

## 地域環境シミュレーターの実用化に関する産学連携研究

駒口 友章

取締役

株式会社碧浪技術研究所

〒111-0041 東京都台東区元浅草1-17-15ストークTS元浅草508

E-mail: lenlencui@yahoo.co.jp

三島 豊秋

技術部長

株式会社碧浪技術研究所

〒739-0046 東広島市鏡山3-10-31, 広島大学産学共同研究715 204

E-mail: mishima@xa2.so-net.ne.jp

山下 隆男

教授

広島大学大学院国際協力研究科

〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1

E-mail: tkoyamashita@hiroshima-u.ac.jp

李 漢洙

特任助教

広島大学大学院国際協力研究科

〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1

E-mail: lee.hansoo@gmail.com

Mohammed HAGGAG

大学院生

広島大学大学院国際協力研究科

〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1

E-mail: haggag-moh@hiroshima-u.ac.jp

### 1. はじめに

東京湾再生プロジェクトをはじめに、大阪湾および伊勢湾などの海域で自然再生へ向けた取り組みが行われている。これらの再生事業の主な内容は、流

出負荷量の削減および藻場・干潟造成などによる水質および生物生息環境などの環境改善である。自然環境は、気温、風および降雨などの気象現象、水温、海流・潮流および波浪・海浜流などの海象現象、地表温度、水蒸気の蒸発散および河川・地下水の流れな

どの陸面現象, およびそれらに伴う物資輸送および生物活動などの素過程が複雑に絡んで成り立っている。特に, これまでの多くの環境シミュレーションモデルにおいて高精度化の障害になっている要因の一つは, 気温, 日射量および風などの気象変化の再現・予測精度である。自然再生などの環境改善事業を成功させるためには, 高精度の気象場の再現・予測を前提にした各素過程の相互作用を考慮した高精度の地域環境シミュレーターを用いた環境アセスメントの実施が必須になっている。

一方, 高潮および高波浪などの沿岸域における自然災害の多くは, 台風および爆弾低気圧などの異常気象擾乱の発生により引き起こされる。これらの沿岸域における自然災害の予測モデルとして, 高潮予測シミュレーションモデルおよび波浪推算モデルなどの多くのモデルが開発されてきた。これらのモデルは単独では高い精度での予測が可能なレベルに達しており, 後者の波浪推算モデルに関してはWAM, WWIIIおよびSWANなどの第3世代モデルと呼ばれる高精度の著名なモデルが広く普及している。しかしながら, これらのモデルによる高精度の再現・予測においても, 環境シミュレーションモデルと同様に, 気象場の精度, 特に風の再現・予測精度がモデルの高精度化に対する障害の一つになっている。

広島大学国際協力研究科では, 現在高精度のメソスケール環境シミュレーションを目的とするアジア環境シミュレーター (AES) の開発が進められている<sup>(1),(2),(3)</sup>。このシミュレーターは, 大気・海洋, 大気・陸面および河口・海岸の3パートを結合した数値モデルシステムであり, 大気, 陸面および海洋の各素過程の相互作用が考慮できるメソスケール地域環境シミュレーターとして構築されている。また, 各素過程およびその相互作用が複雑に絡み合う環境問題のみならず, 気象場の影響下で発生する高潮および高波浪災害などの問題にも対応可能なモデルになっている。

広島大学国際協力研究科では, 環境シミュレータープロジェクト研究センターを設置し, 株式会社碧浪技術研究所との産学連携共同研究の一環としてその地域環境シミュレーターを実務レベルでの環境アセスメントに適用することにより, 環境シミュレーターの現地適用性の向上を図っている。以下では, 地域環境シミュレーターの概要を示した後に, そ

