

分散シミュレーション統合技術を適用した 水害危機管理行動支援システムに関する一考察

A STUDY OF THE FLOOD EMERGENCY MANAGEMENT ACTION SUPPORT SYSTEM WHICH APPLIES DISTRIBUTED SIMULATION INTEGRATION TECHNOLOGY

飯田進史¹・五十嵐孝浩²・高木茂知¹

Shinji IIDA, Takahiro IGARASHI and Shigenori TAKAKI

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 水工技術本部 河川部 (〒163-0730 新宿区西新宿 2-7-1)

²正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 水工技術本部 流域情報部 (〒163-0730 新宿区西新宿 2-7-1)

A disaster prediction simulator that supports emergency management actions for flood events has been required, but many of current simulation models perform analyses under a single condition and are not considered cooperative applications during emergency disasters. This study examined achievement of real-time flood prediction simulation by HLA method, which is IEEE standard, as a prototype. It was confirmed that this is highly expandable simulation integration and operation technology. This is effective to the emergency management action support during flood events that related organizations cooperate, because this HLA method simulation can be cooperated with simulations of other fields that are made by the same method.

Key Words : High Level Architecture, distributed simulation, decision making support, inundation prediction, drainage control, emergency management

1. はじめに

広範囲で災害が発生した場合には、時々刻々変化する状況の中で、複数の管理者が情報共有を図りながら、被害軽減のための危機管理行動を実施していく必要がある。この危機管理行動のための意思決定は素早かつ的確に行うことが求められるが、お互いの行動が影響し合うため、その判断に躊躇する場合が多い。平成12年東海水害では、本川破堤の危機回避と内水被害の軽減との間で、ポンプの運転規制行動に対する意思決定が求められた。一方、水害危機管理などの防災分野においては、多くの災害予測シミュレーションが開発されているが、計画時点で使用することが多く、臨災時における運用・活用を意識したものとなっていないのが現状である。

本研究は、広域で複合的な水害時における意思決定支援システムの将来像について提案し、そのプロトタイプシステムとしてリアルタイム排水調整シミュレーションの実現化の検討を行っている。プロトタイプは防衛や生産分野で適用されている分散シミュレーション統合技術(HLA: High Level Architecture)を応用したものであり、水害時に活動する複数の管理者のシステムを連

動させることにより、管理者間の情報交換をスムーズにし、意思決定や初期行動がより迅速かつ的確に行われることを目的としている。

2. 分散シミュレーション統合技術

(1) 新たな仕組みの必要性

水害危機管理時には、河川管理者、防災管理者(沿川自治体)のみならず、下水、ライフライン、道路、交通機関、地下空間等様々な管理者が有する情報、ノウハウ等が相互に連携・共通利用されることにより、円滑で効果的な被害軽減活動の意思決定を行うことが可能となる。しかし、被害軽減行動のためのシミュレーションや情報などは、管理者毎に整備されているのが一般的であり、現在運用されている情報(データ)、ノウハウや、シミュレーションを相互に連携・共通利用させるには、抜本的な改良が必要となる。

