

Partial Cell を導入した塩水遡上解析

Study on salt wedge intrusion analysis using Partial Cell

(株)福田水文センター	○正 員	中本篤嗣 (Atsushi Nakamoto)
北見工業大学	正 員	中山恵介 (Keisuke Nakayama)
首都大学東京	正 員	新谷哲也 (Tetsuya Shintani)

1. はじめに

河川の汽水域は、河川の流量変化や潮汐変化等の影響を受け、淡水と海水が混合し常に変化する特殊な環境を有している。そのため、海域に生息する生物や淡水域に生息する生物のみならず、汽水域の生物が存在するなど多様な生態環境を有している。また、塩水遡上は利水障害を引き起こす要因ともなることから、環境・利水の観点から塩水遡上やその抑制対策に係る多くの研究がこれまで実施されてきている^{1,2,3,4,5)}。

一方、IPCC 等の報告により気候変動に伴う海面の上昇が指摘されており、将来的に海面上昇に伴い塩水遡上域が拡大することで、前述の環境面や利水面に重大な影響を及ぼすことが想定され、早い段階から対策を実施していくことが重要であると考えられる。

上記の背景を踏まえ、本研究では海面上昇に伴う塩水遡上域の拡大が環境面・利水面に今後どのような影響を及ぼすかを把握するための基礎的研究として、現状における塩水遡上解析の精度向上に向けた解析手法を確立することを目的とした。

研究対象フィールドとしては、下流域にラムサール登録湿地である釧路湿原を有し、特に環境面への影響が大きいと考えられる新釧路川を対象とするものとした。ここで、新釧路川を対象とした塩水遡上解析はこれまでの報告^{6,7)}においても実施されているが、デカルト座標系による解析であるため、特に河川が勾配を持つ上流域における河床地形の再現性に課題が残されていた。

以上を踏まえ、本研究では、既往報告でこれまで用いられてきたオブジェクト指向型 3 次元環境流体モデル (Fantom3D) に Partial-Cell を導入することにより、詳細な河床地形の再現を行った上で、Partial-Cell の導入が塩水遡上解析結果にどのような影響を及ぼすかについての確認を行うものとした。

2. 検討対象流域の概要

本研究の対象フィールドとして設定した釧路湿原は、ラムサール登録湿地であり、日本最大の湿地面積 (19,375ha) を誇る。釧路湿原を流域に抱える釧路川は、阿寒国立公園の屈斜路湖に端を発し、KP35.0 から下流約 30km にわたって釧路湿原内を流下し、釧路湿原内の岩保木地点 (KP11.0) において新釧路川となり、釧路市街地を貫流し太平洋に注ぐ幹川流路延長 154km、流域面積 2,510km² の一級河川である。

新釧路川の平水流量 (広里観測所, S52~H21) は 45m³/s~80m³/s 程度であり、平常時には下流域の水面勾



図-1 検討対象領域周辺図

配が小さいため、KP11.0 付近に位置する岩保木水位観測所まで潮位変動の影響を受ける河川であり、大潮時の潮位変動量 (1.5m 程度) と感潮区間長 (11km 程度) の関係から、塩水が遡上する際には緩混合型の形態で遡上するものと判定される。しかし、新釧路川の塩水遡上実態の把握を目的とした調査・検討はほとんど存在しておらず、現状では河口付近の KP-0.2~KP0.0 程度まで塩水が遡上する観測結果が得られるにとどまっている⁶⁾。一方、流量条件や潮位条件を危険側の組合せとした場合には、現状においても塩水遡上が生じるものと考えられ、更に、今後気候変動に伴う海面上昇が進行するにつれ、塩水遡上区間が延伸し、その結果、塩水遡上域が釧路湿原領域に達する可能性が考えられる⁷⁾。

