

# 人工衛星観測雨量を利用した洪水予測システム (IFAS)の開発

杉浦 友宣<sup>1</sup>・馬籠 純<sup>1</sup>・川上 貴宏<sup>1</sup>・小澤 剛<sup>1</sup>・深見 和彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(独)土木研究所 ICHARM 水文チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6) .

(独)土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)水文チームでは、地上水文情報が十分に確保できない発展途上国等の河川流域においても効率的に洪水予警報システムの構築が可能となるよう、入力データとして人工衛星によって観測された雨量情報を活用するとともに、グローバルGISデータを利用した流出解析モデル作成機能を有する基盤的な洪水予測システム(Integrated Flood Analysis System)を民間企業等との共同研究により開発した。開発にあたり、人工衛星によって観測された雨量情報は、一般的に地上観測雨量に比べて過小評価の傾向があるため、新たに補正手法の開発・実装を行っている。今後、衛星観測雨量の補正手法の精度検証・向上は必要であるものの、本システムは水文情報が乏しい地域における洪水予警報システムの構築に有効であると考えられる。本報では、これまでの開発の概要と普及活動について紹介する。

キーワード 人工衛星観測雨量, 流出解析, 洪水予測, 分布型流出解析モデル, GIS

## 1. はじめに

水関連災害は、人類の持続可能な開発、貧困の削減に向け克服すべき課題の一つで、近年、人口増加、資産の集中・高度化に伴い被害・影響が増加している。河川整備が十分ではない諸国においては、人的被害軽減の観点から、災害時における住民避難等の行動が確実に進むことが重要であり、このためには、ハザードマップ等による危険性の周知や、洪水予警報の発令による避難の有無の判断が必要となる。しかしこれらの国々では、費用的な問題や降雨情報の不足等の理由により、洪水予警報システムの整備が必ずしも十分に進んでいない状況にある。また国際河川の流域では、上流地域に位置する他国の水文データが得られないために、適切に洪水予警報システムの構築ができないといったケースもみられる。

筆者らは、これら水文情報の乏しい地域において、迅速かつ効率的に洪水予警報システムの構築が可能となるよう、人工衛星によって観測された降雨情報(以下単に「衛星観測雨量」とする)を活用した洪水予測システム(Integrated Flood Analysis System, 以下単に「IFAS」とする)の開発を行っている。このシステムでは、地上に設置された雨量計により観測された降雨情報(以下単に「地上観測雨量」とする)だけでなく衛星観測雨量を利用することが可能であるとともに、グローバルGISデータを利用したパラメータ推定機能を含むモデル作成機能、分布型流出解析モデルによる流出解析エンジン、結果表示機能を装備しており、このシステムにより洪水予報の発令に必要な一連の流出計算が可能となる。

本報では、IFASの開発経緯と主な特徴および機能、計算結果等について紹介を行う。

## 2. IFASのシステム概要

### (1) 開発コンセプト

IFASの開発コンセプトを以下に、IFASの基本構成を図-1に示す。

- ① 地上水文情報(雨量)が乏しい地域においても洪水予測が可能となるように、入力データとして地上観測雨量だけでなく衛星観測雨量を取り込むインターフェースを装備する。
- ② 様々な条件の流域において最適な計算ができるよう複数の流出解析モデルをモジュールライブラリとして備え、比較が出来るシステムとする。
- ③ 過去の水文資料がなくても洪水解析を可能とするために、土地利用や土質・地質などの流域内の地球物理的な特性によりパラメータの一次推定が可能である分布型モデルを流出解析モジュールとして採用する。

