

第7回ちかすいネット 2010年11月20日 つくば

途上国における洪水管理のための 総合洪水解析システム(IFAS)と 衛星雨量の活用

(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)



深見 和彦

k-fukami@pwri.go.jp

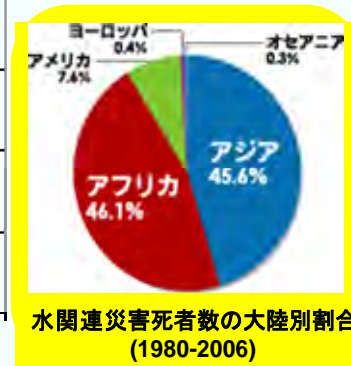
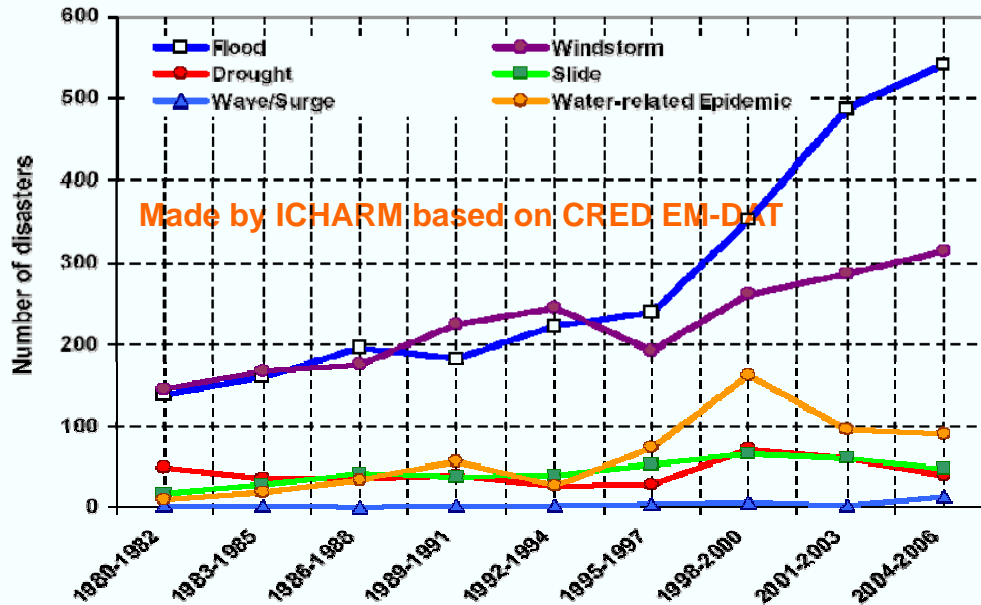


**International Centre for
Water Hazard and
Risk Management
under the auspices of UNESCO**

(UNESCO-ICHARM)



洪水予警報の意義・効果



洪水災害発生件数は増大の一途。

洪水予警報により犠牲者は減らせる！

China Floods		Bangladesh Storm Surges		Myanmar Nargis	
Year	Death Tolls	Year	Death Tolls	Year	Death Tolls
1931	3 700 000 (400 000*)	1970	300 000	2008	138 000
1954	30 000	1991	139 000		
1998	3 700	2007	4 200		

事前対策

事後対策

被害軽減

洪水ハザードマップ
洪水予警報
水害保険
水防体制整備(防災訓練)
建築物耐水化

応急対応

水防活動
情報伝達・共有
洪水警報・避難勧告
救出・救助・救援
避難所開設

被害抑止

河川改修
堤防整備・強化
洪水調節施設整備
氾濫許容地域の設定
宅地かさ上げ

復旧・復興

災害復旧
防疫対策
住宅再建
被災原因究明
教訓の整理・伝承

洪水リスクマネジメントサイクル

川沿いに張り付く住居群 (フィリピン・マニラ)



氾濫を利用した水田灌漑



発展途上国等での洪水予警報による 洪水災害軽減への課題



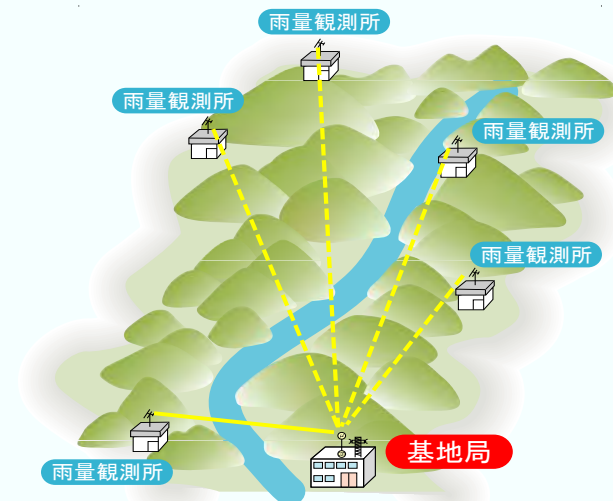
- 雨量計など地上水文観測施設の整備,
維持管理が不十分 →水文データの欠如
- 洪水予測モデル作成に必要な
標高,土地利用,河道網データ等の不足
- システム構築等に要するコスト負担が困難
- 自国の技術力向上のための体制が不十分
- 情報伝達ネットワーク・コミュニティの欠如
- 低い防災意識・避難準備体制



手作業での雨量観測



川沿いに並ぶバラック住宅
(フィリピン・マニラ)



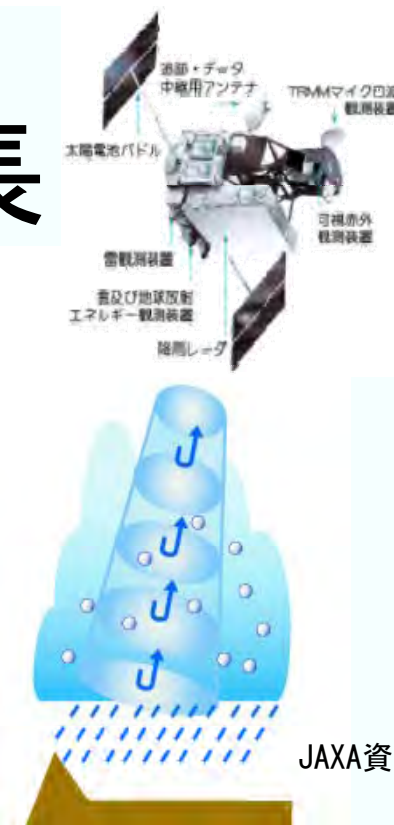
雨量計だけでなく基地局（監視局）までの伝送装置も必要

人工衛星観測雨量の特長

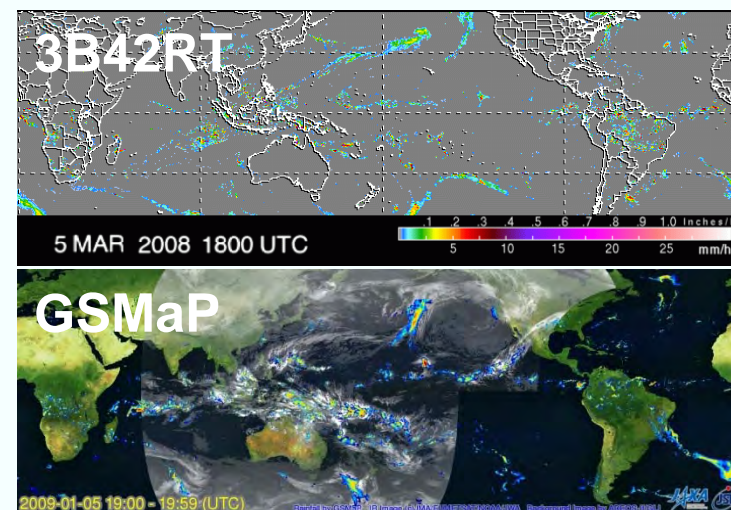
- 雨量計や伝送装置の設置、維持管理が必要ない
 - ほぼ同一(?)の精度で全世界をカバーするデータが得られる
 - 過去のデータが確実・着実に蓄積されている
- ただし、
- 解像度、観測精度、配信遅れに注意する必要がある

リアルタイム人工衛星観測雨量の例
(WEB上で無料で入手可能)

衛星雨量プロダクト名称	3B42RT	CMORPH	GSMaP_NRT
開発・提供者	NASA/GSFC	NOAA/CPC	JAXA/EORC
提供範囲	北緯60度～南緯60度		
空間解像度	0.25°	0.25°	0.1°
時間分解能	3時間	3時間	1時間
データ配信時間	約10時間	約15時間	4時間
座標系	WGS		
データベース存在期間	Dec. 1997～	Dec. 2002～	Dec. 2007～
利用衛星センサ	TRMM/TMI Aqua/AMSR-E AMSU-B DMSP/SSM/I IR	Aqua/AMSR-E AMSU-B DMSP/SSM/I TRMM/TMI IR	TRMM/TMI Aqua/AMSR-E ADEOS-II/AMSR SSM/I IR AMSU-B



JAXA資料より

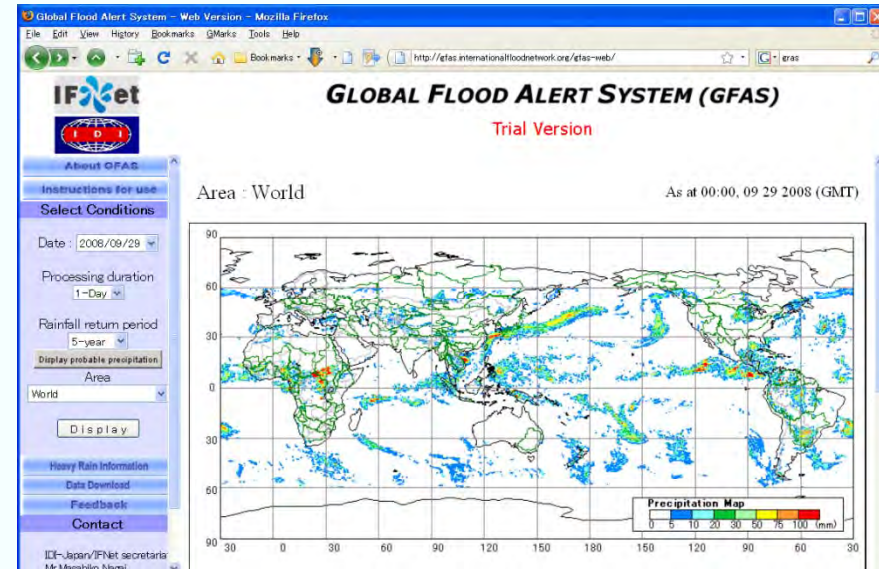




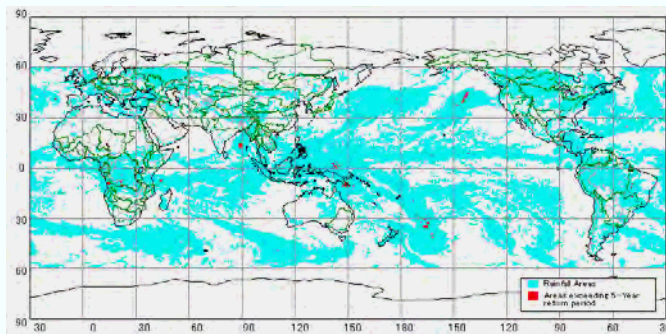
GFAS - Rainfall



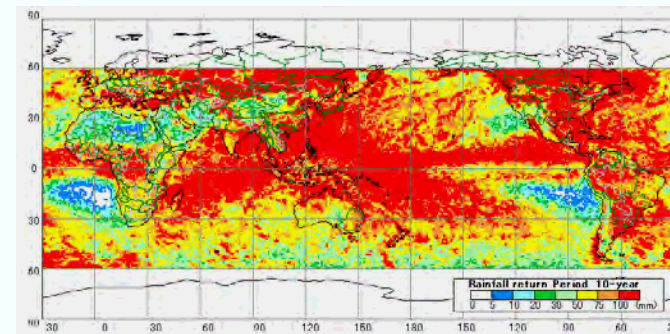
<http://gfas.internationalfloodnetwork.org/gfas-web/>



Real-time Map (every 3 hour)



Real-time estimation of rainfall areas Exceeding 10- (or 5-) Year Return Period



Pre-analyzed rainfall distribution exceeding 5 or 10-year return period

人工衛星降雨情報を活用した洪水予測システム整備促進



衛星による
雨量観測

衛星降雨データ
(準リアルタイム)

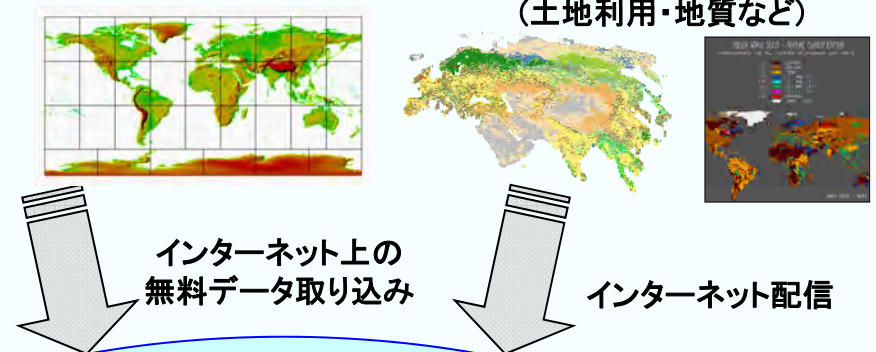
水文データが乏しい地域における洪水予測システムの開発
実行形式ファイルの無料配布を計画

地形データ(標高)

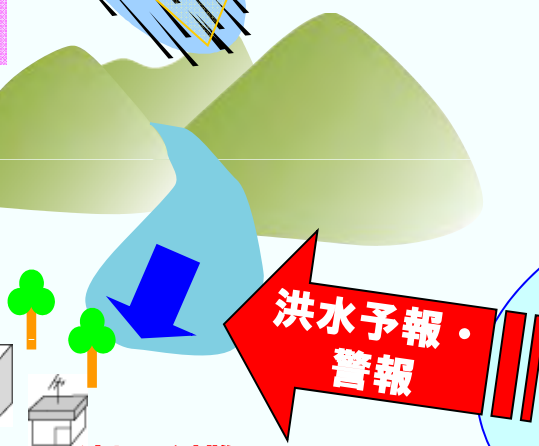
流出解析に必要な物性値
(土地利用・地質など)

流出計算による
洪水予測

洪水被害
防止・軽減



分かりやすい表示



適切な避難へ

IFAS (一連の洪水流出計算が可能)

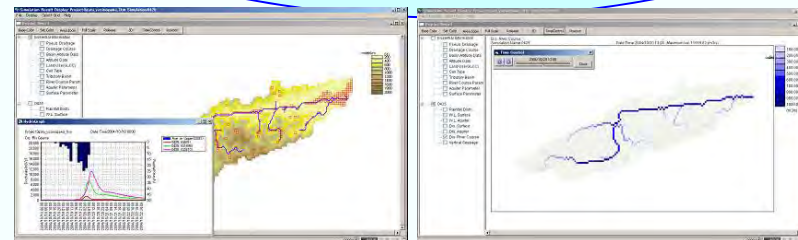
- 衛星降雨の入力・補正 (地上降雨も入力可能)
- 流出解析に必要なGIS属性値の入力
- 流出解析モデルの構築 (定数評価)
- 流出解析・洪水予測計算
- 結果表示・Googleアース上での表示
- 使いやすいインターフェース
- 無料配布 (実行形式)

現状 洪水予報をしたくても...