これは、洪水を対象とした関連シミュレーションだけでも、降雨予測、流出予測、洪水予測、氾濫予測、避難行動予測、被害想定・危険度評価、ハザードマップ作

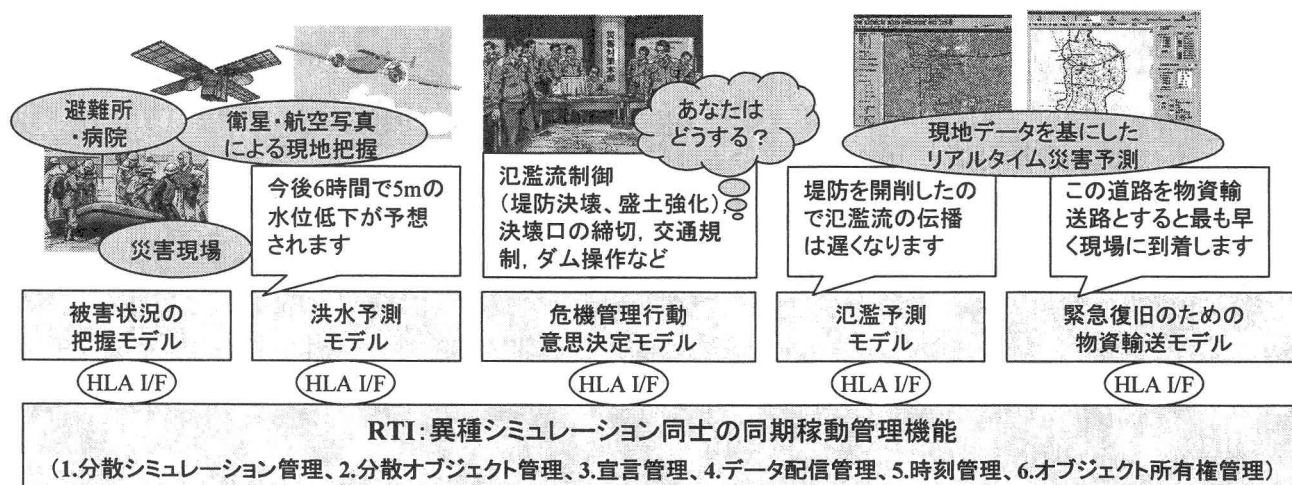


図-1 HLA を適用した水害危機管理行動支援システムの個別シミュレーション連携イメージ

成（表示）システム等と多数の種類があり、それらのほとんどが、個別の目的に最適化されて構築されていたり、独自にデータ構造や計算の入出力仕様を定めていたりするなど仕様がすべて異なっているためである。一方、複数のシミュレーションを連携・統合させるには、シミュレーション内部の入出力、変数、時間制御等をすべて改良する必要がある。このため、現在の技術で他の機能を追加、あるいは他のシミュレーションと連携・統合を実現しようとする、既存シミュレーションのプログラムのほとんどを作り替える必要があり、大規模な改良を実施すると、コストと時間がかかるのはもちろん、その後の維持管理、機能追加等のためにも膨大な予算を必要とするのである。

以上のように水害危機管理時における様々な関係機関・組織に対応した多用途向けの大規模シミュレーションの実現は、技術的には現在においても可能であるが、コスト面、維持管理面において現実的ではなく、それらを解決するためには、異なる個別シミュレーションの統合、協調運用、管理、更新など行うための新しい仕組み、技術が必要である。

(2) 河川分野のシミュレーション統合技術の動向

河川分野のシミュレーションとしては、DHI（デンマーク水理研究所）が、MIKE11（1次元不定流解析）、MIKE21（2次元不定流解析）、MOUSE（管路網水理解析）等多数のシミュレーションを販売している。また、HEC（Hydraulic Engineering Center：米国陸軍工兵隊水資源研究所水文学センター）では、HEC-1等 HEC シリーズと呼称する水理解析ソフトの無償提供を行っている。DHI の MIKE シリーズ、HEC シリーズのソフトウェアを利用することで、データの共通利用が可能であるが、それぞれ独自仕様であり、他の個別開発されたシミュレーションとの相互接続仕様については標準化されていない。

一方、国内では、個別のシミュレーションの開発は

盛んであり、連携・統合に関する研究についても、一部の研究者が、複数のシミュレーションを組み合わせることを提案し、議論の端緒についた。

このように、国内外の既存の河川分野でのシミュレーションでは、アーキテクチャが統一されているものはあるが、異種シミュレーションの連携・統合を実現しているものはなく、その技術も一般化（標準化）されていない。

(3) 分散シミュレーション統合技術の動向

現在、国内外に研究、開発されている分散シミュレーション統合技術（分散コンピューティング環境）の内、日本国内での研究、開発、運用が確認されているものに、RoboCup-Rescue での分散シミュレーション統合技術 HLA、DCOM（Distributed Component Object Model）、CORBA（Common Object Request Broker Architecture）、RMI（Remote Method Invocation）等がある。

