

沖積河川における河道形成機構の解明と洪水災害軽減に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：寒地河川チーム

研究担当者：平井 康幸、永多朋紀、赤堀良介

【要旨】

本研究は、沖積河川の河道形成機構と水理特性を解明し洪水に対する脆弱性を把握するために、河道水理（流量、流速、水深）、河床変動、氾濫の各計算および結果を可視化できるソフトウェアを、北海道大学、アメリカ地質研究所、京都防災研究所、米国地質調査所と協力して行った。また、そのソフトウェアを洪水災害軽減の検討を行なうための標準プラットフォームとして、アジア・モンスーン地域をはじめとする沖積河川地域に普及した。さらに、北海道内の河川技術者を対象に、iRIC を用いた洪水管理能力向上および洪水災害軽減に関する研修会を実施し、研修会のアンケート調査を通じて、ソフトウェアの評価および課題の抽出を行った。受講者の 90% が iRIC を活用できると回答し、84% が今後の研修も受けたいと回答した。

キーワード：沖積河川、河道形成機構、洪水管理能力、水理解析ソフトウェア

1.はじめに

洪水に対する持続可能な安全性の確保のためには、河道形成機構と水理特性を解明し洪水に対する脆弱性を知ることが非常に重要である。これは施設整備（ハード）の優先度決定に必要であるほか、警戒避難等の非構造物対策（ソフト）にも必要な情報である。

本研究では、河道内の水理量に加えて河床変動と都市氾濫を再現できる河川水理解析ソフトの開発を行ない、それを用いた沖積河川地域での河道形成機構及び水理特性の解明と洪水災害軽減に関する能力開発について検討を行なった。

2. 水理解析ソフトの開発

水理解析ソフトの開発は、iRICソフトウェアをプラットフォームとして実施した。iRICとは、清水康行教授（北海道大学）とJonathan Nelson博士（アメリカ地質研究所）の提唱により開発が進められてきたソフトである。現在では、オランダ、タイ、台湾、カナダ、フランス及び英国の関係研究機関の協力を得て国際的な広がりを見せている。iRICソフトウェアは、プリプロセッサ、ポストプロセッサ、ソルバーの3つの機能から構成されている（図-1）。

プリプロセッサとは、計算格子の作成や計算条件（水理条件や計算手法など）を設定するための機能である。iRICでは、河川測量データやDEMデータなどの測量データから計算格子を作成することができる。また、実験やテスト計算のための、幾何学形状を設定し計算

格子を作成することも可能である。

ポストプロセッサとは、計算結果の可視化や分析をおこなうための機能である。iRICでは、計算結果の可視化では、ベクトル図やコンター図、グラフ作成などがおこなえます。また、可視化結果をJPGファイルなど画像ファイルやGoogleEarthへの出力することができる。

ソルバーとは、河川流れ、河床変動、氾濫計算などの現象を予測する数値計算モデルのことである。iRICでは、北海道大学が中心となり開発したNaysシリーズ、USGSが中心となり開発したFaSTMECHおよびSToRM、京都大学防災研究所が中心となり開発したMorpo2Dなどが組み込まれている。

しかし、上述のソルバーは、河道内の水理と河床変動を予測するモデルであり、洪水氾濫を予測するモデルは組み込まれていない。そこで、本研究では、北海道大学と協力して、洪水氾濫を予測するモデル(Nays2D Flood)の開発を実施した。

Nays2d Flood は一般曲線座標で境界適合座標を用いた非定常平面二次元流計算による氾濫流解析用ソルバーである。本解析ソルバーは北海道大学の清水康行によって開発されたNays2D ソルバー内の平面二次元流計算を氾濫流解析に適用したものである。モデルの基礎式、マニュアル、事例集がiRICのホームページ(<http://i-ric.org/ja/>)からダウンロード可能である。

