

1.6 水文情報の乏しい地域における人工衛星雨量情報の現地利活用に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 22

担当チーム：水災害研究グループ（水文）

研究担当者：深見和彦、杉浦友宣、猪股広典、
小澤剛、川上貴宏

【要旨】

本研究は、発展途上国など水文情報が乏しい地域において洪水予測が行えるよう、これまでに開発した人工衛星観測雨量を用いた洪水予測システム(IFAS)について、洪水予測システムとしてその現地導入を図りながら、現地の観測結果やニーズに応じて人工衛星観測雨量の補正手法の改良やシステムの改良を行うものである。今年度は、ネパール、台湾およびインドネシア等における地上観測雨量を用いて、これまでに開発した人工衛星観測雨量の補正手法の検証を行った。また、IFAS 導入河川としてインドネシア国ソロ川を選定し、現地調査を行うとともに、現地事務所へ導入する際の改良点の抽出や現地職員の技術力向上を図るためのワークショップ等を開催した。

キーワード：洪水予警報、人工衛星観測雨量、補正手法、総合洪水解析システム、ソロ川

1. はじめに

近年、世界的に洪水による災害が増加しており、河川整備が十分に進んでいない発展途上国においては、その被害軽減のために、予警報システムの配備が求められている。しかしながらこれらの国々においては、洪水予測の際に必要な雨量や流量といった基礎的な水文データが不足しており、洪水予警報の配備が十分には進んでいない現状にある。このような状況の中で近年、人工衛星から地球上の雨量を観測する技術が開発されるとともに、観測結果がインターネット等を通じて公表されつつある。水文チームではこれまでに、これら水文情報が乏しい地域での洪水予警報システムの整備に向け、人工衛星観測雨量を洪水予測に用いるための補正手法¹⁾や、それを実装し人工衛星観測雨量を用いた洪水予測システム構築の基盤ツールとなる総合洪水解析システム(Integrated Flood Analysis System, IFAS)を開発した²⁾³⁾。

本研究では、モデル流域を選定し実際に IFAS を現地に導入しながら、これまでに開発した人工衛星観測雨量補正手法の精度向上や現地状況に応じたシステム改良を行うこととしている。このため今年度は、まず、ネパール、台湾およびインドネシア等の地域で地上観測雨量を収集し、人工衛星観測雨量補正手法の精度検証を行った。また IFAS 導入河川としてインドネシア国ソロ川を選定

し、導入に向けた IFAS の改良点の抽出を行った。本報告では、これらについて報告を行い、以下、人工衛星観測雨量の補正手法に関する研究結果については第 2 章で、現地導入に向けた取り組み結果については第 3 章に示す。

2. 衛星観測雨量補正手法の世界各国での適用性検討

IFAS を基盤として、衛星観測雨量も活用しながら発展途上国における洪水予警報システムの早期の整備促進と実運用を実現する目標へ向けての第 1 段階として、海外の複数流域を対象として衛星観測雨量およびその補正手法の適用性を検討した。2 章ではネパールおよび台湾での検討結果について示す。

2.1 用いる補正手法と衛星観測雨量データの概要

衛星観測雨量補正手法の詳細については昨年度の「人工衛星情報等を活用した洪水予警報のための基盤システム開発に関する研究」の成果報告書および文献 1) に記述しており、ここでは省略する。衛星観測雨量補正手法の概要は、衛星観測雨量データそのものを用いて、3 時間累加雨量の各メッシュの雨量分布状況からその雨域移動量を推定し、その移動量に応じて衛星雨量に補正係数を乗じるものである。これは雨域移動量が大きい時に衛星雨量の誤差が大きいという特徴に基づいて開発された補正手法であり、他の一切の補助情報を用いることなく、衛星観測雨量そのものの情報のみから自己補正できる点に

特長がある。

本研究では衛星観測雨量として（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）が公開している GSMaP を利用している。GSMaP には複数のプロダクトがあり、中でも準リアルタイム版の GSMaP_NRT^④（マイクロ波放射計データと赤外雲移動ベクトルを用いた時間分解能1時間、空間分解能0.1度のプロダクト）は、配信時間遅れが4時間と他のプロダクトよりも短いことから、雨量観測所が乏しい開発途上国河川流域における洪水予警報への適用が期待されている。