以上より、本研究では、まずは現状で想定される最も危険側の境界条件を設定し、新釧路川を対象とした現状の塩水遡上解析を実施するものとした。

3. 使用モデルと解析条件

本研究では、塩水遡上の検討を行うモデルとして、過去の報告⁶⁾において本水域での適用性について確認されて

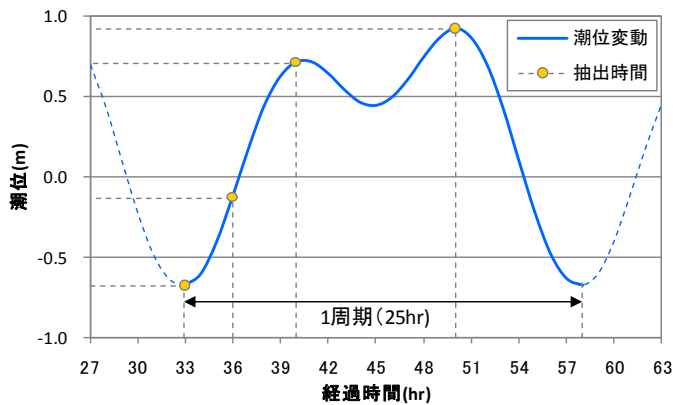


図-2 計算に用いた下流端潮位波形

いる3次元環境流体モデルFantom3Dを使用した。

採用したモデルの特徴として、Fantom3Dはオブジェクト指向に基づいており、計算スキームの切り替えを容易に行う事が可能であるという特徴を有している。オブジェクト指向に関する詳細については、参考文献をご参照いただきたい^{8,9,10)}。

解析にあたっては3次元Navier-Stokes式を基礎方程式とし、水温、塩分を考慮した。計算スキームは、運動方程式およびスカラー量の移流項にULTIMATE QUICKESTを用いた。また、乱流モデルは、k-εモデル、Mellor-Yamadaモデル、スマゴリンスキー型渦粘性モデルのうち、スマゴリンスキー型渦粘性モデルを利用することとした。ここで、この乱流モデルは、網走湖での再現性の検討の際に、他のモデルと比較して最も良い結果を得ることができたモデルであることを記しておく¹¹⁾。

計算は、感潮区間を網羅する範囲として、河口～KP12.0を対象とし、計算メッシュは10m×10m（縦断方向×横断方向）とした。主流軸方向に約1200のメッシュが存在するため、計算に当たってはオブジェクト指向の特徴を活かすため計算領域を13の領域に分割して並列計算を行うことで計算時間の短縮を図った。

上流端の流量条件は、危険側の設定値として広里地点における1/10 渇水流量（3位/30年）である31.90m³/sを一定値で与えるものとし、計算区間内に雪裡川が流入するため、上記で設定した流量を本川と支川の流域面積比で配分して個別に与えるものとした。また、下流端の潮汐条件は、気象庁HPより収集可能な釧路港潮位データ（H14～H22）から、気象偏差の影響を除外した天文潮位を算出し、収集期間で最大値となったH14年12月6日の潮位波形（図-2）を非定常で与えるものとした。

また、計算は実時間で125時間（25時間周期×5回）を行い、計算時間ステップは1.5sとした。その結果、およそ33時間で周期的な変動状態に達することを確認した。

3. Partial-Cell 導入の概念

本研究で採用したモデル（Fantom3D）は開発進行中のモデルであり、既往報告^{6,7)}で実施された解析に対して、Wet&Dryの概念およびPartial-Cellの概念を組み込む機能が追加されたものに改良されている¹⁰⁾。

上記のうち、Partial-Cellの概念は、従来のデカルト座

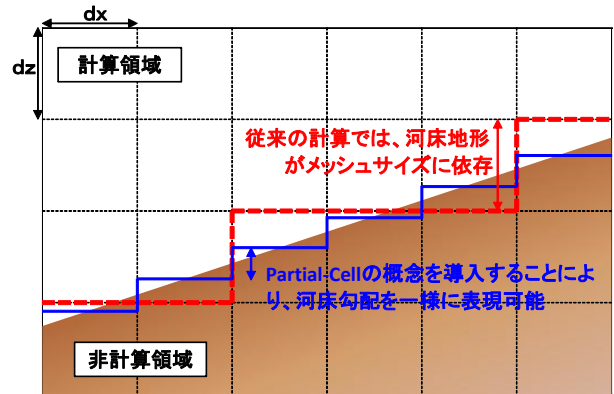


図-3 Partial-Cell 導入の概念図

標系の計算では、図-3（赤線）に示す通り、実河床を地形条件として入力した際に、規定されたメッシュサイズにより地形が極端な階段状に設定されてしまうため、河床付近で不連続な点が発生してしまうのが欠点の一つであり、これまでは鉛直メッシュを細分することにより対応が図られてきた。一方、Partial-Cellの概念を導入した場合、河床地形を一様の勾配として再現することが可能となり、図-3（青線）に示す通り、従来計算よりもスムージングされた河床地形での計算が可能となる。その結果、極端に大きな鉛直流速成分の発生を抑制し、より現実に近い解析が可能となるのが大きな特徴となっている。

