12)</sup>。

月の地形データと残留重力の大きさの理論値を用いて、月が固化したときの地球と月の距離を見積ると93,000kmとなった。現在の地球と月の距離は384,400kmである。これは当時に比べて地球の自転が遅くなり、地球-月系の角運動量を保存するために地球から月が離れたといった結果である。

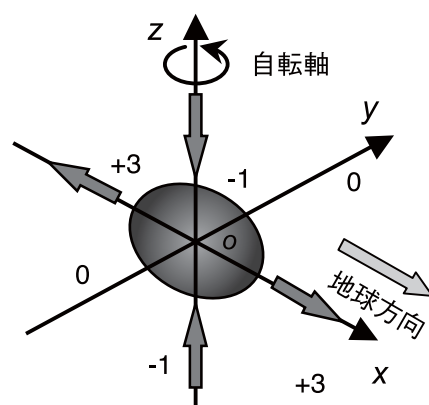


図3 月の内部に発生する残留重力

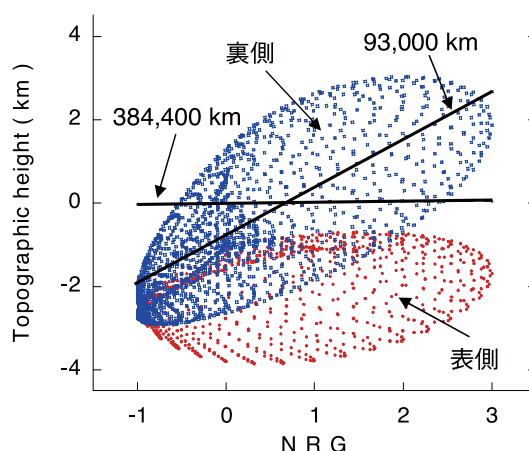


図4 月の地形と残留重力場の相関

このように類似性に着目すると、日常の業務の中に意外なテーマを見つけることも可能なのである。その相乗効果として、本来の業務の理解は「深化」するのである。

## 2.4 ロボットアームに潜んでいた意外性

### —電磁場と回転座標系の力学の類似性

宇宙機に搭載するロボットアーム（マニピュレータ）の運動方程式を検討する業務の中で見つけた類似性について述べる。

ロボットアームは複数のリンクで構成されている。内側のリンクに対して外側のリンクがヒンジ回りに回転すると、外側のリンクに固定された座標系は回転座標系と見なされ、遠心力やCoriolis力が現れる。ここで、回転座標系の運動方程式を眺めていると、以下のような興味深い事実気付く。

角速度 $\omega$ で回転している質点系を考える。その中の1つの質量 $m$ の質点に着目する。回転座標系で記述した運動方程式は

$$m\dot{v} = m[g + \omega \times (r \times \omega) + r \times \dot{\omega} + 2v \times \omega]$$

である。ただし、ドットは時間微分、 $\mathbf{r}$ は位置、 $\mathbf{v}$ は速度、 $\mathbf{g}$ は他の質点からの作用（引力）である。ここで、

$$\mathbf{C} \equiv \mathbf{g} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{r} \times \boldsymbol{\omega}) + \mathbf{r} \times \dot{\boldsymbol{\omega}}$$

$$\mathbf{W} \equiv 2\boldsymbol{\omega}$$

とおき、運動方程式を

$$\begin{cases} m\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F} \\ \mathbf{F} = m(\mathbf{C} + \mathbf{v} \times \mathbf{W}) \end{cases}$$

のように書き表す。

他方、電場 $\mathbf{E}$ 、磁場 $\mathbf{B}$ の中で運動する荷電粒子（質量 $m$ 、電荷 $q$ ）にはLorentz力が作用し、運動方程式は

$$\begin{cases} m\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F} \\ \mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) : \text{Lorentz 力} \end{cases}$$

と書ける。

ここで、回転座標系と電磁場の運動方程式内に現れる $\mathbf{F}$ を比較（数式のパターン認識）すると

$$\begin{pmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{W} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{B} \end{pmatrix}$$

なる対応に気付く。電磁場 $(\mathbf{E}, \mathbf{B})$ を決めるの基礎方程式はMaxwell方程式である。このことより、回転座標系の $(\mathbf{C}, \mathbf{W})$ に関しても「同様な方程式が存在するか？」という疑問が浮かぶ。実際に、発散 $\nabla \cdot$ と回転 $\nabla \times$ を $(\mathbf{C}, \mathbf{W})$ に作用させると、図5に示すようにMaxwell方

程式に類似した方程式が得られる<sup>(13)</sup>。上の3つの方程式は数学的に導出できる。最後の方程式は物理現象からの推測である。

ここで述べた内容は推論が入り未完成であるが、今回の特集のテーマである「進化」の途中にある例として紹介した。ゼロから数理モデルを作り上げるとき、このような試行錯誤が行なわれる。その多くは未完成のまま残るが、別の業務にその経験が生きるのである。

### 3. 既存業務からの発展

#### —「戦いのモデル」から「生態系のモデル」へ

第2章では実務の中で見出した共通性や類似性について紹介した。ここでは方程式の共通な形式を基にして、既存分野を新規分野へ発展させる手掛けについて考える。

運動方程式とLanchester方程式は第2.1節で述べたように共通な形 $d\mathbf{X}/dt = \mathbf{f}(\mathbf{X}, t)$ で表すことができる。この方程式で表されるシステムは「力学系」と言われる。その呼び方は力学（運動方程式）に由来し、相互作用する $n$ 個の要素からなる状態量 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ の時間変化を記述する。

分かりやすいように $n = 2$ の場合を考えて $\mathbf{X} = (X, Y)$ とする。これは、 $X$ と $Y$ の「競争のモデル」と考えることができる（図6）。そのような見方をすると、運動方程式よりは、戦いを記述したLanchester方程式のほうがイメージしやすい。

競争は「生態系の共存モデル」として使える。例えば、2種類の生物がある地域に生息していて、一方が他方を餌にしている場合などである。

この種の問題は「サメと小魚」の漁獲高を説明する問題として定式化されている（Lotka-Volterraモデル）<sup>(14)(15)</sup>。

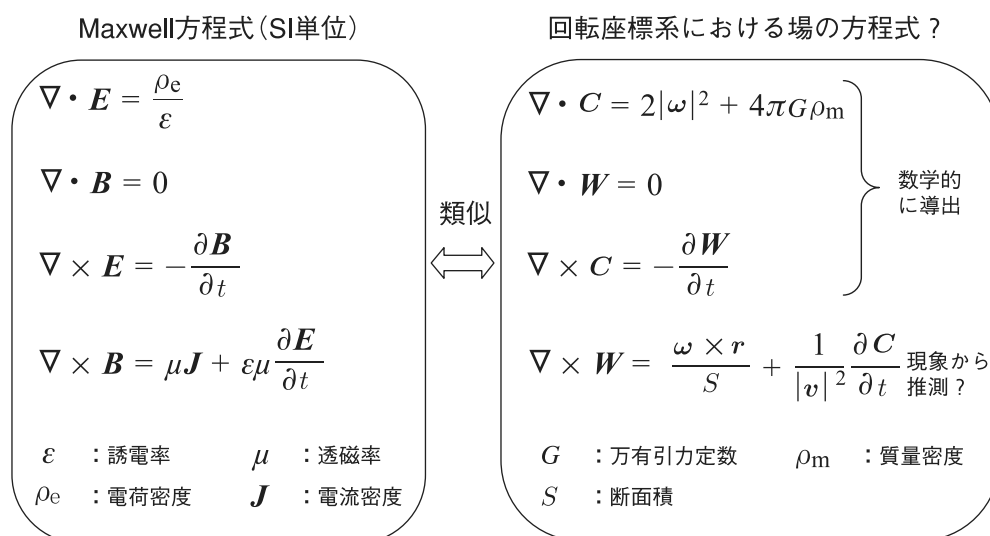


図5 回転座標系における場の方程式は存在するか？

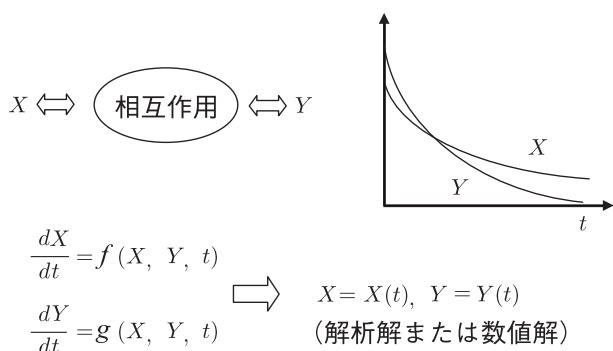


図6 競争のモデル

第1次世界大戦中、アドリア海では漁業が中止された。そのために小魚が増殖することが期待された。ところが戦争が終わって漁業を再開すると、小魚は減りサメなどの肉食魚が増えていた。