の環境シミュレーターの現地への適用事例について概説する。

## 2. 地域環境シミュレーターの概要

### 2.1 地域環境シミュレーターの構成

アジア環境シミュレーター (AES) は, 広島大学で開発を進めているメソスケール地域環境シミュレーターである。図-1にアジア環境シミュレーターの概念を示す。この環境シミュレーターは, 大気・海洋, 大気・陸面および河口・海岸の3パートから構成される数値モデルシステムである。基本となるモデル要素には, 現在多くの研究機関および研究者によって構築された数値モデルが用いられている。環境シミュレーターの開発は, 大気, 陸面および海洋の各モデル要素自体の開発・精度向上ではなく, 大気, 陸面および海洋の複雑な相互作用の結果として引き起こされる自然環境の変化を一つの相互作用系として忠実に再現することに重きが置かれている。

図-2にアジア環境シミュレーターの構想を示す。図中における各モデル要素間での受け渡し変数は次のように定義される。ここに,  $z_0$ ,  $\bar{c}_p$ ,  $\tau_{max}$ : 海面粗度高さ, ピーク周期の波速, 波動せん断応力,  $S_{dis}$ ,  $S_{ij}$ ,  $F$ : 白波砕波エネルギー減衰率, radiation応力, 波浪エネルギーフラックス,  $\tau_s$ ,  $p_s$ ,  $\bar{w}$ : 海面乱流せん断応力, 海面気圧, 風速ベクトル,  $\bar{U}$ : 海流の流速,  $Q$ ,  $Q_m$ : 流量, 物質輸送量,  $S$ ,  $\bar{u}_{tide}$ : 塩分濃度, 潮流流速ベクトル,  $S_0$ , land use: 物質の発生・消滅量, 土地利用,  $P$ ,  $R$ : 降雨量, 放射量,  $\theta_s$ ,  $q_s$ , flux: 地表面温位, 地表面比湿, 熱および水蒸気等のフラッ



図-1 アジア環境シミュレーターの概要<sup>(2)</sup>

クス全般,  $ref$ : アルベド,  $co_2$ : 二酸化炭素のトレーサーガス濃度, PFT: Plant Functional Typeである。

図-2に示されているアジア環境シミュレーターは現在開発途中でであり, dynamic vegetationなどの一部のモデルは導入されていない。また, 大気・海洋パー

トおよび大気・陸面パートを結合したモデルに関しては, 現時点では現地適用実績はなく, 今後大気・陸面・海洋の相互作用の研究およびその現地適用性の検証などを行っていく必要がある。