上記を踏まえ、本研究ではPartial-Cellの機能を計算に組み込むことにより計算結果にどのような変化が生じるのかについて検討を行った。なお、Partial-Cellの導入による効果が得られ易いように、鉛直方向のメッシュサイズについてはあえて40cm間隔と大きく設定して解析を行うものとした。

4. 解析結果

Partial-Cellの導入の有無による解析結果の比較は、図-2に示す①潮位低下時（33hr後）、②潮位立ち上がり時（36hr後）、一山目のピーク時（42hr後）、潮位ピーク時（50hr後）の4つの時間を抽出し、塩分濃度（図-4）と鉛直流速成分（図-5、図-6）の縦断分布コンター図を用いて行った。なお、鉛直流速成分のコンター図は、新釧路川が河床勾配を持ち始め、Partial-Cell導入の効果が顕著に現れると考えられるKP8.0より上流（図-6）とそれより下流（図-5）に分離して表示した。

塩分濃度は、抽出時間①～③についてはPartial-Cellの概念を導入しても遡上域や遡上形態に大きな変化は得られない結果となった。一方、潮位のピーク時（抽出時間④）においては、Partial-Cellの概念を導入することにより、10psu程度まで希釈された塩分の塩水遡上距離が1km程度小さく評価される結果が得られ、Partial-Cellの導入により河川水の流下がスムーズになるとともに、遡上した塩分の拡散が抑制されたものと推察された。

また、鉛直流速は、特に新釧路川が勾配を持つKP8.0より上流域において、Partial-Cellを導入することにより大きな鉛直流速が発生する箇所が減少する傾向が見られ、河床地形のスムージングの効果が得られたと考えられる。