2.2 日本と異なる降雨特性を持つ地域での適用性検討：ネパール^⑤

2.2.1 対象流域と検証期間

日本のような台風性降雨や前線性降雨とは異なる降雨特性を持つ地域として、ネパールのナラヤニ川流域を選定した。本選定流域はリアルタイム雨量データがなく、洪水被害も多発しており、衛星観測雨量を用いた洪水予測の需要は高い地域といえる。

対象流域は、図-1 に示すとおりネパール中央部に位置しているナラヤニ川流域の支流の一つで約 2,920km² の流域面積をもつ。対象とする降雨イベントは、収集した最新の降雨データである 2005 年のデータのうち、表-1 に示す上位 16 降雨とした。また地上降雨量データが日雨量データであるため、補正雨量は、3 時間ごとに補正した値を 24 時間分累加した雨量として地上降雨量データと比較することとした。検証に利用した衛星降雨データは GSMaP の過去アーカイブデータ（時間雨量データ）である GSMaP_MVK+^⑥とした。

2.2.2 検証結果

地上観測雨量と GSMaP_MVK+および吉野川の降雨イベントを元に作成された補正式を適用し算定された補正後の GSMaP_MVK+の相関図を図-2 に示す。横軸に示す地上観測雨量に対して、縦軸の GSMaP_MVK+（図中青丸）は過小評価傾向であることがわかる。一方で、吉野川の降雨イベントにより作成された補正式を用いて算定された補正後の GSMaP_MVK+は補正をしない場合に比べ、平均誤差率 ($\bar{\varepsilon} = (\text{衛星雨量} - \text{地上雨量}) / \text{地上雨量} * 100$) は 78.0%から 51.7%まで低減できた。

次に、対象流域の降雨イベントを元に補正式を作成した。対象流域の降雨イベントにより作成された雨域移動量指標 S_n と補正係数 m_j の関係式（詳細は文献1）に記載）を吉野川流域の $S_n \cdot m_j$ 関係式とともに図-3 に示す。また、求められた補正式により補正した結果を図-4 に示す。平均誤差率は 28.1%となり、吉野川の補正式を適用

した場合より平均誤差率を低減できた。

なお、吉野川の補正式を適用し算定された補正雨量は地上観測雨量に比べ過大傾向になっている。これは、降雨特性の異なる海外の流域に吉野川の降雨特性により算出した補正式を利用したこと、雨量データが 24 時間雨量である一方で補正式が短時間の強い降雨に対して作成されていること等が原因として考えられる。しかし、ネパール流域で最適化した補正式を適用した場合に精度は大きく向上したことから、補正方法の基本的な概念は海外河川流域でも適用可能であることがわかった。

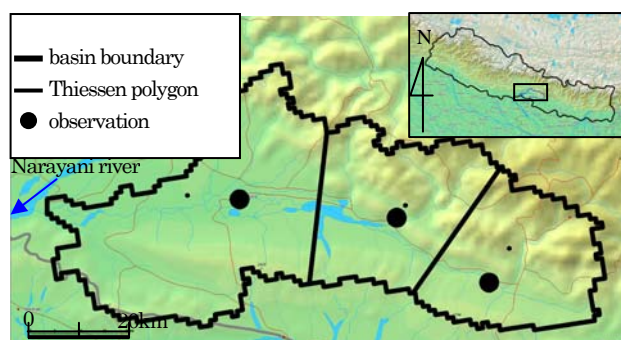


図-1 対象流域ティーセン分割図

表-1 降雨イベント一覧

No.	～日時 (UTC) (year/month/day hour)	地上観測雨量 (mm/24h)
1	2005/6/21 2:00	36.5
2	2005/6/30 2:00	31.5
3	2005/7/5 2:00	36.3
4	2005/7/10 2:00	34.2
5	2005/7/14 2:00	41.9
6	2005/7/17 2:00	53.5
7	2005/7/19 2:00	33.2
8	2005/7/21 2:00	44.2
9	2005/7/24 2:00	34.9
10	2005/8/7 2:00	154.7
11	2005/8/12 2:00	93.6
12	2005/8/19 2:00	39.7
13	2005/8/22 2:00	34.6
14	2005/8/25 2:00	70.7
15	2005/8/27 2:00	64.1
16	2005/10/21 2:00	88.2