RoboCup-Rescue²⁰の分散シミュレーション技術については、独自開発であり、仕様も公開されているが、標準化までは到っていない。

HLA は、米国防総省が標準仕様化したシミュレーションの再利用と相互運用を可能とするためのアーキテクチャであり、現在、軍事シミュレーション、道路交通シミュレーション等に利用されている。

DCOM、CORBA、RMI とは、離れた位置にあるコンピュータ同士、分散しているプログラム同士を連携させる技術であり、現在も Microsoft Windows 等の OS で利用されているが、シミュレーションの連携・統合を意識した技術ではなく、分散しているプログラム同士の時刻同期管理、オブジェクトの所有権管理等の機能を有していない。

(4) 水害危機管理時の意思決定支援への HLA の適用

先に示したように水害危機管理時における意思決定

表- 1 HLA の仕様

IEEE1516 ルール	用語の定義、基本動作等の 10 種類のルールが規定。
IEEE1516.1 インターフェース仕様	シミュレーションと RTI 間のサービスの仕様を規定。各言語 (C++, Java, Ada, CORBA IDL) 毎の API を規定。
IEEE1516.2 オブジェクトモデル テンプレート仕様	分散シミュレーション全体で共通するオブジェクトやその属性を定義する FOM (Federation Object Model) の定義方法の規定。

支援を推進していくためには、異種シミュレーション統合の技術開発が不可欠である。そこで、今回は、オープンなアーキテクチャであること、IEEE 制定の世界標準であること、既存シミュレーションの再利用性が高いこと、時刻同期管理が可能であること等から、異種シミュレーションの連携・統合技術として HLA を選定した。

HLA とは、異種シミュレーションをネットワーク等で相互に接続するための仕様であり、米国 DMSO (Defense Modeling and Simulation Office) が 1995 年に提案したものであり、2000 年 9 月に IEEE1516 として、IEEE 標準 (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc : 米国電気電子技術者協会) となっている。なお、2001 年以降国防総省が調達するすべてのシミュレーションには HLA 仕様準拠が義務付けられている³⁾。

HLA は、多種多様なシミュレーションシステムが利用されている防衛分野において、システムの再利用性と相互接続性を高め、今後の開発・保守コストを低減することを主な目的としており、IEEE1516 にて、分散シミュレーションにおけるシミュレーション間のデータ交換や、シミュレーション時刻の同期方式を共通化するための標準接続仕様として制定されている (表- 1)。

また、本研究における HLA を適用した水害危機管理行動支援システム (将来像) の連携イメージを図- 1 に、用語説明を表- 2 に示す。氾濫予測モデルなどのフェデレートは、6 つの管理機能をもつ RTI を介して他フェデレートとの同期をとった通信を行う。

3. プロトタイプの構築

本研究では、排水調整が課題となっているある流域を対象として、河道一次元不定流モデル、浸水予測モデル、ポンプ排水モデルについて管理者毎に独立のルーチンとして分散シミュレーションモデルを構築し、ポンプ排水規制を想定した仮想演習を実施することで HLA の水害危機管理行動支援における有効性を検討した。

(1) プロトタイプ構築の背景

平成 12 年 9 月に発生した東海豪雨災害で甚大な被害をおった新川流域の中下流域には内水区域が広がっており、洪水時には排水機場により河川に強制排水されてい

表- 2 HLA で使用する用語

RTI (Run Time Infrastructure)	フェデレート間のデータ通信を司る役割を担う、HLA によるシミュレーションシステムの中核となるソフトウェアで、6 つのサービスが定義されている。また、フェデレート間の通信が HLA 仕様を満たしていれば、RTI の中身の構成などは自由に設計し、構築することが出来る。現在、米国 DMSO が開発した DMSO-RTI、日本の三菱電機 (株) が開発した eRTI (experimental HLA-RTI)、日本電気 (株) が開発した CORBA based RTI 等がある。
フェデレート (Federate)	分散シミュレーションの中の一つのシミュレーション
フェデレーション (Federation)	共通の目的のために連携して動作する一つの分散シミュレーション。すなわち、一つのフェデレーションは、複数のフェデレートにより構成される。フェデレート間の連携は、FOM に基づきデータ通信が行われる。またこの通信は RTI を介して行われる。
FOM (Federation Object Model)	フェデレート間でやりとりされるオブジェクト (Object) の属性情報を定義するファイルで、システム設計・構築時にシステム構築者が定義するもの。