Nays2d Floodの特徴として、上流端および左右側方

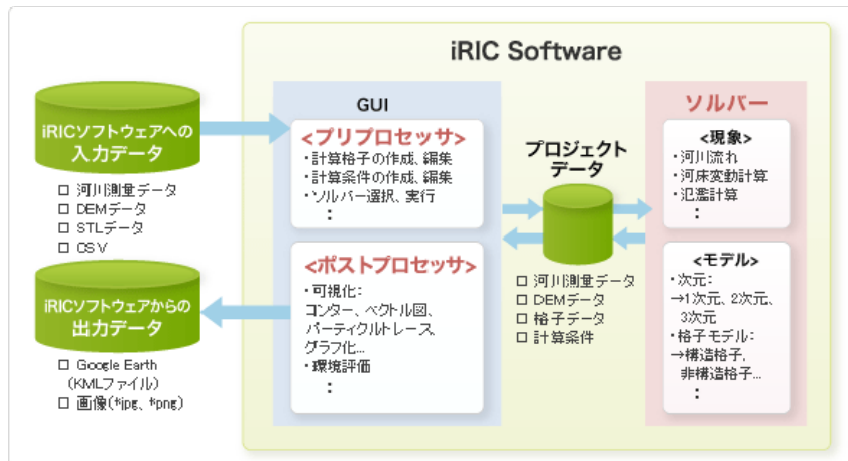


図-1 iRIC ソフトウェアの概念

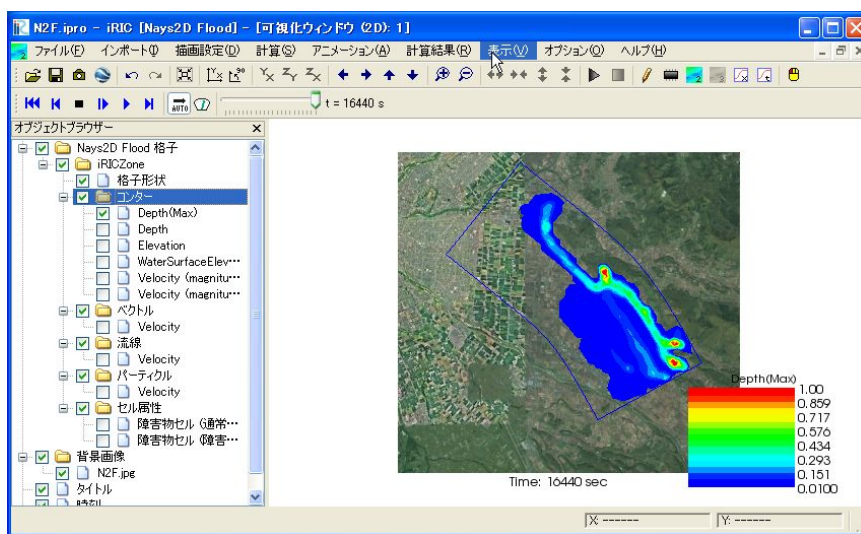


図-2 Nays2D Flood による計算例（最大水深）

の任意の複数の箇所からの非定常流量の流入条件を容易に設定できる。図-2は、Nays2D Floodを用いた北海道東川町周辺の氾濫計算結果である。この計算では、5つの中小河川が同時に氾濫した場合を想定している。

また、本ソフトはフリーソフトのため、行政の技術者が受注者側から受け取った成果（本モデルの計算結果）を基に、更なる分析やフォローアップを行うことが可能である。

3. iRIC ソフトウェアを用いた河道形成機構の解明

河川の安定河道形状については、治水の観点から多くの研究が行われている。また、持続可能な河川の維持管理を考える上で、河川の蛇行現象の解明は必要不可欠である。

本研究では、iRIC ソフトウェアに組み込まれている Nays2D ソルバーを用いて、蛇行実験の再現検証を

実施した。

3.2. 蛇行実験の概要

蛇行実験は、長さ 50 m、幅 0.9 m の実験水路を用いて実施した。使用した砂の粒径は 0.76 mm である。実験条件を表-1 に示す。

実験は、Case1 と Case2 の 2 ケースを実施した。Case1 と Case2 の違いは、初期河床において 30cm 幅の低水路を設定したかしないかである(写真-1,2)。

実験結果を図-3 および図-4 に示す。2400 時間通水後の蛇行波長を見ると、Case1 では 5~6 m 程度であったのに対し、Case2 では 10~12 m 程度であった。

3.3. 蛇行実験の再現検証

iRIC の Nays2D ソルバーを用いて、Case1 および Case2 の再現検証を実施した。

表-1 蛇行実験の実験条件

	Length (m)	Width (m)	Discharge (l/s)	Bed slope	Initial width (m)	Initial bank height (m)
Case 1	50	90	6.4	1/200	0.9	0.00
Case 2			6.4	1/200	0.3	0.07