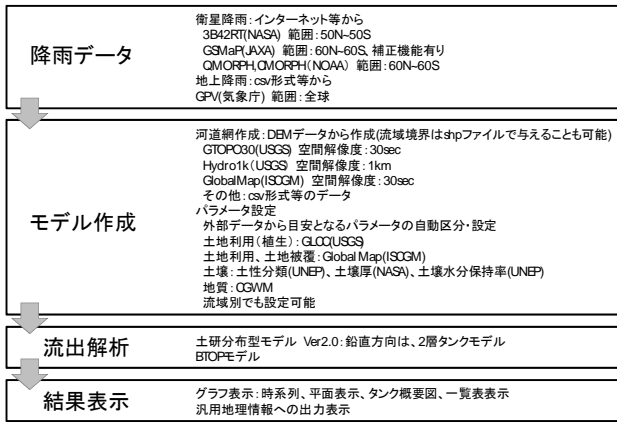


図-1 IFASの構成

- ④ GIS解析モジュールを内部に実装することにより、一般に無償で公開されインターネット等を通じて利用可能なグローバルGISデータに基づきモデルを作成しパラメータを設定する作業をIFASシステム単体のみで可能とする。
- ⑤ データ取り込み、モデル作成、流出計算、結果表示といった一連の解析が実行可能であるとともに、必要な標準的な入出力インターフェースを備える。
- ⑥ 発展途上国が自らシステム構築できるように、実行形式ファイルは無償で配布する。また研修等を実施し、操作の理解を助けるとともに普及を図る。

## (2) 開発体制

開発にあたっては、平成17年度から3年間にわたってICHARMを中心とし、すでに国際洪水ネットワーク(IFNet)を通じて衛星観測雨量を活用した豪雨警報の提供(GLOBAL FLOOD ALERT SYSTEM, GFAS)を行っている(社)国際建設技術協会、および民間建設コンサルタント9社(株式会社建設技術研究所、パシフィックコンサルタンツ株式会社、日本工営株式会社、株式会社ニュージェック、株式会社建設技研インターナショナル、八千代エンジニアリング株式会社、いであ株式会社、国際航業株式会社、株式会社東京建設コンサルタント)の共同研究により開発を行った。共同研究終了後は、(独)土木研究所において、機能追加等の改良を行っている。

## 3. IFASの主な機能

### (1) 衛星観測雨量入力機能

#### a) 衛星観測雨量

洪水予測のための流出計算を行うためには、何らかのリアルタイムもしくは時間遅れのある準リアルタイムの雨量データが不可欠である。現在では、表-1に示すようにほぼ全世界をカバーするいくつかの衛星観測雨量がインターネット上に公開されている。これら衛星観測雨量は、①雨量計や伝送装置を設置することなくインターネ

表-1 主なリアルタイム衛星観測雨量プロダクト



ットのHPからダウンロードするだけで無償で降雨データが得られる、②対象流域だけでなく同一の精度で全世界の降雨データが得られ、国際河川の流域では他国に位置する上流域についてもデータが入手できる、③計画策定に必要な過去のデータも蓄積されている、④観測施設や伝送装置等の維持管理の必要がない、といったメリットがある。ただし、洪水予測に用いる際には、後述するように地上観測雨量に比べて精度が劣る点について考慮する必要がある。

#### b) 衛星観測雨量の観測精度

衛星観測雨量の一例として(独)宇宙航空研究開発機構から提供されているGSMaPについて、図-2に、後述する補正後の雨量とあわせて、いくつかの流域における地上観測雨量との比較を示す。表-1に示されるような衛星観測雨量プロダクトにおいて、GSMaPは、時間解像度1時間、空間解像度0.1°(約10km)、配信遅れ時間4時間と高解像度であり、リアルタイムデータに加え、2003年からのデータが提供されており、洪水予測の入力用データとしては、最も利用しやすい。

図-2に示されるように、これまでに地上観測雨量に比べ衛星観測雨量は、地上観測雨量に比べて過小評価の傾向を示すことや、地上観測雨量に対する割合は、対象地域等によって異なることが確認されている。

なお、降雨の継続時間は概ね一致していること、定性的な降雨の強弱は類似していることから、比較的流域面積が大きく(1,000km<sup>2</sup>程度以上)、雨量観測施設が十分でない流域においては、補正等を行わなくとも衛星観測雨量情報の利用は有意義と考えられる。