- 雨量データなし
- 河川測量データなし
- 解析ツールなし

大きな費用・時間コスト
システム整備に
着手できない。

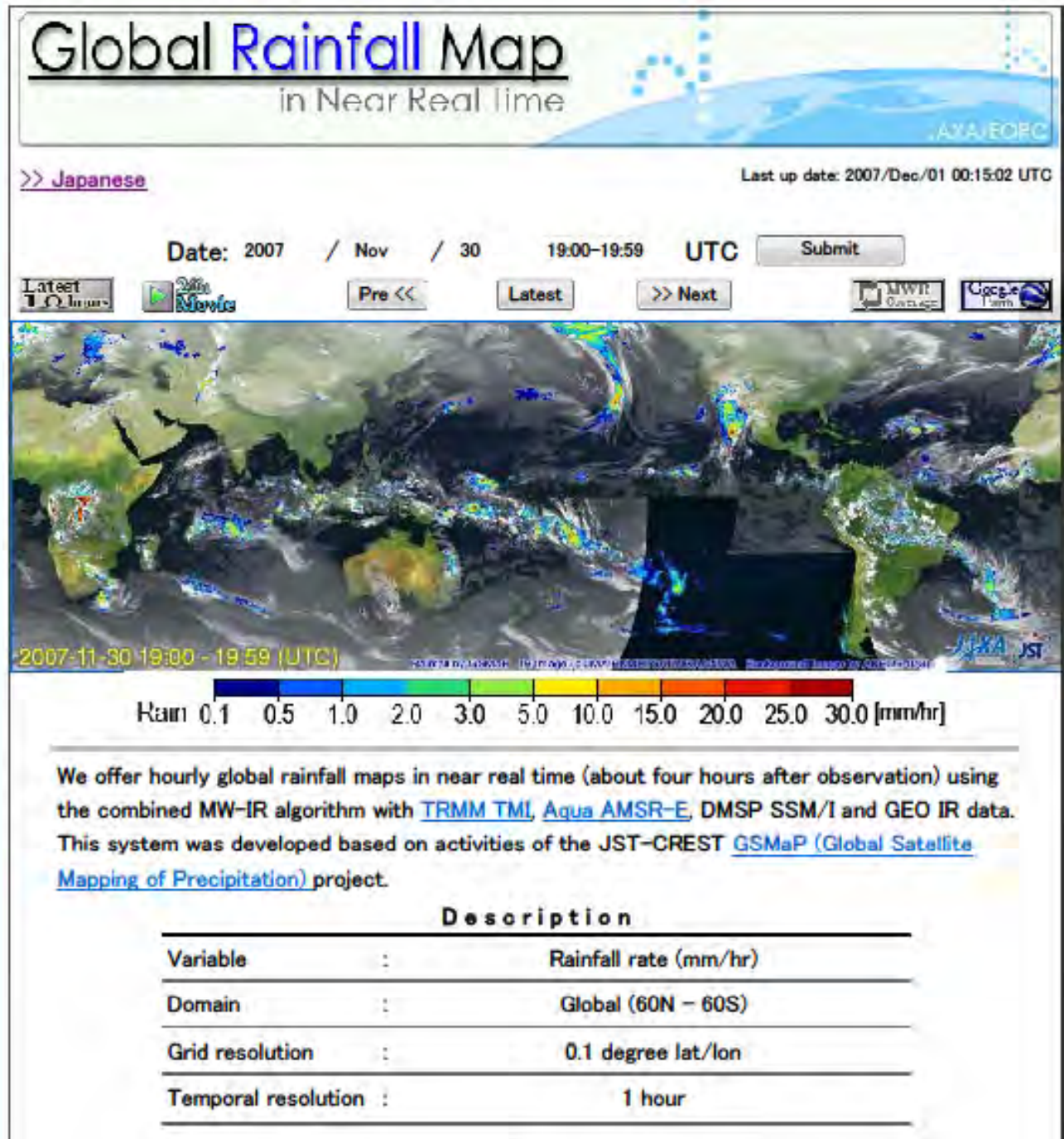
→ **IFASの利用により、**
地上観測施設整備水準に左右されずに洪水予測システムを迅速かつ効率的に構築・整備。 →
現地技術者の自発的努力による精度向上努力を支援



GSMaP_nRT

JAXA,
JST-CREST
(大阪県立大学
岡本謙一教授ら)
ICHARM/PWRI

<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>



洪水流出解析のための 衛星雨量補正手法の開発研究

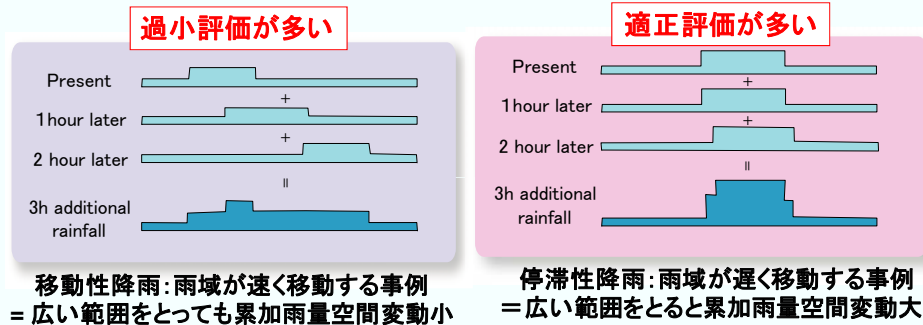
<第1段階>

衛星雨量プロダクトで頻発する豪雨の過小評価を補正したい。
しかし、地上観測データは迅速に入手できない。

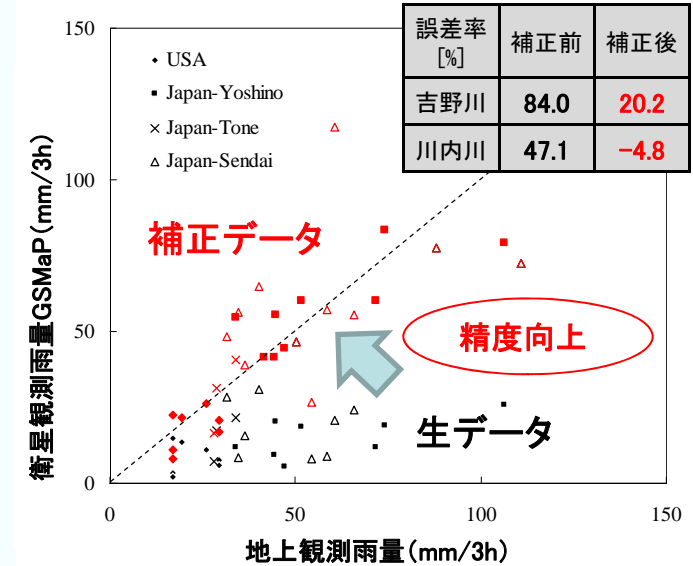
地上雨量観測データを用いない

「雨域移動情報を活用した」衛星雨量の自己補正手法

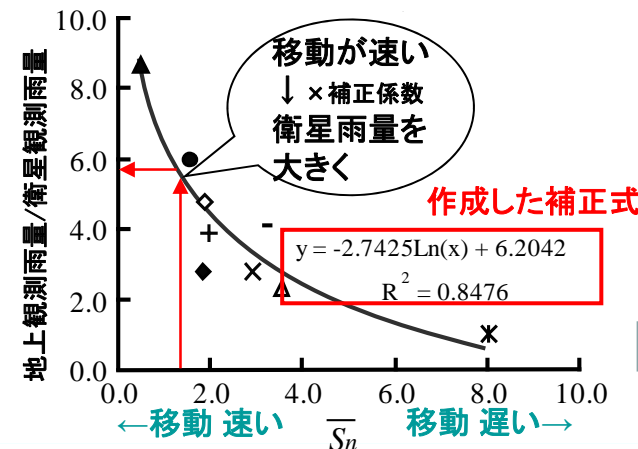
の提案



- ・特に強雨で有効
- ・地域によって関係が異なる可能性



衛星観測雨量と地上観測雨量の比較



雨域の移動速度(停滞度)指標とピーク雨量比率の関係

雨域移動情報を活用した衛星雨量自己補正手法が有効であることを説明するための一つの仮説

雨域移動速度 小

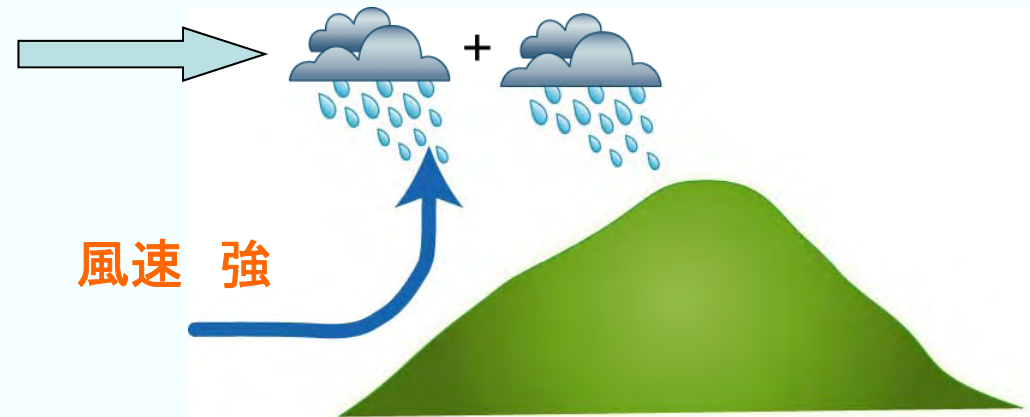


大気下層において、
地形性降雨成分が少ない。

陸域での高周波マイクロ波観測に
おいて

衛星観測と地上観測の相関が高い

雨域移動速度 大



大気下層において、
地形性降雨成分が多い。

陸域での高周波マイクロ波観測に
おいて

地形性降雨成分を的確に感知で
きず、衛星観測が過小評価

Animation of typhoon “Morakot” (台風8号)

