

1.3 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

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

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

【要旨】

本研究は、人工衛星から観測された雨量データを用いた発展途上国における洪水予警報システムの開発を行うものである。平成 19 年度は、アメリカの地上雨量データを用いて人工衛星雨量の精度検証を行った。また、吉野川流域において人工衛星雨量データを分布型水循環モデルに入力することで洪水流量の再現性について検証し、人工衛星雨量データの地上雨量データを用いた補正手法についても検討した。洪水予測システムについては、洪水予警報を行う際に必要な一連の機能（地上観測雨量だけでなく人工衛星雨量データの入力機能・GIS を利用したモデル作成機能・土研分布型モデルを用いた流出計算機能・結果表示機能）を備えたシステム開発を行った。キーワード：発展途上国、洪水予警報、人工衛星雨量データ、分布型流出モデル、総合洪水解析システム

1. はじめに

近年、世界的に洪水による災害が増加している。特に発展途上国においては、洪水対策や洪水予警報のために必要となる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、十分な対策を立てることができず大きな問題となっている。

そのような状況の中で、近年は人工衛星から地球上の雨量を観測する技術が開発されてきている。本研究では、この人工衛星から観測された雨量データを用いた発展途上国での洪水予警報システムの開発を目的としており、大きく次の 2 つに分けられる。

1. 人工衛星雨量データの洪水予警報への適用性検討およびリアルタイム配信システムの開発
2. 流出モデルによる洪水流量計算を行うための総合洪水解析システムの開発

1. については独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）との共同研究を行って、衛星雨量データの洪水予警報への適用性について検討するものである。詳細を 2 章で述べる。

2. については、建設技術研究所、日本工営、パシフィックコンサルタンツ、八千代エンジニアリング、建設技術インターナショナル、東京建設コンサルタント、いであ、ニュージェック、国際航業および（社）国際建設技術協会と共同研究を実施し、分布型流出モデルから流量計算を行う総合洪水解析システム（Integrated Flood Analysis System: IFAS）の開発を行うものであり 3 章

で詳細を述べる。

2. 衛星観測雨量の適用性検討

2.1 目的

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てきている。発展途上国では、地上雨量観測所が不足しているため、人工衛星から雨量を観測するこの技術は発展途上国での洪水対策や水資源評価に対して非常に有効な手法であると期待されている。しかし、現在まで人工衛星雨量データの精度検証は、同じく人工衛星のセンサーである PR データを用いた検証を行うことが一般的であり、また時空間分解能についても空間分解能：1 度グリッド、時間分解能：月単位といった気候値としての精度で評価することが一般的に行われてきている。我々が目的としている河川流域単位での洪水予警報の利用を想定したとき、上述のような検証では不十分であり、時空間分解能についてより細かい精度で精度検証を行う必要がある。よって、本検討では河川流域単位で地上雨量データを用いた検証を行うこととした。

昨年度は日本の吉野川流域及び利根川流域において出水時の人工衛星雨量の精度検証を行った。平成 19 年度はそれに加えてアメリカの地上雨量データを入手してミシシッピ川流域において検証を行った。また、吉野川流域において分布型水循環モデルである BTOPMC³⁴⁾に人工衛星雨量データを入力することで洪水流量の再現性について検証した。併せて、地上雨量データを用いた人工

衛星雨量データの補正手法についても検討した。

2.2 衛星雨量データについて

人工衛星は地球上のほぼ全ての領域上を通過してその領域を観測することができる。しかし、ひとつの衛星が1時間で観測できる観測域は地球上のごく限られた地域のみであり、大半の地域は観測することができない未観測域となってしまう。また、ある地域の上空を同じ衛星が通過するのは数時間から数日後であるため、その間は欠測となってしまう。通常、洪水時の流出解析を行うためには毎時の雨量データや流量データを用いて解析が行われる。それに対して衛星雨量を用いて対象としている河川流域において洪水解析を行おうとしても、一つの衛星から得られる雨量データだけで解析を試みると、欠測が多く十分な解析、検討を行うことは困難である。そこで、複数の人工衛星のデータを重ね合わせて一つの全球雨量分布図を作成する手法が開発されている。現在、人工衛星からの雨量観測は、マイクロ波放射計が観測した輝度温度から降雨を推定することが一般的である。時間的、空間的な欠測を極力少なくするために AMSR-E、TMI、SSM/I といった現在打ちあげられている複数のマイクロ波放射計から推定された雨量のデータを重ね合わせて一つの全球の雨量データを作成することが一般的に行われている。全球降雨データは、上述の輝度温度からの降雨推定方法、複数の衛星データの重ね合わせ手法、使用するセンサーの違い等によりいくつかのデータが存在する。代表的なものとして米国航空宇宙局 (NASA) が作成した 3B42RT¹⁾²⁾、米国海洋大気庁 (NOAA) が作成した CMORPH³⁾および大阪府立大学岡本謙一教授が中心となって開発した GSMaP⁴⁾⁵⁾が挙げられる。各衛星雨量データの時空間分解能、データ配信遅れ時間、配信開始時期を表1に示す。

表1 各衛星雨量データの違い

| | 空間分解能 | 時間分解能 | 配信時間遅れ | 配信開始時期 |
|--------|---------|-------|--------|----------|
| 3B42RT | 0.25° | 3時間 | 10時間 | 2002年1月 |
| CMORPH | 0.0727° | 1時間 | 18時間 | 2002年12月 |
| GSMaP | 0.1° | 1時間 | 3-4時間 | 2007年10月 |