#### c) 衛星観測雨量の補正方法の開発

流出計算や洪水予測の精度を向上させるため、著者らは、この雨量データを取り込む際に、衛星観測雨量プロダクトの雨域移動情報を用いて、ばらつきをもつ補正倍率を独自のアルゴリズムにより自動的に算定し、衛星観測雨量を補正する機能<sup>12)</sup>を開発するとともにIFASに装備した。図-2によれば、吉野川や川内川流域、Bagmati流域(ネパール)における事例では、衛星観測雨量が地上観測雨量に近い値に補正されていることがわかる。この機能により、より地上観測雨量に近い値として衛星観測雨量を利用することができる。

しかし、対象地域や降雨特性によっては、Suma流域

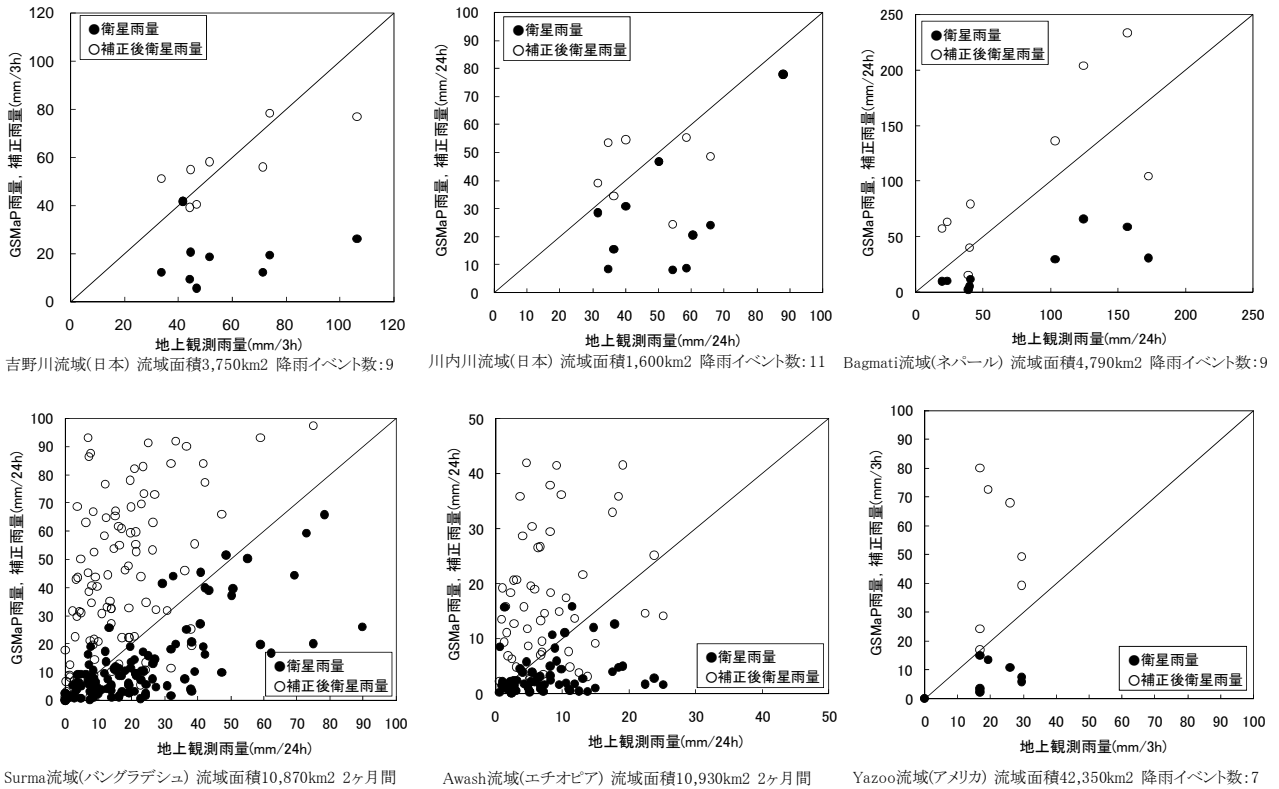


図-2 衛星観測雨量(GSMaP)と地上観測雨量の比較

(バングラデシュ)等)に示されるように、補正後の雨量が地上観測雨量に比べて過大な値を示す場合もある。この原因やより精度の高い補正方法については、現在、各国からの地上観測雨量を収集し検討を実施している。