2.3 時間雨量を対象とした詳細な適用性検討：台湾

2.3.1 対象流域と検証期間

前述したネパール国における検証では、日雨量データを利用した補正手法の検証を実施した。しかし、日雨量データを用いる場合、本補正手法の時系列で見た適用性はわからない。特に、補正式は3時間ごとに雨域移動量を推定するため、日雨量データを用いた場合、3時間の

1.6 水文情報の乏しい地域における
人工衛星雨量情報の現地利活用に関する研究

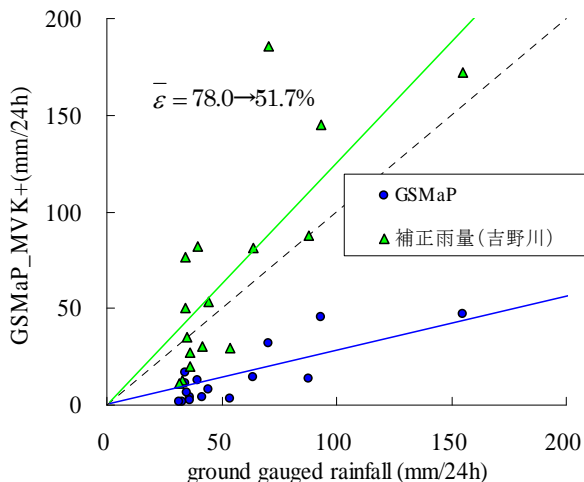


図-2 地上雨量、GSMaP_MVK+および補正した GSMaP_MVK+
(吉野川補正式) の相関図

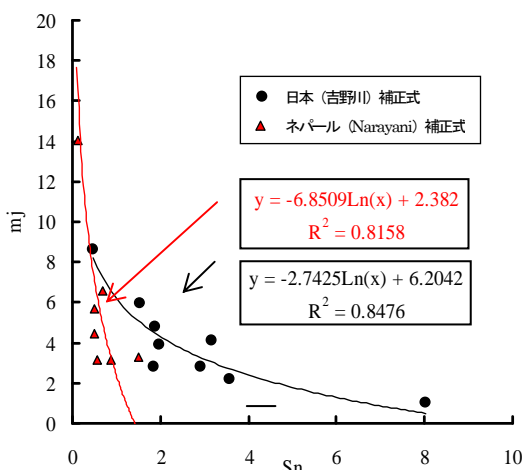


図-3 $\overline{S_n}$ -mj 関係

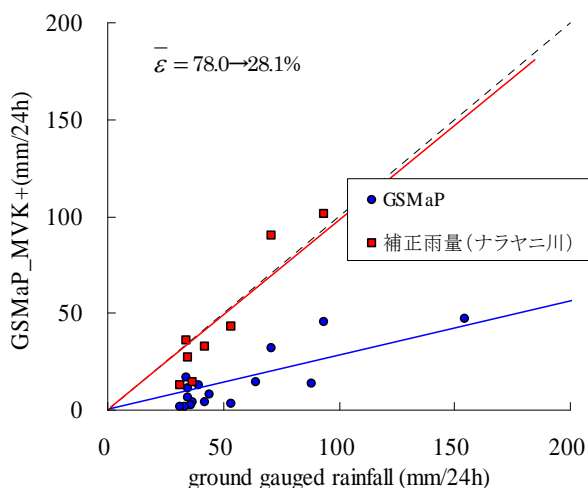


図-4 地上雨量、GSMaP_MVK+および補正した GSMaP_MVK+
(ナラヤニ川補正式) の相関図

雨域移動量を推定できずに 24 時間平均の雨域移動量を推定することになる。その結果、雨域移動量を時々刻々適切に推定することは困難になり、ネパールのように補正雨量が過大評価になってしまう場合がある。