2.3 ミシシッピ川流域での精度評価検討

2.3.1 検証流域、地上雨量データ、検証した衛星雨量データ

昨年度は日本の河川流域で検証を行ったが、衛星雨量データの地域特性を検討するために本年度はアメリカのミシシッピ川流域(図1、流域面積:3,250,000 km²)で検討を行った。地上雨量データについては NOAA National Climatic Data Center (NCDC)⁶⁾よりアメリカ国内の時間雨量データセット(DSI-3240)を購入した。ミシシッピ川流域内に含まれる観測所の地点数は875箇所である。検証した人工衛星雨量データは、GSMaPと3B42RTである。

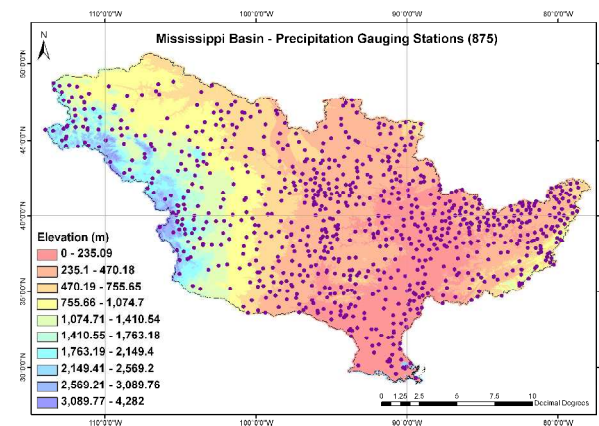


図1 ミシシッピ川流域と地上雨量観測地点

2.3.2 検証期間

今回の検証では、アイバン、カトリーナ等のハリケーンが発生した2004年および2005年の7月から10月を対象として検討を行った。この期間の地上観測雨量データから2005年については特に降雨が強かった表2に示す6期間についても精度の検討を行った。

表2 ミシシッピ川流域2005年検証イベント

| イベント | 期間 |
|------|---------------|
| M1 | 7/24 - 7/28 |
| M2 | 8/28 - 8/31 |
| M3 | 9/14 - 9/16 |
| M4 | 9/23 - 9/26 |
| M5 | 10/4 - 10/6 |
| M6 | 10/19 - 10/21 |

2.3.3 地上雨量データと人工衛星雨量データの比較方法

収集した地上雨量データは地点雨量であるのに対し、

衛星雨量データは例えば GSMaP であれば 0.1° 格子の面積平均雨量である。両者の単純比較はできないため、地上雨量データからテーゼン分割法により面積雨量を算出し、吉野川全流域および利根川全流域で両者を比較した。なお時間分解能については 3B42RT の時間分解能が 3 時間であるため、地上雨量データおよび GSMaP も 3 時間平均に変換して比較を行った。

2.3.4 結果

2004 年および 2005 年の 7 月から 10 月の地上雨量データ、3B42RT および GSMaP の相関図を図 2 および図 3 に示し、表 2 の 6 イベントのハイトグラフの代表としてイベント M1 のハイトグラフを図 4 に示す。またイベント毎のピーク雨量、総雨量の誤差率および相関係数を表 3、表 4 および表 5 に示す。

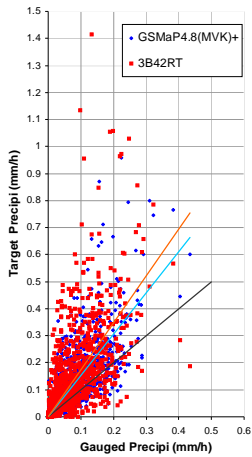


図2 2004年7月から10月の地上雨量データと衛星雨量データの相関

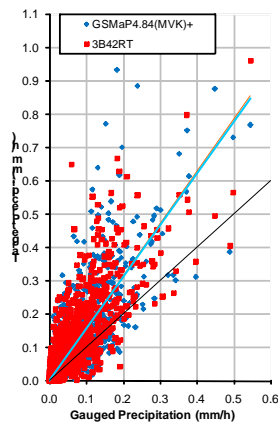


図3 2005年7月から10月の地上雨量データと衛星雨量データの相関

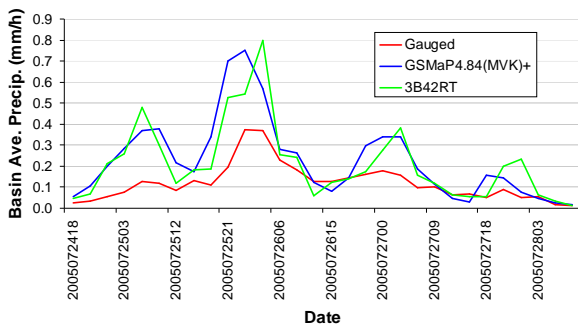


図4 地上雨量データと衛星雨量データのハイトグラフ(イベントM1)

表3 各イベントのピーク雨量

| 単位 : mm/h | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| 地上雨量 | 0.37 | 0.21 | 0.34 | 0.55 | 0.38 | 0.21 |
| GSMaP | 0.75 | 0.36 | 0.51 | 0.88 | 0.68 | 0.35 |
| 3B42RT | 0.80 | 0.31 | 0.61 | 0.96 | 0.56 | 0.45 |

表4 各イベントの相関係数

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| GSMaP | 0.82 | 0.72 | 0.88 | 0.83 | 0.91 | 0.74 |
| 3B42RT | 0.82 | 0.70 | 0.75 | 0.84 | 0.90 | 0.85 |

表5 各イベントの総雨量の誤差率

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| GSMaP | 89.4 | 32.7 | 25.4 | 40.6 | 22.5 | 71.1 |
| 3B42RT | 75.7 | 26.7 | 36.2 | 31.6 | 9.0 | 103 |