るが、壊滅的な被害となる堤防決壊の危険性が予測される場合には、危機管理行動として排水調整を行うこととなっている。東海豪雨災害時には、破堤の危険性が迫ってからでも過半数を超える排水機場が運転を継続するなど足並みの乱れが顕在化したこともあり、愛知県及び流域市町村では排水調整要綱を作成し、基準水位などの設定を行っている。

都市型水害対策に関する緊急提言⁴⁾では、このような「運転調整ルールは、種々の気象条件下での洪水、浸水予測シミュレーション結果に基づき、河川水位等を基準とした明確な判断基準を設定、公表する必要がある」と提言されている。実際の洪水状況の中で被害最小化を図るためには、河川管理者や防災管理者等がお互いの行動の意味合い、影響について実災害に近い状況下で理解しておくことが重要であり、さまざまな状況を設定しての訓練および運転調整ルールの検討が必要である。また、洪水時にはお互いの状況を把握しながら調整を行えるツールが求められる。

このような課題を解決するためには、水害時に各機関が所有する各種観測データ及び予測モデル (河道水位、水位予測、堤内地の浸水状況、浸水予測、排水機場の稼働状況、及び今後の運転調整) を協調してリアルタイムに演算可能なシミュレーションが有効である。

(2) モデルの概要

前項の要求機能を考慮して、排水機場の運転調整の意思決定を支援する HLA をベースとしたシミュレーションのプロトタイプを構築した (図- 2)。ユーザーとして、河川管理者及び自治体の防災管理者を想定しており、河道の水位予測を行う河道一次元不定流モデル (洪水予測フェデレート)、流域の内水予測を行う 1 池モデル (浸水予測フェデレート)、及びポンプ排水モデル (ポンプフェデレート) をそれぞれ独立のルーチンとし

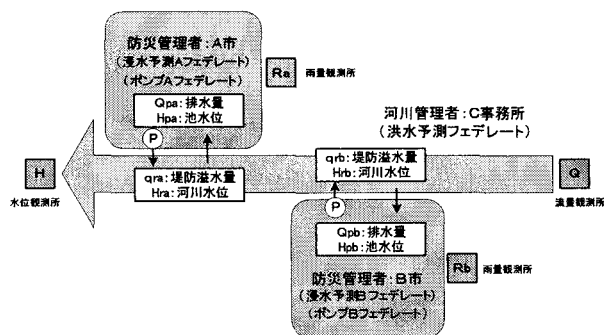


図-2 プロトタイプのモデル概要図

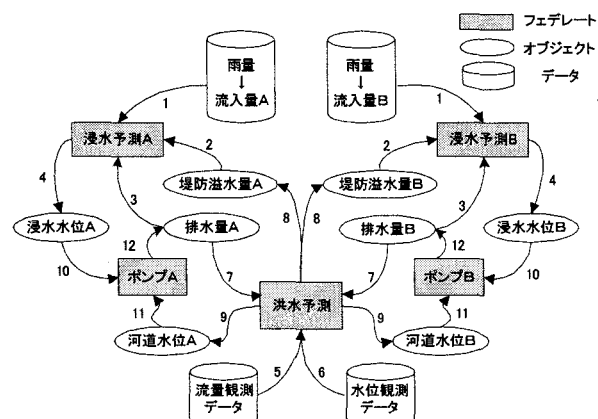


図-3 プロトタイプのフェデレーション構成図

て1つの分散シミュレーション（洪水氾濫フェデレーション）を構築している。

(3) フェデレーション構成

本フェデレーションは、図-3に示す5つのフェデレートとシミュレーションのオペレーティング機能や全体の表示画面をもつ管理フェデレートから構成される。各フェデレート間のオブジェクトやデータ及びその入出力（オブジェクトクラス）は表-3の通りであり、これを元にした FOM（オブジェクトのやりとりの規定）に基づき RTI を介して通信を行う。データ伝送の方向と No を図-3に示しており、No は表-3と対応している。