これを説明するために、イタリアの数学者Volterraは以下のようにモデル化した。

- ・捕食者（サメ）がいないとき被食者（小魚）は自然に増殖
- ・捕食者に遭遇すると被食者は食べられて減少
- ・捕食者は寿命により自然に減少
- ・捕食者は被食者を食べて子孫が増加

これを数式で表現すると

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = (A - B \cdot Y) \cdot X \\ \frac{dY}{dt} = -(C - D \cdot X) \cdot Y \end{cases}$$

のようになる。ただし

- $X(t)$  : 被食者の数
- $Y(t)$  : 捕食者の数
- $A > 0$  : 被食者の増殖率
- $B > 0$  : 被食に関するパラメータ
- $C > 0$  : 捕食者の死滅率
- $D > 0$  : 捕食に関するパラメータ

である。

1 番目の方程式の  $(A - BY)$  は被食者の増殖率  $A$  の減少を意味する。これは捕食者に食べられて被食者が減少する効果である。また、2 番目の方程式の  $(C - DX)$  は捕食者の死滅率  $C$  の減少を意味する。これは被食者を食べて捕食者が増加する効果である。つまり、相手の存在により、本来の増殖率  $B$  と死滅率  $C$  は影響を受けると考えてモデル化している。

この方程式を解くと被食者と捕食者の時間推移は図7

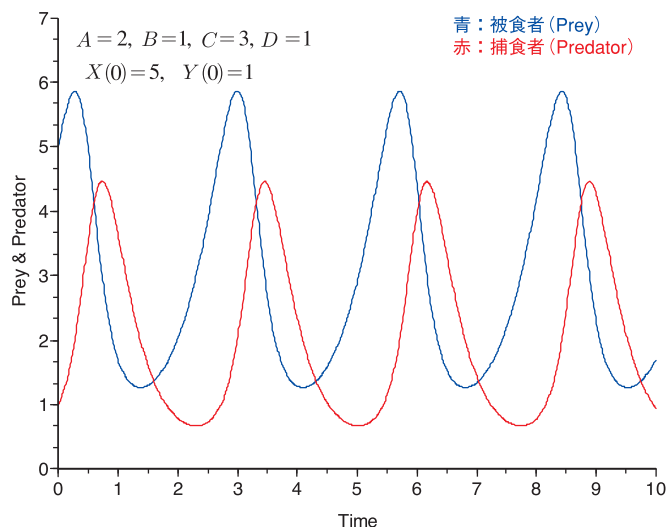


図7 被食者と捕食者の推移

のようになる。被食者（青）が増殖すると餌が増えて捕食者（赤）も増加する。捕食者が増加すると食べられて被食者は減少する。その結果、食べる餌が無くなり捕食者も減少する。捕食者が減少すると被食者は増殖する。以降、これを周期的に繰り返す。この周期性は、もとの方程式で  $dX/dt = dY/dt = 0$  としたとき、平衡点  $(C/D, A/B)$  が存在することからも予想できる。

ここでは状態量  $X$  の要素が2つの場合を考えたが、それより多い場合を考えることも可能である。Lotka-Volterraモデルは、昨今話題に挙がる環境問題のモデル化の手掛りになると考えられる。

#### 4. むすび

当社のM&S技術は宇宙・防衛分野のエンジニアリング業務を原点としている。その根底には数式を基礎とした仕事のやり方がある。現在では、それはIT技術の陰に隠れて表に現れることは少ない。しかし、解析ツールのような数式を基礎におくソフトウェアは、表向きのIT技術が立派でも、根底にある数式が正しい加減では使い物にならない。意味を理解せずに単に公式を組み合わせたような貧弱な計算では正しい結果に到達することは難しい。

今回の特集号「技術の進化・深化」の執筆を依頼されたとき、最初は断るつもりでいた。自分が担当してきた「泥臭い数式」を基礎とする仕事は、社内では隙間産業と見なされ、期待されている技術とはかけ離れていると思えたからである。

昨年と今年、宇宙・防衛分野に関係した基礎的な勉強会（Kalmanフィルタ、クォータニオン、軌道力学）を開催したが、毎回20人前後の有志が集まった。参加者は

「基礎から理解することの重要性」を実務をととして認識していた。また、編集者からは、当社では「数式を基本にした仕事のやり方」が伝承されていることを示して欲しいと言われた。執筆することにしたのは、それらの理由による。

世の中の風潮に従うと効率化が優先され手間のかかるやり方は敬遠される。しかし、基本に立ち返りゼロからスタートすると本質が見えてくる。その結果、一見すると異なる分野の中に共通性・類似性を見出すことができ、意外な方向に進化・深化が起こるのである。これは何もM&Sに限ったことではない。

#### 参考文献

- (1) Maria, A.: Introduction to Modeling and Simulation, Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, 7~13 (1997)
- (2) 飯田 耕司: 戦闘の科学 軍事ORの理論、三恵社 (2005)
- (3) Przemieniecki, J. S.: Mathematical Methods in Defense Analysis, AIAA (2000)
- (4) Woan, G.: The Cambridge Handbook of Physics Formulas, Cambridge Univ. Press (2000)
- (5) 中川 正雄・真壁 利明: 理工系基礎 確率過程、培風館 (1987)
- (6) 三菱銀行商品開発室: ジョン・ハル=ファイナンシャルエンジニアリング金融派生商品開発入門、きんざい (1992)
- (7) 木島 正明: ファイナンス工学入門第I部ランダムウォークとブラウン運動、日科技連 (1994)
- (8) 辰巳 憲一: デリバティブと新金融商品の数学、東洋経済新報社 (1995)
- (9) 矢田部 学・小島 智: 確率過程から見た株価、MSS技報、Vol.12、1~7 (1999)
- (10) 狼 嘉彰・松永 三郎・井沢 克彦: 地球低軌道上スペースクラフト内における残留加速度の数値シミュレーションと評価、日本航空宇宙学会誌、42号、251~258 (1994)
- (11) 矢田部 学: 軌道上システム内における残留重力場、MSS技報、Vol.10、1~5 (1997)
- (12) Yatabe, M.: The Lunar Shape Examined by the Residual Gravity Field, J. Geod. Soc. Jpn, Vol.46, 203~222 (2000)
- (13) 矢田部 学: 回転座標系の力学と電磁場のアナロジー、MSS技報、Vol.13、76~79 (2001)
- (14) 丹羽 敏雄: 数学は世界を解明できるか、中公新書 (1999)
- (15) Abraham, R. and Shaw, C.: Dynamics—the Geometry of Behavior, Aerial Press (1982)

#### 執筆者紹介



##### 矢田部 学

1986年入社。つくば事業部で、宇宙開発分野の解析業務に従事。その間、金融工学やバイオ分野の解析も経験する。2004年11月より、鎌倉事業部で防衛分野のモデリング業務に従事。博士（理学）。

# 我が社における生産技術の進化と品質技術の深化

Evolution of manufacturing technique and enhancement of quality in our company

若宮 正男\*

Masao Wakamiya

前身の時代を含め会社設立半世紀という節目を迎え、既刊のMSS技報から見たわが社の生産技術の進化と品質技術の深化について述べる。生産技術の進化については、過去のMSS技報を整理しその技術がどう変遷してきたか、また背景にある基盤技術は何かを整理した。品質技術の深化については、MSS技報20号で「品質への取り組み」としてまとめており、その引用および最近の取り組みについて記した。

The turning points of the half century incorporation procedures including the time of past are greeted, and evolution of the manufacturing technique of our company which saw from the MSS technical report of the previously published book, and enhancement of quality technology are described. As for the base technology where arranged the past MSS technical report and the technology has changed how about evolution of manufacturing technique or which serves as a backdrop, something was arranged.