図 2 および図 3 から、2004 年、2005 年共に GSMaP と 3B42RT 共に地上雨量データよりも過大評価であることが分かる。また、図 4 から図 9 および表 3 からはピーク雨量が地上雨量データと比較して GSMaP および 3B42RT はピーク雨量を過大に評価することが分かった。これは昨年度の吉野川流域及び利根川流域で行った検討とは逆の結果となった。それとは逆に、比較的雨量強度が低いときは GSMaP および 3B42RT は地上雨量データと良い一致を示しており、この結果については吉野川流域及び利根川流域で行った検討と同様の結果である。イベント毎のピーク雨量が発生する時間については、GSMaP および 3B42RT は地上雨量データと良い一致を示すことが図 4 から分かり、昨年度の吉野川および利根川流域の結果と整合している。また表 3 から表 5 に示す通り GSMaP と 3B42RT の間でピーク雨量、イベント毎の相関係数および総雨量の誤差率について明確な違いは見られなかった。

2.3.5 考察

ここでは、GSMaP が地上雨量データと比較して流域平均雨量としてピーク雨量が過大評価となる原因について考察した。図 5 は GSMaP によるハリケーン・カトリナの雨量分布図である。色の分布は GSMaP による雨量値であり、丸印およびそこに付記されている数字は地上雨量観測所の位置及び観測雨量である。この図から分

かるように、地上雨量計が一定の雨量強度を示している時にその観測所を含む GSMaP のグリッドの雨量値は同等か過小評価している。しかし、地上雨量計で雨量強度がゼロの場合は GSMaP で強い雨量強度を示す部分が広く分布しており、このことが流域平均雨量として過大評価している原因と考えられる。吉野川流域について同様に作成した GSMaP の雨量分布図を図 6 に示す。この図は平成 16 年 10 月の台風 23 号が四国に上陸した際の図であり、この図からは吉野川流域内で全体的に GSMaP は地上雨量データよりも過小評価していることが分かり、ミシシッピ川流域での検討とは反対の結果となっている。ミシシッピ川流域と吉野川流域では流域面積の違いがある。ミシシッピ川の流域面積が 3,250,000 km² であるのに対し、吉野川の流域面積は 3,750 km² でありミシシッピ川流域に対してかなり小さい。強い降雨強度を持った雨域が吉野川流域を通過すると、その雨域に流域全体がほぼ完全に含まれることになり、地上雨量計で高い降雨強度が観測されるときは流域平均で GSMaP は過小評価となる。しかし、ミシシッピ川流域は非常に大きいため、一つの強い雨域の中に流域全体が含まれることはなく、仮に強い雨域において雨量を過小評価しても上述のとおり

りその強い雨域の周囲では過大評価となっているため流域平均として過大評価になると推察される。この推察からは、地域性に関係なく GSMaP は強い降雨強度に対して過小評価であることが想定され、このことを確認するためにミシシッピ川流域内で吉野川流域と同程度の面積を持つエリアを抽出し、検討を行う必要がある。また、ピーク雨量の発生時刻についても地域性は認められなかったが、これについても同様の検討することが必要である。

2.4 人工衛星雨量データの水循環モデルへの適用および補正手法検討

2.4.1 はじめに

2.3 節において、人工衛星雨量データの精度についてアメリカの地上雨量データを用いて評価した。また昨年度も前述したとおり吉野川流域及び利根川流域において精度検討を行った。日本の洪水予警報では、予測される雨量を流出モデルに入力することで河川の予測流量を計算し、その値に基づいて各種対策が行われる。ここでは、吉野川流域を対象として現在の人工衛星雨量データを流出モデルに入力した場合、流量値としてどの程度の精度