(4) システム構成

図-4にプロトタイプのシステム構成図を示す。河川管理者は、上流端の流量観測データ及び下流端の水位観測データを用いて河道の水位予測を行う。また、市町村の防災管理者は、雨量観測データから流出量を求め、流域の浸水状況と本川の水位の状況によりポンプ排水を行う。その行動に即した形で表示画面についてもフェデレートと併せて構築している。管理者ごとに管理されるフェデレートを相互運用することで、全体として1つの洪水氾濫フェデレーションを実現しており、例えばシミュレーションの実行中に防災管理者がポンプの稼働の

表-3 プロトタイプの入出力データ一覧

Fed	No	オブジェクト・データ	単位	入出力	入出力先	説明
浸水予測	1	流入量	m ³ /s	入力	ファイル	定周期で入力
	2	堤防溢水量	m ³ /s	入力	洪水予測フェデレート	
	3	排水量	m ³ /s	入力	洪水予測フェデレート	
	4	浸水水位	m	出力	ポンプフェデレート	流入量、堤防溢水量及び排水量から算出
洪水予測	5	流量	m ³ /s	入力	ファイル	定周期で入力
	6	水位	m	入力	ファイル	定周期で入力
	7	排水量	m ³ /s	入力	洪水予測フェデレート	A,B2つのフェデレートから受信
	8	堤防溢水量	m ³ /s	出力	洪水予測フェデレート	A,B2つのフェデレートへ送信
ポンプ	9	河道水位	m	出力	ポンプフェデレート	A,B2つのフェデレートへ送信
	10	浸水水位	m	入力	洪水予測フェデレート	
	11	河道水位	m	入力	洪水予測フェデレート	
	12	排水量	m ³ /s	出力	洪水予測フェデレート	
管理		ポンプ制御	なし	入力	オペレータ	ポンプの稼働/停止を切り替え
		コマンド	開始/停止	入力	オペレータ	システムの開始/終了
		ポンプ稼働状況	稼働/停止	入力	ポンプフェデレート	ポンプの稼働状態表示のための情報
		河道水位	m	入力	ポンプフェデレート	河道水位表示のための情報
		浸水水位	m	入力	ポンプフェデレート	浸水水位表示のための情報
		水位	m	入力	洪水予測フェデレート	水位観測所の現在値表示のための情報
		流量	m ³ /s	入力	洪水予測フェデレート	流量観測所の現在値表示のための情報

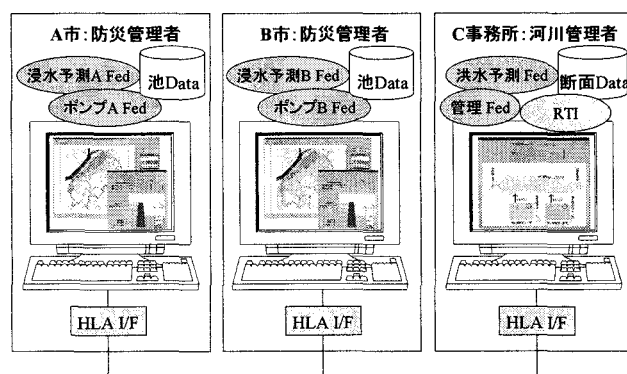


図-4 プロトタイプのシステム構成図

表-4 プロトタイプの動作環境

項目	環境
OS	Windows XP Professional
eRTI	BETA 1.9+
HDD	300MB以上の空容量(OS使用分を除く)
メモリ	256MB以上
CPU	Pentium III 以上(推奨)
Network	Ethernet(100BASE(推奨))
その他	開発時は、Visual C++6.0以上が必要