hour/day/month/year

16Z05AUG2009

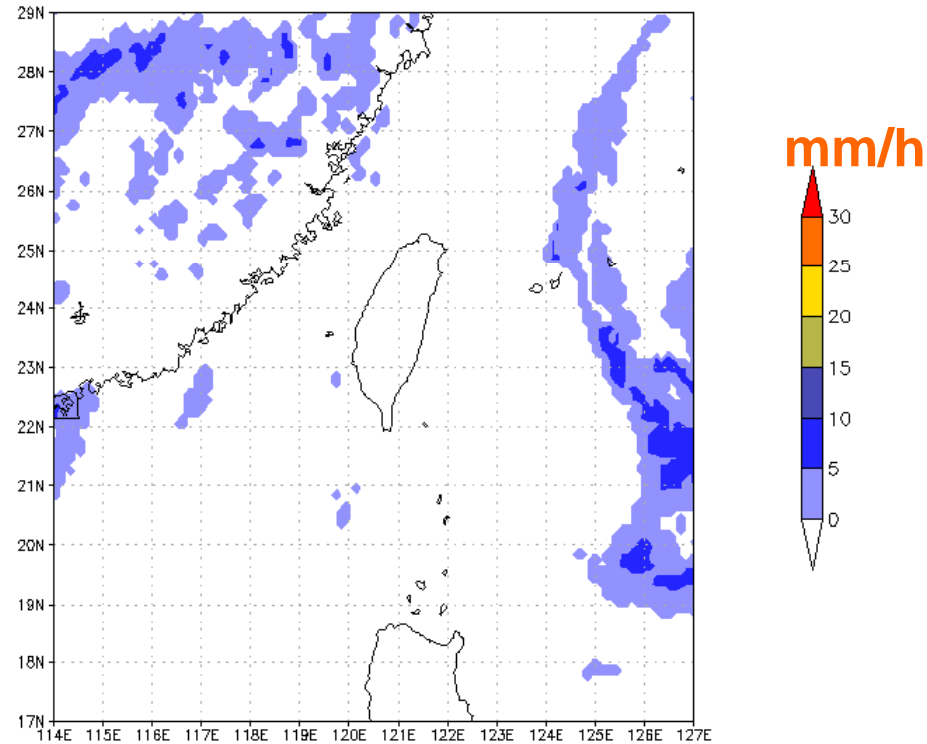


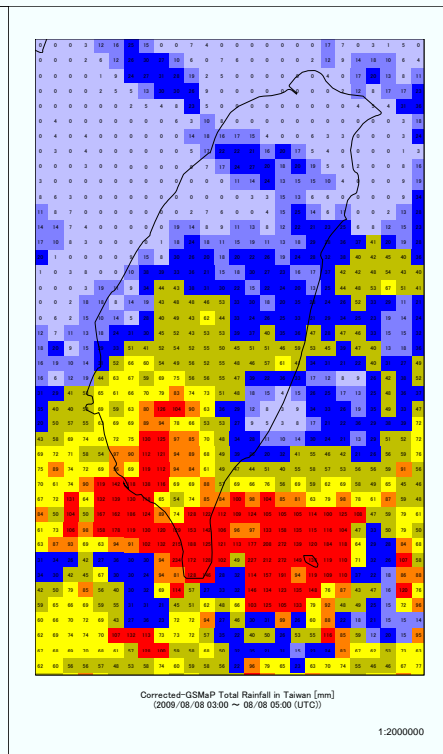
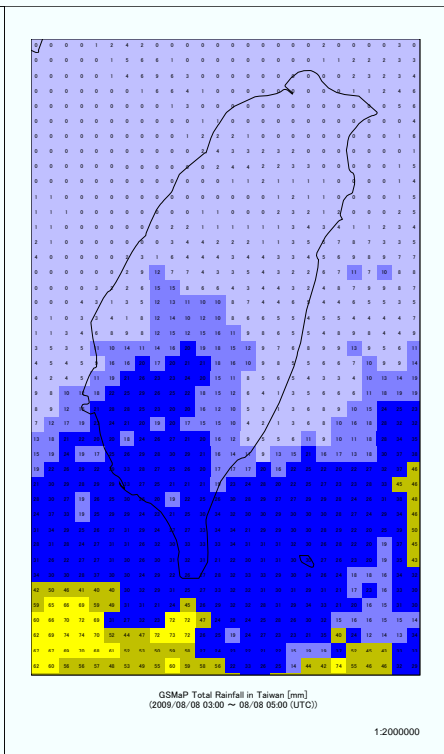
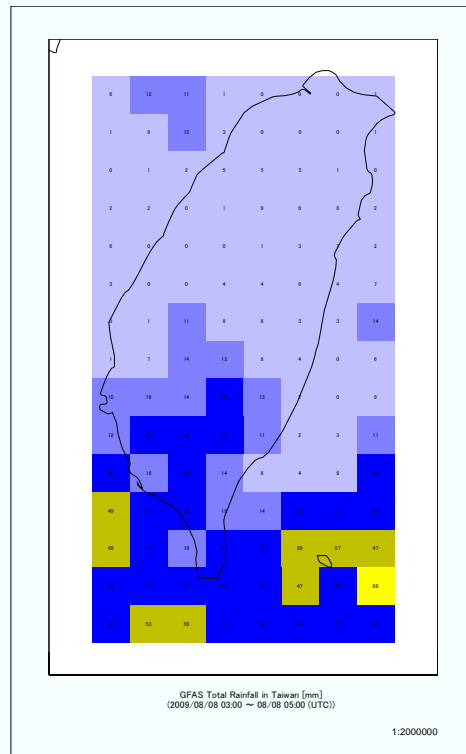
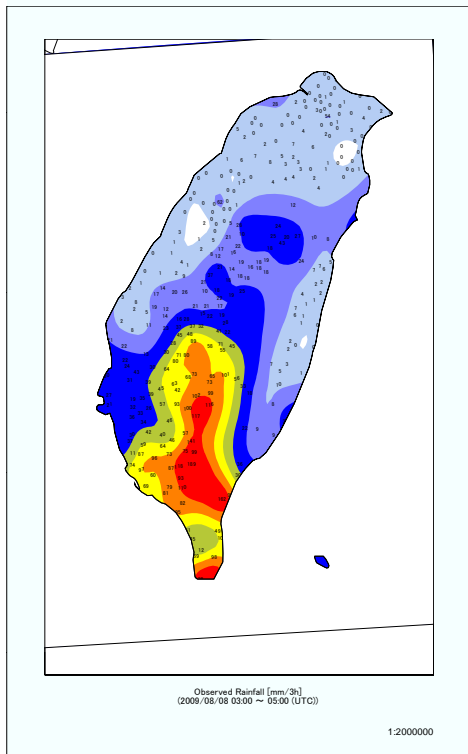
Fig.1 GSMaP animation

(2009/08/05 16:00 ~ 08/10 09:00) (UTC)

The time that rainfall area changes suddenly means the time GSMaP got the new information from satellite microwave radiometer.

Effect of self-adjustment of JAXA-GSMaP_nRT using rainfall-area movement information on IFAS

3 hour-rainfall (2009/08/08 03:00(UTC))

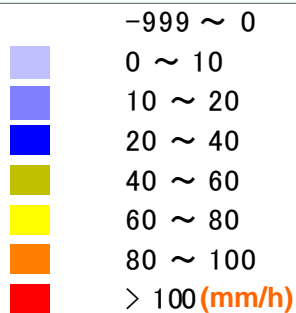


Ground rainfall

NASA-3B42RT
(GFAS)

JAXA-GSMaP
(raw data)

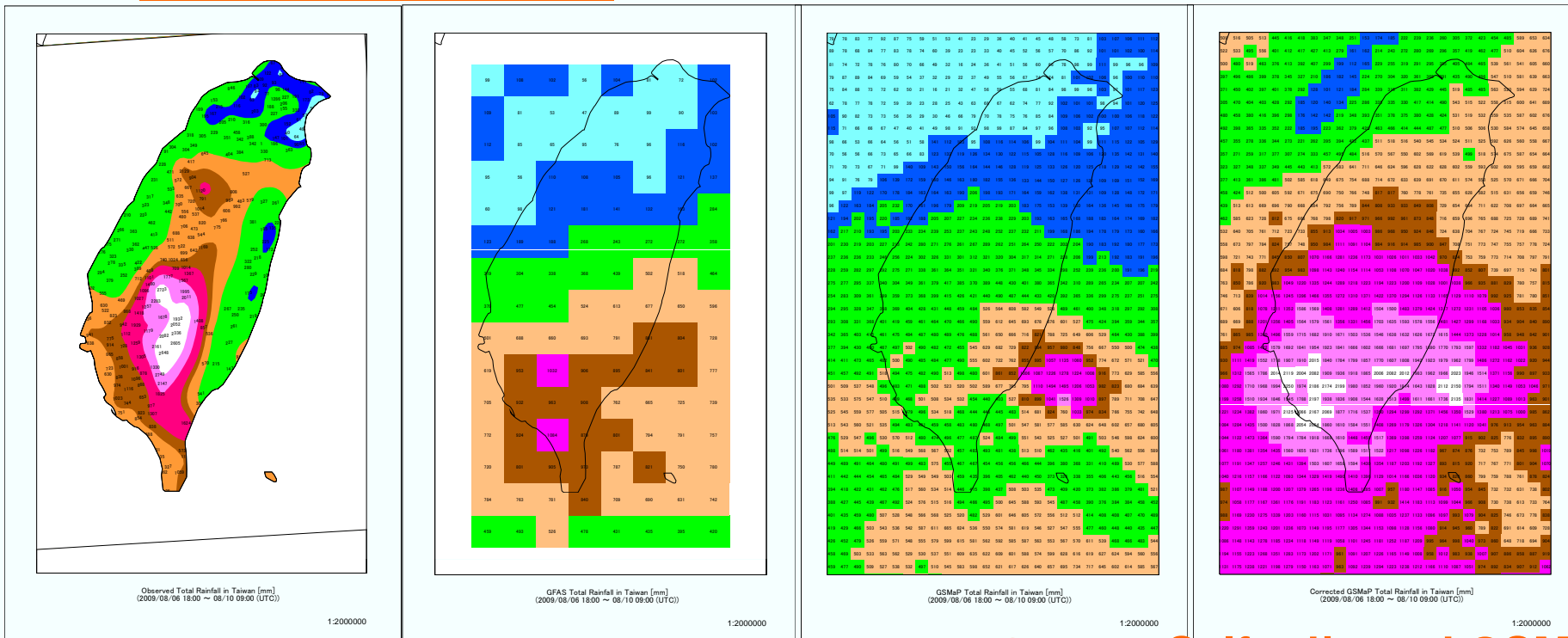
Self-adjusted GSMaP
on IFAS



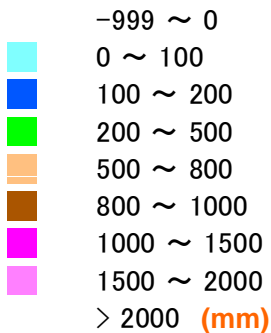
- 1) Raw GSMaP data underestimated because GSMaP didn't get microwave radiometer information during the peak period for heavy rainfall.
- 2) Self-adjusted GSMaP without using any ground-based rainfall data observed almost all the same rainfall distribution.

Effect of self-adjustment of JAXA-GSMaP_nRT using rainfall-area movement information on IFAS

Total cumulative rainfall (2009/08/06 18:00 ~ 08/10 09:00) (UTC)



Ground rainfall NASA-3B42RT (GFAS) JAXA-GSMaP (raw data) Self-adjusted GSMaP on IFAS



- 1) 3B42RT produced similar spatial distribution of rainfall, but underestimated.
- 2) The degree of matching areal cumulative rainfall distribution is worst for raw GSMaP data, but the weighted distribution in southern part of Taiwan was well produced.
- 3) Self-adjusted GSMaP on IFAS (without using any ground gauged rainfall data) produced similar spatial distribution and quantitative peak of rainfall.

全球降水観測(GPM)計画の概要

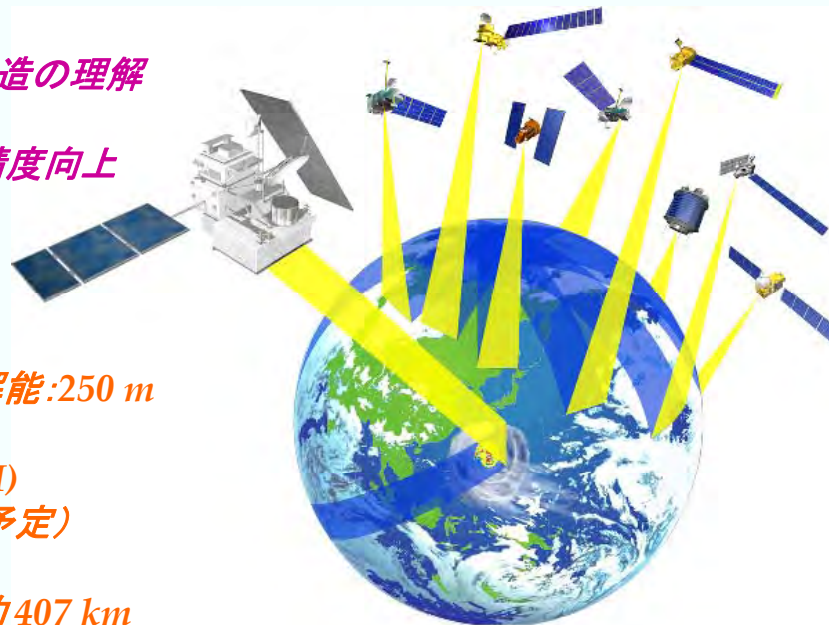
- 1機の主衛星と複数機の副衛星群による高精度・高頻度な全球降水観測
- JAXAが開発・提供する二周波降水レーダ(DPR)により、主衛星、副衛星群に搭載するマイクロ波放射計データからの降水量推定精度を高める

主衛星

目的:

- 降水システムの水平、鉛直構造の理解
- 降水粒子情報の取得
- 副衛星群による降水量推定精度向上

- 二周波降水レーダ
(DPR: 13.6GHz, 35.5GHz)
水平分解能: ~5 km, 鉛直分解能: 250 m
走査幅: ~245 km
- 多周波マイクロ波放射計(GMI)
- H-IIAによる打上げ(2013年予定)
- 太陽非同期軌道
軌道傾斜角: 約65°, 高度: 約407 km



副衛星群

目的:

- 十分な観測頻度 (降水は時間空間変動の大きな物理量)
- 科学的、社会的応用
- マイクロ波放射計搭載の衛星群
NASA, NOAA, その他機関により実現
- 3時間で全球の8割程を観測
- 主に太陽同期極軌道
- 高度: 600~800 km

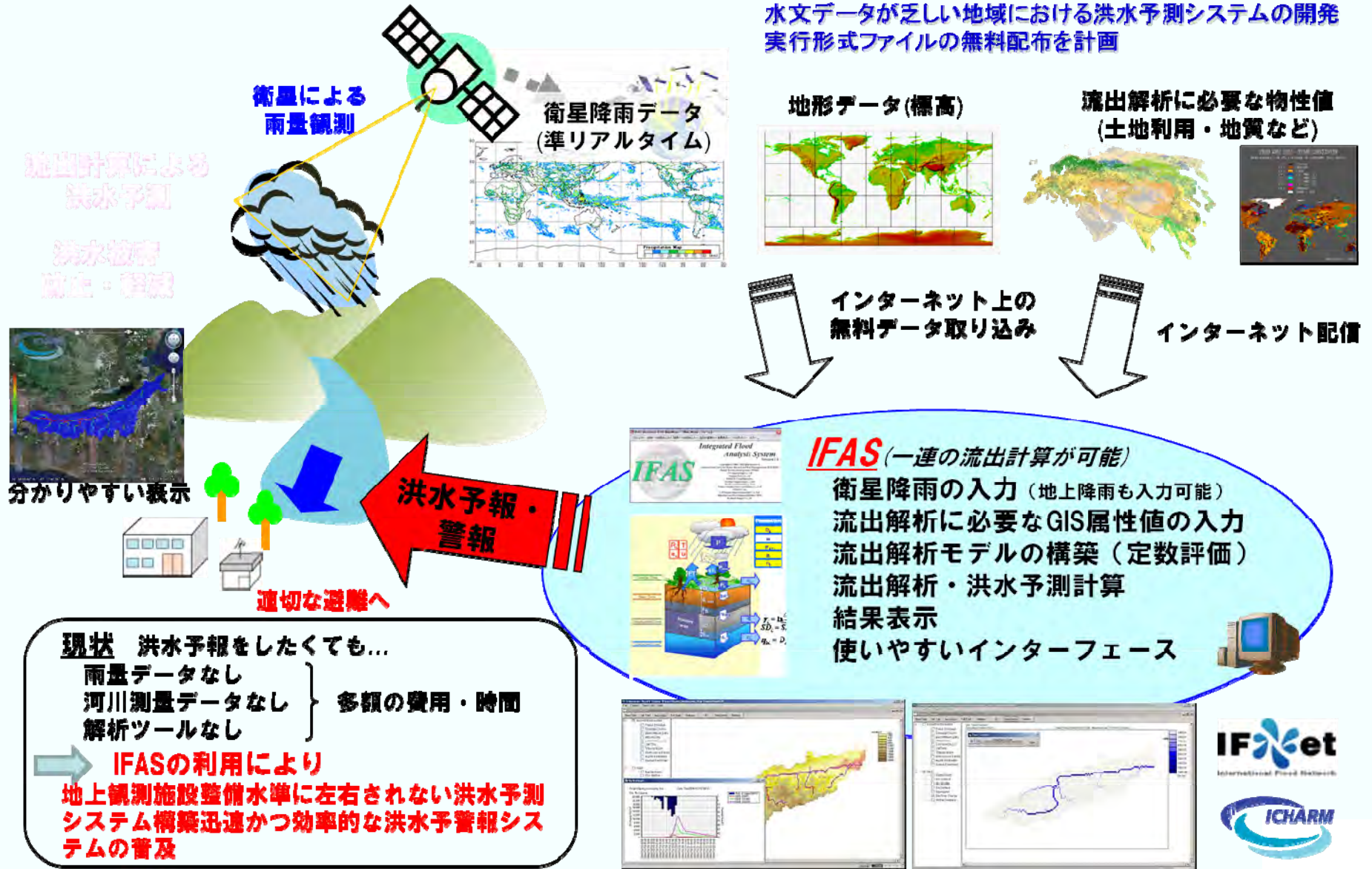
3時間毎の全球降水マップ

- GPMパートナーによって提供されるマイクロ波放射計データの処理

(JAXA資料)