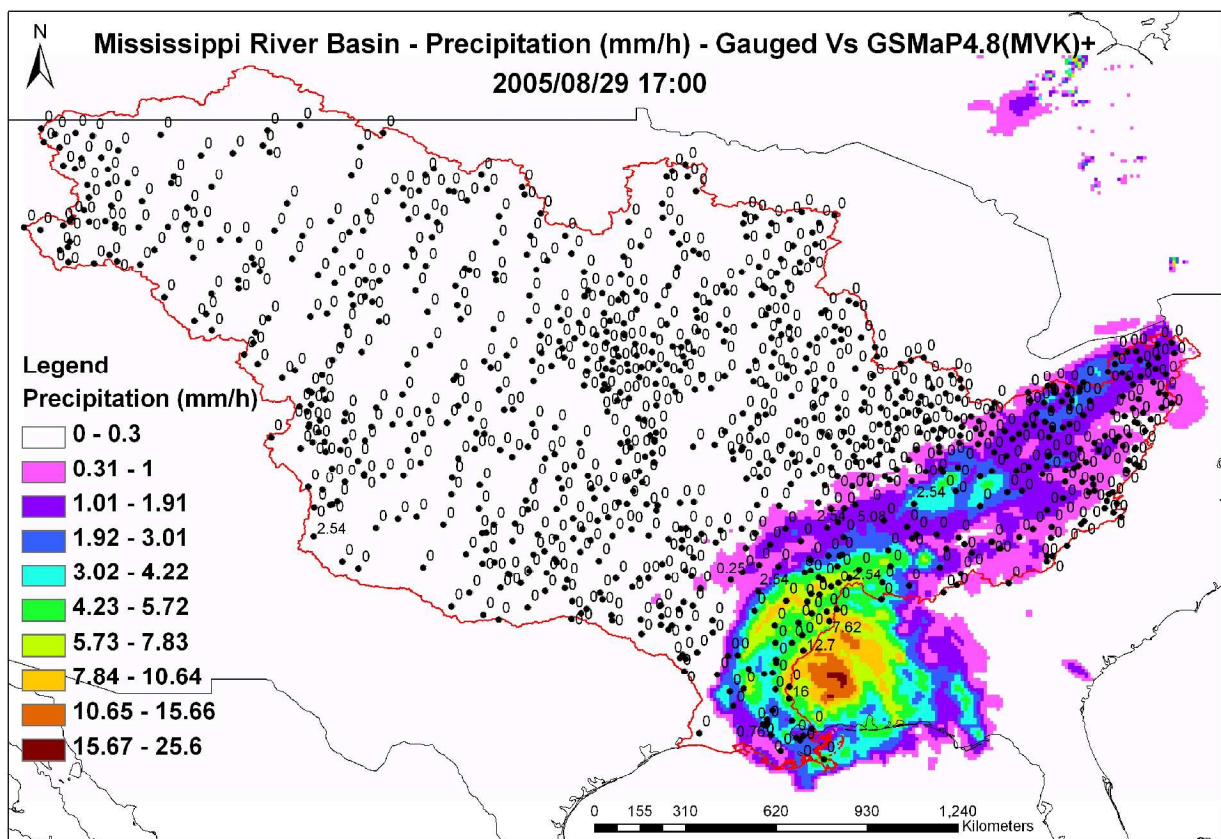


図 5 GSMaP によるハリケーン・カトリーナの雨量分布図

を有するのかを評価した。また、2.3 節や昨年度の検討結果から、人工衛星雨量データを地上雨量データを用いて補正する必要があることが分かった。ここでは流出モデルへの入力と併せて補正手法の検討を行った。

2.4.2 流出モデル

ここでは流出モデルとして BTOPMC(Block-wise use of TOPMODEL)⁷⁾を用いた。BTOPMC は大流域の水循環を主に解析するために開発されてきた物理型分布型モデルである。基本として用いているモデルは TOPMODEL⁸⁾であり、河道水の追跡に Muskingum-Cunge 法が用いられている。BTOPMC は国内外で多数の河川流域に対して適用実績を持っている。詳細は参考文献を参照されたい。なお本検討では観測雨量データを入力して中央橋観測地点(図7)における流量を計算し、観測流量と比較しモデルのパラメータを調整した。

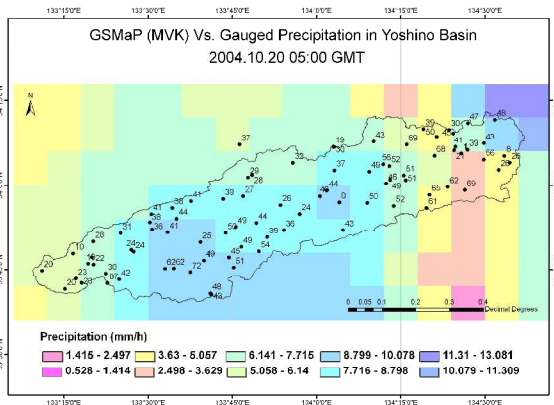


図6 GSMaP および地上雨量計による吉野川流域の雨量分布図

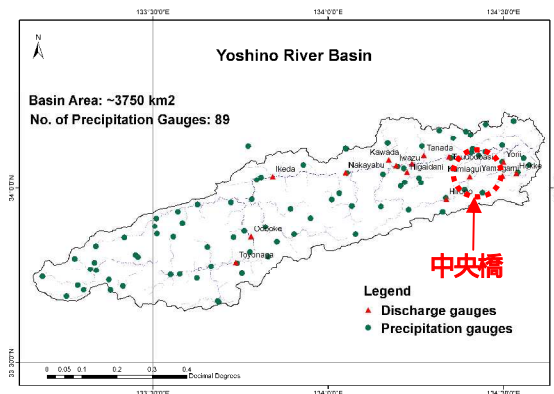


図7 吉野川流域図

2.4.3 入力データ

BTOPMC の入力データを表6 に示す。

表6 BTOPMC の入力データ一覧

| データの種類 | 使用したデータ | 時空間分解能 |
|--------|-------------------------------------|------------------------|
| NDVI | NOAA AVHRR | 8 x 8 km ² |
| 標高データ | SRTM | 90 x 90 m ² |
| 土地被覆 | GLCC IGBP Version 2 | 1 x 1 km grids |
| 土壌データ | FAO | 25 x 25 km |
| 気象データ | Climatic Research Unit TS 2.0 | 50 x 50 km |
| 観測流量 | MLIT | 流量観測所データ |
| 観測雨量 | MLIT, AMeDAS | 地点データ |

2.4.4 検証期間

検証期間は複数の大きな出水があった2004年6月から10月とした。

2.4.5 人工衛星雨量データの地上雨量データによる補正

ここではGSMaPを対象として人工衛星雨量データの補正手法について述べる。人工衛星雨量データの地上雨量データによる補正の必要性については2.3 節の検討や昨年度の検討で述べてきた。地上雨量データで補正を行うためには時空間分解能が細かい全球の地上雨量データが必要であるがそのようなデータセットは現時点では整備されていない。その一方で時間分解能で月単位の雨量データであれば GPCC⁹⁾、GPCP¹⁰⁾といった全球について整備されている観測雨量データセットが存在する。(GPCC: 全球1.0度メッシュ、GPCP: 全球2.5度メッシュ)そこで、本検討では、これらの時間分解能が月単位である全球データセットの存在を念頭に、月雨量を基にした補正手法を試みた。具体的には、はじめに吉野川流域内の地上雨量データから流域平均雨量の月雨量を求め、同時に GSMaP の流域平均雨量の月雨量を求め、それらの比率を算出する(式1)。次にこの比率をタイムステップ毎にGSMaPの各グリッドの雨量値に乗じることで補正雨量を得た(式2)。

$$\alpha_m = \frac{R_{gauge_basin_m}}{R_{sate_basin_m}} \quad (式1)$$

$$Mod_R_{sate_i}^t = \alpha_m \times R_{sate_i}^t \quad (式2)$$

ここで、
m : 月

α_m : m 月における観測月雨量と GSMaP の月雨量の比率
 $R_{sate_basin_m}$: m 月における GSMaP の流域平均月雨量
 $R_{gage_basin_m}$: m 月における観測流域平均月雨量
 t : タイムステップ
 $R_{sate_i}^t$: タイムステップ t 時の流域内任意のグリッドの雨量値
 $Mod_R_{sate_i}^t$: タイムステップ t 時の流域内任意のグリッドの補正雨量値