## (2) 流出解析モデル

現時点のIFASでは、流出解析モデル(流出解析エンジン)として、土木研究所で開発された土研分布型流出解析モデルver2<sup>3)</sup>、および山梨大学を中心に開発されたBTOPモデル<sup>4)</sup>を実装している。

土研分布型流出解析モデルver2では、各メッシュ鉛直方向の流れを2つのタンクで表現すると共に、河道の流れをKinematic Wave法により表現している。モデル構造が簡便でパラメータチューニングが容易という特長がある。一方、The Block-wise use of TOPMODEL (BTOP Model)はTOPMODEL<sup>5)</sup>のコンセプトを拡張したもので、山地流域のような小流域から大陸の国際河川といった大流域に適用可能な分布型モデルである。海外流域でも適用実績が豊富で、世界的に知名度が高いモデルである。

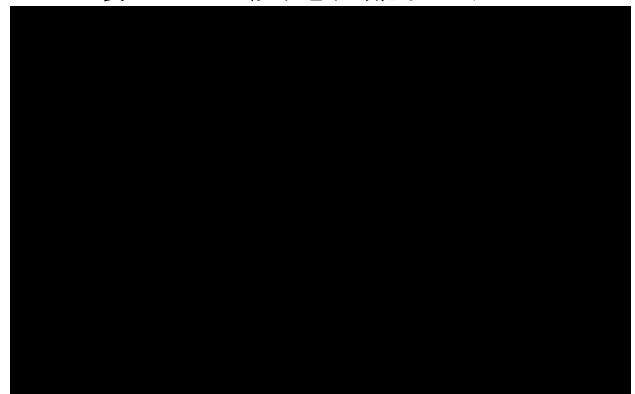
## (3) GISデータによるパラメータ推定とモデル作成機能

### a) 河道網作成機能

IFASで読み込み可能なグローバルGISデータの一覧を表-2に示す。

IFASでは、国土交通省国土地理院が事務局となっている地球地図国際運営委員会(ISCGM)が提供している地

表-2 IFASで読み込み可能なGISデータ



球地図(<http://www1.gsi.go.jp/geowww/globalmap-gsi/globalmap-gsi.html>)等の全世界の数値標高データ等を用いて、対象となるエリアの緯度・経度および流末をユーザが入力することにより、対象地域の標高データを任意のサイズのメッシュに分割し、各メッシュの標高に応じて自動的に流域界および河道網の作成を行うことが可能である(図-3)。また標高データに基づき河道網を作成した際、流下先なくなったメッシュ(窪地)が発生した場合には、自動的に高度修正を行い、全てのメッシュについて流下方向を決定し、河道網を作成する。また手動で、各メッシュ単位に流域内外の修正や高度の修正を行うことも可能である。