About enhancement of quality technology, "Approach on Quality" is summarized by the MSS technical report No.20, and it described about quotation and the latest measure.

## 1. まえがき

MSS技報は1989年に創刊され、2010年の発行をもって21号となった。会社設立(1962年)から遅れること27年間のブランクがあるが、その間の生産技術については、現在ほど急速な動きは無いという前提で、創刊号に掲載された論文を起点とし、基盤技術、ソフトウェア開発技術、プロセスの変遷をたどっていく(2.1項)。また、当社のソフトウェア開発を支える生産技術(2.2項)、最近の取り組み(2.3項)を紹介する。

品質技術の深化については、MSS技報20号に「品質への取り組み」<sup>①</sup>としてまとめており、その引用を中心に品質システムへの取り組み(3.1項)、品質基盤システムの構築(3.2項)、最近の取り組み(3.3項)を紹介する。

## 2. 生産技術の進化

### 2.1 MSS技報から見る技術の変遷

MSS技報は前号の21号までで164編の論文を掲載してきた。これらの論文よりその技術がどう変遷してきたか、基盤技術、ソフトウェア開発技術、ソフトウェア開発プロセス中心にまとめた。尚、これらの整理結果は当

社が関わっている技術の一端であり、必ずしも全てではないことに留意されたい。

### 【基盤技術】

基盤技術を語る前に、もっと基本的な話をする。MSS技報創刊の1989年は手書きの原稿であった。その後、パソコンの普及でワープロが当然ようになった。また、コミュニケーション手段についても、私が入社(1986年)した頃は、電話か直接出向いて会議形式であった。1980年代後半から電話回線によるパソコン通信サービスが普及し、1990年代にはインターネットの普及にあわせて、MSSでも電子メールが一般化してきた。最近では、2009年頃にPC画面の共有が可能な社内TV会議システムを導入し、複数拠点に渡る会議で用いることが多くなっている。

さて、基盤技術について、過去のMSS技報をたどっていくと、ほぼ次の3つのキーワードに集約される。

- ・シミュレーション技術
- ・数理解析技術
- ・ソフトウェア開発技術

これに、事業分野の技術(いわゆるドメイン技術)が加わって、当社の生産活動を支えている。図1に宇宙・

航空分野の業務に従事している部門の基盤技術及び関連技術を示す。これらを見ると基盤技術の上に航法・誘導、軌道力学、画像処理、熱・構造・制御等の知識・経験を加えて成り立っていることがわかる。当社は官公庁、独立行政法人、財団法人、大学、企業を主要取引先としている。即ち、独自技術をベースにした製品開発というより、主要取引先と一体となって開発することにより技術習得していった。図1に示した関連技術についても、主要取引先を広げる中で徐々に拡大していったものである。

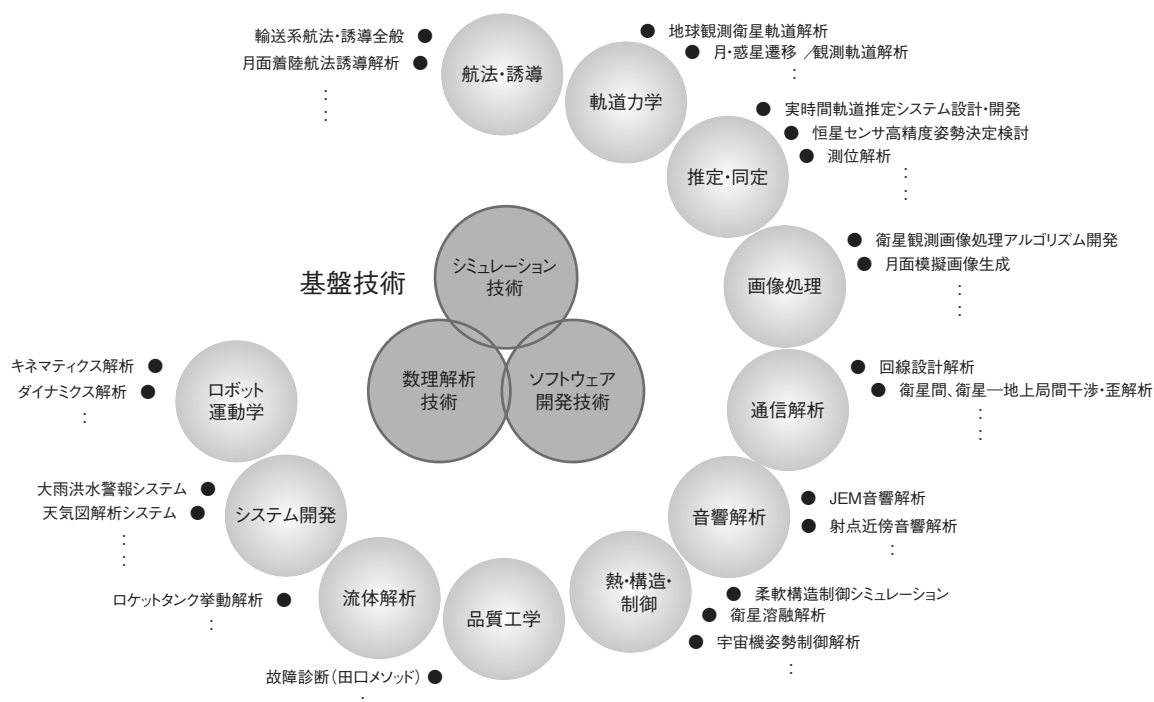


図1 基盤技術及び関連技術（宇宙・航空分野の業務に従事している部門の例）

## 【ソフトウェア開発技術】

表1にソフトウェア開発技術に関わる論文を抽出した結果を示す。全8編で全体の約5%と多くはなく、さらに14号（2002年度）で漸く記事として掲載されている。このうち、50%が開発環境、フレームワーク、開発言語関連、残り50%はプロジェクト管理となっている。

## 【ソフトウェア開発プロセス】

1990年代までのソフトウェア開発は、システム検討を行い、それに基づいて設計し、コーディングし、試験

表1 ソフトウェア開発技術に関わる過去のMSS技報掲載論文

| 掲載号 | 発行年月    | 論文タイトル                          | 要旨（キーワード）                                                                                                 |
|-----|---------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14号 | 2002/12 | インテリジェントWebサービスの標準化に向けて         | ・インテリジェントWebサービス<br>・次世代Web構築処理言語MASKと実行環境ATOMS<br>・オブジェクト間通信連携プロトコルSOAP（Simple Object Access Protocol）   |
| 15号 | 2004/3  | ソフトウェア見積技術ファンクションポイント法の動向       | ・FP法（ファンクションポイント法）<br>・ソフトウェア見積技術                                                                         |
| 17号 | 2006/7  | 生産性向上ツールを有効活用したチーム開発事例の紹介       | ・生産性向上ツール、情報共有、チーム開発スキル<br>・EA（Enterprise Architect）、Eclips、CVS、PukiWiki                                  |
| 17号 | 2006/7  | EVM（Earned Value Management）の基礎 | ・プロジェクトマネジメント<br>・獲得価値マネジメント<br>・進捗管理                                                                     |
| 18号 | 2007/3  | Sambaを利用した開発環境構築の事例             | ・Samba、Subversion<br>・ソース、ドキュメント管理                                                                        |
| 19号 | 2008/3  | プロジェクトファシリテーションの紹介～身近なプロセス改善～   | ・プロジェクトマネジメント<br>・プロジェクト・ファシリテーション<br>・見える化、変化への対応、プロセス改善<br>・バーンダウンチャート、ソフトウェアかんばん、KPT（Keep/Problem/Try） |
| 19号 | 2008/3  | 工程管理手法CCPMの適用事例紹介               | ・工程管理、CCPM（Critical Chain Project Management）<br>・TOC（Theory of Constraints：制約条件の理論）                      |
| 20号 | 2009/10 | 開発言語の変遷（アセンブラからJavaまで）          | ・開発言語（アセンブラ、高級言語（Fortran、COBOL、C、Ada、C++、Java））<br>・統合開発環境                                                |