2.4.6 結果

人工衛星雨量として 3B42RT、CMORPH および GSMaP を用いて中央橋地点の流量を計算した結果を図 8 に示す。地上雨量データを入力して計算を行った場合、概ね全ての降雨イベントについて計算流量は観測流量と良い一致を示しており、モデルの妥当性が示されている。その一方で人工衛星雨量を入力した場合の計算流量は、観測流量よりも小さく計算されている。図 9 に GSMaP を 2.4.5 で述べた手法で補正して計算した結果 (GSMaP Corrected) を示す。その結果、補正しない場合と比較して、ピーク流量が大きく計算されるようになった。観測雨量と GSMaP および補正した GSMaP の相関図を図 10 に示し、観測流量と GSMaP および補正した GSMaP で計算した計算流量の相関図を図 11 に示す。これらの図からも、補正を行うことで過小評価傾向にあった GSMaP が今度は過大評価に転じていることが分かる。

2.4.7 考察 図 8 より、GSMaP、3B42RT、CMORPH のいずれを用いても、計算された流量値は観測値と比較して過小評価となった。また、観測月雨量で GSMaP を補正して計算を行うと、図 10 や図 11 に示す通り、過大評価する部分が多くなる結果となり、高い相関が得られたわけではなかった。補正を行わない場合は洪水の過小評価による被害、逆に補正を行った場合は洪水を過大に見積もることになり、現段階で洪水予警報に適用することは難しい。補正手法については、精度の高い地上雨量データを用いても十分な精度が得られなかったことから、GPCC や GPCP の月雨量のデータを用いた補正を行っても満足する精度を確保することは難しいと推察される。以上の結果から、より短い時間スケールでの地上観測雨量データ(例えば日単位)を用いた補正手法の検討や、人工衛星雨量の不確実性を当初より考慮に入れた解析結果の表示手法の検討等、多角的に人工衛星雨量の補正利活用手法を検討することが必要である。

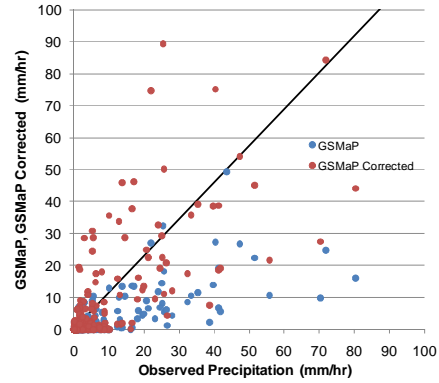


図 10 観測雨量と GSMaP、補正した GSMaP の相関図

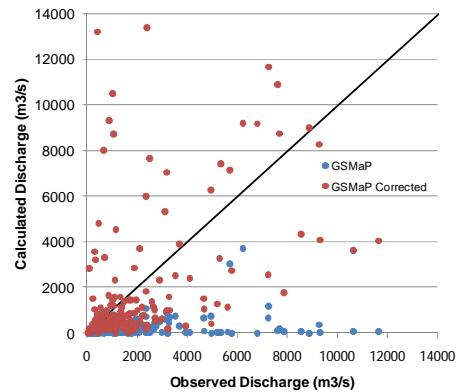


図 11 観測流量と GSMaP、補正した GSMaP で計算した中央橋地点流量の相関図

3. 総合洪水解析システム(IFAS)の開発

3.1 目的

河川整備が十分ではない諸国においては、災害時における住民避難等の行動が確実に行われることが重要であり、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見られる。本研究では、これら水文データ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、人工衛星雨量データを活用した総合解析システム(IFAS)の開発を行っている¹¹⁾。

以下に、開発を行った IFAS(Ver1)の主な機能、実際の流域における計算結果等について示す。

3.2 IFAS の主な機能

(1)基本構成

IFAS の基本構成を図 12 に示す。IFAS は、降雨データの入力から、流出計算モデルの作成、流出計算の実行、計算結果の表示機能を備え、洪水予報に必要な一連の流出計算を行うことが可能である。

IFAS では、計算に用いる降雨データとして、地上雨量だけでなく、人工衛星雨量を入力することも可能である。また、降雨データだけでなく河道網の作成やパラメータ推定に利用している GIS データ等についても、全てインターネット上に公開され無償で利用可能なデータを利用することとしている。

IFAS は Windows2000 および XP 上のパーソナルコンピュータで稼動し、降雨データおよびパラメータ推定に必要な GIS データを入手するためにインターネットに接続できることが必要である。

(2)人工衛星雨量データ

IFAS では、時空間的解像度やデータの保存期間、利用のしやすさ等の理由から 3B42RT を利用している。このデータは NASA の HP で、配信時間毎に 1 ファイルとし対象範囲の全降雨データがバイナリー形式で公開されている。これを IFAS がインストールされたパーソナルコンピュータ上に必要期間分をダウンロードして利用する。