写真-1 Case 1 の初期河床



写真-2 Case 2 の初期河床

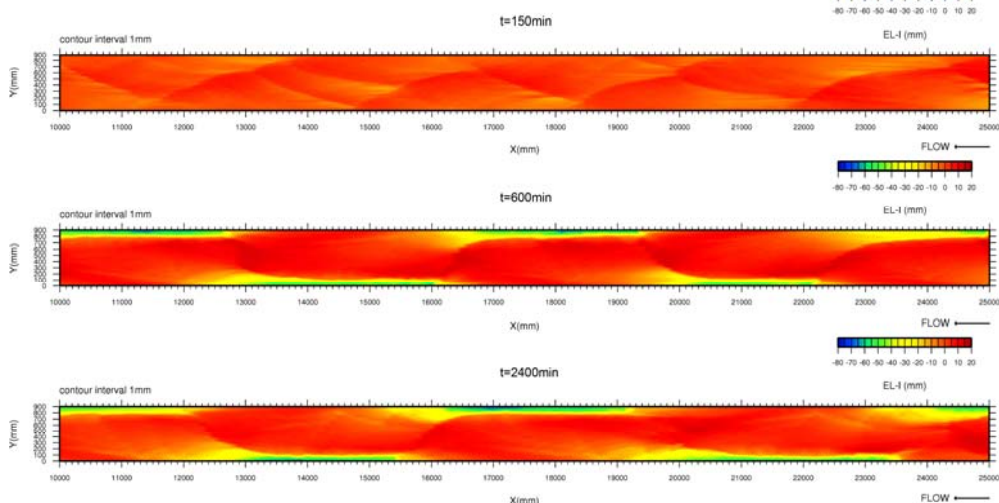


図-3 Case 1 の実験結果

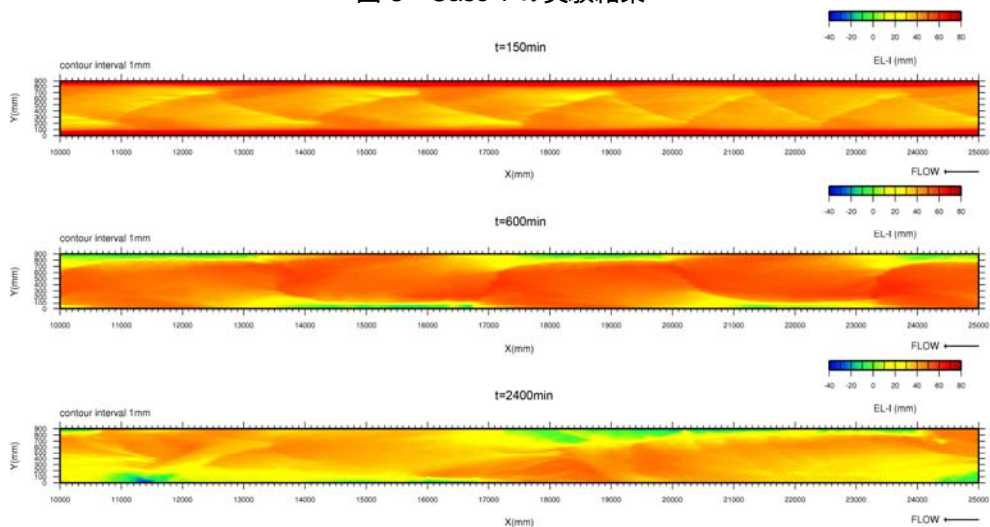


図-4 Case 2 の実験結果

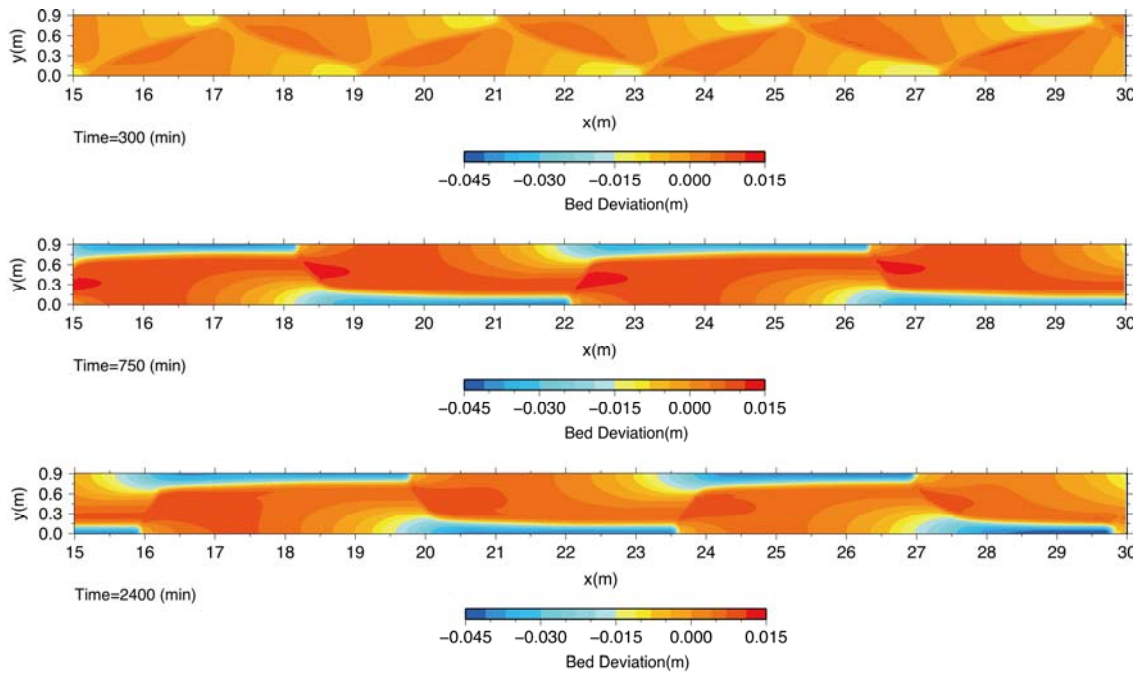


図-4 Case 1 の再現検証結果 (Nays2D ソルバー)