### b) パラメータ推定機能

IFASでは、土地利用や地質、土壌区分といったGISデ

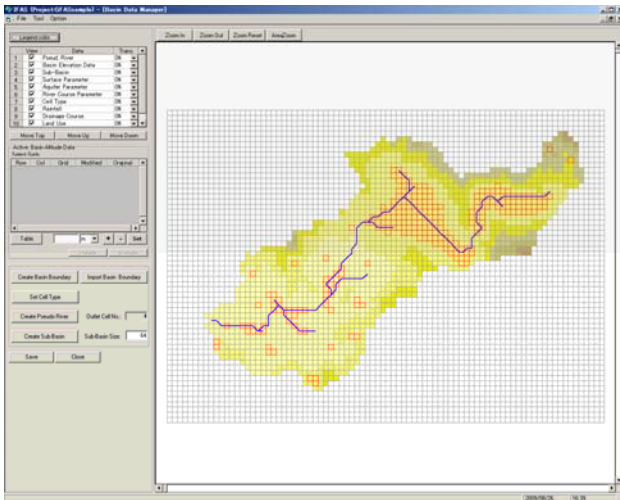


図-3 IFASにより作成された流域界と河道網

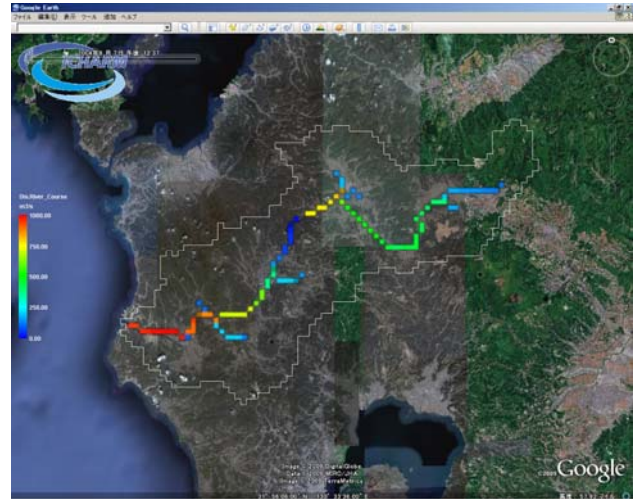


図-5 汎用地理情報システム上での表示例

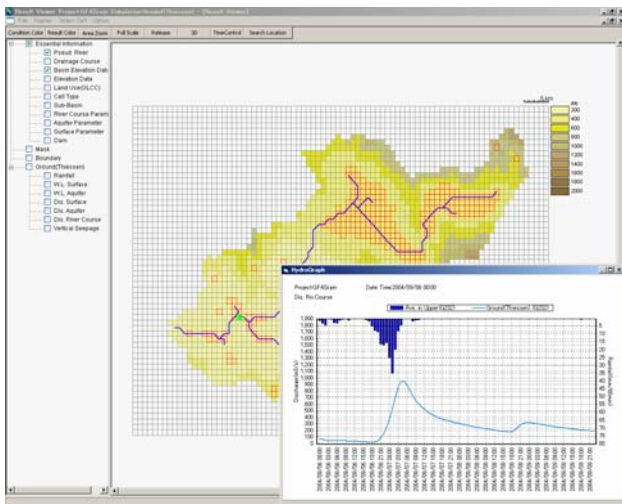


図-4 結果表示画面(ハイドログラフ)

ータをインターネットを通じてダウンロードし、流出解析に必要なパラメータの一次推定を行う機能を有している。これは、取り込んだ地球地図等の土地利用・土地被覆の凡例区分に応じて自動的に各メッシュを区分し、あらかじめそれぞれの区分に対して著者らが試算した結果に基づき設定した目安となるパラメータの値を用いて流出計算を行うものである。このような機能を利用し、IFASでは、高価なGIS解析ソフトを別途準備する必要がなく、簡便に流出解析モデルを作成することが可能である。

#### (4) 入出力インターフェース

ICHARMでは、前述のモデル作成や計算結果の表示など、機能について英語表記のインターフェース画面を実装している。

計算結果については、IFASの出力機能を用いて、時刻歴図(図-4)、平面図、一覧表、アニメーション等による表示が可能である。また、KML形式のファイルとし

て出力し、Google earth上で表示することもできる(図-5)。なお、分布型流出解析モデルによる流出計算を行っているため、任意の地点の結果表示が可能となっている。

## 4. IFASの適用事例

川内川流域(流域面積1,600km<sup>2</sup>)斧渕地点および菊池川流域(流域面積996km<sup>2</sup>)玉名地点を対象にIFASを適用した事例を図-6,7および表-3,4に示す。ここでは、IFASの機能を用いてモデル作成を行うとともに、地上観測雨量と実測流量が得られているため、いずれのケースも、このデータを用いてキャリブレーションしたパラメータを用いている。なお海外の流域においても適用を行っているが、その精度を示す意味から、ここでは日本の流域における結果を示す。

図-6および表-3によれば、①地上観測雨量を用いたケースでは、誤差率が0.03程度以下となっており、実測流量を再現できていること、②地上観測雨量に比べ衛星観測雨量が過小評価であるため、計算結果の流量も過小評価となっていること、ただし、降雨イベントのタイミングは概ね一致していること、③筆者らが開発した補正手法を用いて補正した衛星観測雨量を用いることにより、実測流量が再現できていることが分かる。これに対し、図-7および表-4では、補正後の衛星観測雨量の値が地上観測雨量に比べて過小評価になっているため、計算結果流量も実測流量に比べて過小評価になっている。