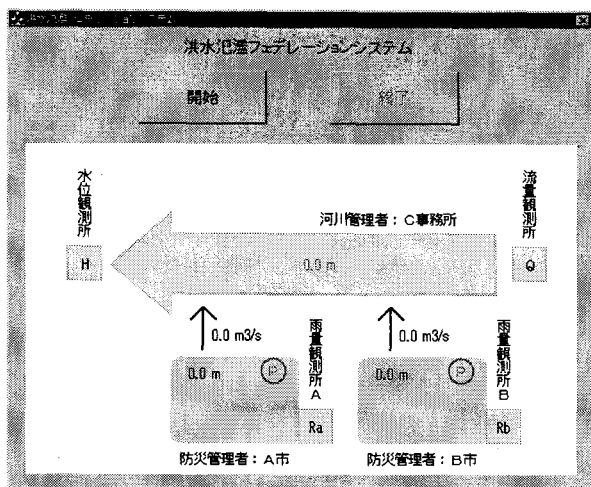
ON/OFF ができ、その結果が RTI を介して洪水予測フェデレートに通信される。プロトタイプの動作環境は表-4に示すとおりである。

4. 仮想演習による利活用イメージ

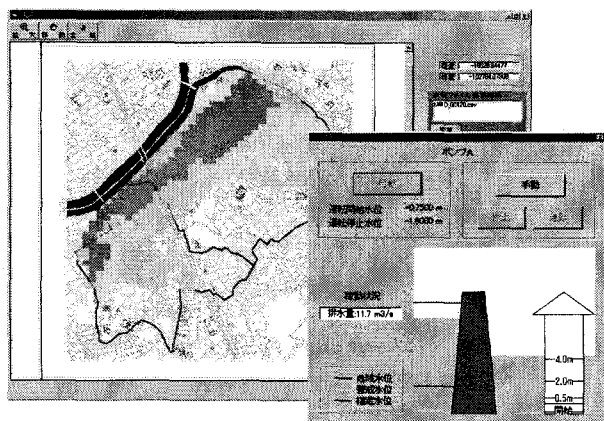
ここでは、排水調整時の意思決定行動を想定し、プロトタイプの利活用イメージの検討及び、現状と HLA 仕様のプロトタイプによる各管理者の危機管理行動等の比較考察を行った。

(1) 河川管理者による利活用イメージ

河川管理者は、本川の水位予測のため、図-5の管理フェデレートの画面によって上流の流出量や水位観測データ、及び流域からの排水量を把握する。また、防災



図ー 5 管理フェデレート表示画面 (河川管理者)



図ー 6 浸水予測・ポンプ表示画面 (防災管理者)

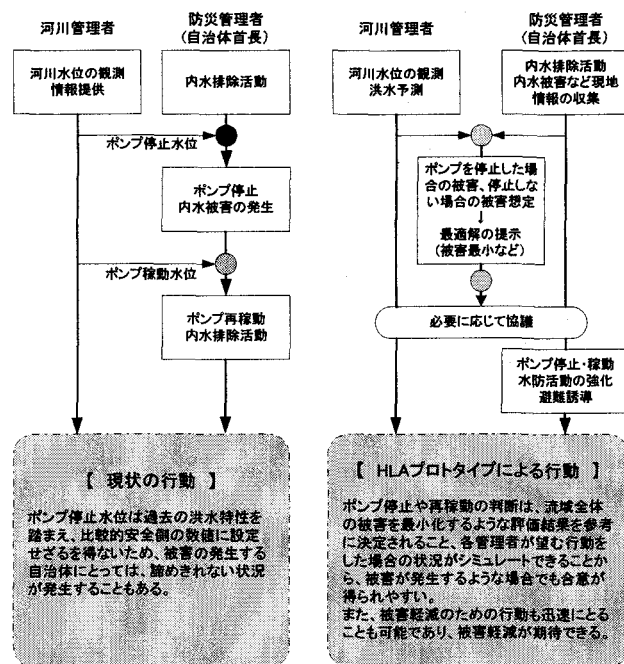
管理者の浸水予測フェデレートから取得する流域の浸水位も把握することができ、流域全体の洪水状況、浸水状況を把握・予測した上での排水調整の判断が可能となる。