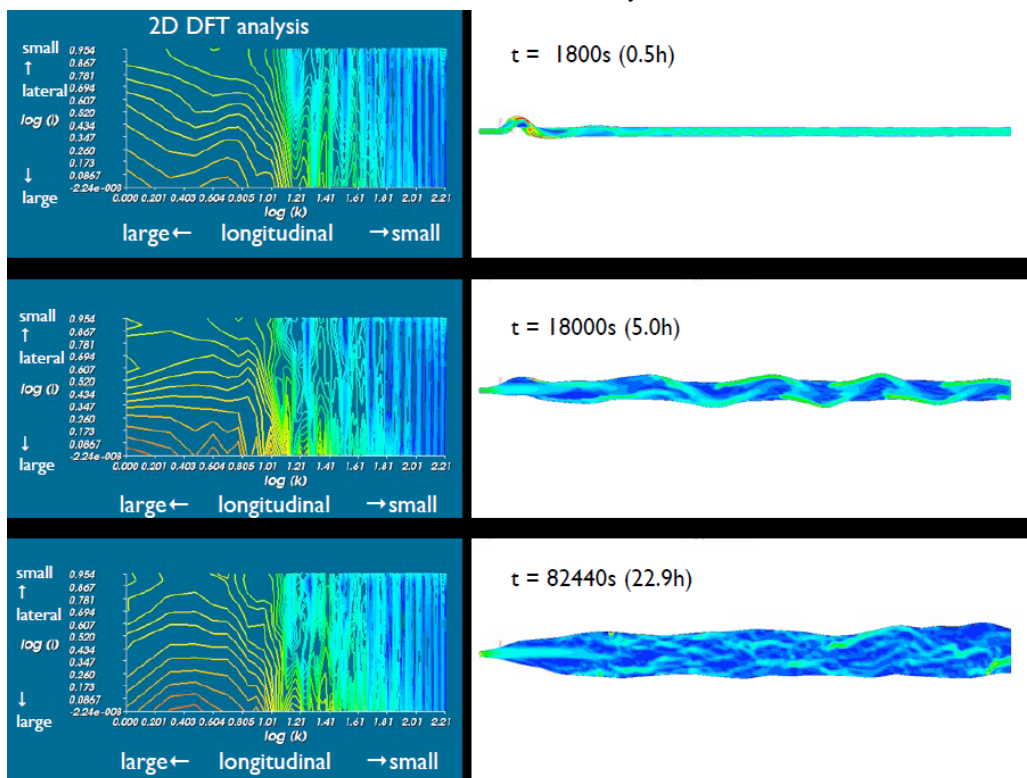


図-4 Case2 の再現検証結果 (右図) と 2次元フーリエ解析結果 (左図)

図-4 は Nays2D ソルバーによる、Case1 の再現計算結果である。これによると、計算結果の蛇行波長も実験と同じく 5~6 m となった。

図-5 は Nays2D ソルバーによる、Case2 の再現計算結果と 2次元フーリエ解析結果である。この計算では、初期河床を 30 cm 幅の水路とし、河岸浸食によりどの

ように蛇行波長が変化していくかを検証した。これによると、河道の拡幅に伴い、蛇行波長が大きくなっていくことが確認された。

以上のことから、iRIC の Nays2D ソルバーは、河川の蛇行現象を概ね再現可能なことが確認できた。

4. iRIC ソフトウェアの普及

本研究では、洪水管理能力の向上を図るために、iRIC ソフトウェアのアジア・モンスーン地域を中心に普及活動を実施した（表-1 および写真-1～写真-5）。

表-2 iRIC ソフトウェアの普及

年月	場所	内容
2009.8	タイ	WRECON 学会へ出品・展示
2009.9	アルゼンチン	RCEM へ出品・展示
2009.10	アメリカ	開発者会議
2009.11	インドネシア	JICA 研修生向け講演会
2009.11	フィリピン	ソフトウェア講習会
2010.2	チリ	ソフトウェア講習会
2010.4	東京	リリース説明会
2011.1	エジプト	ソフトウェア講習会
2011.4	台湾	開発者会議
2011.8	タイ	iRIC セミナー
2011.9	中国	RCEM でのデモ展示
2012.3	ネパール	iIRC セミナー



写真-3 チリ・ソフトウェア講習会



写真-4 タイ・iRIC セミナー

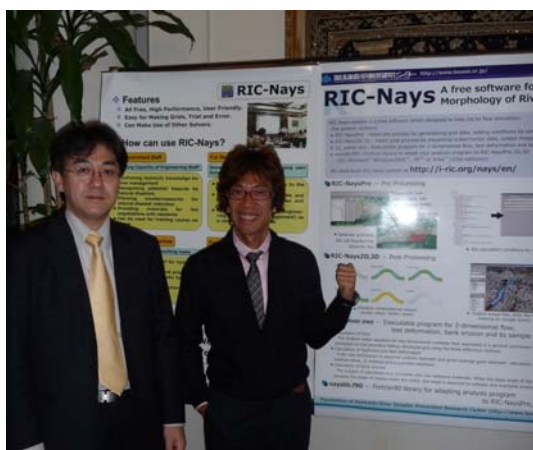


写真-1 タイ WRECON 学会へ出品・展示



写真-5 ネパール・iIRC セミナー



写真-2 アメリカ・開発者会議

5. 洪水管理能力の向上に関する評価手法と検証

河川管理者の洪水管理能力の向上を目的に、表-2 に示す普及とは別に、国土交通省北海道開発局の河川技術職員を対象に、iRIC を使用した洪水管理能力の向上に関する研修会を実施した。また、研修会の効果検証