(3)流出計算エンジン

IFAS では、デフォルトの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^{12) 13)}」を使用している。

土研分布型流出解析モデル ver2 では、図 13 に示すように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ともに、河道の流れを Kinematic Wave 法により表現している。

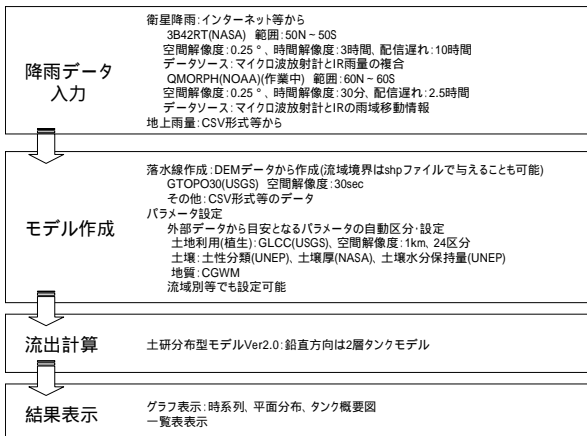


図 12 IFAS の構成

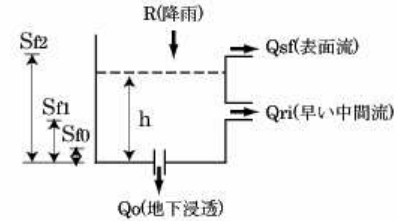
なお、現状ではダムによる調節効果、蒸発散、融雪の効果については考慮していない。

(4)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 では、インターネット上で無償で公開されている全世界の DEM データ(USGS-GTOPO30¹⁴⁾、水平解像度 30 秒)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 DEM 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。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。

①表層タンク(上段タンク)



$$Q_{sf} = \alpha_{sf} \cdot (h - S_{f2})^{5/3}$$

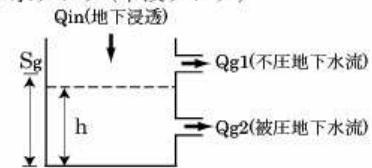
$$\alpha_{sf} = (1/n \cdot i^{1/2})/L, h: \text{タンクの貯留高さ}$$

$$Q_{ri} = \alpha_{ri} \cdot \alpha_0 \cdot (h - S_{f0}) \cdot A$$

A: メッシュの面積
 α_{ri} : 定数, α_0 : $f_0 \cdot (S_{f2} - S_{f0})$, f_0 : 最終浸透能

$$Q_0 = \alpha_0 \cdot (h - S_{f0}) \cdot A$$

②地下水タンク(下段タンク)

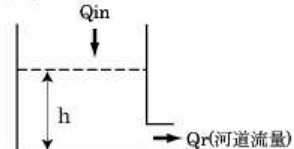


$$Q_{g1} = \alpha_{sf}^2 \cdot (h - S_g)^2 \cdot A$$

$$Q_{g2} = \alpha_{ri} \cdot h \cdot A$$

α_{sf}, α_{ri} : 定数, h: タンクの貯留高さ, A: メッシュの面積

③河道タンク



$$Q_r = 1/n \cdot h^{5/3} \cdot i^{1/2} \cdot B$$

n: 粗度係数, h: タンクの貯留高, i: 河道勾配
 $B = c \cdot A^8$, A: 流域面積, c, s: 定数

図 13 土研分布型流出解析モデル ver2 の概要

図 14 に、IFAS により作成された吉野川流域の河道網

表7 土地利用区分とIFAS上のパラメータ区分

| 土地利用区分(GLCC) | IFASのパラメータ区分 |
|--|--------------|
| Urban and Built-Up Land | Urban area |
| Dryland Cropland and Pasture | Wetland |
| Irrigated Cropland and Pasture | |
| Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture | |
| Cropland/Grassland Mosaic | Grassland |
| Cropland/Woodland Mosaic | |
| Grassland | |
| Shrubland | |
| Mixed Shrubland/Grassland | |
| Savanna | Forest |
| Deciduous Broadleaf Forest | |
| Deciduous Needleleaf Forest | |
| Evergreen Broadleaf Forest | |
| Evergreen Needleleaf Forest | |
| Mixed Forest | Water Bodies |
| Water Bodies | |
| Herbaceous Wetland | Wetland |
| Wooded Wetland | |
| Barren or Sparsely Vegetated | Grassland |
| Herbaceous Tundra | |
| Wooded Tundra | |
| Mixed Tundra | |
| Bare Ground Tundra | |
| Snow or Ice | Water Bodies |

を示す。手動による操作は、対象となる範囲の緯度・経度の入力、流末(河口)メッシュの選択、メッシュ間の標高差がない河口付近のメッシュの流域設定のみありで、DEM データに基づく自動作成により概ね吉野川の流域形状および河道網が表現されていることが分かる。ただし、現状の機能では、分流および複数の流末(河口)を設定することができないため、旧吉野川については正しく表現されていない。

なお、IFAS は標高差によって河道網を作成するため、メッシュ間の標高差がない平坦な地域では自動的に適切な河道網を作成することができず、手動で各メッシュの標高を修正し河道網を作成することになる。

b)GIS データによるパラメータ推定

IFAS では、土地利用や地質、土壌区分といった無償で公開されている GIS デ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推定を行う機能を有している。

IFAS の機能の一例として、土地利用に応じて表層タンクのパラメータの自動設定を行うことが可能である。これは、ダウンロードした土地利用(USGS-GLCC¹⁵⁾の凡例区分に応じて自動的に各メッシュを5区分(表7)に分類し、あらかじめそれぞれの区分に対して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ことが可能である。また支川の流域単位での設定や、手動で各メッシュ単位にパラメータ区分の変更やパラメータの値そのものを変更することも可能である。このような機能を利用し、IFAS では、概ね自動的に流出解析モデルを作成することが可能である。