衛星雨量を活用した発展途上国における洪水予警報システム整備促進のコンセプト

水文データが乏しい地域における洪水予測システムの開発
実行形式ファイルの無料配布を計画



民間との共同研究によるIFASの開発 (FY2005－2007)

- (独) 土木研究所 ICHARM
- (社) 国際建設技術協会 (IFNet事務局)
- (株) 建設技術研究所
- (株) パシフィックコンサルタンツ
- (株) 日本工営
- (株) ニュージェック
- (株) 建設技研インターナショナル
- (株) 八千代エンジニアリング
- (株) いであ
- (株) 国際航業
- (株) 東京建設コンサルタント



IFAS(総合洪水解析システム) Ver.1.2の特長

- 地上雨量だけでなく**衛星雨量を自動ダウンロード**して活用可能
- 衛星雨量を地上雨量データなしで**自己補正**するツール実装
- 全世界で入手可能なGISデータのみを用いて、流域切り出し・河道網作成・洪水流出解析モデル構築等の**GIS解析を行うツールを内部実装**
- 2種類の洪水流出解析モデルの使い分けにより、**幅広い洪水現象に対応可能** (但し、検証は不十分)
- わかりやすい**グラフィカル**なユーザーインターフェース
- **無料配布**(実行形式プログラム)、トレーニング機会の提供

IFASの基本構成

降雨データ

衛星降雨: インターネット
3B42RT(NASA) 範囲: 50N~50S
GSMaP(JAXA) 範囲: 60N~60S、補正機能有り
QMORPH,CMORPH(NOAA) 範囲: 60N~60S
地上降雨: csv形式等の読み込み
GPV(気象庁) 範囲: 全球

モデル作成

河道網作成: 標高データ (shapeファイル読み込みも可能)
GTOPO30(USGS) 空間解像度: 1km
Hydro1k(USGS) 空間解像度: 1km
GlobalMap(ISCGM) 空間解像度: 1km
その他: csv形式等のデータ
パラメータ設定
外部データから目安となるパラメータの自動区分・設定
土地利用(植生): GLCC(USGS)、空間解像度: 1km、24区分
土地利用、土地被覆: Global Map(ISCGM)
土壌: 土性分類(USEP)、土壌厚(NASA)、土壌水分保持率(USEP)
地質: CGWM
流域別でも設定可能

流出解析

- 1) 土研分布型モデル Ver2.0
- 2) BTOPモデル

結果表示

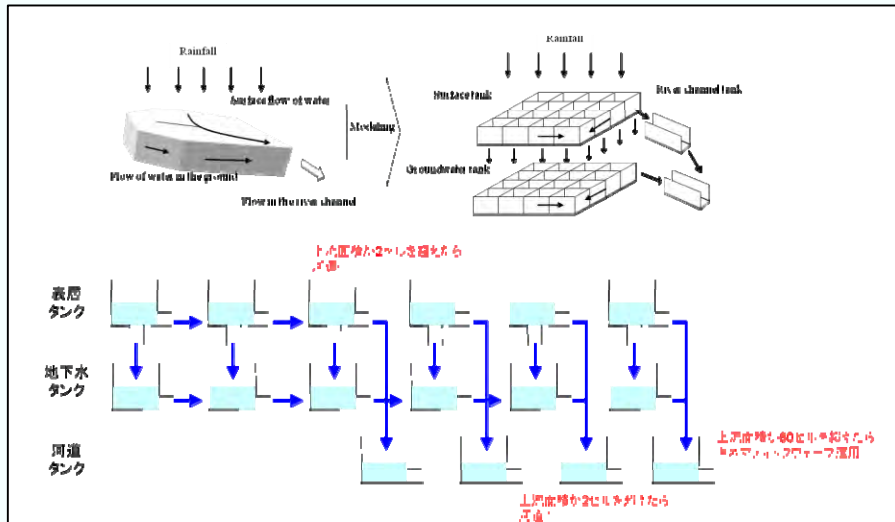
グラフ表示: 時系列、平面表示、タンク概要図、一覧表表示
汎用地理情報(google earth)への出力表示

流出解析モデル

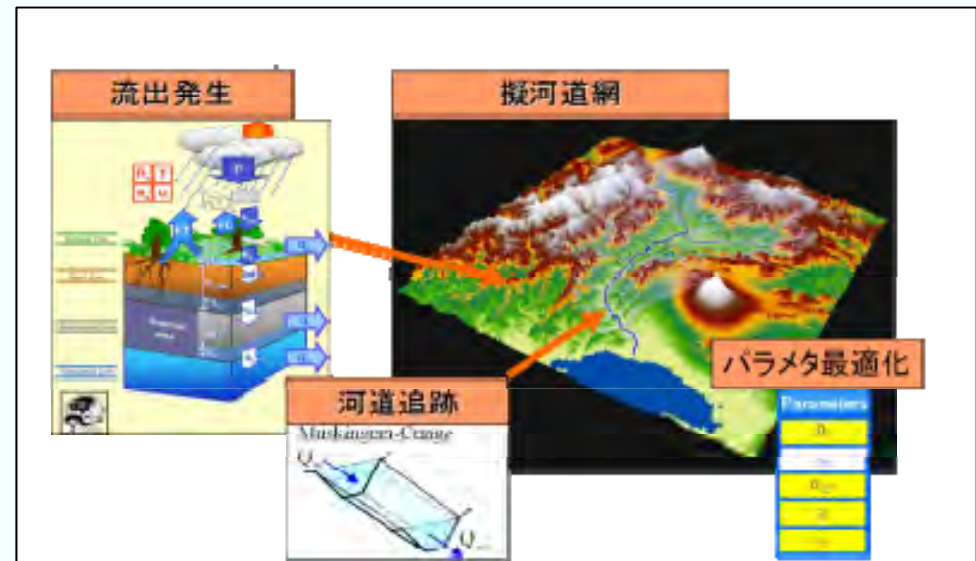
土研分布モデル Ver.2

鈴木ら(1996)

YHyM/BTOP モデル (Ver.1.4) Ao et. al, 1998
(Coming very soon as IFAS Ver.1.2)



- 浸透・流出プロセスを2層のGreen-Ampt式およびDarcy式モデルで表現するとともに、河道流をKinematic - Wave法により計算
- モデル構造が簡便で、パラメータ同定が容易
- 日本の多くの河川に適用・検証
- 流域面積1万Km²程度以下の河川におけるFlash Floodに適する。



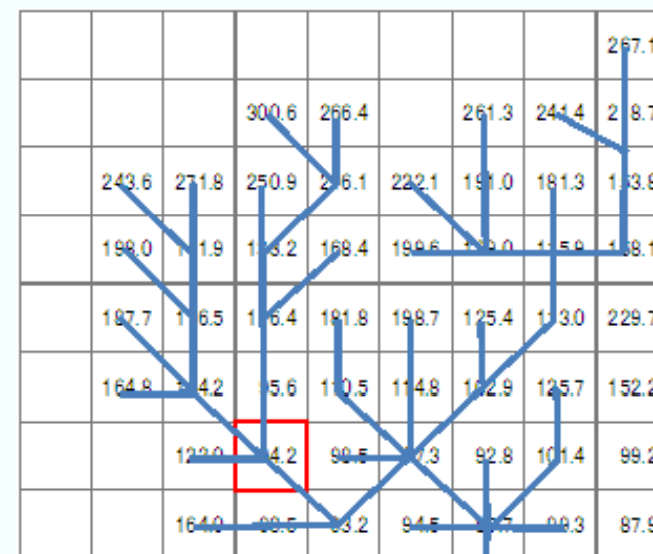
- TOPMODEL5概念を大流域に拡張
- 温暖湿潤域から積雪・半乾燥域まで幅広い気象・水文条件下の世界の多くの河川流域に適用・検証
- 世界的にも知名度が高い
- 大陸大河川における季節的洪水も含めて幅広い洪水事象に適する。

グローバルGISデータによる流出解析モデル作成

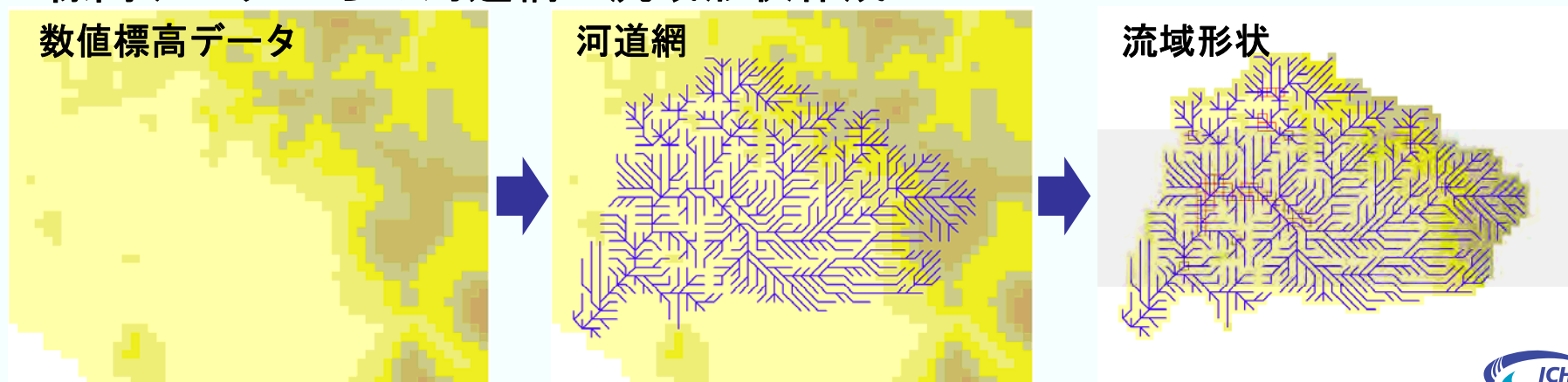
IFASで読み込み可能なデータ

データ種別	名称	提供元
標高	Global Map(Elevation data)	ISCGM
	GTOPO30	USGS
	Hydro1k	USGS
土地利用	GLCC	USGS
	Global Map(Land cover)	ISCGM
	Global Map(Land use)	ISCGM
地質	Geology	CGWM
土質	Soil Texture	UNEP
	Soil Water Holding Capacity	UNEP
	Soil Depth	GES

セルの標高データと河道網の一例



標高データからの河道網・流域形状作成



GISデータによる表層・地下水モデルパラメータ設定

1. GISデータ取込

2. GISデータからパラメータ分類を設定

3. 各タンクの定数決定

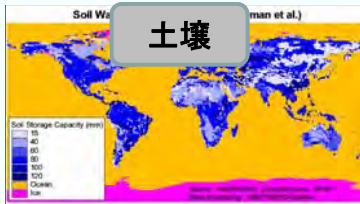
4. パラメータ値を各メッシュに割当

GISデータ

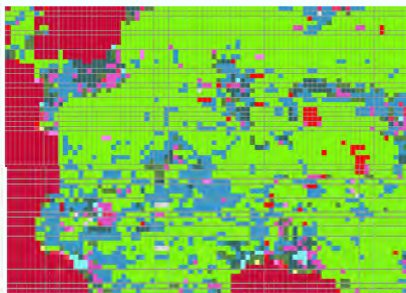
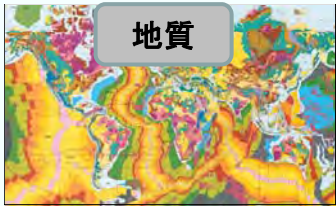
土地利用・土地被覆



土壤



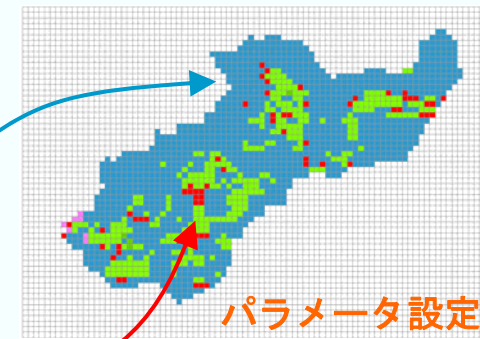
地質



読み込んだGISデータ

土地被覆区分 (GlobalMapの事例)	表層 パラメータ
常緑広葉樹林	1
落葉広葉樹林	
常緑針葉樹林	
落葉針葉樹林	
混合樹林	
疎林	2
灌木	
草地	
まばらな木・草地	
まばらな植生	
裸地 (れき・岩)	3
裸地 (砂)	
畑	
水田	
農地と田の植生の混合	
マングローブ	4
湿地	
市街地	5
雪氷	
水部	

浸透能	地表粗度	〇〇
0.0005	0.7	...
0.00002	2	...
0.00001	2	...
0.000001	0.1	...
0.00001	2	...