とソフトウェアの課題を把握するためにアンケート調査を実施し、アンケート結果の考察を行った。

表-3 事前演習問題

演習問題①	配布された現況横断データと計算条件を用いて流況計算を行い、その結果から問題点等を考察すること。
演習問題②	演習問題①で作成した計算格子を使用して、目標流量を安全に流下させることが出来る河道断面を設定し、流況計算を行い、その結果から現況河道からの改善点、残存する問題点等を考察すること。

表-4 アンケート調査における質問

質問 1	今回の演習全体を通じて、理解度はどのくらいですか。
質問 2	何が理解できませんでしたか。
質問 3	演習内容の難易度はいかがでしたか。
質問 4	何が難しかったですか。
質問 5	iRIC を操作するにあたり、難しかったことはありますか。
質問 6	操作にあたり何が難しかったですか。
質問 7	iRIC を担当の各河川で活用できると思いますか。
質問 8	その活用内容を記入してください。
質問 9	活用にあたり課題があるとすれば何ですか。
質問 10	今後、さらに演習を受けたいですか。
質問 11	次回はどのような内容が良いと思いますか。

5.1. 研修会の流れ

研修会では、2つの iRIC を用いた演習問題を、北海道開発局の河川管理者に実施してもらい、研修会当日に結果を発表してもらった。北海道開発局の河川技術者による発表の終了後、当研究所の研究員が模範解答として発表を行い、その後、演習問題の検討結果についてディスカッションを行った。

演習問題は表-2 のとおりである。演習問題は、iRIC を用いてただ計算をするだけではなく、計算結果から問題点を抽出し、問題点を解決する能力を養うことを意図し作成した。

5.2. 研修アンケート

研修アンケートの質問事項は表-3 のとおりである。質問 1 から質問 4 では、研修会および演習問題の理解度を確認している。質問 5 から質問 6 では、iRIC の操作性の確認を行なっている。質問 7 から質問 9 では、iRIC を実際に業務で活用できるかを確認している。質問 10 および質問 11 では、今後も研修を続けていく必要性を確認している。

5.3. 研修アンケート結果

図-5 に質問 1 「研修会の理解度」の回答を示す。これによると、受講者の 85% が内容をほぼ理解できている。

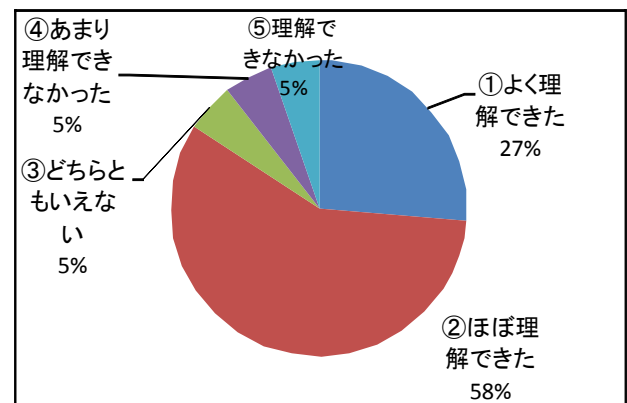


図-5 質問 1 に対する回答

以下に質問 2 「理解できない点」の回答を示す。

- ・ 格子生成する際に何に着目すべき点が解らなかった (各開建で横断分割や縦断分割の数がバラバラだった。分割方法の考え方が不明)。
- ・ プログラムの操作方法等は自分で計算を行ったので、概ね理解できましたが、模範解答と自分で行った計算の設定条件の違い等を踏まえ、計算結果の違いを確認してみたいです。
- ・ 各開建の演習結果を見ると、メッシュの切り方、計算条件の違いで、結果に違いが生じており、どれが正解ということは無いのかもしれないが、今後自分たちの河川で進めていく上で、どの様に設定するのが妥当か判断するのが難しいと感じた。
- ・ 演習問題については、いろいろと他開建の情報 (設定方法など) を聞かなければ出来なかったという点で②回答としました。特に、移動床、固定床のポリゴン設定については聞かなければわからなかった。
- ・ 格子の設定や断面の取り方等妥当と思われるやり方が分からなかった。

- ・ 助走区間のとりかた。
- ・ 計算区間の最下流端の水位が開建によって、高くなったり低くなったりする理由が、よく理解できませんでした。

これによると、計算格子、計算条件のとり方により若干計算結果が変わることに、違和感を覚えた受講者が多い。数値計算を行う上で、キャリブレーション（再現検証）は必須次項であり、重要度の高い項目の一つである。しかし、多くの受講生は、これまで建設コンサルタント等が実施したキャリブレーションの結果しか確認しておらず、その過程を理解していないことが伺える。