し、不具合があれば解消するという流れであった。すなわち要求されたものを納期（D）までに納めることが主であった。勿論、この開発の流れは今日も変わらないが、近年はソフトウェアが大規模化、短工期化してきており、それとともにバランスを取ったQCD（Q-品質/C-コスト/D-納期）達成が必須となってきた。従って、バランスを取ったQCD達成に向けて、開発管理すなわちプロジェクトマネジメントに焦点が当たっている。

さて、当社における仕事の進め方に関する規定がどのように変遷してきたかは、MSS技報20号「品質への取り組み」でまとめており、一部再掲する。

#### (1) MSS開発標準

MSSにおける仕事の進め方を示した規定としては、1979年3月に「MSS開発標準（MSSにおける仕事のやり方）」が初めて制定された。

#### (2) 技術標準

1985年3月に「技術標準作成要領」が制定され、以後、当社における仕事のやり方は「技術標準」を制定して進めることになった。本社で制定する標準を「技術（社）標準」、事業所で制定する標準を「技術（所）標準」ということでスタートした。

#### (3) プロジェクト管理ハンドブック

1993年4月に「プロジェクト管理ハンドブック」として「システム開発作業標準」が本社から発行された。全ライフサイクルの作業工程、作成文書、審査、プロジェクト管理について折畳式（蛇腹式）の1枚の紙に記述されたもので、この内容は現在でも通用するものである。

#### (4) SW-CMM

3.1項のCMMI対応規定に示す。

#### (5) iCoPS (Information and Communication systems Process Standard)

情報システム開発プロジェクト向け電シ本共通の標準プロセス。特徴としては、以下のものがあげられる。当社では2006年4月より技術（社）標準として登録し、全社共通の標準に位置付けている。

- ①PMBOKやSLCPなどの国際標準に準拠
- ②上流プロセスに着目して、留意事項を明記し組織的な支援/監査プロセスを設定
- ③QCD+R（Risk）に関する定量的管理を実装する基盤を提供
- ④各組織でのベストプラクティスを厳選して要覧化。

## 2.2 MSSのソフトウェア開発を支える生産技術

2.1項でMSS技報から抽出した基盤技術を紹介したが、この中でもキーとなるのはシミュレーション技術であ

る。ハードウェア製品開発を主としていない当社にとって、シミュレーション技術は設計結果の妥当性を検証するための重要な手段である。ただ、ここで言うシミュレーション技術とは、単純にダイナミクスモデルを構築して時間積分を行うというものではない。例えば深宇宙の解析では様々な惑星のエフェメリスや重力場のデータを適切に用いてシミュレーションを行わなければならない。また、溶融解析では構造物を部品に分解して材質や形状特性にあわせたモデル化、配置等を考慮してシミュレーションを行わなければならない。即ち、数学、物理の知識やドメインの知識を持ったシステムエンジニアリングの基礎があってこそ可能となる。

一方で、ソフトウェアの開発技術も重要である。ソフトウェアの大規模化、短工期化に対応するためにも、生産性向上ツールを有効活用することが増えてきている。統合開発環境、フレームワークを活用したソフトウェア開発実績は表1に論文が掲載されるよりもっと以前からあるが、多くは図2に示すように、生産性向上ツールを開発ライフサイクルに適用したものである。

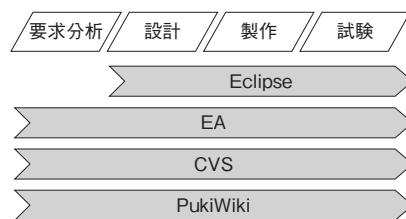


図2 開発ライフサイクルと生産性向上ツールの対応例 <sup>(3)</sup> <sup>(注1)</sup>

(注1) 【Eclipse】統合開発環境、【EA】Enterprise Architect、UMLモデリングツール、【CVS】バージョン管理システム、【PukiWiki】Wiki（WikiWikiWeb）クロンの一つ

## 2.3 最近の取り組み

図3にプロセス改善および品質システムロードマップを示す。このうち、生産技術を進化させる現在の取り組みとして、プロセス改善に関わる2件（組織ベースの対応、個人/チームベースの対応）について紹介する。

#### (1) Automotive-SPICE（組織ベースの対応）

欧州の車載メーカーがSPICEをベースに定めたソフトウェアプロセスモデル。ソフトウェア開発に関する要件がより具体化されており、当社改善のガイドと成り得ること、取引先の要望対応などで、2008年度より取り組み始め、2011年2月にレベル3を達成した。

#### (2) PSP/TSP <sup>(注2)</sup> の社内展開（個人/チームベースの対応）

PSPは、CMMI <sup>(注3)</sup> を開発した、米国カーネギーメロン大学のSEI <sup>(注4)</sup> が新たに開発した手法で、各技術者が自身の生産性や品質を自ら認識し、それぞれが改善を行

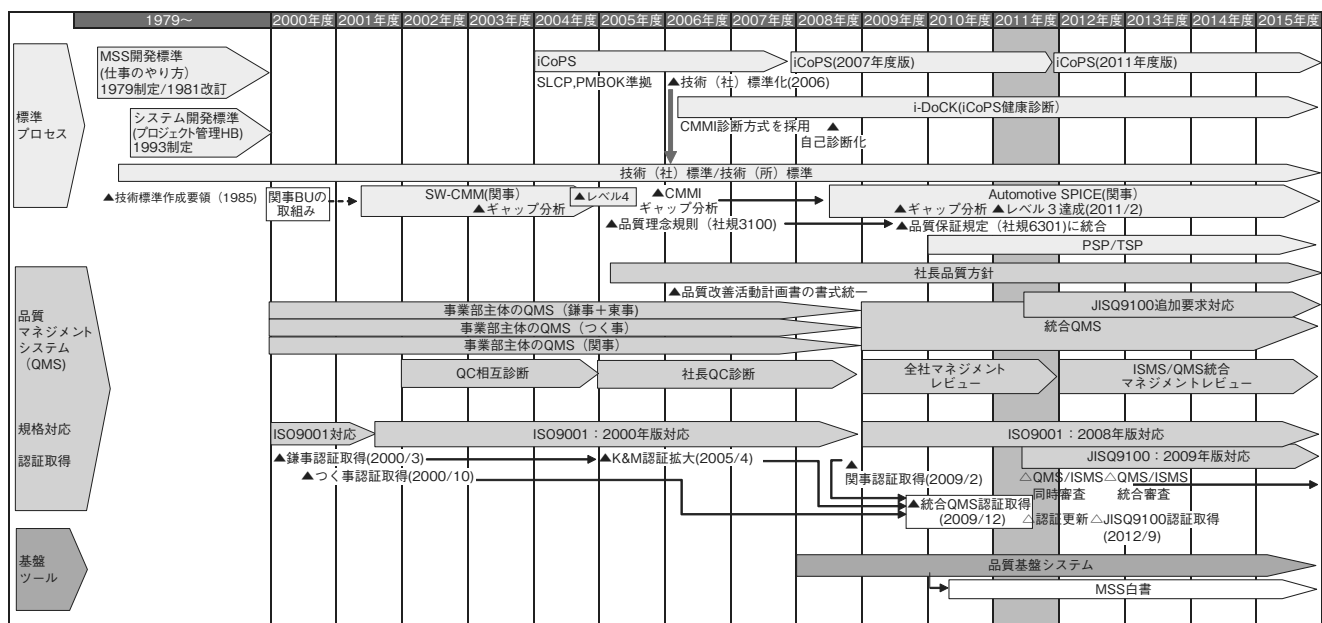


図3 プロセス改善および品質システムロードマップ

うプロセスを提供する。約2週間のトレーニングにより、自らの課題を発見・改善し、世界基準での一流ソフトウェア技術者に「変身」することを目指している。TSPは、PSPエンジニアおよびTSPメンバトレーニングを受けたメンバで構成され、自律的にチームを運営するプロセスを提供する。

当社は2010年度より全社導入に向けて本格的に取り組み始めており、国内での早期導入グループに入っている。

- (注2) 【PSP】 Personal Software Process、【TSP】 Team Software Process  
 (注3) 【CMMI】 Capability Maturity Model Integration (能力成熟度モデル統合)  
 (注4) 【SEI】 Software Engineering Institute (ソフトウェアエンジニアリング研究所)