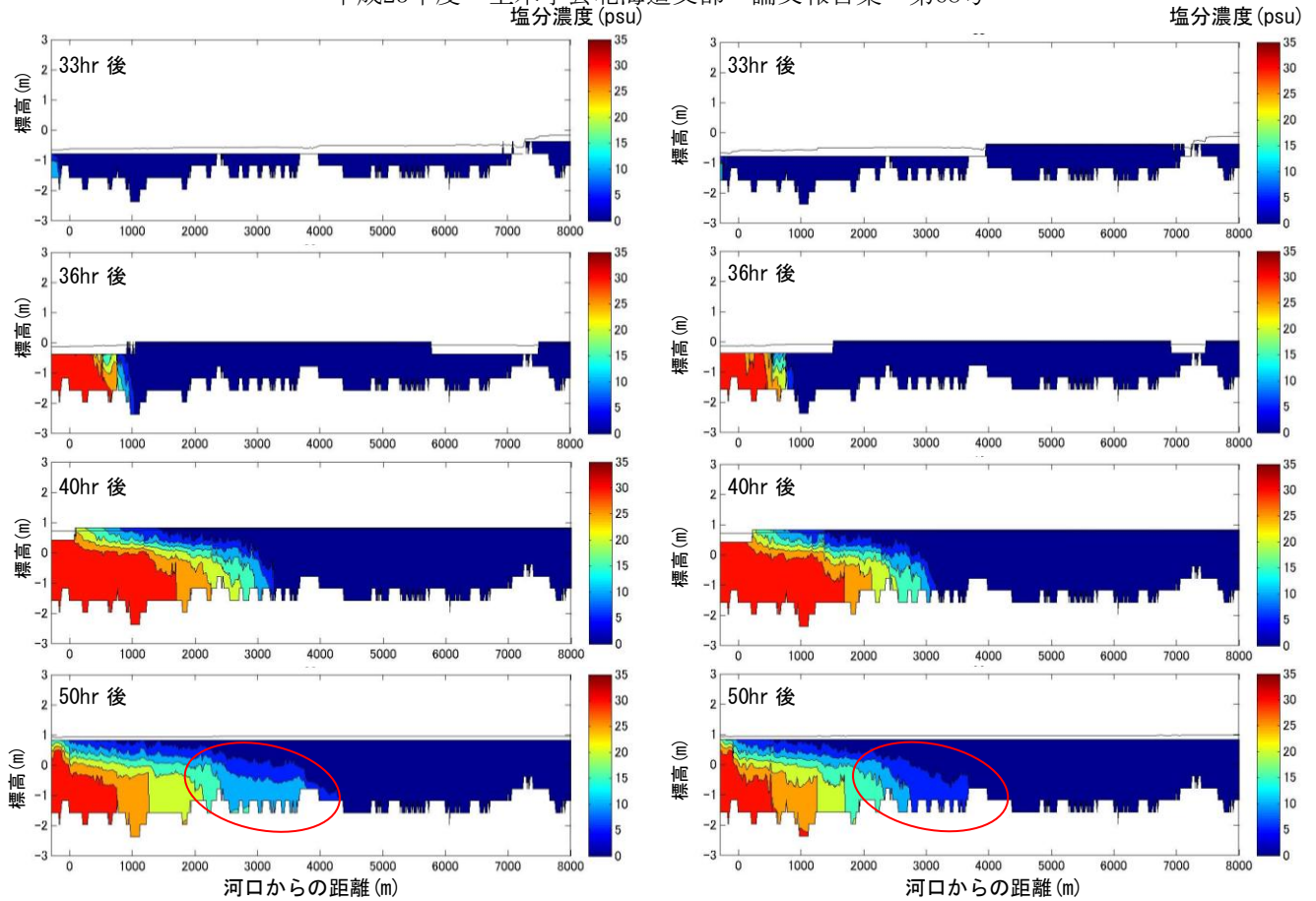


図-4(1) Partial-Cell を考慮しない塩水遡上解析結果

図-4(2) Partial-Cell を導入した塩水遡上解析結果

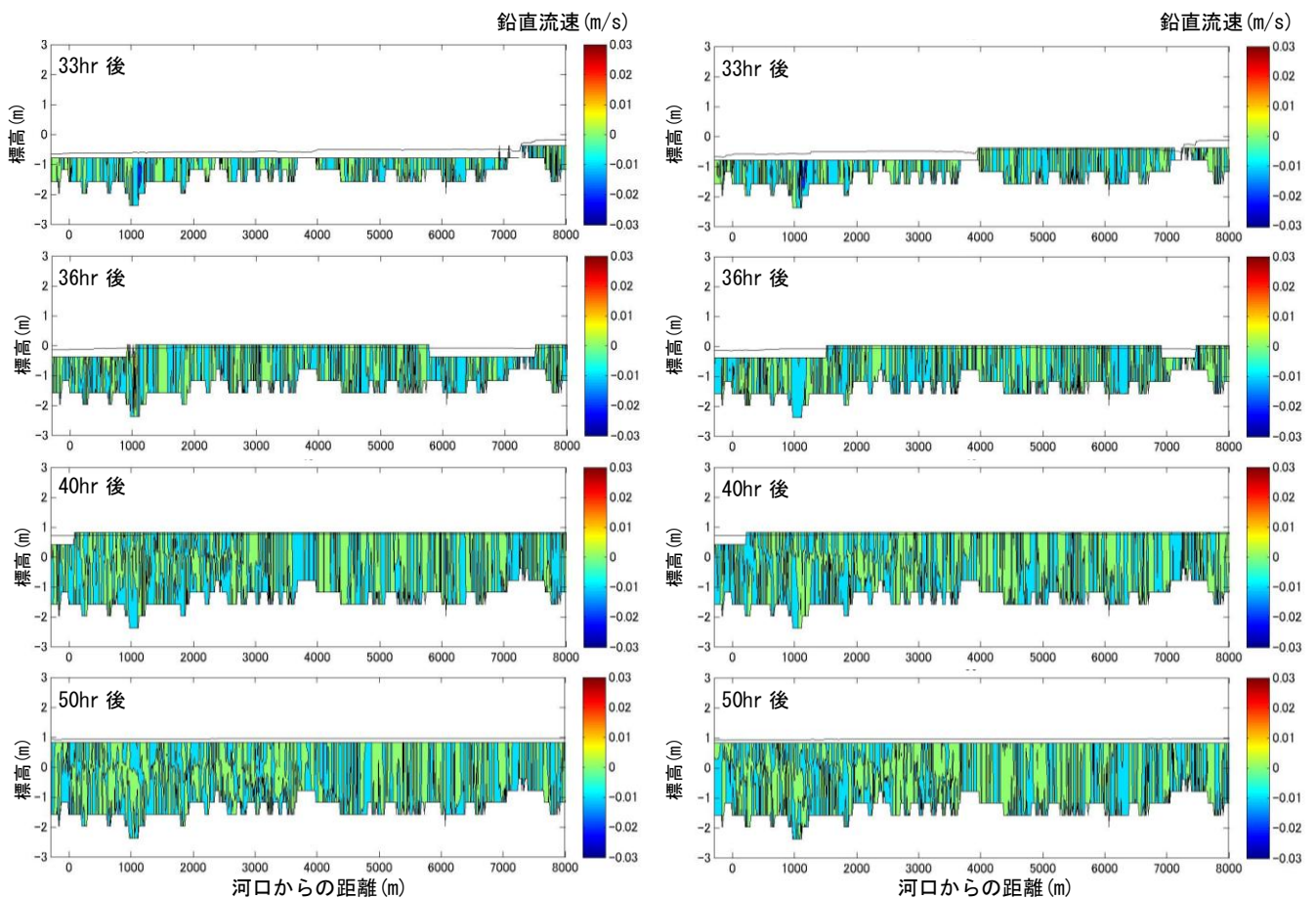