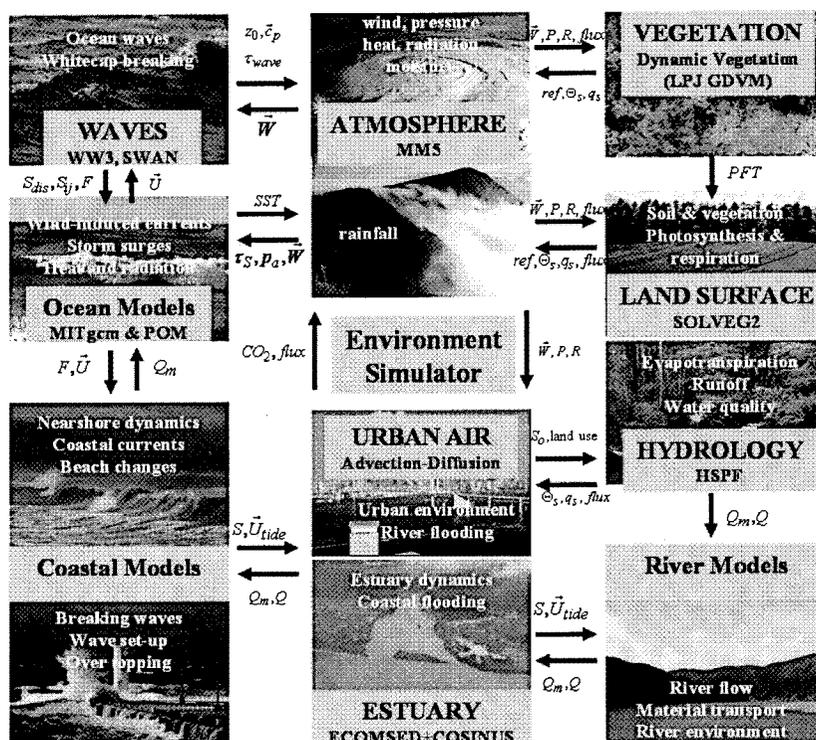


図-2 アジア環境シミュレータの構成<sup>(2)</sup>

## 2.2 大気・海洋<sup>(1)</sup>

大気・海洋パートの気象モデルには, メソスケール気象モデルMM5が用いられている。海洋モデルは波浪モデルおよび海洋流況モデルから構成され, 波浪モデルにはWWIIIもしくはSWANが, 海洋流況モデルにはPOMもしくはMITgcmが用いられている。これら3者のモデル間では海面粗度, 波動せん断応力, 海面乱流せん断応力および白砕波エネルギー減衰などを介した相互のエネルギーの授受が考慮されており, これらは大気・海洋結合モデルとしてモデル化されている。

## 2.3 大気・陸面<sup>(3)</sup>

大気・陸面パートにおける陸面モデルは植生モデルおよび水文流出モデルから構成され, 植生モデルにはSOLVEG2が, 水文流出モデルにはHSPFが用いられている。気象モデルとこれら2者それぞれの間は, 降雨量, 放射量, 地表面温位および比湿, アルベド, および水蒸気等のフラックスなどを通した熱エネルギーおよび水蒸気量などの授受により結合されている。また, 植生モデルから水文流出モデルへのPlant Functional Typeを介した影響が考慮されている。これらは, 大気・陸面結合モデルとしてモデル化されている。HSPFは多くの化学的および生化学的物質の輸送を扱うことのできるモデルであるため, 大気・陸面結

合モデルは多くの物質流出による環境問題へ対応できるモデルとなっている。

### 2.4 河口・海岸

河口・海岸パートは河口モデルおよび海岸モデルから構成され、河口モデルにはECOMSED + COSINUSモデル<sup>(4)</sup>が、また海岸モデルには広域海浜流および海浜変形モデルが用いられている。特に、河口モデルではCOSINUSプロジェクトにおける最新の粘着性材料のフロック粒子成長モデルが組み込まれており、干潟形成などにも適用できるモデルとなっている。河口・海岸パートは環境シミュレーターの中では河口および海浜地形の変化をシミュレーションするための付帯モデルとして位置付けられる。

## 3. 大気・海洋結合モデルの現地への適用事例

### 3.1 日本海での異常波浪への適用事例<sup>(5)</sup>

2008年2月23日～24日にかけて日本海中部沿岸に襲った高波浪は、沿岸域の公共土木施設にも多大の被害を及ぼす異常波浪となった。このとき襲し

た高波浪は、大陸から東進してきた低気圧と太平洋側の低気圧とが合体して発達する爆弾低気圧により発生した長周期の異常波浪であると考えられる。ここでは、この日本海で発生した異常波浪に対する地域環境シミュレーターの適用事例を紹介する。なお、ここでの事例は大気・海洋パートにおける大気・波浪結合モデルの適用事例であり、波浪推算モデルにはWWIIIを適用している。

2008年2月23日～24日にかけては、日本海および太平洋を東進した複数の低気圧が太平洋側北部で停滞したために、強い冬型の気圧配置へと発達した。日本海側の沿岸部では、23日から北～北東方向からの強風が長時間継続した。さらに、24日には日本の東海上で低気圧が発達したために北～東日本は荒れた天気となり、地点によっては20m/sを超える強風が吹くなど大雪を伴う荒れた気象状態になった。

図-3に2008年2月23日～24日にかけてのMM5による風速ベクトルのシミュレーション結果を示す。23日6時の段階では弱かった日本海沿岸での風速は、23日12時の段階で北西からの強風へと発達し、その後24日0時まで徐々に北北西からの強風へと変化し