### 3. 品質技術の深化

#### 3.1 品質システムへの取り組み

既刊のMSS技報で「品質への取り組み」をまとめており、一部再掲する。

##### (1) ISO9001 品質システム

1995年頃からグローバルスタンダードとしてのISO9001に基づく仕事のやり方がEU(ヨーロッパ)を中心に広まり、2000年に鎌倉事業部及びつくば事業部は認証を取得した(1994年版のISO9001)。ISO9001は「品質マニュアル」をトップレベルの文書とする「品質システム」文書体系を要求しており、鎌倉事業部とつくば事業部は技術(所)標準からISO9001要求に基づく事業部別「品質システム」に移行した。

##### (2) CMMI対応規定

ISO9001の対応とは別に、関西事業部は米CMU/SEI(カーネギーメロン大学ソフトウェア工学研究所)がまとめたCMMIに対応した規定の整備を2001年度から開始した。途中若干の紆余曲折はあったが、鎌倉事業部QMSをベースとしてCMMIに必要な部分を追加する形で規定を整備し、2005年2月にはSEIよりSW-CMMレベル4の認定書を得ている。なお、関西事業部はQMS全社統合に向けて、ISO9001の認証も2009年2月に取得している。

#### 3.2 品質基盤システムの構築

品質基盤システムの構築について少し詳しく述べる。

##### (1) 背景

当社のQMSは2000年度以来各事業部がそれぞれで認証を取得していたが、「経営改善の効率化」、「品質改善の効率化」、「プロセス資産の蓄積」他を目的に、2009年度に統合を達成した。次のステップとしては、効率化に向けた課題に取り組んでおり、品質・生産性指標の収集・評価のための統一した仕組み作り即ち、品質基盤システムの構築もその一つである。

##### (2) 課題

(1)背景に示した課題のうち、品質・生産性指標のための収集・評価の統一した仕組みについて、現状は、システム/ソフトウェアのライフサイクルにおける品質・生産性にかかわるメトリクスの収集については、各事業部でまちまちであった。また、各事業部においては、品質、生産性データは現場技術部門で個々のプロジェクト

が記録、収集していた。このような状況において、具体的には以下の課題があった。

- ①会社単体としての品質能力、生産性を客観的に確認したり、事業部横通しでのデータを比較したりすることが困難である。
- ②部門ごと、あるいはビジネスユニットごとに全体を俯瞰して確認することが難しく、さらにプロセス改善推進部門（EPG）や品質保証部門（QA）、品質管理部門（QC）からも確認しにくい状態である。

### (3) 内容

#### 1) 品質に関わる全社基盤システムの構築

このような状況を改善するため、全社で収集する情報を統一し、かつその情報を一元管理するために、基盤システムを構築した。基盤システムの目的をまとめると以下の通りである。

- ①プロジェクトマネージャ/リーダーへの支援
  - ・プロジェクトの立ち上げ、管理計画策定の際、類似プロジェクトの情報を閲覧でき、プロジェクト管理計画の精度向上を支援する
  - ・プロジェクト完了時に、プロジェクト完了報告書の作成を支援する
- ②部門管理者への支援
  - ・プロジェクトの状況を把握し、問題の把握、リソースの再配置などの対応策立案を支援する
- ③プロセス改善推進部門（EPG）、品質保証部門（QA）、品質管理部門（QC）への支援
  - ・現在実施中の個々のプロジェクトのQCDRを確認し、プロジェクトの見通しに係わる支援を行う
- ④コーポレートへの支援
  - ・事業全体をさまざまな角度（部門別、業態別など）からS/W生産力の分析、全社事業計画の構築を支援する。

#### 2) 全社基盤システムの活用事例

この全社基盤システムの構築により、全社において、統一された品質、生産性データが収集できるようになり、品質、生産性データの「見える化」が大きく前進することとなった。品質、生産性データの「見える化」に係わる事例としては以下のようなものがある。

- ①品質、生産性データを収集、分析し、当社全体としての品質、生産性の情報を確認できるようになった。この情報は、2010年度より「白書」として会社経営層に提示することができるようになった。（表2参照）

表2 品質基盤システムで収集したデータの分析例

| 分析内容                              | 図表                   |
|-----------------------------------|----------------------|
| 総プログラムライン数（実績）                    | ヒストグラム<br>基本統計量      |
| 総工数（実績）                           |                      |
| 出荷後不具合数                           |                      |
| 全検出不具合数                           |                      |
| 上流工程検出不具合数                        |                      |
| 工期（実績）                            | 散布図<br>箱ひげ図<br>基本統計量 |
| 総プログラムライン数（実績） vs 出荷後不具合数         |                      |
| 総プログラムライン数（実績） vs 出荷後残存誤り密度（件/KL） |                      |
| 上流工程累積誤り検出率の分布                    | ヒストグラム<br>基本統計量      |
| 完全流用率 vs 上流工程累積誤り検出率              | 散布図                  |

- ②現場部門においては、基盤システムのデータを分析し、各部門の品質、生産性を容易に把握することができるようになり、部門、あるいはプロジェクトの品質、生産性にかかわる指標の設定や、品質計画に活用できるようになった。

#### (4) 効果

この基盤システムの活用により、品質、生産性データの「見える化」が進み、プロジェクトから経営層までが同じデータを見てそれぞれの作業を進めることが出来るようになった。

### 3.3 最近の取り組み

図3のロードマップに示したように、品質システムの更なる深化を目指して、2件の取り組みを行っている。

#### (1) QMSの高度化

JISQ9100追加要求への対応を進めており、2012年度認証取得を目指している。

#### (2) QMS&ISMS統合化

課題として、複数のマネジメントシステムが存在しており、マネジメントシステムを維持・改善していくためには、内部監査、外部審査等、多くの労力を要する。これらを解決するために、マネジメント要求事項の共通部分の統合化を図り、さらに内部監査、外部認証の一元化につなげる。（図4参照）

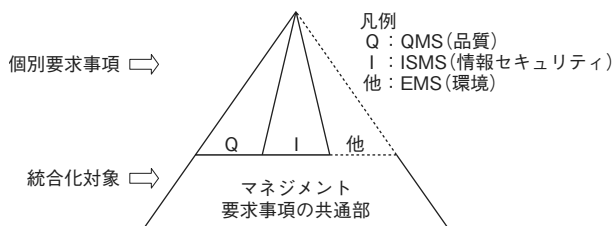


図4 統合化対象

#### 4. むすび

MSS技報の創刊号から技術をキーワードとして整理しながら、本稿を執筆した。キーワードを整理して思ったことは、ソフトウェア開発技術で重要なポイントは昔も今も大きくは変わっていないということである。

一例を挙げる。以下はシステム工学について、1990年発行のMSS技報より抜粋したものである。<sup>(2)</sup>

システム工学と云えばシステム解析のためのツールである数学理論の体系のように思う人が多いがそれは本質には程遠い。少し、乱暴かも知れないが次のような事柄のほうが本質的概念をよく表していると言える。

- (1) 目的優先主義である。(上位システムをよく知る)
- (2) 全体システムの中での位置づけを知る。(他との機能的、物理的インタフェースを知る)
- (3) システムの運用、使われ方を考える。
- (4) 何かを行うに当たっては、必ず計画を立て、それに準拠して実行する。計画段階に、全ての要素を洗いだし、全体を通じて矛盾の少ないシナリオを作成する。
- (5) 初めからは100点を狙わず、暫定案で開始し、一二回の繰り返しによって精度を得る。
- (6) 使えるデータや理論を有効に活用する。シミュレーションを多用する。
- (7) 初めに出来栄の評価方法を考える。
- (8) 極力、物事を定量的に評価し、決断する。
- (9) 性能、費用、時間、リスク等多次元に亘る事柄について常に最適のバランスを考える。

上記9つの項目には、運用を含めシステムを理解した上での設計および妥当性評価の重要性、計画や定量的把握、QCD+Rを含めプロジェクトを適切に管理すること他、ソフトウェア開発で重要なすべての要素が含まれている。即ち、これらを実現するための手法は発展してきたが、本質は変わっていない。