このように、開発した補正手法を用いたとしても、対象地域や降雨特性によっては、補正後の衛星観測雨量が地上観測雨量に一致しない場合もある。雨量観測施設が十分でない流域においては、開発した補正手法とあわせて衛星観測雨量の利用は有意義と考えられるが、利用する際にあたっては、限定された期間や地点だけでもよいので、できる限り地上観測雨量と比較し、対象地域にお

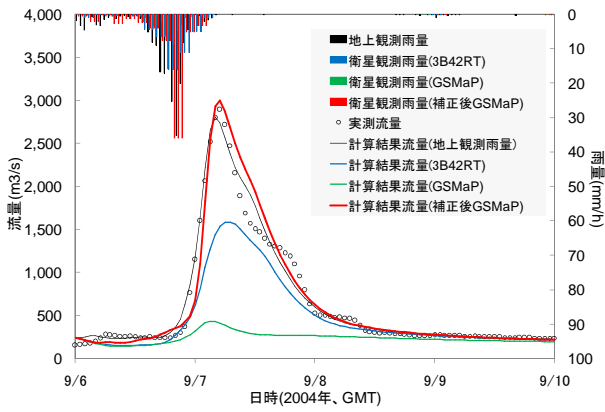


図-6 川内川流域谷淵地点の計算結果

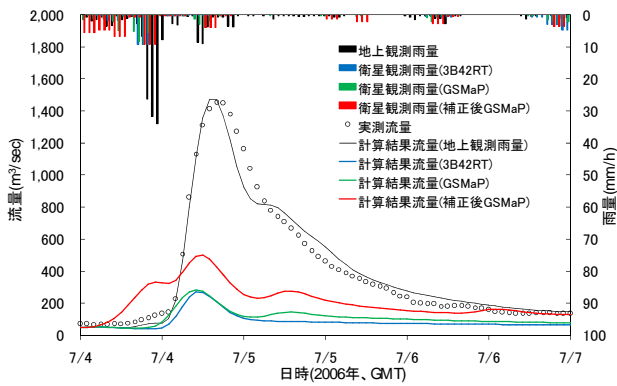


図-7 菊池川流域玉名地点の計算結果

表-3 計算結果の精度(川内川流域谷淵地点)

用いた雨量データ	流出波形誤差 (E <sub>w</sub> )	流出ボリューム誤差 (E <sub>v</sub> )	ピーク流量誤差 (E <sub>p</sub> )
地上観測雨量	0.037	-0.027	-0.015
衛星観測雨量(3B42RT)	0.390	0.754	0.815
衛星観測雨量(GSMaP)	0.303	0.696	0.804
衛星観測雨量(補正後のGSMaP)	0.342	0.425	0.656

表-4 計算結果の精度(菊池川流域玉名地点)

用いた雨量データ	流出波形誤差 (E <sub>w</sub> )	流出ボリューム誤差 (E <sub>v</sub> )	ピーク流量誤差 (E <sub>p</sub> )
地上観測雨量	0.037	-0.027	-0.015
衛星観測雨量(3B42RT)	0.390	0.754	0.815
衛星観測雨量(GSMaP)	0.303	0.696	0.804
衛星観測雨量(補正後のGSMaP)	0.342	0.425	0.656

ける精度を検証した上で、利用することが望ましい。

なお、IFASでは、水文情報が乏しい地域を対象としているため、一般に公開されているグローバルGISデータを利用しモデル作成を行うとともに、衛星観測雨量を用いて計算を行っている。予測の精度を向上させるために、実測データが得られる場合には、パラメータのキャリブレーションを実施するとともに、日本国内のように高解像度の標高データや降雨情報が得られる場合には、それらを利用すべきである。