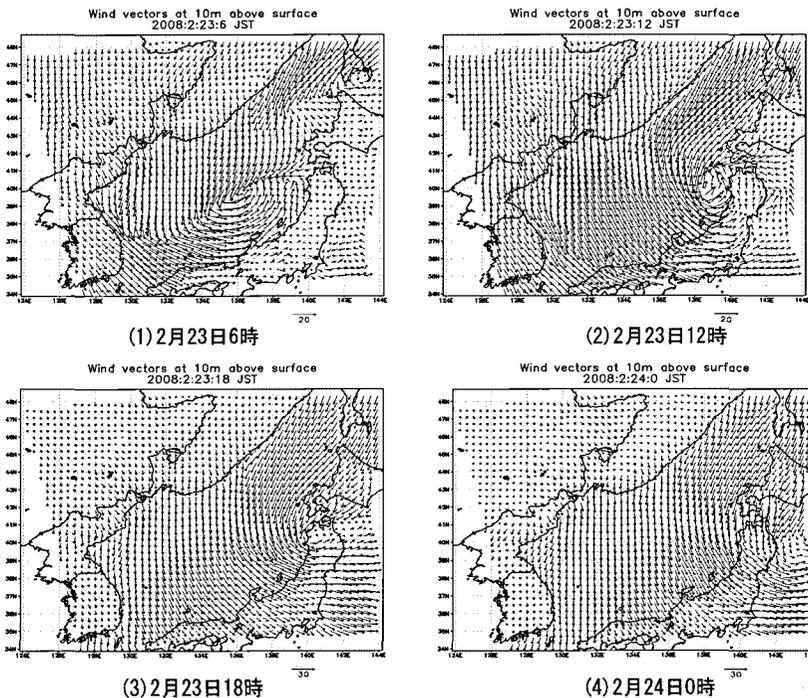


図-3 風速ベクトルの再現結果

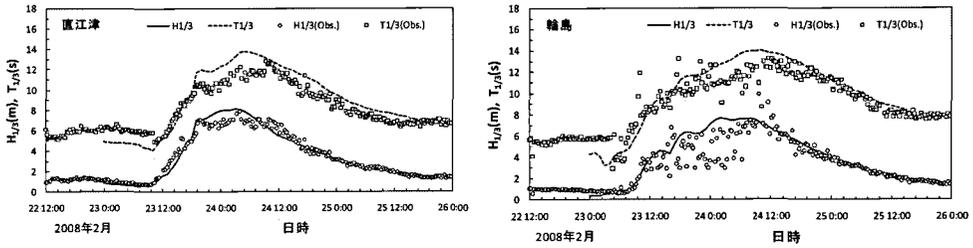


図-4 波浪推算値と観測値の比較

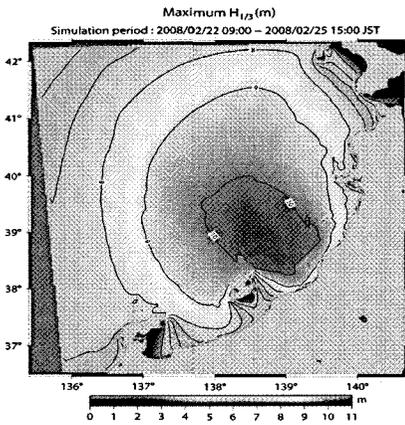


図-5 最大は高の平面分布

ていった。特に、23日12時～24日にかけては北海道沿岸から本州沿岸へ向かう強風として発達している。このような日本海では最も吹送距離の長くなる強風の発達が長周期の高波浪を発生させ、富山県～新潟県にかけての日本海沿岸へ来襲した異常波浪を発生させたことがわかる。

図-4に2008年2月23日～24日にかけて来襲した異常波浪の最大波高の平面分布を、また図-5に大気・波浪結合モデルとして推算した波高および周期と観測値との比較結果を示す。推算した波高および周期は観測値と良く対応しており、この結合モデルによる波浪の推算精度は高いことがわかる。また図-5より、このとき来襲した異常波浪は、佐渡の北東海域で10mを超える最も大きな高波浪へと発達しており、佐渡の東側沿岸で大きな被災を引き起こす原因となったことがわかる。