(2) 防災管理者による利活用イメージ

防災管理者は、流域の浸水予測のため、図ー 6 の浸水表示画面及びポンプ稼働表示画面によって、本川水位と流域の浸水位の関係、運転基準水位 (例えば危険水位) までの高さを把握する。これに対してポンプの運転を手動で変更した場合の解析が洪水予測フェデレートと相互に連携して実行することが可能であるため、事前の想定を超えた危機管理時にも操作の判断支援となる。仮に、調整を行わずに排水してしまった場合、河川水位が上昇し、堤防決壊することにより甚大な被害が発生する可能性なども確認することが出来る。

(3) プロトタイプ活用の効果

図ー 7 には、河川管理者と防災管理者の排水調整時の行動フローについて現状と本プロトタイプを適用した体制時とを比較して示している。このように、自ら居住する地域の被害発生がやむを得ないことを確認しながら行動することができるため、災害時の合意形成に寄与



図ー 7 HLA 適用による排水調整の効果

することが期待される。また、双方の現状や予測の把握、意志決定が迅速に行えるため、被害軽減が期待できる。

5. HLA の可能性

(1) フェデレートの追加・組み合わせによるシステムの拡張

本プロトタイプでは、洪水予測フェデレートの水位、流量、及び流域への流入量は入力データとして便宜的に与えているが、リアルタイムの雨量・水位・流量の観測データ取得 (例えば平川らの研究⁵⁾)、及び堤内地の流出解析それぞれをフェデレート化すれば、本プロトタイプと同期をとって運用でき、リアルタイム排水調整シミュレーションとなる。このように、HLA 仕様に基づき作成したフェデレートは、目的用途に応じて各々を自由に組み合わせることが可能である。よって、優れたモデルが開発されれば、古いものと置き換えたり、追加したりすることも可能であるため、システムの拡張も容易に行うことができる。

(2) 研究開発の促進

現在、国土交通省河川局が進めている IT 化推進施策「水情報国土」⁶⁾では、水に関わる各種データの公開が計画されているが、同時にモデルソフト (水に関わる各種業務アプリケーション) の公開 (原則無償) も計画されている。この施策により、これらのデータ・ソフトを水害危機管理時により一層活用していくことが求められるが、公開されるソフトは、インターフェースが標準化されていることが必要条件となる⁷⁾。インターフェース

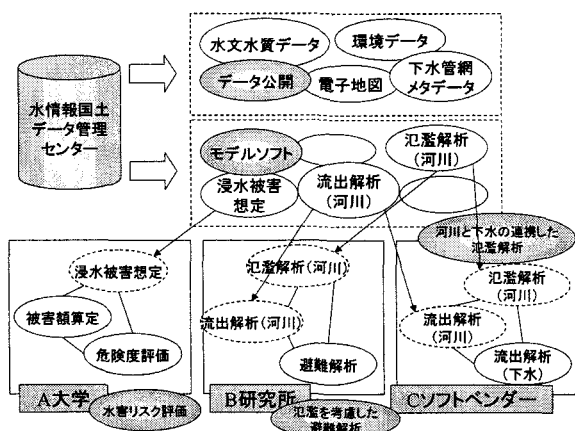


図-8 HLAによる研究開発の促進

が標準化され、それに従ったソフトが公開されることにより、大学・研究機関等、要素技術に優れ、個別のシミュレーションを所有する組織・機関が、自ら開発したシミュレーションと、他のシミュレーションを組み合わせることで、より多様で大規模なシミュレーションを行うことが可能となる。このことにより、従来実現することが難しかった全体のシミュレーションにおける個別シミュレーションの検証が可能となると同時に、これまで膨大な開発・維持管理コストが必要とされてきた全体シミュレーションのコストが軽減される。