写真-1 トレーニングワークショップ開催状況

## 5. 普及活動

### (1) トレーニングワークショップの開催

ICHARMでは、世界気象機関(WMO)の協力を得ながら国際洪水ネットワーク(IFNet)と共同で、発展途上国の洪水予警報担当者を招いて、トレーニングワークショップを開催している。昨年度は、10月3日から8日にかけて、アルゼンチン、エチオピア、キューバ、グアテマラ、ザンビア、ネパール、バングラデシュから参加者を招き、今年度は、8月3日から7日にかけて、インド、インドネシア、ネパール、バングラデシュ、ベトナム、ラオスを対象に実施している。またさらに、インドネシア、ネパール等の現地においてもトレーニングワークショップを開催している。

トレーニング後の参加者の意見では、地上観測雨量を用いずに衛星観測雨量を補正することで衛星雨量の利用性を高めたことや、流出解析モデル構築作業を大幅に簡便化できるGIS解析用の内部実装ツールやインターフェース機能などについて、高い評価を得ることができた。

さらに、(独)土木研究所で実施している研修の教材として利用するとともに、アジア水循環イニシアチブ(AWCI)や、JAXA等が推進するセンチネルアジア(アジア太平洋域の災害関連情報を共有する活動)等においても、IFASの普及活動を開始している。

### (2) ホームページからのダウンロードによる配布

IFASは、ICHARMホームページ上(<http://www.icham.pwri.go.jp/research/ifas/index.html>)に公開されており、ダウンロードし利用することも可能となっている。

## 6. おわりに

本報では、著者らが民間企業各社との共同研究によっ



て開発を進めてきた衛星観測雨量の活用を念頭においた洪水予測システムIFASについて紹介を行った。インターネットから誰でも無料で入手できる衛星観測雨量を入力データとして採用できるIFASを利用することにより、水文情報の乏しい地域においても、インターネットに接続できるパーソナルコンピュータさえあれば洪水予測計算を行うことが可能となる。

しかしながら、衛星観測雨量とグローバルGISを用いたパラメータによる流出予測には、自ずと期待される精度に限界がある。当然のことながら現地の防災担当者は、次のステップとして精度向上のための地上雨量観測体制の充実に務めることが期待される。このようなPDCAサイクルを機能させることで、効率的に洪水予警報システムの普及と高度化を発展途上国が自らのオーナーシップ意識を持って推進することが期待される。

今後は、各国での地上観測雨量の蓄積を通じて、衛星観測雨量の補正方法の精度向上を図るとともに、研修等の活動を継続して実施し、更なる普及を図っていく予定である。また、実際に現地に導入を行い、実務上のニーズを踏まえた機能の追加、拡充を図るとともに、CommonMP等の水解析ソフトウェア共通基盤との連携を図ることにより本システムの汎用性を更に高めていくことが今後の課題である。

**謝辞**：本開発を進めるにあたり、国土交通省河川局河川計画課、(独)国際協力機構、(独)宇宙航空研究開発機構からは、貴重なご意見・ご指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

また、流出計算に用いた地上観測雨量および実測流量は、国土交通省水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) のデータを使用させて頂いた。

#### 参考文献

- 1) 白石芳樹, 深見和彦, 猪股広典: 雨域移動情報を活用した衛星降雨データ補正手法の提案-吉野川流域の事例解析-, 水工学論文集, 第53巻, pp385-390, 2009.
- 2) 小澤剛, 猪股広典, 深見和彦, 白石芳樹: GSMaP 雨量データ補正式の海外流域への適用に関する研究, 水文・水資源学会2009年度研究発表会要旨集, pp196-197, 2009. .
- 3) 鈴木俊明, 寺川陽, 松浦達郎: 実時間洪水予測のための分布型モデルの開発, 土木技術資料, Vol.38-10, pp.26-31, 1996.
- 4) Takeuchi K, Hapuarachchi P, Zhou M.C, Ishidaira H, ad Magome J: A BTOP model to extend TOPMODEL for distributed hydrological simulation of large basins, HYDROLOGICAL PROCESSES, 2007.
- 5) Beven KJ, Kirkby MJ: A physically based, variable contributing area model of hydrology. Hydrological Science-Bulletin 24(1), pp.43-69, 1979.