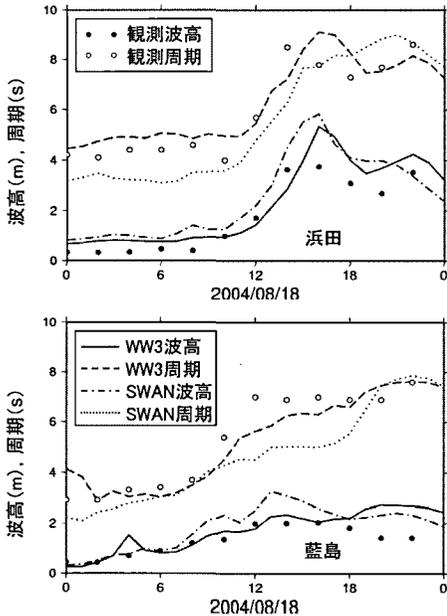


図-6 波高・周期の推算結果と観測値との比較

### 3.2 高潮災害への適用事例<sup>6)</sup>

多くの台風が上陸した2004年、この年の台風0415 (T0415)により山口県北浦海岸沿岸でも高潮浸水および高波浪による被災を受けた。ここでは、このときの高潮災害に対する地域環境シミュレーターの適用事例を紹介する。なお、ここでの事例はその環境シミュレーターにおける大気・海洋パートにおける大気・海洋結合モデルの適用事例である。なお、このとき波浪モデルにはWWIIIおよびSWANの両者を、海洋モデルにはPOMを適用している。

T0415では、山口県北浦海岸沿岸の広い範囲で規模は小さいが高潮浸水・高波浪被害が報告されている。現地踏査の結果によると、特牛漁港では道路背後民家前でT.P.+1.93mおよびエプロン天端でT.P.+1.31m、須佐二軒茶屋ではダイビングショップ前地盤高でT.P.+0.6mなどの痕跡潮位が報告されている。

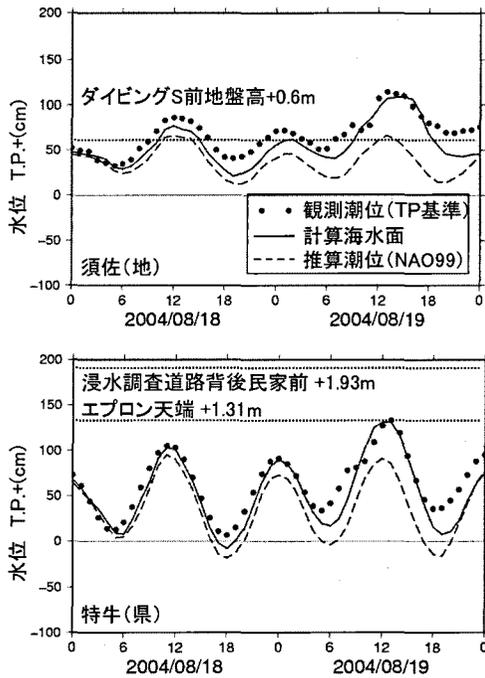


図-7 潮位の再現結果と推算天文潮位および観測潮位との比較

図-6にはSWANおよびWWIIIによる波高および周期の推算結果と観測値との比較が示されている。このときの計算結果の出力点は沖波波浪を代表する水深約100mの地点に設定されている。SWANによる推算結果に比べWWIIIのそれは観測値の変化傾向をよく再現している。そのため、高潮シミュレーションには後者のWWIIIの推算結果を適用している。

図-7には、大気・波浪・海洋結合モデルによる潮位の再現結果とNA099の推算天文潮位および観測潮位との比較が示されている。また、図中には現地踏査による痕跡潮位も併記した。大気・波浪・海洋結合モデルによるT0415通過時の高潮シミュレーション結果は、観測潮位および現地踏査で確認された痕跡潮位を十分な精度で再現している。

T0415通過に伴う最大計算水位および高潮最大偏差の平面分布を図-8に示す。この結果より、最大水位に及ぼす潮位の影響は西側ほど大きく、T0415通過時には山口県北浦海岸沿岸で60cm程度の最大高潮偏差の高潮が発生していたことがわかる。