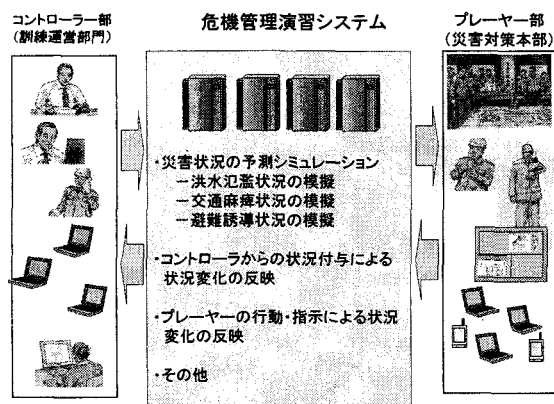


図-9 HLAによる危機管理演習システムのイメージ

用, 組み合わせることで, 新しいシミュレーションを開発, 使いやすいユーザーインターフェースを追加, マニュアル, 研修, サポートと組み合わせ, それらを販売するという, 米国等でも実現している新しいビジネスモデルの創成も構想される (図-8).

(3) 実践的な危機管理演習の実現

危機管理演習でも、災害状況（洪水氾濫状況、交通麻痺状況、避難誘導状況）のシミュレーション、センサー等からの入力される観測情報のシミュレーション、コントローラからの状況付与や、プレイヤーの行動・指示による状況変化の反映、災害時の通信状態のシミュレーション等を HLA による危機管理演習システムで実現することにより、より現実的な危機管理演習が実現することが可能となる（図－9）。

6. おわりに

本研究では、河道水位管理、内水排除管理を想定した分散シミュレーションモデルは、各管理者が実施する水害危機管理時のポンプ排水規制に対し、有効な行動支援ツールとなる可能性を構築したプロトタイプによって確認できた。この分散シミュレーション統合技術は、

IEEE 標準の HLA インターフェース仕様によるものであるため、同様の仕様のもと他分野で蓄積された資産（シミュレーション）との共有が可能となる。このため、災害時の危機管理だけでなく、様々な要素で構成される流域管理業務などに対して有効であり、拡張性の高いシミュレーション統合・運用技術であることから複数の関係機関により維持管理を行っている河川部局及び防災担当部局においてこのようなシミュレーションの標準インターフェースの検討及び導入を考えていくべきである。

今後は、洪水氾濫フェデレーションに加え、交通フェデレートや避難行動フェデレート、化学工場等の浸水による被害予測フェデレートなど他機関、異分野のシミュレーションとの連携、運用を実現し、水害時の危機管理演習への導入可能性について検討する予定である。

謝辞：本報告の資料収集にあたり、HLA に関する資料のご提供を頂いた三菱電機（株）、三菱スペース・ソフトウェア（株）の方々に心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 椎葉充晴, 水理水文水質ソフトの構造とインターフェースについて, 「水のモデリングとインターフェース 2003」シンポジウム予稿集
- 2) 田所諭, 北野宏明, 高橋友一, 松野文俊, 竹内郁雄, RoboCup-Rescue 技術委員会, RoboCup-Rescue 情報科学の緊急災害対応問題への挑戦, 2000 年 4 月, 情報処理 41 巻 4 号
- 3) 古市昌一, 和泉秀幸, 分散シミュレーションのための統合基盤アーキテクチャ HLA の紹介, 2000 年 12 月, 情報処理 41 巻 12 号
- 4) 都市型水害緊急検討委員会, 都市型水害対策に関する緊急提言, 平成 12 年 11 月 9 日
- 5) 平川了治, 館健一郎, 武富一秀, 安田浩保, 金木誠, 飯田進史, 五十嵐孝浩, 谷岡康, リアルタイム氾濫解析システムの構築とその活用の可能性について, 河川技術論文集, 第 9 巻, 2003.6
- 6) 佐藤宏明, 水情報国土の構築へ向けて, 河川 2002.1 月号
- 7) 佐藤宏明, データの標準化から見た水理水文ソフト水質のあり方, 「水のモデリングとインターフェース 2003」シンポジウム予稿集

(2003. 4. 11受付)