そこでここでは、日本と同様に時間雨量データが入手可能な台湾を対象として、本補正手法の時系列で見た適用性の検討を行なう。台湾では 2009 年 8 月に台風 Morakot に伴う甚大な災害が発生した。総降雨量は約 3,000mm に達する地点もあり、死傷者・行方不明者数は 700 名以上に及んだ。ここでは、この降雨イベントの台湾全土について空間平均した雨量を用いて衛星雨量データの精度検証および補正手法の適用性について検証した。

対象域は、図-5 に示すとおり台湾全土の約 36,300km² であり、対象とする降雨は台風 Morakot の台風上陸から通過するまでの 88 時間分の時間雨量データである。なお、検証に利用した衛星降雨データは JAXA が配信している準リアルタイム時間雨量データ：GSMaP_NRT とし、地上雨量観測所は 362 箇所 (100km²/箇所) で計測されている時間雨量データを利用した。



図-5 対象域：台湾 位置図

2.3.2 検証結果

図-6 に地上観測雨量、GSMaP_NRT、日本の吉野川流域の降雨イベントデータを用いて作成した補正式 (以下、日本式) による補正雨量および台湾の降雨イベントデータを用いて最適化した補正式 (以下、台湾式) による補正雨量のハイトグラフを示す。雨量値はすべて台湾全土について空間平均化した雨量を示している。また図中には、マイクロ波放射計による観測が行われた時刻 (図中黄色○) およびマイクロ波放射計が最後に行われてからの経過時間 (図中緑○、緑○が長く連なればその時間数分マイクロ波放射計による観測が行われていないことを示す。) を併記している。図中より、地上雨量に対して GSMaP_NRT は基本的に過小評価傾向にある

ことがわかる。また、日本式および台湾式の補正雨量は、マイクロ波放射計による観測がある程度の頻度で行なわれている期間については良好に補正されている。しかし、8月7日12時～16時頃のように、マイクロ波放射計による観測が長時間行われていない時間帯では、補正雨量値が過大に補正されているのがわかる。

その原因を把握するため、当該時間帯(8月7日14:00～16:00(UTC))の3時間累加雨量を対象としたGSMaPと地上観測雨量の降水量分布図を図-7に示す。これより、当該時間帯ではGSMaPの降水量分布が実際の降水量分布と異なっており、それに基づいて補正したことにより、雨量値が過大に補正されたことがわかる。ここで、GSMaP_NRTは、マイクロ波放射計による観測が行なわれない期間において、赤外放射計の観測により得られる雲移動ベクトルを用いて降雨分布を移流させ