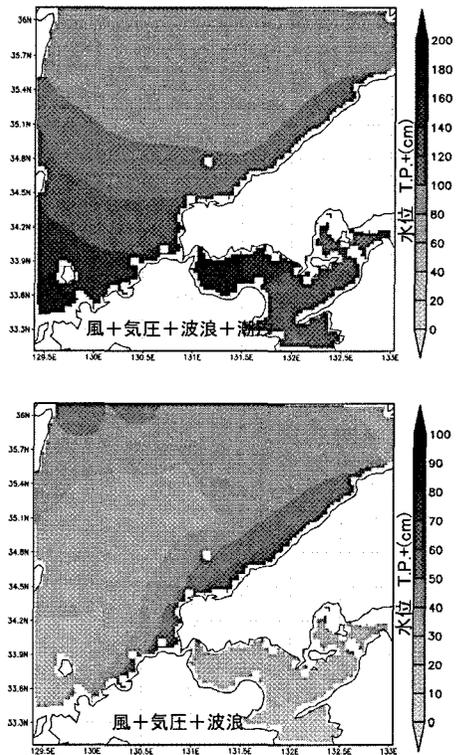


図-8 最大計算水位および高潮最大偏差の平面分布

#### 4. その他のモデルの適用事例

その他のモデルの現地適用事例の一例として、河口モデルの干潟の地形変化への現地適用事例を紹介する。

多くの干潟における底質の粒径は細かく、凝集性を有する粘土・シルト分を多く含んでいる。図-9に粘着性底質の挙動の概念図を示す。これらの粘着性底質の挙動は、①浮遊底質と乱流との相互作用、②ブロックの成長に及ぼす乱流せん断応力と濃度の関係、③ブロックの発達による沈降抑制効果(沈降阻害)などで特徴づけられる。そのため、干潟の地形変化の予測には、これらの現象を考慮できる粘着性底質の移流・拡散モデルが必要である。

地域環境シミュレーターの河口・海岸パートにおける河口モデルは、POMのエスチャリー版であるECOMSEDにCOSINUSプロジェクトの成果である粘

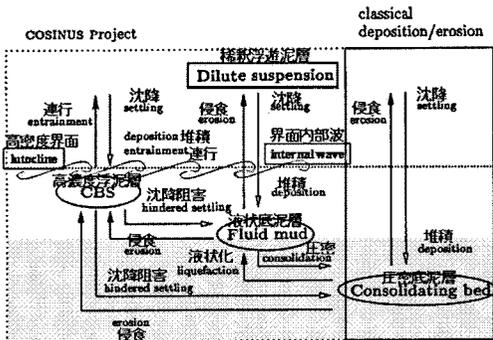


図-9 粘着性底質の挙動の概念図

地形変の予測結果である。干潟中央部の土砂浚渫を行った領域で地形が変化していることがわかる。

5. まとめ

現地適用性の向上を図ることを目的に、産学連携共同研究の一環として実施したアジア環境シミュレーターの現地への適用事例を紹介した。今後は、大気・陸面・海洋の相互作用を研究することにより大気・陸面・海洋結合モデルとしてのより完成度の高い地域環境シミュレーターの構築を図ると同時に、広島大学および株式会社碧浪技術研究所の産学連携共同研究を通して、さらに多くの実務レベルでの実証経験を積み上げることにより信頼性の高いモデルへとブラッシュアップさせる予定である。なお、この産学連携研究は土木学会地球環境委員会の平成20年度地球環境技術賞を受賞した。

参考文献

- (1) 金 庚玉, 李 漢洙, Mohammed Haggag, 山下隆男: 大気・波浪・海洋結合モデルによるハリケーンカトリーナの高潮場のシミュレーション, 海岸工学論文集, 第53巻, 2006, 416-420.
- (2) 山下隆男, 金 庚玉, 李 漢洙, Mohammed Haggag: 環境シミュレーター-海岸工学への貢献一, 海岸工学論文集, 第54巻, 2007, 1301-1305.
- (3) Haggag, M., T. Yamashita, H. Lee, and K. Kim: A coupled atmosphere and multi-layer surface model for improving heavy rainfall simulation, Hydrology and Earth System Discussion., 5, 2008, 1067-1100.
- (4) Riandini, Fitri, 山下隆男: 高濃度底泥の沈降・輸送モデルと移流・拡散型圧密方程式のECOMSEDへの導入, 海岸工学論文集, vol.52, 2005, 991-995.
- (5) 李 漢洙, 山下隆男, 駒口友章, 三島豊秋: メソ気象・波浪推算モデルによる2008年2月の寄り廻り波の再現計算, 海岸工学論文集, 第55巻, 2008 (投稿中).
- (6) 金 庚玉, 山下隆男, 神崎明博, 駒口友章, 藤上悟, 松原千恵: 台風0415号による高潮・高波-山口北沿岸での災害調査と高潮・高波の数値解析一, 海岸工学論文集, 第54巻, 2007, 1406-1410.