さらに付け加えるなら、生産技術(品質含む)は当社の重要なコアコンピタンスのひとつであり、これは過去からの学習と繰り返し繰り返しの改善が必要になる。そのベースとなる技術を維持するためにも過去の資産を管理し、常にそれを出せるようにしておくことが大切である。当社も近年のソフトウェア市場への対応で抜本的生産性向上を掲げているが、ミクロで見るとその一步は現在の技術の延長線にある小さな進歩でしかない。すなわち、過去を振り返り未来を予測することを愚直に繰り返すことが、先(将来)を見据えた技術の進化に繋がる。

発想のベースは目にすることから始まる。まったく形の無いところ(無)から何か(有)を創り出すことは出来ない。種(シード)は必ずある。過去の資産を蓄積し、それを有効活用することが本来の意味においてコアコンピタンスな技術を獲得することになる。

#### 参考文献

- (1) MSS技報20号論文(品質への取り組み)
- (2) MSS技報3号論文(技術者育成について)
- (3) MSS技報17号論文(生産性向上ツールを有効活用したチーム開発事例の紹介)

#### 執筆者紹介

若宮 正男

1986年入社。技術部門配属、主として将来宇宙機の搭載ソフトウェア開発・飛行解析業務に従事。2007年より、スタッフ部門(現技術統括部)に異動、全社の品質・生産性等に携わる活動を推進。

# 当社の知財の進化・深化

Strategic advancement of our Intellectual Property

人見 清和\*

Kiyokazu Hitomi

当社の前身である三菱TRW社の時代には、米国TRW社との技術提携により、知財の確保が図られていたが、その後、三菱スペース・ソフトウェア(株)として独自の企業として発展する過程においては、設立から暫くの間は事業態様に合せて、特に知財への積極的な取り組みは見られなかった。その後に我国のプロパテント政策への転換と世界的な知財の情勢の変化に合わせ、当社においても知財への取り組みとその強化が必要となってきた。ここでは、技術の発展と情勢の変化に伴い、当社の知財に関する状況、取り組みが変遷してきた様相について整理し、報告する。

The Mitsubishi TRW, the former company, had kept intellectual property by technical cooperation. After independently establishment as the Mitsubishi Space Software co., Ltd., we have not developed more intellectual property. Depending upon Japanese pro-patent strategy and movement of circumstances around intellectual property in the World, we need any activity and reinforcement of intellectual property. We describe statement and activity to intellectual property around movement of advancement and circumstances of technology in this report.

## 1. まえがき

当社の知財への取り組みは、事業態様と事業環境の変遷に伴って進展してきた。

すなわち、会社の創成期においては、当社も含め、一般にソフトウェア企業の特質から、知財、特に特許に関する積極的な取り組みは見られなかったが、ビジネスモデル特許が注目を集め始めた2000年前後から、ソフトウェア企業においても知財の重要性が認識され始め、この時期が知財への取り組みの出発点と言っても過言ではない。当社もこの流れに乗るように、知財の強化に取り組むようになり、現在に至っている。

## 2. 知財冬の時代

当社は、三菱TRW社からの技術提携を終えた後、三菱スペース・ソフトウェア株式会社として独自の企業として進展してきたが、暫くは当社独自の知財の蓄積は見られなかった。他社との共同、あるいは、他社の特許出願に当社員が発明者として参加する形で知財に参加するという形態はとられたものの、当社独自の知財権の確保に対する意識、あるいは必要性はそれほど強くはなく、当社独自の特許権の確保が図られることはなかった。

ソフトウェアの特許については、従来は媒体特許とし

て認められるのみであり、ソフトウェアはハードウェアの補助的な意味合いでしか特許は認められないということが主流であった。このことも、当社を含め、ソフトウェアを主とする企業において知財、特に特許権の確保がそれほど盛んではないことの大きな原因とすることができ

る。言うなれば、いわゆるソフトウェア関連発明が特許として日の目を見るようになったのは、ここ10数年の間であり、それまでは、一般にソフトウェア企業においては、特許に対する目立った取り組みが見られなかったのが実情である。

その後のビジネスモデル特許の高まりに沿った知財情勢の変化が見られる頃までは、当社にとっては知財冬の時代とも言える時期である。

## 3. 知財を取り巻く情勢の変遷と取り組み

### 3.1 知財力強化への転換

ソフトウェアがハードウェアの付録的な位置付けから、ソフトウェアそのものとして独自の立場を持ち、ソフトウェア単独で流通するようになってくると、知財としての扱いも変化してきた。従来の媒体特許から、ハードウェアに組み込まれた形での装置の一部としての位置付けを持つようになった。それに伴い、わが国の特許制度の

中でも、ソフトウェアについても独自の特許権を認める動きが高まった。この流れに合わせるかのように、米国を中心にビジネスモデル特許が隆盛を見せるようになり、わが国でもビジネスモデル特許が増加するようになる。

当社もそれにもれず、ちょうど外販事業も芽を出し始めたことから、ビジネスモデル特許及びソフトウェア特許の要請が出てきた。そうした情勢の変化と事業ニーズに対応するため、知財力の強化が必要となってきた。ビジネスモデル特許がわが国でも盛んになった1999年から2002年にかけては、当社の知財力強化の出発点とすることができる。

### 3.2 知的創造サイクルの実現

知財活動を進める上で基本となるものとして、知的創造サイクルがある。すなわち、ただ単に知財の確保だけでは本来の知財制度の趣旨・目的を達成することはできないため、その実現のために、2006年に特許庁が示したものが知的創造サイクルである。

知的創造サイクルとは、創造→権利化→活用 の連携を循環させることであり、このサイクルが循環することで、知財の保護と活用を図り、産業の発達に寄与することができる。(図1)

創造とは、発明等の知的創作である知的財産を創造することであり、次にこれを権利化することで知財の効果的な保護に資するものである。権利化することで保護された知財は、眠らせたままでは、知財制度の目的たる産業の発達には貢献しない。そこで、権利化した知財を活用することで産業の発達を促し、更に次の創造につなげることで、知的創造サイクルが効果的に循環することになる。

当社にとっては、この知的創造サイクルを循環させることは事業発展も含めてまさに理想ではあるが、この当社が知財に取り組み始めた当初においては、当社として

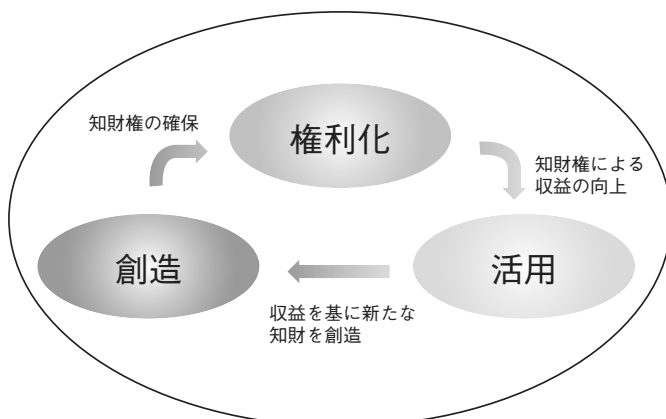


図1 知的創造サイクル

持つべき知財がまだ十分ではなく、まずは、知財の数の確保から始めなければならなかったことが現実である。

その実現と知財活動を推進する目的から、当社においては、2001年に、技術管理部が知財の取扱い部門として指定され、当社の知財方針として、年間の特許出願件数を20件と設定し、これを向こう10年は確保していくこととした。この方針に沿って、その後に示された知的創造サイクルの効果的循環を目指して、知財の数の確保に重点をおいて取り組んできた。

## 4. 知財の実績

2001年に年間20件の特許出願目標を10年続けることとしたことには、それによる特許権の継続的確保を狙う目的があることは言うまでもない。

特許出願のうち、特許査定がされる率を約50%と仮定すれば、10年間の累計で200件の特許出願と100件の特許権の確保が図られると考えられる。この頃は、統計的に、拒絶理由通知が送達される率が80%で、そのうちで特許査定される率が80%と言われ、これにより、特許査定がされる率は出願全体の約60%と言われていた。当社はまだ特許出願に対しての経験も浅いことから、それよりも低めの50%に特許査定の率を想定していた。

実際には、特許査定がされるまでには、出願審査の請求の期間(3年)と出願審査の期間(傾向として約2年)を加味して、約5年のタイムラグが発生すると予想されることから、2001年から2011年の10年間では更に半分の50件の特許権の確保が見込まれることになる。