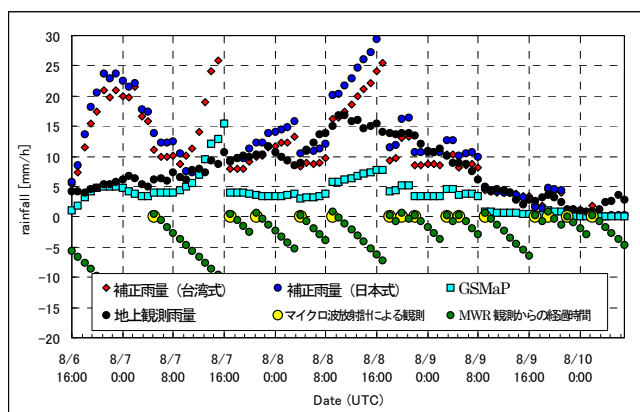


図-6 地上雨量、GSMaP、補正雨量(日本式、台湾式)ハイエトグラフおよびマイクロ波放射計による観測状況

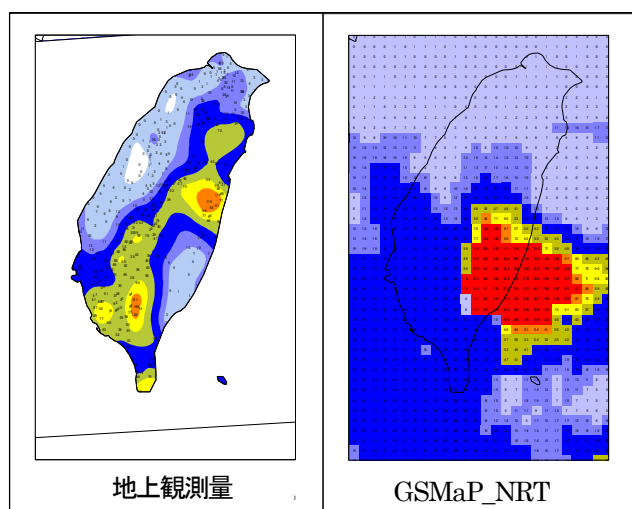


図-7 地上雨量(左図)およびGSMaP(右図)の3時間累加雨量分布図(8月7日14:00～16:00(UTC))

る補間方法をとっている。そのため、マイクロ波放射計による観測が長時間(例えば10時間以上)行なわれない場合、それだけ実際の雨域分布状況とGSMaPの雨域分布状況が大きく異なる可能性がある。その場合、実際の雨域分布状況を正確に反映していない雨域分布について補正を実施することで、補正雨量に大きな誤差が加わることになる。その例が図-6の8月6日17時～4時ごろや8月7日8時～15時ごろ、8月8日10時～17時頃のような補正雨量値が突出した時間帯である。実際の洪水予警報システムに本補正手法を導入する場合は、このような異常値の算出を防止するため、マイクロ波放射計による観測が長期間存在しない場合のGSMaP雨量値および補正手法の取り扱いについて、別途検討する必要がある。

3. 総合洪水解析システム(IFAS)の現地導入に向けた取り組み

本章では、IFASをモデル流域に導入しながら改良するための取り組みについて示す。モデル流域としてインドネシア国ソロ川を選定し、今年度は、前述の人工衛星観測雨量補正手法の現地適用に向けた検討を行ったほか、現地調査を行いIFASの改良点の抽出を行うとともに、IFASの現地導入のための現地職員の技術力向上に関するワークショップを開催した。なお、現地へのシステム実装・導入については、当該流域での現地調査やワークショップ開催を含めてアジア開発銀行地域協力プログラムの支援の下で実施している。

3.1 モデル流域の概要

ソロ川はインドネシア・ジャワ島中部に位置し、流路長540km、流域面積16,100km²のジャワ島最大の河川である(図-8)。ソロ川はマディウン川の合流地点を境に上流と下流に二分される。流域内部及び上流部にはメラピ山をはじめ活火山が点在しており、流域一帯は浸食した火山堆積物が大量に流下し、厚く覆っている。流域は熱帯モンスーン気候であり、11月～4月の雨季と5月～10月の乾季に明瞭に分かれている。雨季には毎年のように洪水が発生し、特に2007年12月には観測史上最大規模の大雨により流域全体で洪水が発生した⁷⁾。

ソロ川の包括的開発マスタープランが1974年に策定され、洪水制御管理が計画の一つの柱となっている。それに基づき、1981年に完成した多目的ダムであるウオノギリダム建設をはじめとして、河川改修工事や堤防建設など様々な治水事業が進められてきたものの、依然として洪水被害を受ける地域も多い。

流域内では複数の機関により日雨量の観測がおおよそ100地点で行われているが、テレメータ電送装置が無く集約されていない。また、流域全体を対象とした洪水予警報システムは設置されていない。