質問3「演習問題の難易度」の回答を図-6に示す。これによると、受講生の約70%が妥当だったと回答している。しかし、①簡単だった、②やや簡単だったと回答した受講生がいなかったことから、事前演習問題の難易度はやや高かったと考えられる。

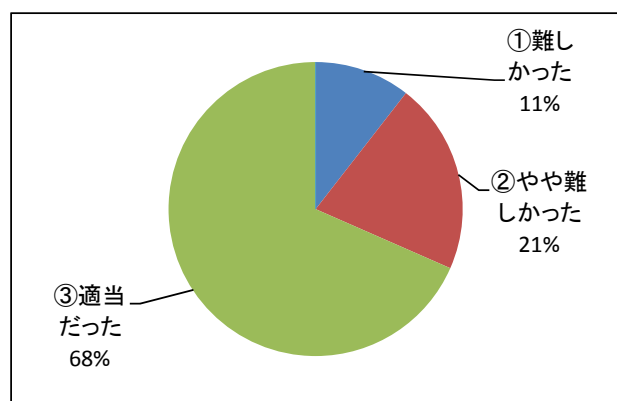


図-6 質問3に対する回答

質問4「難しかった点」に対する回答を以下に示す。

- ・ 事前演習問題について、作業が思った以上に地道な作業で難易度が高かったと感じました。
- ・ 時間が限られた中で結果を出すこと
- ・ 計算格子や計算条件設定の妥当性判断
- ・ 細かな条件設定（移動床、固定床のポリゴン設定、粗度の設定）
- ・ 格子分割点の設定の方法がわからなかった。
- ・ 水位が思ったように下がらず、掘削範囲の設定。
- ・ 作業当初の河道条件などの設定のこつを掴むまでが大変だった。iRIC ソフトになれていない事と自席 PC の性能による制約などから、メールや通常業務など、日中はトライアルなどに時間を取れなかったので大変だった。

これによると、iRIC の操作や、計算条件の設定方法

などの他に、作業時間を確保することの困難さが伺える。河川管理者が iRIC などの数値計算モデルを使い洪水管理能力を上げていくためには、作業時間を以下に確保するかが課題であると考えられる。

質問5「iRIC 操作で難しかった点の有無」に対する回答を図-7に示す。これによると80%の受講生が、操作で難しい点があったと回答している。

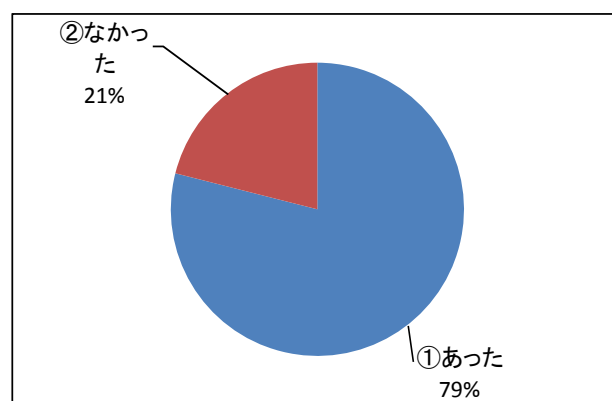


図-7 質問5に対する回答

質問6「iRIC 操作で難しかった点」に対する回答を以下に示す。

- ・ 作業内容が慣れていないため、一つ一つの作業に時間がかかり大変だった。
- ・ 格子の属性をポリゴンで設定する際、設定しきれない箇所を一つ一つ直す作業が時間もかかり、不便であった。
- ・ 初めての操作だったため、格子の設定や粗度の設定方法の効率が悪く大変時間がかかってしまった。また、計算結果の出力例等がマニュアルにあると、わかりやすいと思いました。
- ・ ポリゴンがベタ塗りのため基図が見えづらかった（半透明の方がわかりやすい？）。
- ・ 初期設定（背景画像と地形データの重ね）から時間がかかりすぎた。
- ・ メッシュの設定について、湾曲部など細かく設定していかなければならない。
- ・ 常に使い続けないと、操作方法が分からなくなる。（操作の順番やエラーが発生した際の原因など浮動でガイダンスが出るとありがたい）
- ・ 条件設定が上手くいかず、計算タイムステップや計算時間など何度もトライアルした。（PC の性能にもよるか）
- ・ ポリゴンデータ作成時に横断と平面から読み取らなければならず戸惑ったが操作的には慣れる

と扱いやすいと思う。垂直写真に横断を重ねられると非常に作業がしやすいと感じた。

- ・ ショートカットキーなどの把握が出来ていなかったため、河道断面設定など、Officeなどで通常出来る様な操作が出来なかったため苦労した。
- ・ 地形データと空撮写真を重ねる作業に時間がかかった。
- ・ 属性マッピング後の粗度ポリゴンの修正作業が手間だった。

これによると、ポリゴン、属性マッピング、背景画像などの、半手で設定する必要のある部分が、難しいことが伺える。今後、半自動部分の改善に重点を置いて開発を進める必要がある。