図-5(1) Partial-Cell を考慮しない鉛直流速(下流域)

図-5(2) Partial-Cell を導入した鉛直流速(下流域)

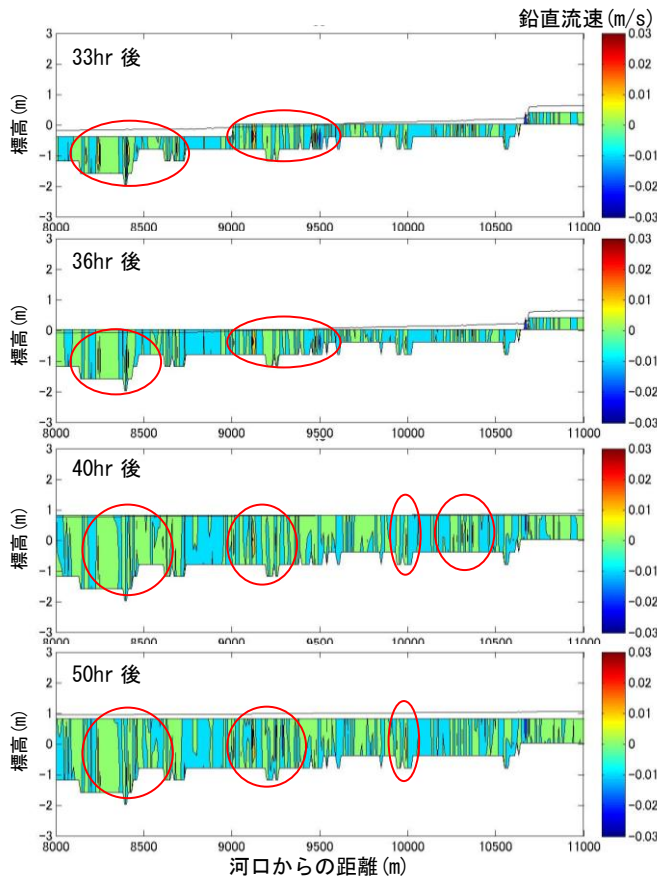


図-6(1) Partial-Cell を考慮しない鉛直流速(上流域)