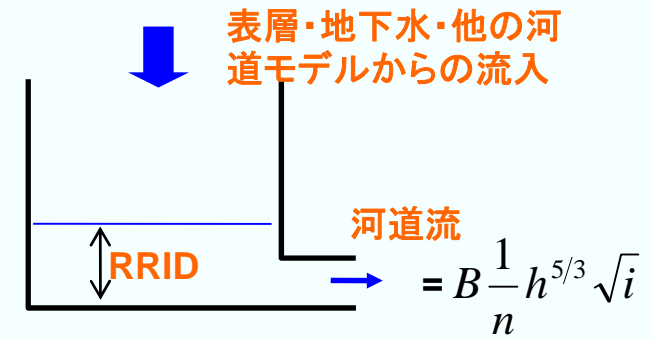
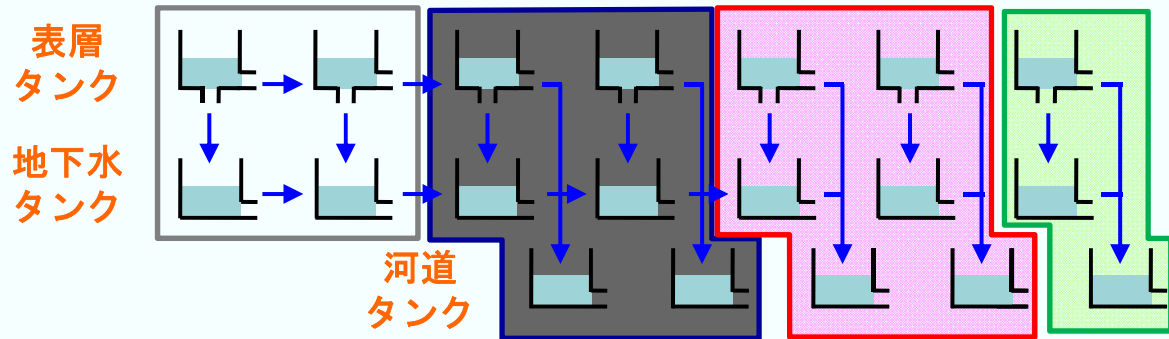


パラメータ設定後

◆表層タンクの場合、土地利用や土壤区分で分類化し、モデルの定数を設定する。

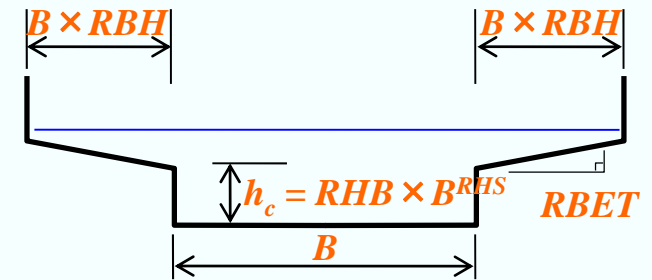
◆あらかじめ水文データの入手できる流域で各パラメータ区分のパラメータ初期値を設定済

Cell type分類による河道モデルパラメータの設定

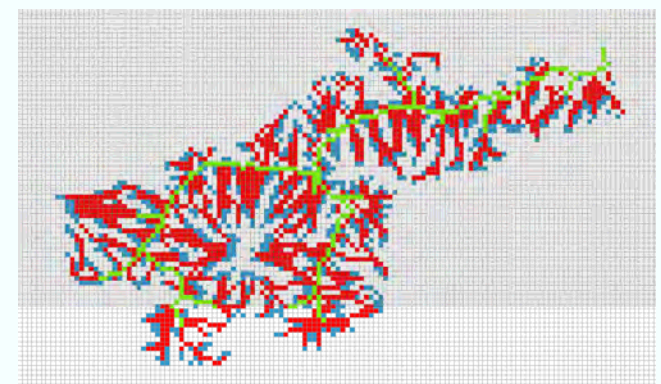


上流部 → 下流部

	Cell type 0	Cell type 1	Cell type 2	Cell type 3
上流セル数 (初期設定)	1~2	3~4	5~64	65~
レジューム則の定数	-	6	7	8
マンニングの粗度係数	-	0.07	0.05	0.035
...	-



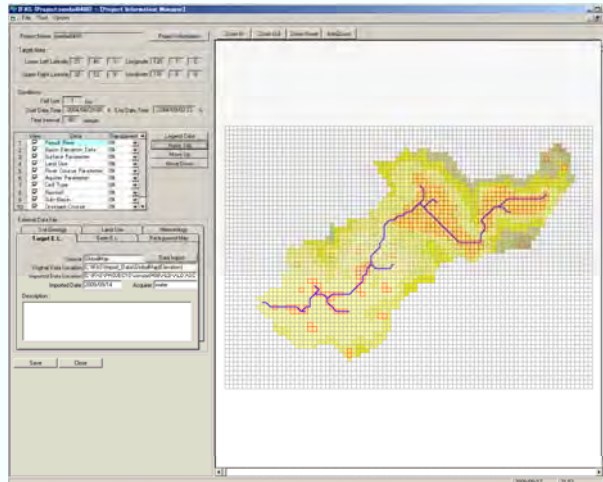
Cell type3はキネマティックウェーブ法による河道追跡を行う。IFAS上では疑似河道として表示



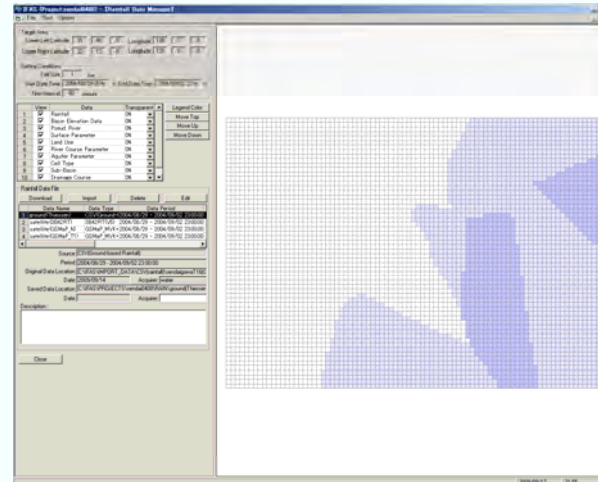
入出インターフェース



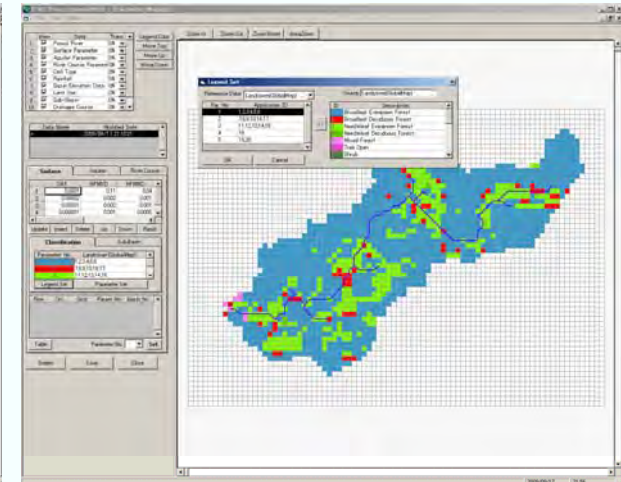
メイン画面



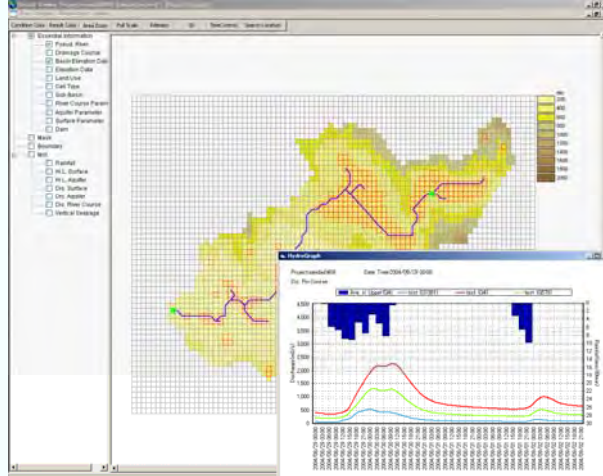
降雨データ入力編集画面



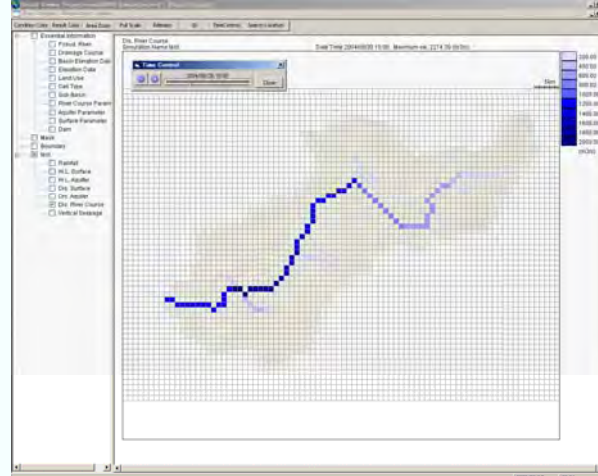
パラメータ設定画面



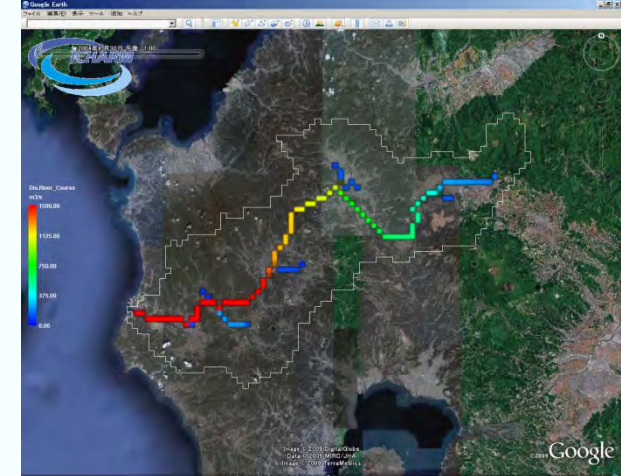
計算結果表示(ハイドロ)



計算結果表示(河道流量平面図)



グーグル上での河道流量表示



普及活動

■ トレーニングワークショップの開催



国際洪水ネットワーク (IF-Net) と世界気象機関 (WMO) と共同

①2008/10/3~8

参加者: **7カ国7名**

(エチオピア、ザンビア、キューバ、アルゼンチン、バングラデシュ、グアテマラ、ネパール)

②2009/8/3~7

参加者: **6カ国6名**

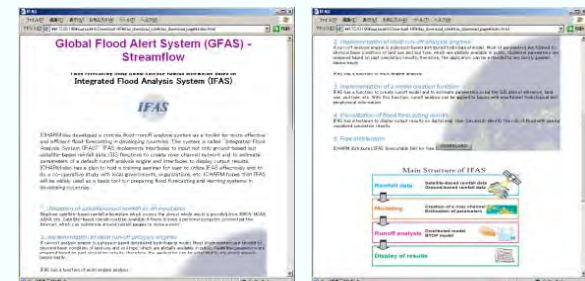
(インド、インドネシア、ベトナム、バングラデシュ、ラオス、ネパール)



■ 研修・ワークショップなどでの利用

- ・ ハザードマップ研修 (ICHARM) : 2007年31人
- ・ 河川ダム研修 (土研) : 2008年10人
- ・ JAXAからの研修生 : 2008年2人
- ・ インドネシア (GEOSS/AWCI) : 2008年70人
- ・ ネパール (ICHARM) : 2009年8人
- ・ ヨルダン (JICA研修) : 2009年6人

■ HPからのダウンロード



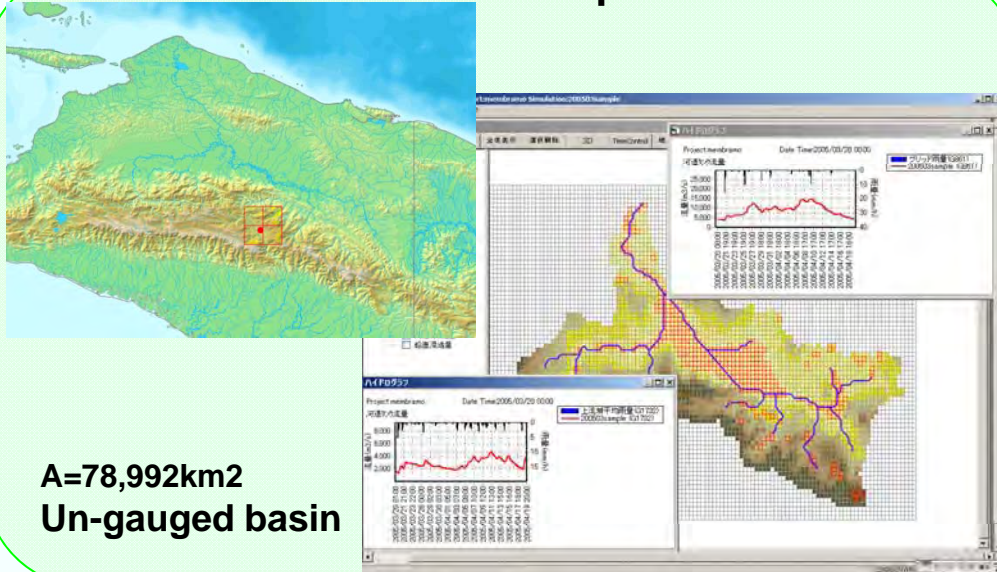
■ 学会・国際会議・国際シンポジウム等での発表



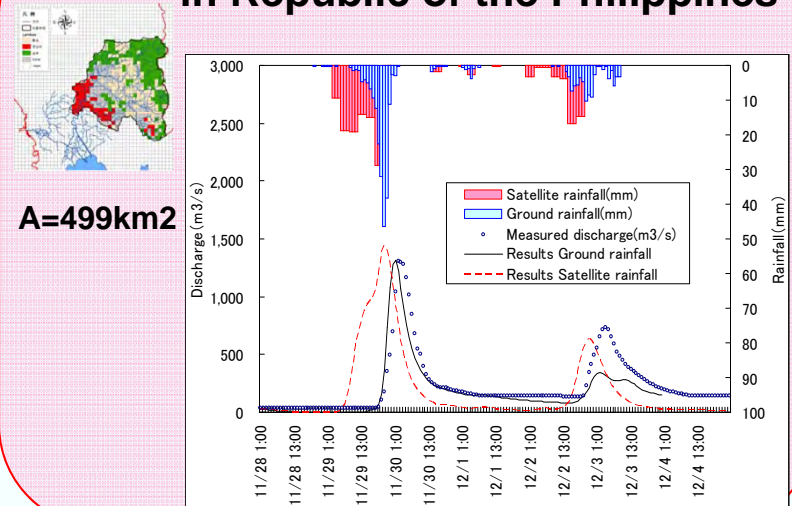
海外河川流域への適用検証



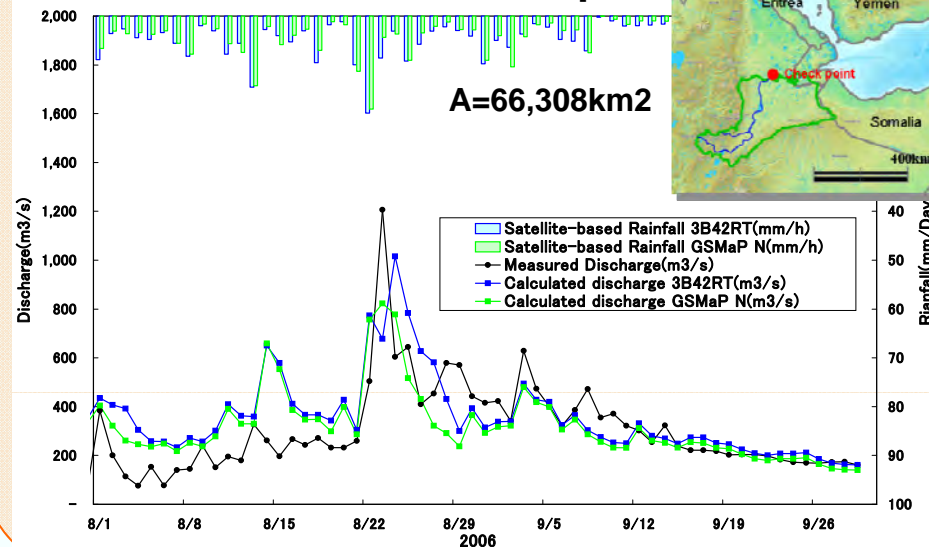
Membramo River Basin in Republic of Indonesia