質問7「iRICを活用できるか」に対する回答を図-8に示す。これによると、90%の受講生が何らかの形で、iRICを実際の業務でも活用できると回答している。このことから、iRICが現場レベルの河川技術者のニーズにある程度応えられていると考えられる。

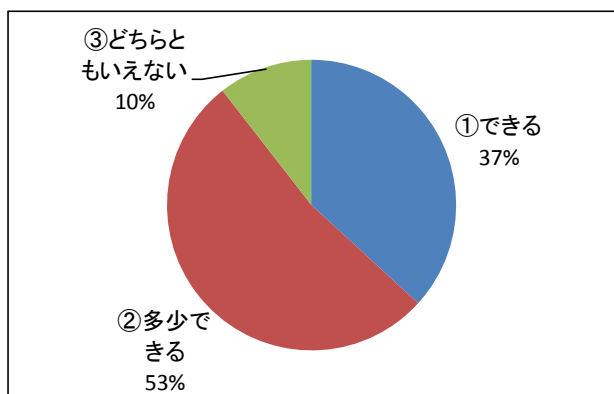


図-8 質問7に対する回答

質問8「活用内容」に対する回答を以下に示す。

- ・ 河道変化に対する予測に役立つと思います。
- ・ 最終的には、現在課題としている河床低下箇所の再現やH23.9出水の音更川の被災状況の再現等をiRICでできれば、現象の要因分析に役立ち、今後につながると考えられる。
- ・ 諸条件の設定で計算結果が変わってくるので、詳細な断面設定等まではなかなか難しいと思いますが、流速や水面形等のチェックをする際に活用できるのではと思います。
- ・ 河川改修（掘削、樹木抜木など）による大まかな効果を把握できる。
- ・ 樹木の維持的な伐採などで、年次計画や切る範囲の工夫を考えることが出来る。誰が使っても同じ

結果とならないところが不安要素。

- ・ 河道掘削後の樹林化抑制を検討する（摩擦速度、無次元掃流力）。
- ・ 業務として発注するほどでもないようなトライアル計算など
- ・ 護岸設置による河道変化要因のを整理する際、護岸設置の有無による違いなどの検証に活用したい。
- ・ 各河川で発生した局所的な問題点について、なぜ起こったか、どうすれば改善されるかなど、要因分析に使用。また、実工事担当者が工事実施前に工事後の河道の応答のチェック等
- ・ 構造物設置による河道状況の変化の確認。河道掘削後の流下能力チェック。
- ・ 住民説明会用の資料
- ・ 樹木管理の検討、河川改修による河道へのインパクト（流速・水位の変化、河床変動）の予測
- ・ 今後実施予定箇所の河道掘削断面の妥当性について自ら実施し確認可能となる。また、土砂堆積等の要因等解析の基礎資料として活用可能となる。
- ・ 改修工事（河道掘削、護岸設置等）による河道の応答の確認等に活用できる。
- ・ ①低水護岸の設計に際して、低水路の洗堀などの予測が立てられるのではないかと。②水防団待機水位などの設定水位に対し、検証が出来るのではないかと。
- ・ 堤防流出や河岸浸食の恐れがある箇所の検討及び確認に活用したいです。
- ・ 掘削後どのような河床形状になっていくのか（堆積するかどうか）を検証できればと思います。

これによると、河道改修や護岸設置などの河道改修のインパクトに対するレスポンスを大まかに把握するために活用したいという意見が多い。これは、本研修会およびiRIC開発の主目的の一つである、河川管理者の洪水管理能力の向上に繋がる活用方法である。

質問9「活用にあたっての課題」に対する回答を以下に示す。

- ・ 現在の横断測量データ（数値データ）はそのままiRICに使用できないため、横断測量データをiRICの「riv」データに変換する良いソフトがあれば良い。
- ・ ハイドロや河道条件、床止め等構造物だけでなく、樹木の扱い（倒伏するかどうか）等も影響するた

め、ある程度の再現結果を得ることも簡単ではないのではないかと思います。

- ・ 各開建で、iRIC を操作できる職員をさらに増やす取り組みを継続的に行う必要があると思います。
- ・ 「正しく格子データが作成されているのか」や「正しく計算されているのか」を判断するチェックリスト等があれば助かります。
- ・ 誰が使っても同じ結果とならなそうところが不安要素。
- ・ 結果についての、妥当性の確認方法。
- ・ 測量成果で納められている横断データをそのまま iRIC に取り込むことが出来ないため、横断データの修正が必要。
- ・ 操作性の向上（講義を受けた職員や、ある程度知識を持った研究者以外の職員には、まだ使用が難しいと思うため）
- ・ 課題は、iRIC をもっと使いこなせるようになるためのスキルアップ。どのような計算を実施しているかなど、計算式の理解。
- ・ 活用頻度が少なければ操作を忘れてしまうので、定常的に活用しなければならぬような措置を考える必要がある。