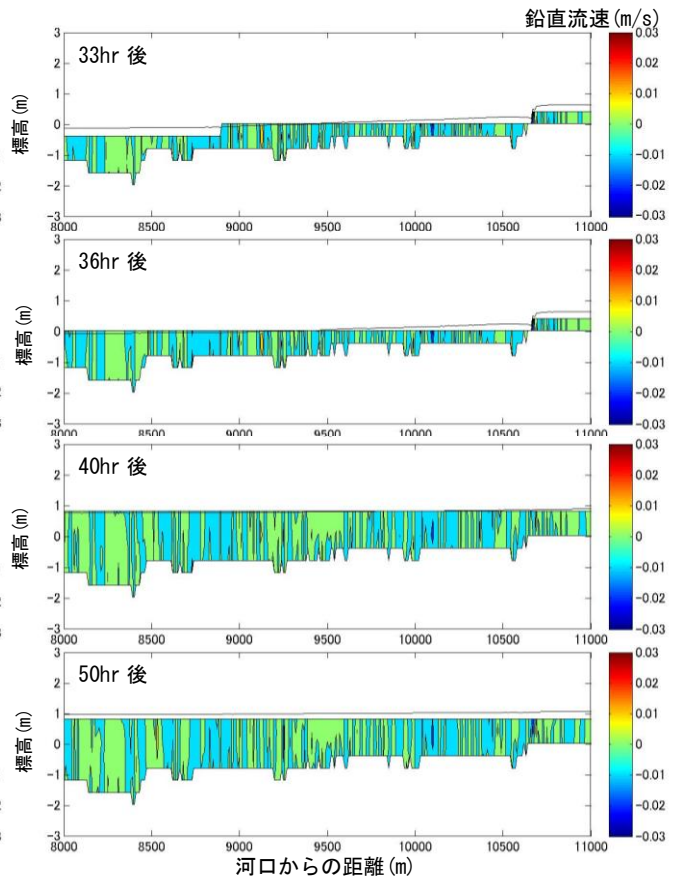


図-6(2) Partial-Cell を導入した鉛直流速(上流域)

5. おわりに

本研究では、Partial-Cell の概念を導入したオブジェクト指向型環境流体モデル (Fantom3D) を用いて、新釧路川を対象とした塩水遡上解析を実施し、Partial-Cell 導入の効果について以下の結論を得た。

- (1) Partial-Cell を導入することにより、特に潮汐のピーク時に、10psu 程度まで希釈された塩分の塩水遡上距離が 1km 程度小さく評価される傾向が見られた。
- (2) Partial-Cell を導入することにより、特に新釧路川が河床勾配を持ち始める KP8.0 より上流域において、大きな鉛直流速が発生する地点が減少する傾向が見られた。
- (3) Partial-Cell を導入することにより、従来よりも鉛直メッシュサイズを大きく設定し、計算時間を短縮できる可能性が示唆された。今後は、様々なメッシュサイズでの計算を実施し、計算精度と計算に要する時間の観点から最適なメッシュサイズを設定していく必要がある。

参考文献

- 1) 栗島知哉, 高橋克人, 宮島滋近, 平野道夫, 山田正: 塩淡水二成層を形成している網走湖の塩水の流出入に関する研究, 水工学論文集, 第 37 巻, pp.305-312, 1993
- 2) 池永均, 向山公人, 大島伸介, 山田正: 塩淡水二成層を形成する汽水湖沼の長期的な界面変動予測手法の開発, 土木学会論文集, 第 628 巻, pp.77-96, 1999.
- 3) 池永均, 大東淳一, 三沢大輔, 内島邦秀, 樫山和男,

山田正: 網走川における塩水遡上特性と塩水楔の形態変化に関する研究, 水工学論文集, 第 42 巻, pp.775-780, 1998

- 4) 吉川泰弘, 渡邊康玄: 結氷時の塩水遡上に関する現地観測, 河川技術論文集, Vol.12, pp.157-162, 2006
- 5) 吉川泰弘, 安田浩保, 渡邊康玄: 網走川における透過性構造物の塩水遡上への影響, 河川技術論文集 Vol.13, pp.7-12, 2007
- 6) 中山恵介, 佐久間慎雄, 新谷哲也, 中本篤嗣, 山村諭: 釧路湿原への塩水遡上に関する調査と検討, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp.789-794, 2010
- 7) 中本篤嗣・新谷哲也・中山恵介・丸谷靖幸・石田哲也・法村賢一: 海面上昇を考慮した釧路湿原への塩水遡上の影響評価, 水工学論文集, 第 55 巻, pp.1351-1356, 2011.
- 8) 新谷哲也, 中山恵介: 環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検証, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1267-1272, 2009
- 9) Shintani T. and K. Nakayama: An object-oriented approach to environmental fluid modelling, The 21st International Symposium on Transport Phenomena, in press, 2010
- 10) 新谷哲也, 中山恵介, 中本篤嗣: 環境流体解析のための簡易 Wetting and Drying スキーム, 水工学論文集, 第 56 巻, 印刷中, 2012
- 11) Maruya Y., K. Nakayama, T. Shintani and M. Yonemoto: Evaluation of entrainment velocity induced by wind stress in a two-layer system, Hydrological Research Letters, Vol. 4, pp.70-74, 2010, doi:10.3178/hrl.4.70.