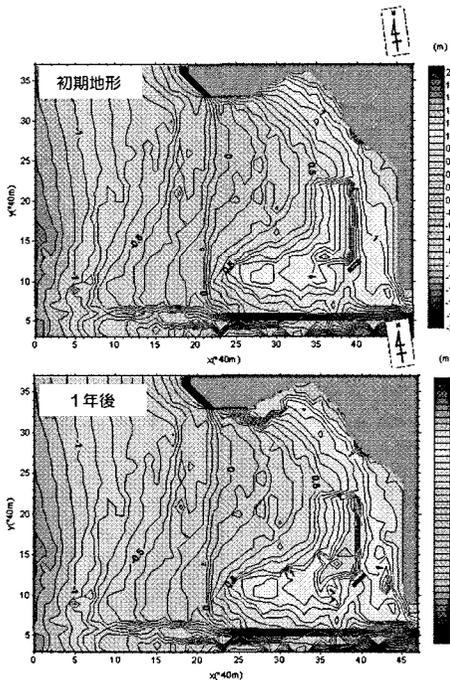


図-10 干潟の地形変化のシミュレーション結果

着性底質の凝集・破壊によるブロック粒子の粒径の成長およびそれらの粒子の移流・拡散モデルが組み込まれたモデルになっている。また、底層付近の高濃度層における沈降阻害および底質の圧密なども考慮でき、粘着性底質によって構成される干潟の地形変化に適用可能なモデルになっている。図-10は、河口干潟に土砂浚渫したときの潮汐流による1年後の

## Abstract

# Industry-University Cooperation Study for Practical Use of Regional Environment Simulator

**Tomoaki KOMAKUCHI**

President

Blue Wave Institute of Technology Co.Ltd.

Stoke TS Moto-Asakusa 508, Asakusa, Taito-ku, Tokyo 111-0041, Japan

E-mail: lenlencui@yahoo.co.jp

**Toyoaki MISHIMA**

Director of Engineering Department

Blue Wave Institute of Technology Co.Ltd.

Hiroshima University, Industry-University Cooperation Office

204, 3-10-31 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-0046, Japan

E-mail: mishima@xa2.so-net.ne.jp

**Takao YAMASHITA**

Professor

Graduate School for International Development and Cooperation

Hiroshima University

1-5-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8529, Japan

E-mail: tkoyamashita@hiroshima-u.ac.jp

**LEE Han Soo**

Assistant Professor

Graduate School for International Development and Cooperation

Hiroshima University

1-5-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8529, Japan

E-mail: lee.hansoo@gmail.com

**Mohammed HAGGAG**

Graduate Student

Graduate School for International Development and Cooperation

Hiroshima University

1-5-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8529, Japan

E-mail: haggag-moh@hiroshima-u.ac.jp

In the Graduate School for International Development and Cooperation (IDEC), Hiroshima University, the development of Asian Environmental Simulator (AES) for the purpose of highly precise meso-scale environment simulation has been conducted. This simulator consists of the three major parts of the atmosphere-land surface interaction simulation, the atmosphere-ocean interaction simulation, and the estuary-coast simulation. The Research Project Center for Environment Simulator, in IDEC has been launched as a collaboration research program of Hiroshima University and Blue Wave Institute of Technology Co. Ltd., to improve the simulator's applicability at the business/practical level by applying it to the regional environmental problems. This article shows an outline of the environmental simulator and its examples of application to storm surge and high wave simulation, cohesive sediment transport in an estuary.