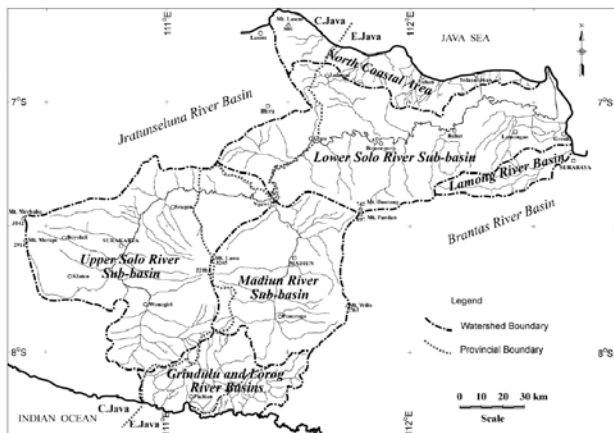


図-8 ソロ川流域

3. 2 衛星降雨補正手法の現地適用に向けた検討

IFAS をソロ川へ導入するにあたり、衛星雨量の補正手法の適用性およびその改良について検討した。衛星雨量データは GSMaP_NRT を使用し、検証に使用した地上観測雨量は19箇所 (850km²/箇所) で計測されている雨季の日雨量データ8ヶ月分 (2007年12月~2008年12月) である。

3.2.1 衛星観測雨量の精度

図-9に地上観測雨量と GSMaP_NRT の流域平均雨量を時系列で示す。黒線は地上降雨、緑線は GSMaP_NRT を表す。降雨強度の小さな降雨(日雨量20mm程度以下)の精度はばらつきがあるものの概ね良好であった。一方、日雨量が100mmに迫るような大きな降雨については過小評価傾向であった。また、期間中過大評価となる降雨イベントがいくつか見られるが、これは2章で述べられているようにマイクロ波放射計による観測が存在しない時間帯があるときに、強い雨域を見かけ上保ったまま雨域移動させたためと考えられる。

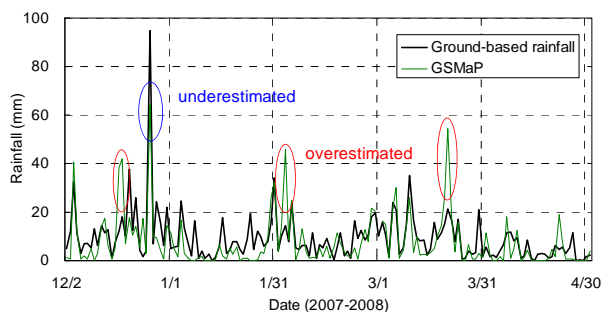


図-9 地上降雨と衛星降雨の時系列図

3.2.2 補正式の検討：日本の式を適用した場合

衛星観測雨量補正手法の精度検証として、日本の河川流域で作成した補正式をインドネシアの対象域に適用した結果を図-10に示す。横軸は地上観測雨量、縦軸は衛星観測雨量を示し、緑の丸は補正前の、赤丸は補正後の GSMaP_NRT を用いている。ほとんどの降雨が過大評価となり精度向上が見られなかった。これは、インドネシアの降雨特性が日本のそれと異なり、雨域の移動がほとんど見られないことに起因すると考えられる。

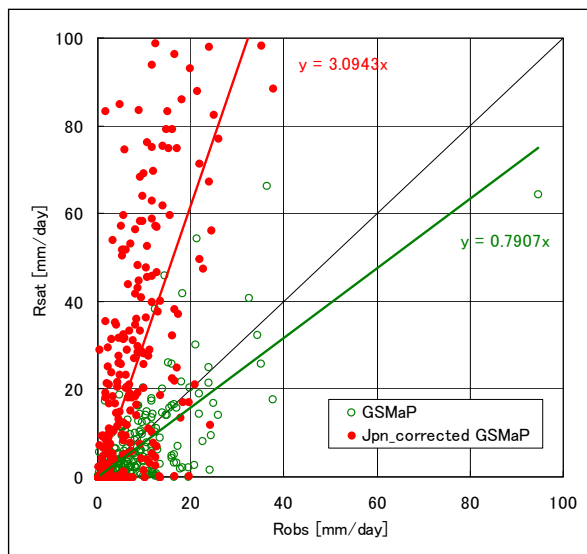


図-10 地上降雨データと衛星降雨データとの相関図
(日本の補正式を適用)