これによると、iRIC の操作性、操作に関するスキルアップ、結果の妥当性の確認方法などが、課題としてあげられている。

質問 10「今後の研修の必要性」に対する回答を図-9 に示す。これによると、85%の受講生が今後の研修を受けたいと回答しており、継続的に研修会を実施していく必要がある。

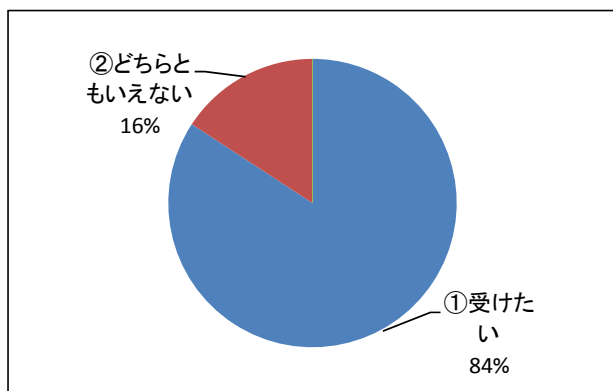


図-9 質問 10 に対する回答

質問 11「今後の研修内容」に対する回答を以下に示す。

- ・ 各河川において独自に作業をすると、何が正解か

分からないため、もう少し同一河川による演習をした方がよいと感じました。

- ・ 実際に演習を解く職員同士での情報共有やお互いに教え合うことで、知識も身につくので、全開建で同じ課題に取り組む方がよいと思う。内容は、河床変動計算（樹木や水制等構造物有り）で、実際の洪水のハイドロを与え、流量増加時、減少時の河床変動特性などが議論できれば良いのではないかと思います。
- ・ 「正しく格子データが作成されているのか」や「正しく計算されているのか」を判断するコツや着目点など。
- ・ 掘削断面の設定や樹木伐採による流量や流況の変化など
- ・ 河道変化の要因分析の結果の再現を目標とする。例えば護岸なら、護岸の有無、樹木の有無による影響等を分離して考察できるのではないかな。
- ・ 今回は樹木、河床の変動などは無しとした演習であったため、より実践的にそれらも考慮した演習
- ・ 詳細な諸条件の設定の仕方や考え方について、まずは清水先生や寒地に相談しながら、各自計算を行い、詳細な諸条件の設定方法や考え方について、分からなかった箇所、問題になった事を会議で集まり発表を行う等はいかがでしょうか？
- ・ 支川合流。護岸設置。河道掘削。・・・2人
- ・ 河床変動計算（再現計算を行った後の将来予測）・・・3人

これによると、計算結果の妥当性の確認方法（キャリブレーション方法）、河床変動計算などについて研修を行なって欲しいという要望が多かった。

7 結論

本研究で得られた主な知見と今後の課題について以下に列記する。

- 1) iRICソフトウェアをプラットフォームとして、北海道大学と協力し、洪水氾濫を予測するモデル(Nays2D Flood)の開発を実施した。
- 2) iRICソフトウェアを用いた河道形成機構の解明を目的に、河川の蛇行実験と、iRICに組み込まれているNays2Dソルバーの妥当性を検証した。
- 3) 洪水管理能力の向上を図るために、iRICソフトウェアのアジア・モンスーン地域を中心に普及活動を実施した。
- 4) 河川管理者の洪水管理能力の向上を目的に研修会

を実施した。また、研修会の効果検証とソフトウェアの課題を把握するためにアンケート調査を実

施した。受講者の90%がiRICを活用できると回答し、84%が今後の研修も受けたいと回答した。

RESEARCH ON CLARIFICATION OF THE MECHANISM OF RIVER COURSE FORMULATION AND REDUCTION OF FLOOD DISASTER IN ALLUVIAL RIVERS AND BASINS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : River Engineering Research Team

Author : HIRAI Yasuyuki

NAGATA Tomonori

AKAHORI Ryouzuke

To clarify the mechanism of river course formulation, hydraulic characteristics and vulnerability to flood disaster, software for hydraulic calculation of river course, river bed variation, inundation, and visualization of calculation result, was developed under the cooperation among related universities and agencies both domestic and international. The software was disseminated especially to Asia monsoon areas which have alluvial river basins thorough engineering seminars. Also domestic workshops were held to enhance practical capacity for managing flood risk of river administrative engineers.

- 1) In cooperation with Hokkaido University, a model for assessing flood overflow and inundation (*Nays2D Flood*) was developed under iRIC software platform;
- 2) An experiment on the river meandering was conducted in order to verify the validity of Nays2D Solver, and to clarify the mechanism of river channel formulation;
- 3) The iRIC software was disseminated especially to Asia monsoon areas which have alluvial river basins, in order to improve the capacity for floods risk management; and
- 4) Domestic training workshops were held to enhance practical capacity for managing flood risk of river administrative engineers. Questionnaire after workshops revealed that 90% of participants had thought they could utilize the iRIC software and 84% had answered they would like to attend subsequent workshops.

Keywords: alluvial river, mechanism of river channel formulation, capacity for flood risk management, hydraulic calculation software.