なお、あらかじめ設定している土地利用区分と IFAS 上のパラメータの区分との関係や目安となるパラメータの値は、信頼性の高いデータが得られる日本の流域での試算によるものであり、実際に観測流量が得られる地点

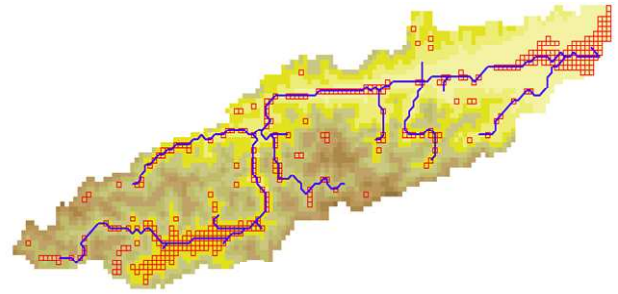


図14 IFASにより作成された流域と河道網(吉野川)において、パラメータのキャリブレーションを行うことが望ましい。今後は、検証流域を増やし精度を向上するとともに、地質や気候など条件が日本と大きく異なる広い流域での検証を行い修正を行っていく必要がある。

(4)結果表示機能

計算結果については、図15~17に示すように、IFAS の出力機能を用いて、時刻歴図、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。これらは同時に複数項目の表示が可能であり、表示される各項目は、お互いに関連付けがなされており、平面図上で選択地点を変更すると、それに対応して表示される時刻歴図等も自動的に変化する仕組みとなっている。

また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、全てのメッシュについて計算が行われており、任意の地点の結果表示が可能である。

3.3 実流域における計算結果

実際に観測された流量および地上雨量による計算結果とあわせ、人工衛星雨量を用いた吉野川早明浦ダム流域での計算結果を図18に示す。前述のように地上雨量に比べて人工衛星雨量(3B42RT)そのものが異なるため、ここでは、地上雨量と実測流量を基に流出計算のパラメータをキャリブレーションし、その値を人工衛星雨量の計算の際にも使用している。

この図によれば、ピーク流量やその発生時刻、波形を含め、地上雨量による計算結果は実測流量を再現できていること、人工衛星雨量による計算結果は実測流量と差があるものの、ピーク流量のタイミングは一致しており洪水の再現はできていることが分かる。

またこの結果、人工衛星雨量による計算結果と実測流量との差は降雨の違いによると考えられ、今後、人工衛星雨量の観測精度が向上すれば、計算結果の精度も向上するものと考えられる。なお今回の計算は、過去の洪水に対する流出計算を行ったものであり、人工衛星雨量の配信時間や配信の遅れ時間等については考慮していない。

1.3 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

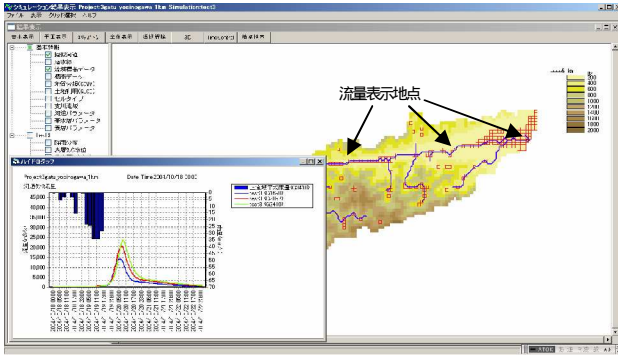


図 15 結果表示(複数地点のハイドログラフ)

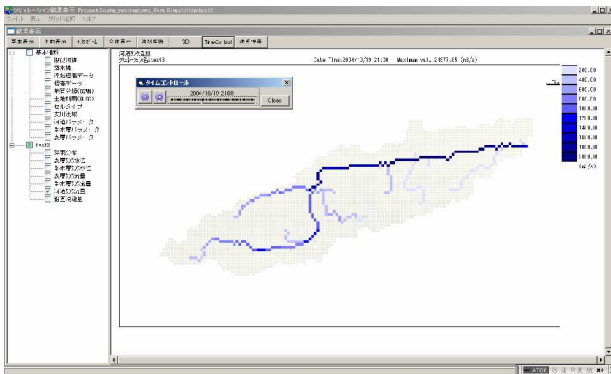


図 16 結果表示 (計算結果 (流量) の平面図表示)

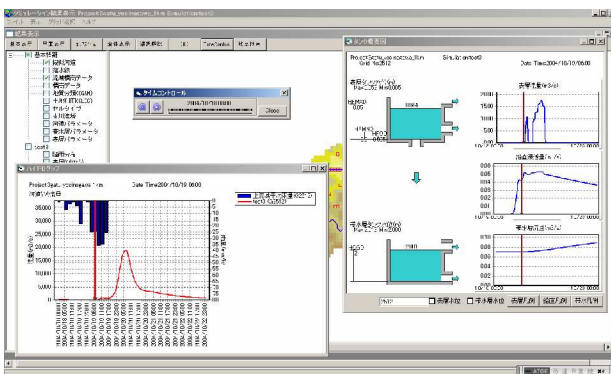


図 17 結果表示 (複数項目の表示)

3.4 まとめ

本研究では、これまでに人工衛星雨量を用いた総合洪水解析システム(IFAS Ver1)の開発を行った。人工衛星雨量を用いた流出計算の結果、今後、衛星観測降雨の精度向上が必要ではあるものの、現状においても洪水の発生時間や定性的な洪水の再現は可能と考えられる。またこの結果、適用上の制約があるものの、IFASを利用することにより、水文データ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流出計算を行うことが可能となり、迅速かつ効率的に洪水予警報システムの構築に役立つものと考えられ