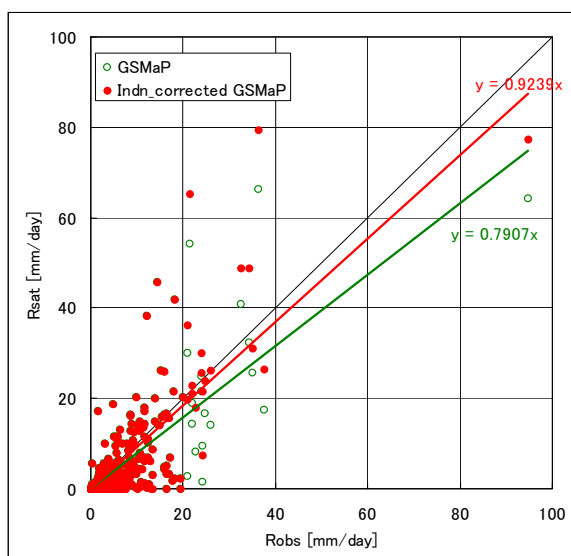


図-11 地上降雨データと衛星降雨データとの相関図
(改良版補正式を適用)

3.2.3 補正式の検討：流域独自の式を適用した場合

次に、対象流域独自の補正式として、精度が比較的良好な小さい降雨（日雨量 20mm 以下）については補正式を適用せずに生値を利用し、それ以上の大きい降雨については、対象流域上の既往降雨（2007 年 12 月～2008 年 12 月の雨季：8 ヶ月分）で作成した補正式を適用した結果を図-11 に示す。これによると、降雨量 20mm から 40mm にかけてはより過大評価方向に乖離してしまい今後の改良が必要であるものの、洪水予警報において重要な大規模降雨はほぼ適正に補正された。

3.3 現地適用に向けたシステムの改良

IFAS をソロ川に現地適用するにあたり、現地調査及び聞き取り調査を行い、以下の通り、実用化システムとして改良すべき点を抽出した。主にリアルタイムデータの取り込み機能や流量計算・出力の自動化が改良の大きなポイントとして挙げられた。

- (1) 現地のインターネット通信環境にあわせて、一定時間間隔ごとに衛星観測雨量のダウンロードおよび保存が可能となるよう、通信機能の改良を行う。
- (2) 別途配備されているテレメータシステム等により、地上観測雨量および河川水位・流量のリアルタイムデータが得られる地点について、データの自動取り込みおよび保存を行う。
- (3) 衛星観測雨量データ(GSMaP_NRT・3B42RT)の自動取り込みを行い、取り込まれた地上観測雨量および本業務で改良を行った衛星観測雨量補正手法を用いて衛星観測雨量データ(GSMaP_NRT)の補正、保存を行う。
- (4) 取り込んだ衛星観測雨量(GSMaP_NRT・3B42RT)、補正した衛星観測雨量(GSMaP_NRT)および地上観測雨量データを用いて、一定時間間隔ごとに、対象とする流域あるいは地点の流出計算・計算結果表示および保存・印刷出力まで自動的に実行する。
- (5) 河川断面図が得られている地点については、計算結果を河川水位に換算し表示する。
- (6) 洪水監視を行う地点において流量または河川水位における基準値を設定し、計算結果がその基準を超える場合には画面上でアラートを表示する。
- (7) 流出計算については、取り込んだ実測流量及びダム実績放流量を反映するとともに、用いた雨量データによる計算結果の違いが比較できるようにする。

- (8) IFAS が搭載されているコンピュータの起動にあわせ、自動的に IFAS が起動し、必要なデータのダウンロード、計算実施等を行う。

3.4 現地技術者の能力向上の取り組み

現地技術者が実際に IFAS を操作して洪水予警報を行うため、現地技術者の能力向上は必須である。今回は、アジア開発銀行地域協力プログラムの支援を受け、現地にて 3 月 2 日から 4 日にかけて、人工衛星観測雨量の精度と補正手法をテーマとした第 1 回目のトレーニングワークショップを開催し、若手技術者を中心に約 30 名が参加した(写真-1)。

主な研修内容は以下のとおりである。

- ・現地事務所職員によるソロ川の状況
- ・リアルタイム降雨観測の概要説明
- ・衛星による降雨観測の概要説明
- ・衛星観測雨量の補正手法の説明及びトレーニング
- ・IFAS の機能紹介及び操作説明