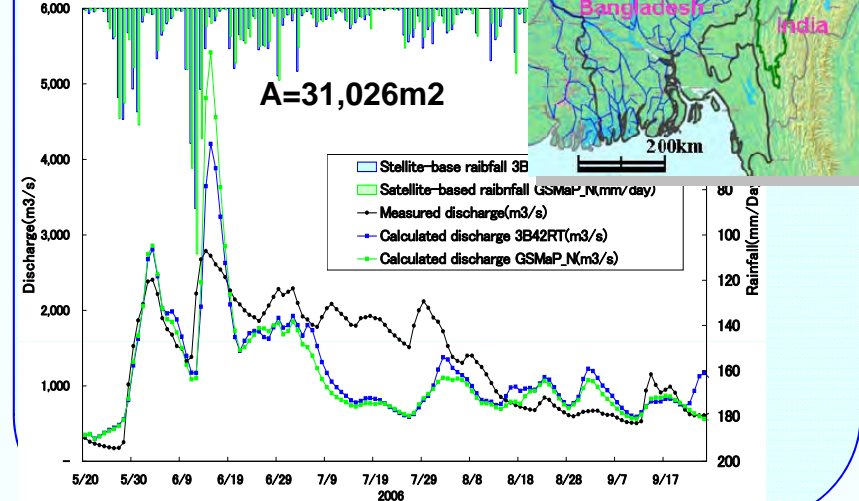
Pasig River Basin in Republic of the Philippines



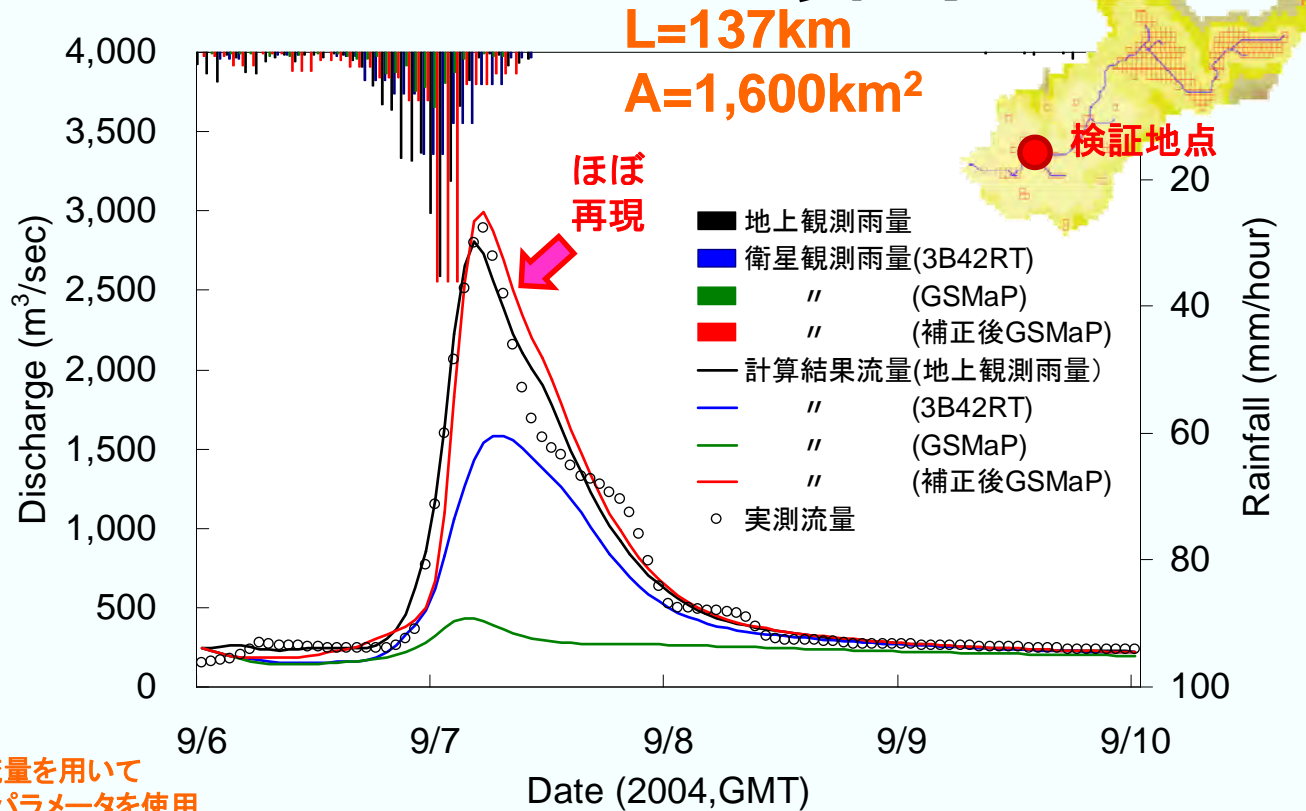
Awash River Basin in Ethiopia



Barak River Basin in Bangladesh



川内川での計算事例



地上観測雨量と実測流量を用いて
キャリブレーションしたパラメータを使用

雨量観測プロダクト	波形誤差 E_W	ボリューム誤差 E_V	ピーク誤差 E_P
地上観測雨量	0.030	-0.021	0.030
衛星(3B42RT)	0.052	0.232	0.452
衛星(GSMaP)	0.186	0.582	0.851
衛星(補正後GSMaP)	0.029	-0.026	-0.035



ミャンマー・Chindwin川での計算事例

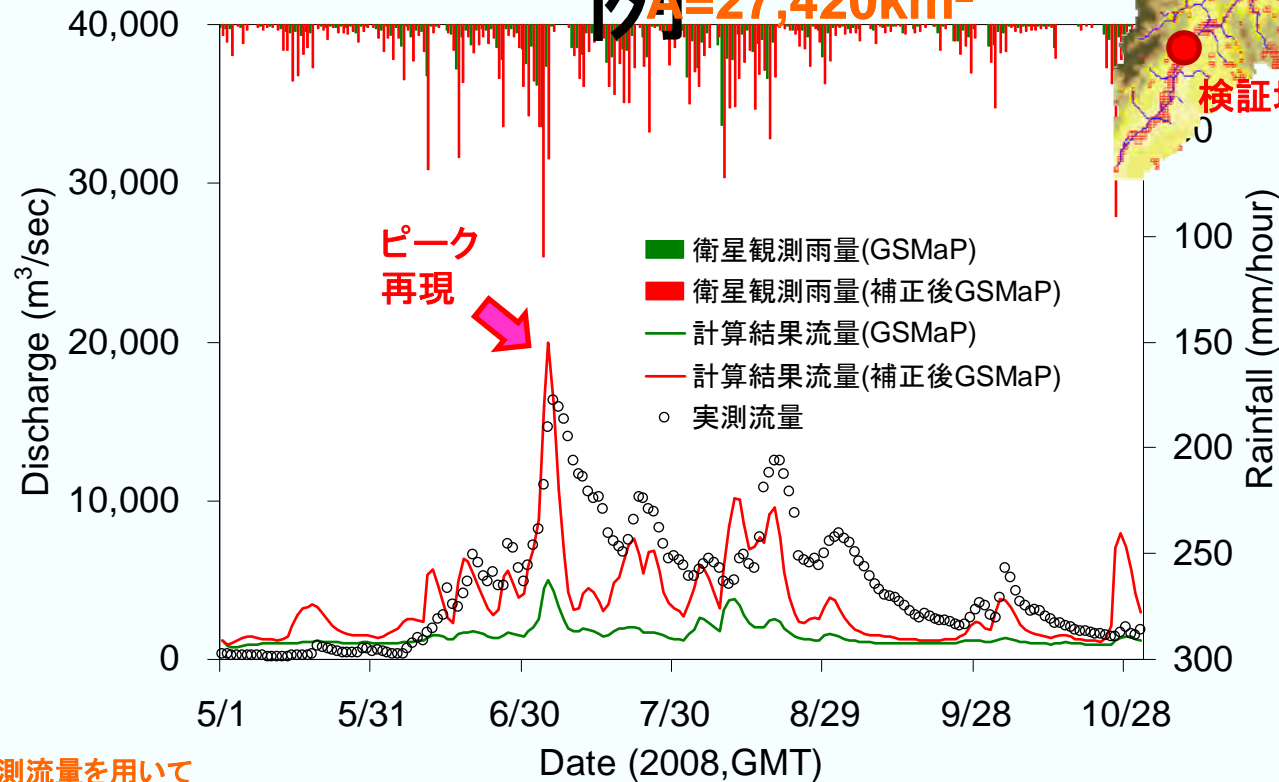
例

$A=27,420\text{km}^2$



イラワジ川
支川

検証地点

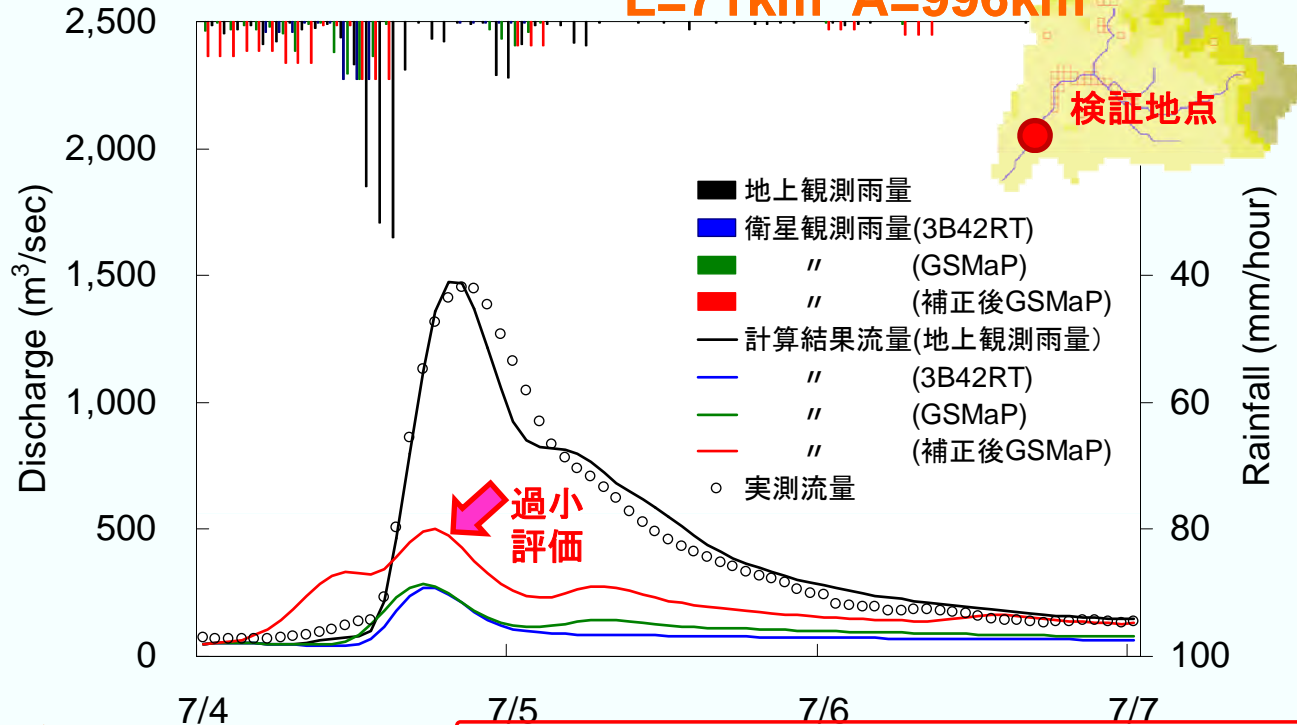


補正後衛星雨量と実測流量を用いて
キャリブレーションしたパラメータを使用

- 川内川の事例では補正後の衛星雨量を用いて実績流量をほぼ再現
 - この精度であれば水文情報の乏しい地域にも適用可能
- ミャンマーの事例でも洪水ピークをとらえている