### 4.1 特許出願、保有特許の推移

このような目標設定と見込に基づき、特許出願と権利化を進めてきた結果であるが、2011年末時点で、特許出願の累計は238件、特許権は52件となり、ほぼ見込どおりの創造と権利化を実現できたことになる。

図2に特許出願数・特許権保有数の推移を示す。

### 4.2 分類

当社の事業分野別に特許権と特許出願の割合をまとめたものが、図3である。

外円が特許出願、内円が特許権の割合を示す。

当社の基幹事業の一つである宇宙・航空分野においては、当初から知財強化に取り組んできたことから、特許出願、特許権ともに大きな割合を占める。次に割合として多いのがASP・製品分野であるが、当該分野自体が比較的新しいこともあり、特許出願が多い割には、まだ特許権として成立しているものがそれほど多くはないのが実情である。

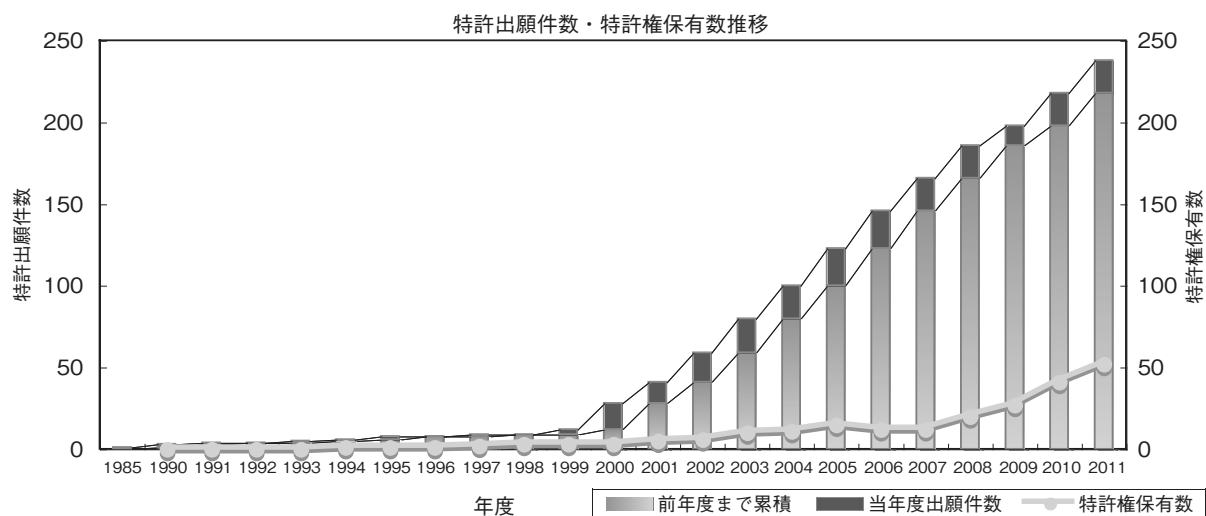


図2 特許出願件数推移

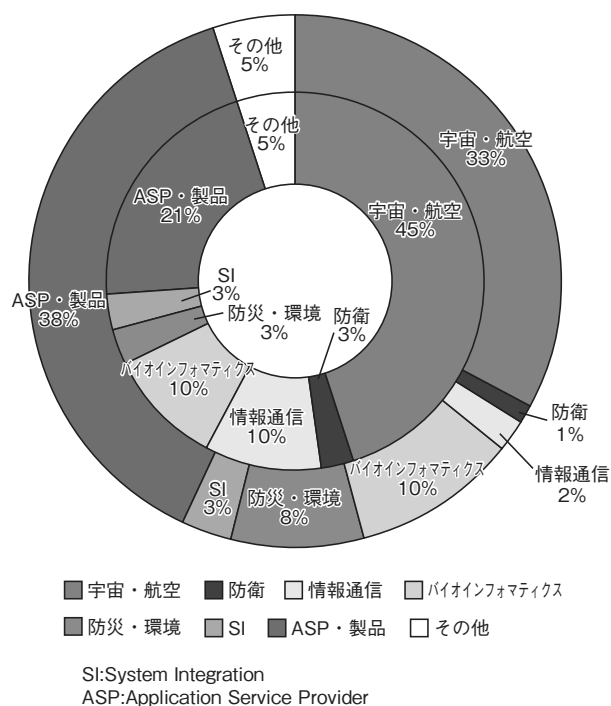


図3 事業分野別特許権・特許出願の割合

## 5. 当社の知財の向かうところ

### 5.1 事業、開発、知財の三位一体での知財活動

企業としては、知財なくして事業の発展はなく、また、知財なくしては技術の発展はない。

当社はこの2つの理念に基づき、知財の促進を図ってきた。

更に、知財の理念に立ち返ると、特許制度が、発明の保護と利用の調和により産業の発展に寄与することを目的とすることから、知財活動も、産業の発展に貢献することで、真の意義を発揮することができる。そのために

は、知財が開発と事業につながることで、初めて、産業の発展に貢献し得ると言うことができる。

また、開発と事業の中から知財が生まれ、知財が事業と開発につながることで、知財の創出と企業活動への貢献ができる。

こうした視点から、2010年度から、当社の知財活動の最大の柱を、「事業、開発、知財の三位一体での知財活動」とすることで、集中的かつ網羅的な知財の構築を図ることとした。すなわち、開発に際して知財を創出し、事業に貢献し得る知財を確保し、当社の知財活動の要とすることとした。(図4)

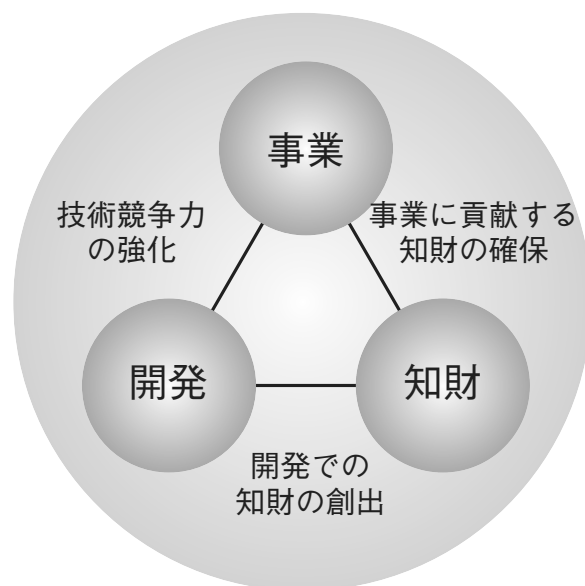


図4 事業、開発、知財の三位一体での知財活動

当社に限らず、企業としては、知財活動が経営戦略と事業活動の一部となることで、収益性と企業価値を高めるように、事業、研究開発及び知財を三位一体として構

築することが理想である。

更に、企業のグローバル化に伴い、企業競争力の優位性の確保と企業価値の向上のために、技術経営（MOT：Management of Technology）の一環として、事業、研究開発及び知財が一体となって推進されることが必要となる。また、企業の知財活動は、知財の創出と権利化だけではなく、研究開発の構想段階から事業化の段階でも、知財の創造・権利化・活用の知的創造サイクルを循環させ、知財が経営戦略の一部となり、事業及び研究開発と一体となって活動することで、守りの知財と、その先にある攻めの知財へ発展して、企業競争力を強化することになる。

## 5.2 当社の知財活動

ソフトウェア企業としての当社においても、経営、事業、技術における競争力を確保しなければならないことは言うまでもなく、事業、開発に知財が加わることは重要な意味を持つ。

その意味でも、技術を標榜する当社にとっては、事業、開発、知財の三位一体での知財活動は必要不可欠なものである。

## 6. むすび

以上のように、当社の創成期から、時代の変化に応じた知財活動の変遷についてまとめた。

現代の技術は、知財の保護と利用によって大きく進歩し、企業活動、事業も知財によって大きく発展してきた。技術に生きる当社の事業においては、同様に知財の確保と利用がなくしては、その発展はないものということができる。