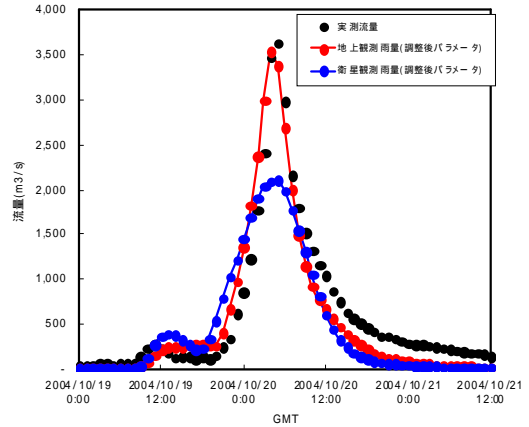


図 18(1) IFAS による流出計算結果

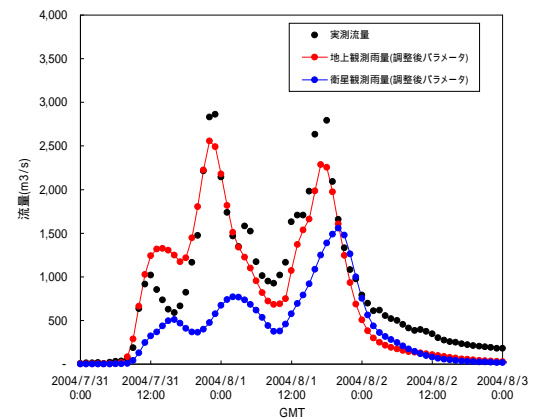


図 18(2) IFAS による流出計算結果

る。

今後の課題としては、IFAS により算定される流量の差は人工衛星雨量によると考えられるため、配信時間遅れの改善も含め、人工衛星雨量そのものの精度向上あるいはその補正方法の開発等が求められる。流出解析エンジンや目安となるパラメータの設定に関しては、地質や気候など条件が日本と大きく異なる広い流域での検証を行い、パラメータの修正等を行うとともに、蒸発散や融雪現象を流出解析エンジンに取り入れる必要がある。さらに、実際に洪水予警報を発令するために流出計算を行うには、人工衛星雨量の配信時間遅れや更新時間にあわせた計算実施機能の追加が必要となる。

次年度は、検証事例を増やし計算結果の精度向上を図るとともに、上記課題への対応とあわせて機能向上や機能追加を行う。

参考文献

- 1) Christian Kummerow et.al.: The Evolution of the Goddard Profiling Algorithm (GPROF) for Rainfall Estimation from Passive Microwave Sensors, Journal

1.3 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

- of Applied Meteorology, Vol. 40, pp.1801-1820, 2001.
- 2) Huffman, G.J., et.al., The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale, J. Hydrometeor., Volume 5, pp.38-55, 2007.
 - 3) Robert J. Joyce, et.al., CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution, Journal of Hydrometeor., Volume 5, pp.487-503, 2004.
 - 4) 岡本謙一、衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成、日本航空宇宙学会関西支部 第406回航空懇談会、2006年5月
 - 5) Takuji Kubota, et.al.: Global Precipitation Map Using Satellite-Borne Microwave Radiometers by the GSMaP Project: Production and Validation, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 45, No 7, July 2007.
 - 6) <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>
 - 7) Kuniyoshi Takeuchi, et.al.: Introduction of block-wise use of TOPMODEL and Muskingum-Cunge method for the hydro-environmental simulation of a large ungauged basin, Hydrological Sciences Journal, Vol. 44(4), pp.633-646, 1999.
 - 8) Beven, K. J., et.al.: A physically based, variable contributing area model of hydrology, Hydrological Science Bulletin, Vol. 24, No. 1, pp. 43-69, 1979.
 - 9) Fuchs, T., et.al.: Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, Internet Publication, 1-10
 - 10) <http://cics.umd.edu/~yin/GPCP//main.html>
 - 11) Fukami K, Fujiwara N, Ishikawa M, Kitano M, Kitamura T, Shimizu T, Hironaka S, Nakamura S, Goto T, Nagai M, Tomita S: Development of an integrated flood runoff analysis system for poorly-gauged basins, Proceeding of the 7th International Conference on Hydroinformatics (HIC2006), vol.4, pp.2845-2852, 2006.
 - 12) 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.
 - 13) 猪股広典, 深見和彦: 吉野川流域広域水危険度判断支援システムの開発, 河川技術論文集, Vol.13, pp.433-438, 2007.
 - 14) <http://www1.gsi.go.jp/geowww/globalmapgsi/gtopo30/gtopo30.html>
 - 15) <http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/>

1.3 STUDY ON THE DEVELOPMENT OF A BASIC SYSTEM FOR FLOOD FORECAST AND ALERT BASED ON THE INFORMATION PROVIDED BY SATELLITES

Abstract:

The purpose of this study is to make a flood forecasting system which utilizes satellite-based precipitation data (SPD) for developing countries. In FY2007, the accuracy of SPD in America was verified. In addition to that, SPD was input to a distributed hydrological model to verify the accuracy of calculated flood discharge in Yoshino River Basin and modification method of SPD by ground precipitation data was examined. Concerning IFAS, a series of functions (input module of SPD to the system, module to establish PWRI distributed model by using GIS, calculation of discharge by PWRI distributed model and display of simulation result) was developed.

Key words: satellite-based rainfall data, Integrated Flood Analysis System, user-friendly interface, object oriented modeling