菊池川での計算事例

L=71km A=996km²



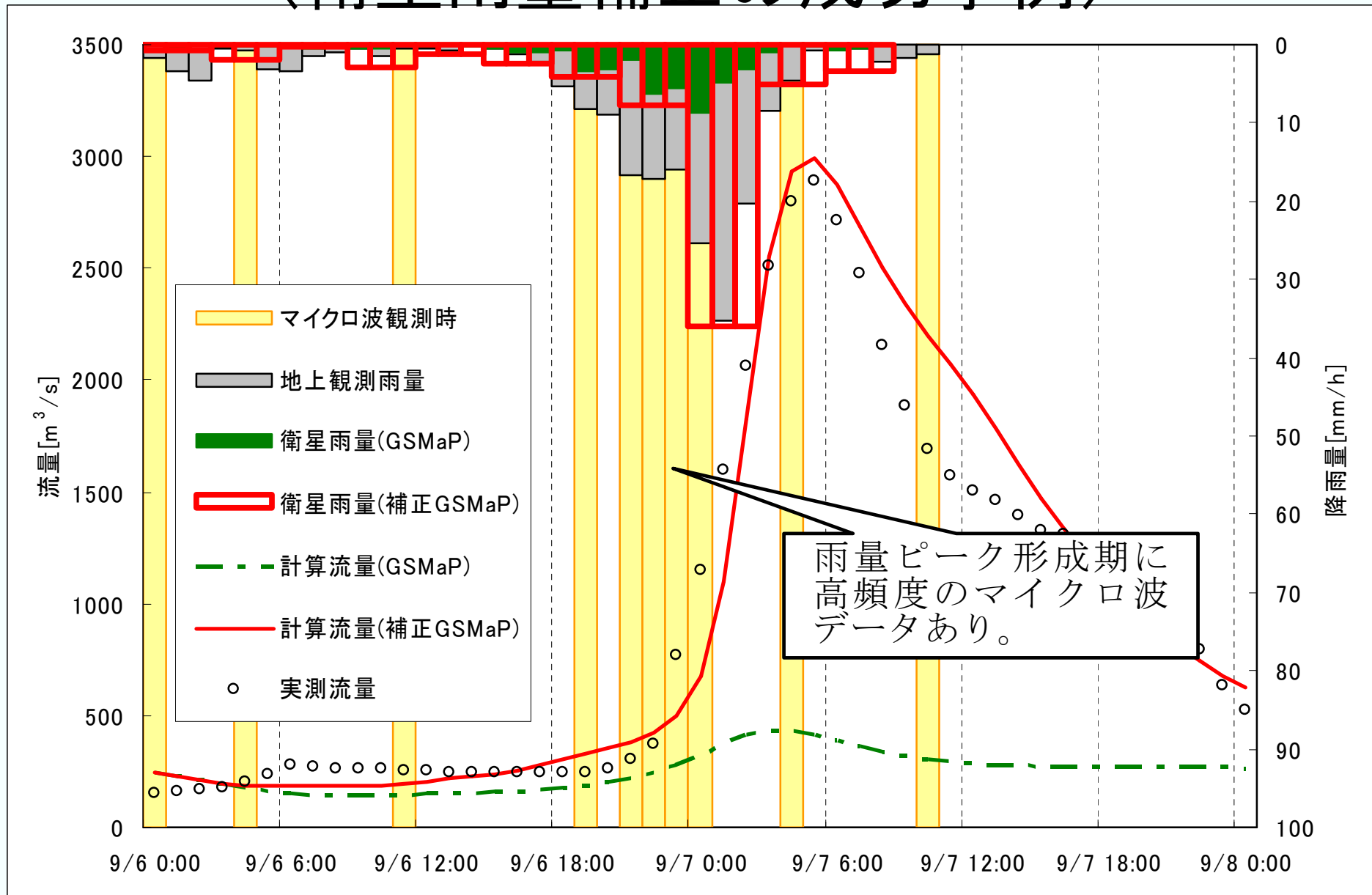
地上観測雨量と実測流量を用いて
キャリブレーションしたパラメータを使用

衛星雨量補正の成否の理由は??

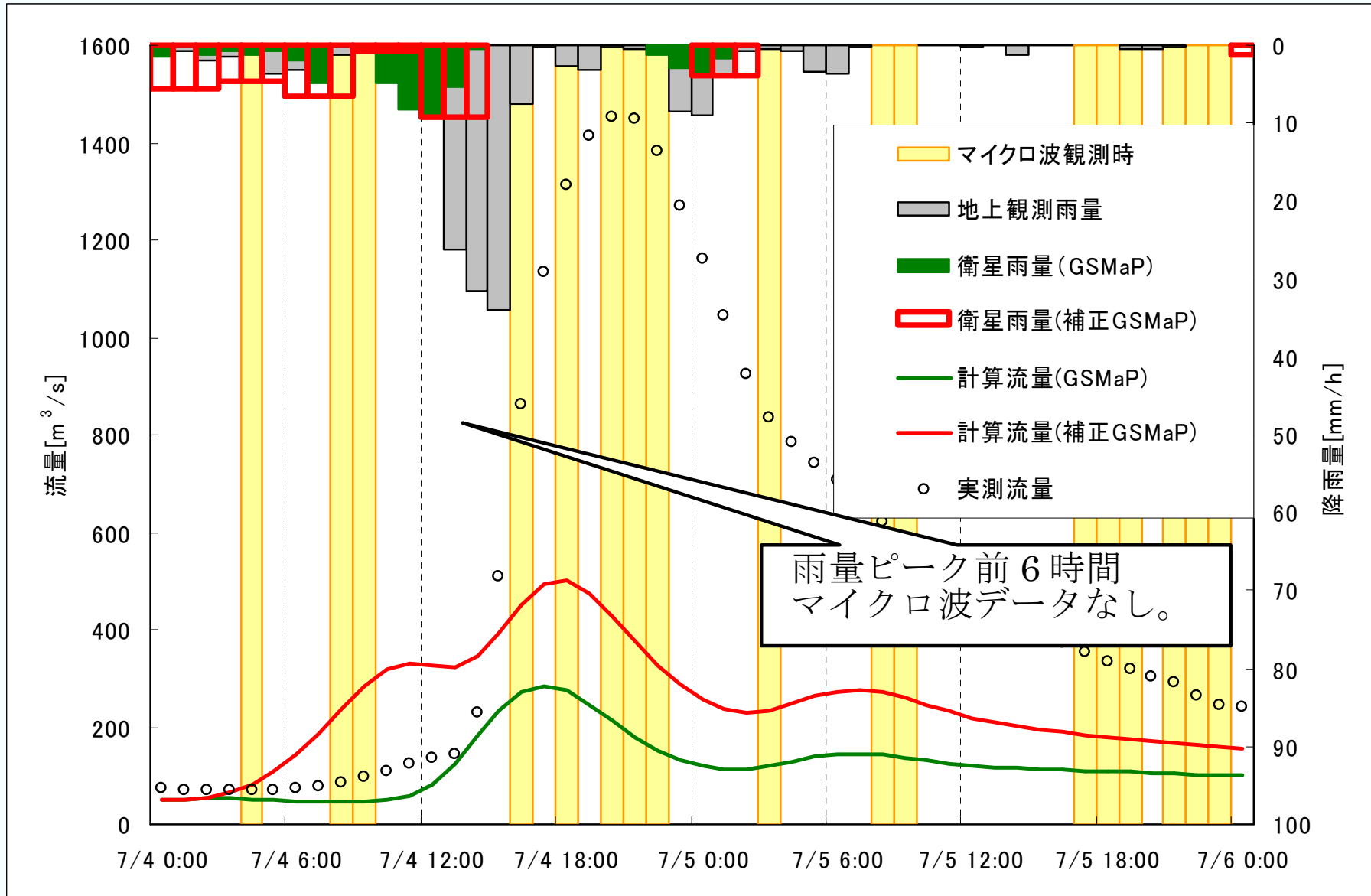
雨量観測プロダクト	波形誤差 E_W	ボリューム誤差 E_V	ピーク誤差 E_P
地上観測雨量	0.037	-0.027	0.015
衛星(3B42RT)	0.390	0.754	0.815
衛星(GSMaP)	0.303	0.696	0.804
衛星(補正後GSMaP)	0.342	0.425	0.656



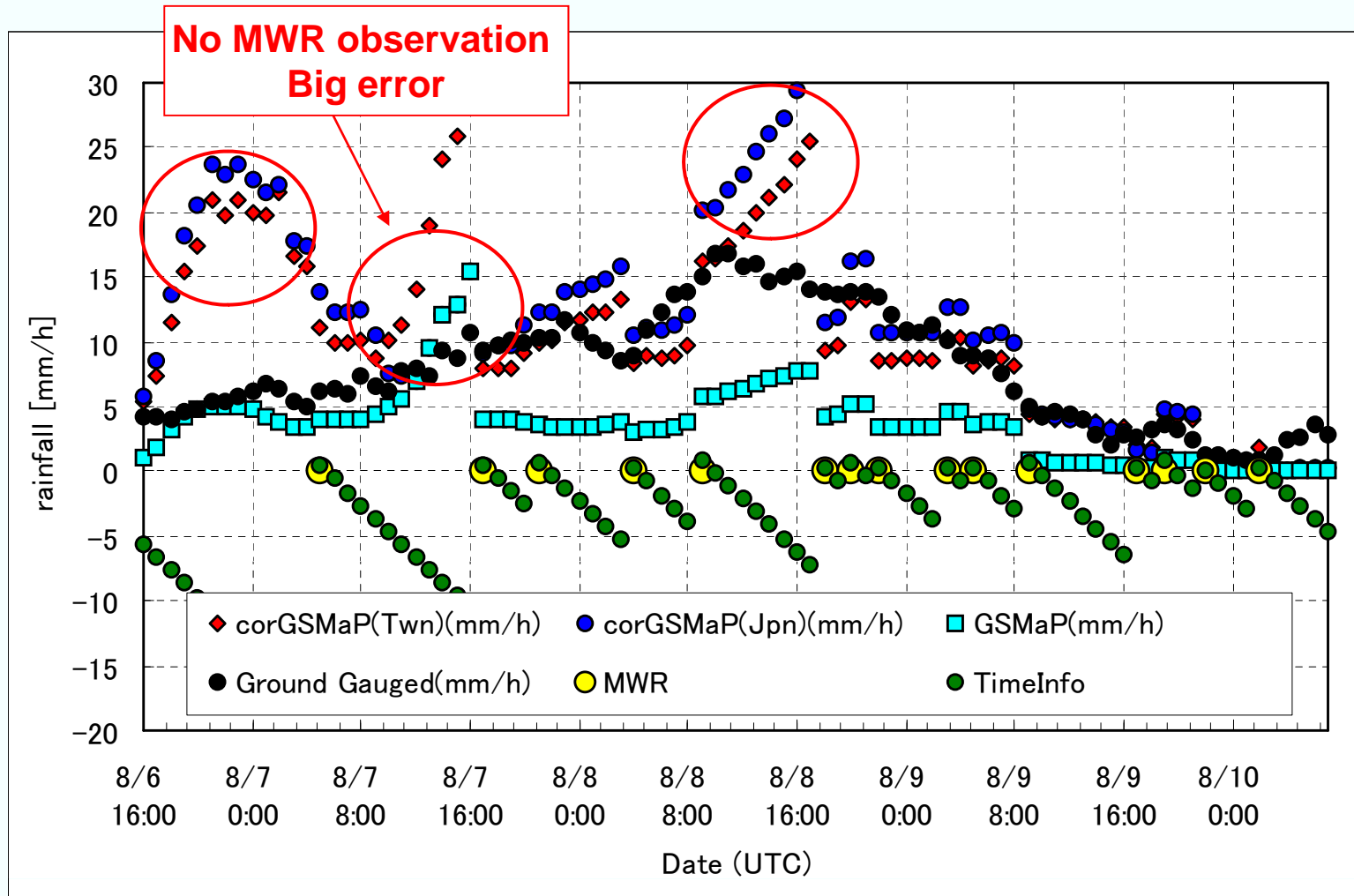
川内川における流出解析結果 (衛星雨量補正の成功事例)



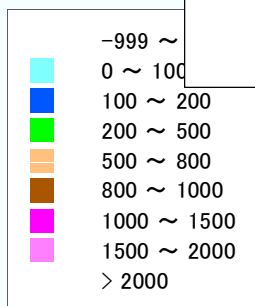
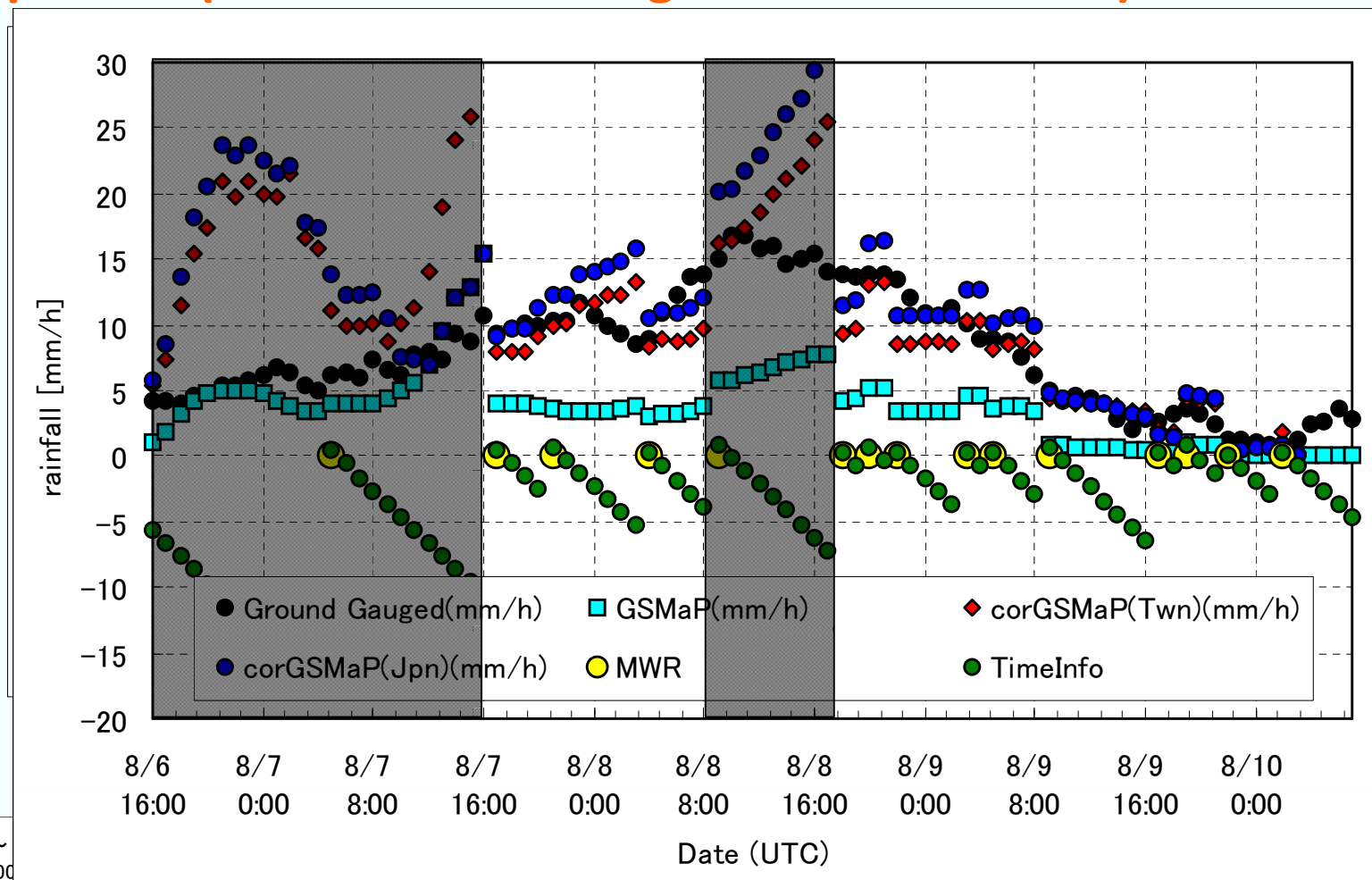
菊池川における流出解析結果 (衛星雨量の補正の失敗事例)