当社は引き続き、知財の確保とその活用に重点を置いて、知財活動を行っていくことに変わりはない。

### 執筆者紹介



人見 清和

1988年入社。システム部門配属の後、1995年より技術管理部（現技術統括部）。主に、知財管理を含む技術管理業務に携わり、現在に至る。

# 総 括



技術統括部長

宮田 裕行

## 「科学技術分野におけるソフトウェア技術の進化・深化」

本書をまとめるにあたり、当社で培ってきた科学技術分野の中で、その基盤となるソフトウェア技術について考察する。

技術開発の流れから見ると、創生期のソフトウェアは、ハードウェアの柔軟性を増すための制御からその開発が始まり、その後、ベースとなるハードウェアとして汎用計算機が台頭することにより、ソフトウェアとしての地位が確立してきた。その流れにおいて、当社は、三菱電機グループの一員として、創設当初から国家を支える代表的な企業としての役割を担い、国家戦略である防衛/宇宙システムの開発に携わってきており、そのソフトウェア開発の第一人者として、その使命を果たしてきた。

そもそも、ソフトウェア技術の本質とは、ある目的のために、決められた手順で手続きを実行するためのものであり、正しく、所望の性能で動作する手続きこそがソフトウェアの実態である。ベースとなるハードウェアや周囲に位置する機器と絶妙な連携を取り、任務を実行することでその評価が決まる。とりわけ、防衛/宇宙という失敗の許されない分野において、この過酷な任務を遂行することは容易なことではなく、この手続きを正しく築き上げるために、様々な基盤技術が必要となる。すなわち、その手続きが正しく動作するかどうかを検証するためのシミュレーション技術、数理的に解明するための解

析技術、その手続きを効率良く、正しく作り上げるための生産性技術等である。

過去のMSS技報に掲載された論文を概観すると、当社におけるソフトウェア技術が、まずは、防衛/宇宙をターゲットとしたシステムドメイン技術とこれらを支える上記の基盤技術、それらの技術の融合、そして、他のドメインに横展開した技術として成長、発展してきたことが分かる。

今回、取り上げた各論文も、同様に巻頭言の(1)～(3)に分類すると、下記となり、

- (1)は、ロケットの軌道解析/制御技術、M&S技術、生産技術、特許技術、
- (2)は、防衛技術と宇宙利用を融合した合成開口レーダ技術、
- (3)は、これら防衛/宇宙の技術を利用したゲノム技術、地震防災、無線回線技術、

この流れに沿って進化・深化してきたものである。これらの技術が、今後のMSSを根本から支える代表的な基幹技術と言っても過言ではない。

最後に、今回のMSS技報を出版するにあたり、業務多忙の中、快く引き受けて頂いた執筆者の皆様、丁寧に査読をして頂いたレビューワーカーの皆様始め、関係各位に心から感謝を申し上げますと共に、ますます進化・深化するMSSの科学技術に対し、更なる貢献を期待します。

## 三菱スペース・ソフトウェア株式会社

|        |                                                                                                                       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 本 社    | 〒105-6132 東京都港区浜松町二丁目4番1号 世界貿易センタービル32階<br>TEL (03) 3435-4726(代) FAX (03) 3435-4740                                   |
| つくば事業部 | 〒305-0032 茨城県つくば市竹園一丁目6番1号 つくば三井ビル14階<br>TEL (029) 856-0131(代) FAX (029) 858-0848                                     |
| 鎌倉事業部  | 〒247-0065 神奈川県鎌倉市上町屋792番地 MSS 富士塚ビル<br>〒247-0065 神奈川県鎌倉市上町屋228番地 大船三機第二ビル<br>TEL (0467) 47-6700(代) FAX (0467) 46-6588 |
| 関西事業部  | 〒661-0001 兵庫県尼崎市塚口本町五丁目4番36号 富士テクノスクエア<br>TEL (06) 4961-8800(代) FAX (06) 4961-8830                                    |

### MSS 技報 vol. 22

|       |                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------|
| 発行日   | 2012年3月30日                                                 |
| 発行責任者 | 宮田裕行                                                       |
| 編集人   | 鷲尾十郎 人見清和 阿部純子                                             |
| 発行所   | 東京都港区浜松町二丁目4番1号<br>三菱スペース・ソフトウェア株式会社<br>Tel. (03)3435-4722 |
| 編集    | 三菱電機エンジニアリング株式会社                                           |
| 印刷所   | 株式会社三菱電機ドキュメンテクス<br>(無断転載を禁ず)                              |

U R L <http://www.mss.co.jp>

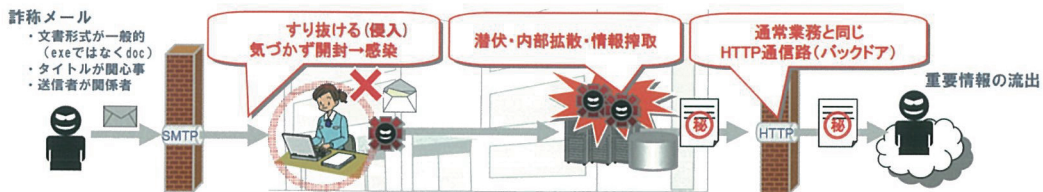
# 侵入、潜伏の 早期発見

キャプチャー型ネットワーク警報システム

標的型サイバー攻撃は、従来のスパムフィルタ、ウィルス対策ソフトウェアでは防御できません

## 標的型サイバー攻撃とは

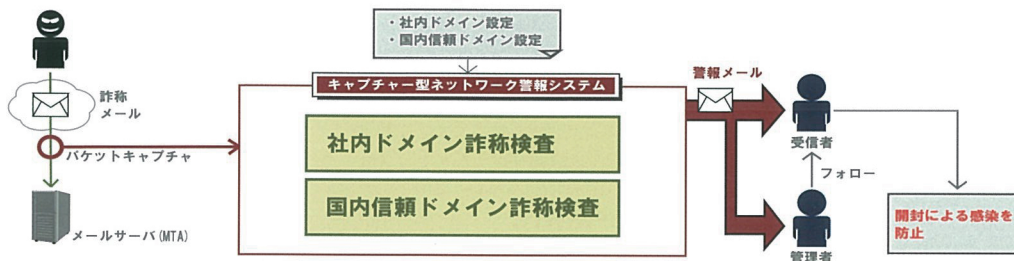
標的型サイバー攻撃とは、重要情報の不正な取得を目的として特定の企業や組織に対して行われるサイバー攻撃です。震災に乗じたタイトルや関係者を装った詐欺メールを起点に不正に情報を搾取する手段(ソーシャルエンジニアリング)の利用により近年手口が巧妙化しております。このような攻撃に対しては、従来のスパムフィルタやウィルス対策ソフトウェア等では防御することが困難であり、侵入、潜伏の早期段階において、疑わしきメールや通信を発見することが重要です。



## 侵入の早期発見



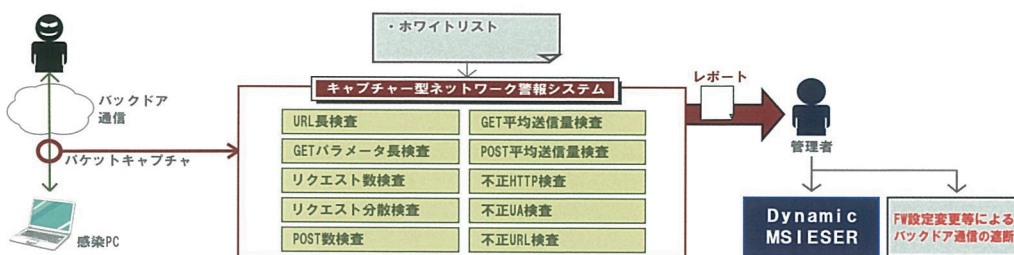
本製品は、侵入の早期発見のためにメールを構成するパケットの内容を検査し、詐欺メールの可能性がある場合に、受信者および管理者宛てに注意喚起のメールを通知します。本製品は、詐欺メールの侵入経路となるメールサーバ(MTA)の前段に設置します。



## 潜伏の早期発見



本製品は、潜伏の早期発見のために通信を構成するパケットの内容を検査し、判定基準に一致したホストについてレポート(CSV)を出力します。管理者はレポートを確認の上、疑わしき通信について調査(\*)・遮断を行います。本製品は、バックドア感染PCの通信経路に設置します(上記と共用可)。



\* 疑わしき通信の調査には、ネットワークフォレンジック製品「DynamicMSIESER」をご利用いただけます。



 **三菱スペース・ソフトウェア株式会社**