トレーニングでは、参加者が実際に PC を用いて流域平均雨量の求め方や衛星観測雨量の補正率算出などを行い、知識の定着を図った。

ワークショップ後の参加者からは、洪水予測を行うための雨量観測の重要性や人工衛星観測雨量の有効性・問題点が理解できたなど、プラスの評価と強い関心が寄せられ、より詳細に時間を割いて説明してほしいという声も多かった。



写真-1 トレーニングワークショップ参加者

4. まとめ

本研究では、水文情報が乏しい地域に IFAS を導入するため、これまでに開発した人工衛星観測雨量補正手法の検証及び精度向上を行うとともに、IFAS 導入河川としてインドネシア国ソロ川を選定し、現地状況に応じたシステム改良と現地実装を行うために、現地実装の部分

1.6 水文情報の乏しい地域における人工衛星雨量情報の現地利活用に関する研究

についてアジア開発銀行地域強カプログラムの支援を得ながら、現地調査及び現地技術者へのワークショップを実施した。まず、昨年度開発した衛星観測雨量補正手法を海外の河川流域に適用し、現地の観測雨量値を利用し補正式を修正することで世界各国の地域へ適用可能な精度を確保できることを確認した。開発した衛星観測雨量補正手法や IFAS システムについては研修等を随時開催し普及を図っており、研修を受けた現地技術者からも好評を得ている。実際に現地に即した衛星雨量補正手法の開発及び IFAS の改良を踏まえつつ導入を行って洪水予警報システムの構築に役立つ事例を確立させることは、水文情報が乏しく洪水が頻発する他の地域への普及につながるものと期待される。

次年度は、衛星観測雨量補正手法のさらなる精度向上、現地状況にあわせた IFAS のカスタマイズを行ったうえで現地流域に適用し、現地技術者の能力向上と実運用を図ることを通して、IFAS の改良と適用性の検証・汎用性の向上に取り組むこととしたい。

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雨量データ補正方法の提案—吉野川流域の事例解析—、水工学論文集、第 53 巻、pp.385-390、2009.2.
- 2) 深見和彦、杉浦友宣、馬籠純：発展途上国における洪水災害軽減のための洪水予警報システム基盤ソフトウェア (IFAS) の開発、河川、2009 年 1 月号、pp.73-79
- 3) 杉浦友宣、馬籠純、川上貴宏、小澤剛、深見和彦：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、平成 21 年度国土技術研究会、国土交通省
- 4) JAXA/EORC：Global Rainfall Map in Near Real Time.
<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>
- 5) 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国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、2009.
- 6) T. Ushio, T. Kubota, S. Shige, K. Okamoto, K. Aonashi, T. Inoue, N., Takahashi, T. Iguchi, M.Kachi, R. Oki, T. Morimoto, and Z. Kawasaki: A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. Submitted to J. Meteor. Soc. Japan, 2008.
- 7) Fahmi Hidayat, Harry M. Sungguh, Harianto : Impact of Climate Change on Floods in Bengawan Solo and Brantas River Basins, Indonesia, 11th International River symposium Brisbane, Australia 1-4 September, 2008.

1.6 STUDY ON AN EFFECTIVE AND EFFICIENT UTILIZATION OF SATELLITE-BASED RAINFALL DATA IN AN INSUFFICIENT HYDROLOGICAL INFORMATION AREA

Abstract:

The purpose of this research is a development of correction method of satellite-based rainfall data and a localization of IFAS (Integrated Flood Analysis System) for needs of local conditions in order to implement a flood forecasting system effectively and efficiently in insufficient hydrological information areas, such as developing countries. In this fiscal year, a validation of the former developed correction method with ground-based rainfall data and a study of new correction method using segmentalised river basin were conducted in some basins in Nepal and Indonesia. Moreover, the Solo river basin in Indonesia was selected as a demonstration river to install IFAS, and field surveys were conducted for checking local requests and improving points of IFAS.

Key words: satellite-based rainfall data, Integrated Flood Analysis System, flood forecasting system, the Solo river basin, distributed hydrological model