2009年8月台風Morakotにおける衛星雨量観測誤差と マイクロ波放射計観測頻度(間隔)との関係

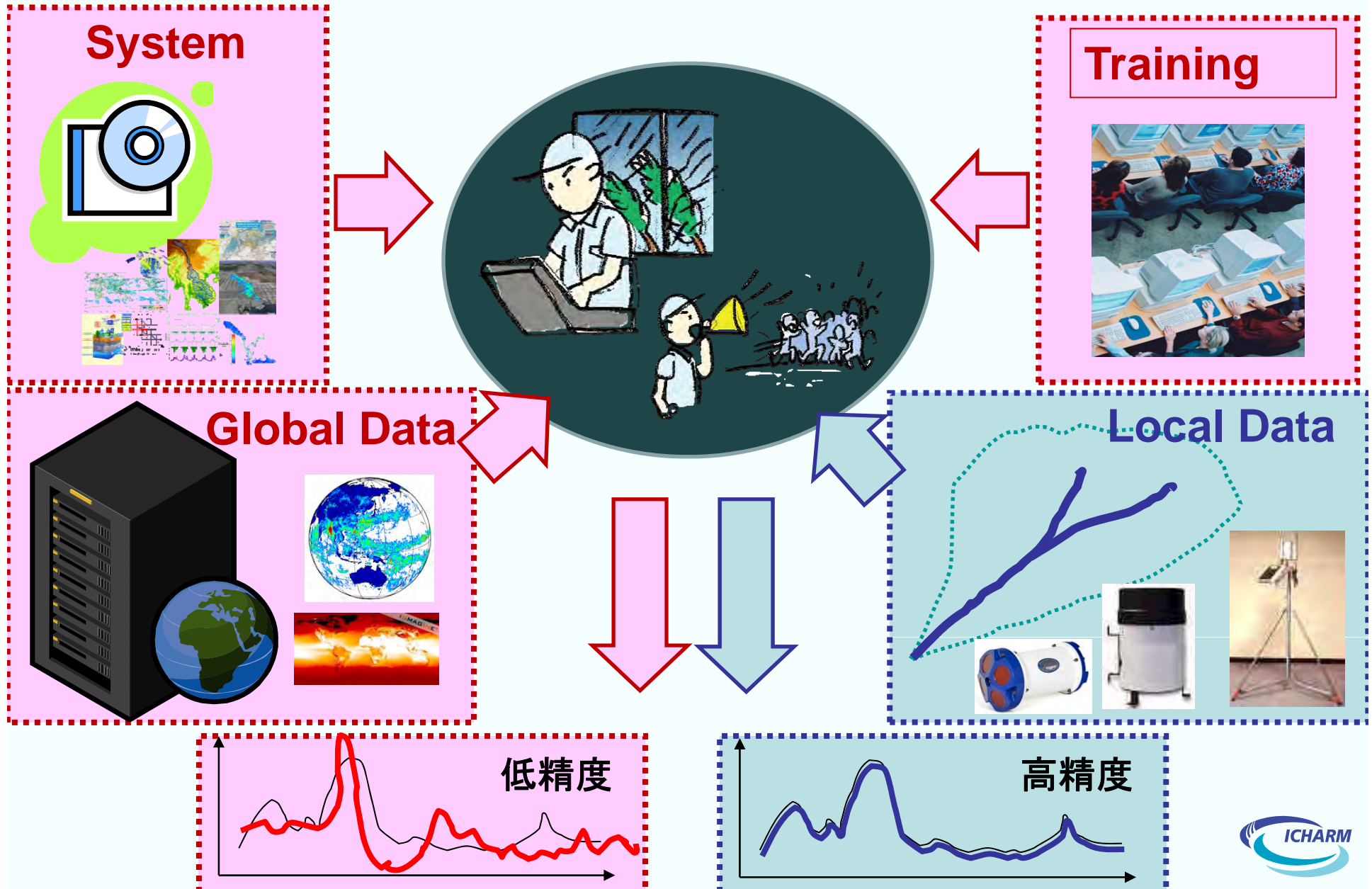


Comparison (Total rainfall during MWR observation)



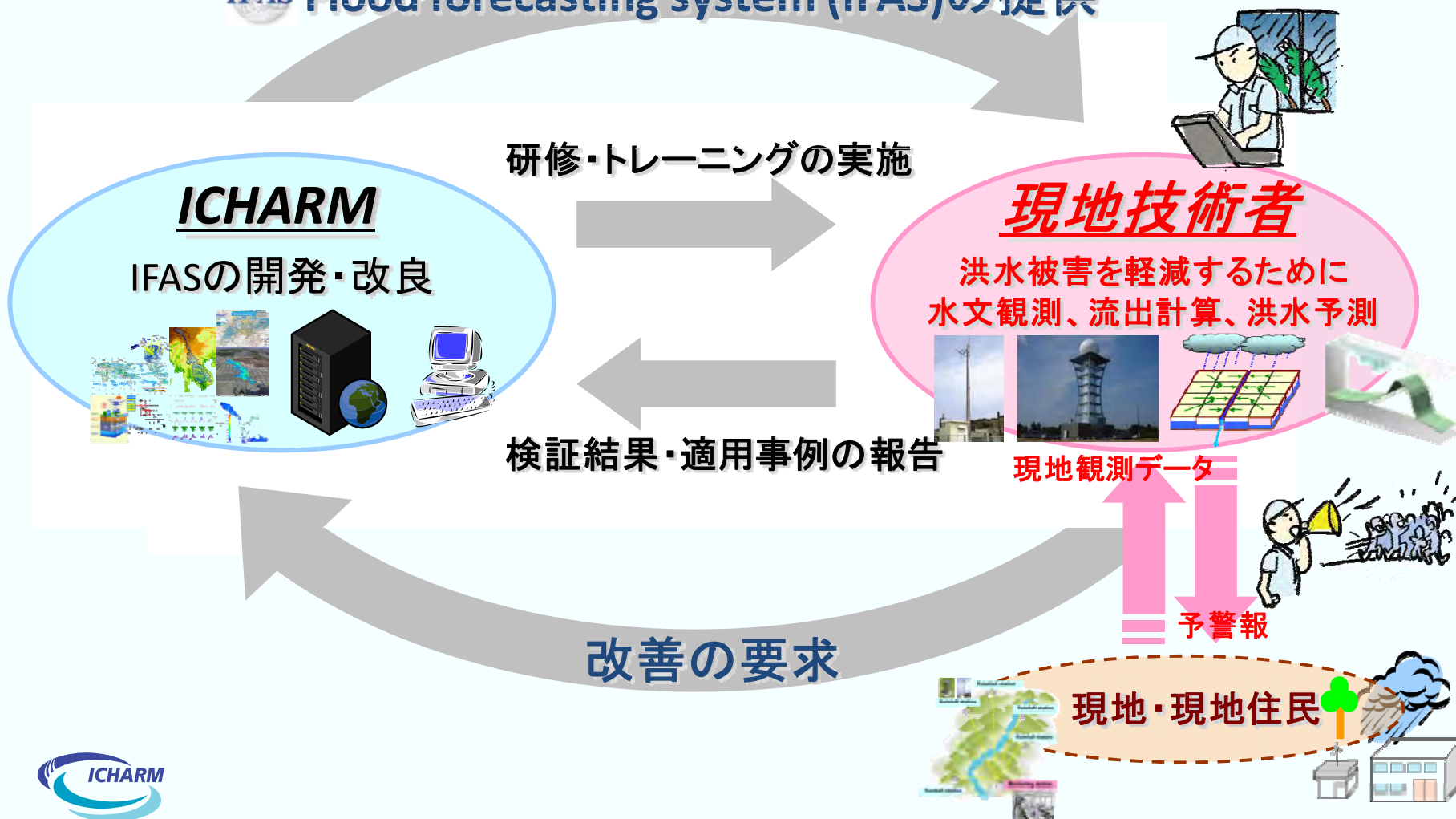
- ① Corrected GSMaP is accurate in rainfall amount and distribution.
- ② This correction method is developed based on basin average (i.e., the entire Taiwan). Hence, it can't correct GSMaP in detail.

現地の実務技術者との協働 ローカルデータ取得への意識向上

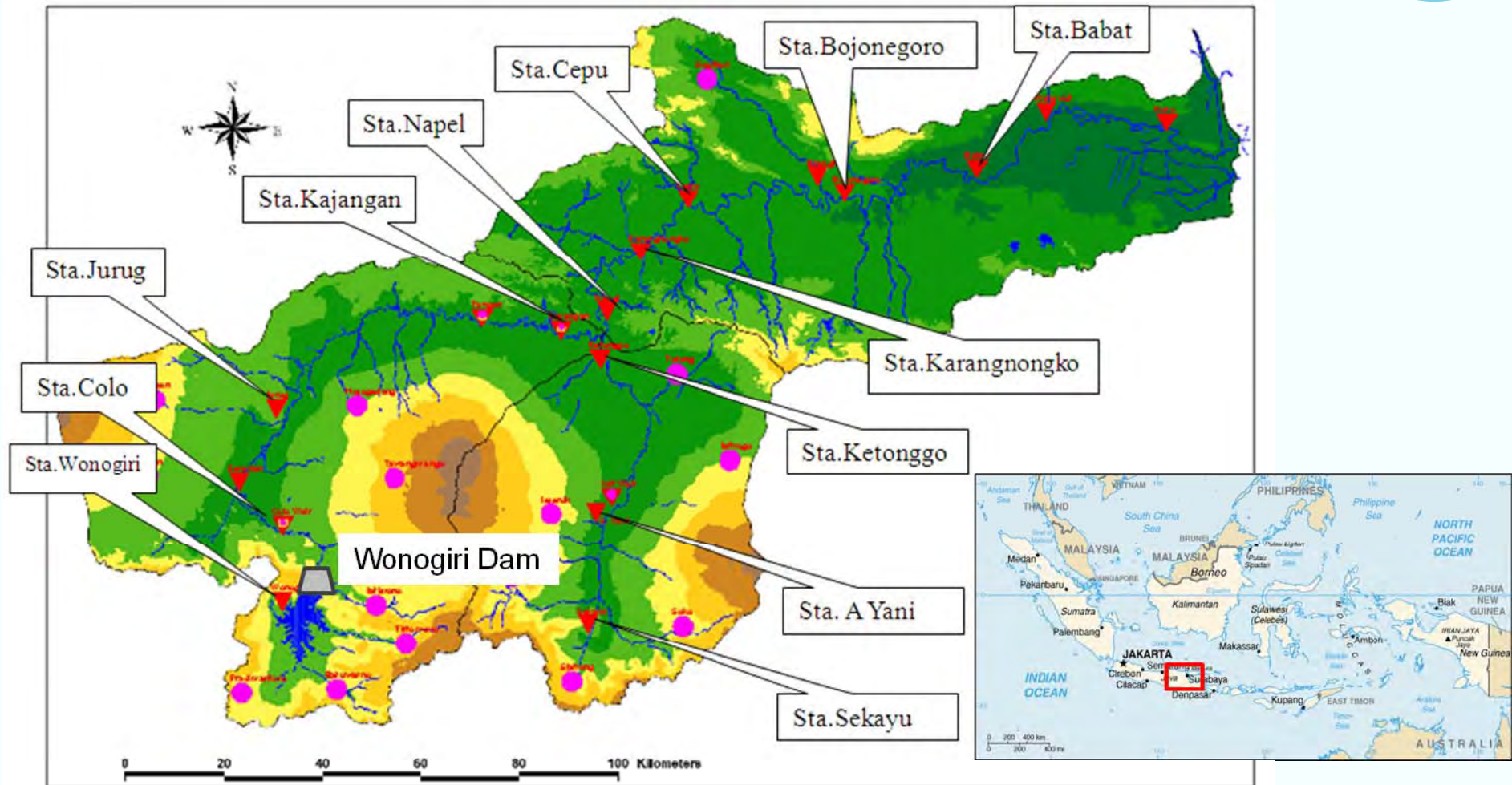


ローカルオーナーシップの醸成を通じた 能力開発・システム整備

IFAS Flood forecasting system (IFAS)の提供



ADB地域技術協力プログラムによるIFAS基盤 の洪水予測システム実用化 (FY2009-2010)



まとめ

- 衛星観測雨量は、地上観測体制が不十分な河川・国際河川における(準)リアルタイムでの豪雨の検知や、雨量分布のモニタリング、洪水予警報にとって貴重な情報源となり得る。
- 但し、現状では生値では過小評価傾向があるため、洪水予警報目的の場合、雨域移動情報を活用して補正する必要がある。(ICHARM-IFASには補正機能を実装)
- 衛星雨量の精度改善には、マイクロ波放射計観測頻度の増大が必要 → GPMプロジェクトの実現、小型衛星？
- IFASは、グローバルに入手可能なデータのみでモデル構築・計算が可能であり、特に発展途上国において、洪水解析モデルの普及の促進に寄与することが期待される。
- IFAS自体は、衛星雨量だけでなく地上雨量も入力可能であり、土研分布モデルとBTOPモデルを適切に使い分けることで、幅広い条件の河川に対して、応用可能。
- 今後の課題: 地形性降雨の補正手法、降雨予測データの導入、流出解析モデルパラメータ設定の精密化、機能追加