

アジアの水災害リスクの評価

独立行政法人土木研究所
水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM)

水災害研究グループ 上席研究員

徳永 良雄



2014年11月18日
第12回環境研究シンポジウム

ICHARM(アイチャーム)とは

- 世界中で増え続け深刻化する水関連災害に対応するため、ユネスコ(国際連合及び国連教育科学文化機関)の後援組織として2006年3月、独)土木研究所内に設立
- 使命は「世界的な拠点」としての役割。つまり、i) 革新的な研究、ii) 効果的な能力育成、iii) 効率的な情報ネットワークによって、世界をリードする人材育成や、技術提案を行う場となることを期待されている。
- 2014年10月時点で世界各国から13名の修士、7名の博士課程の学生そして52名からなる職員が勤務。



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



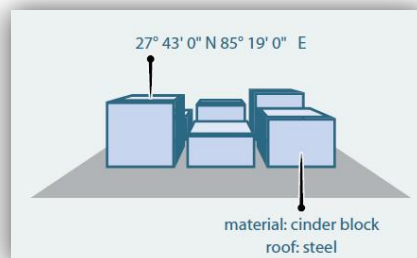
災害リスクの評価要素

※ 図はWWW.GFDRR.ORGから引用

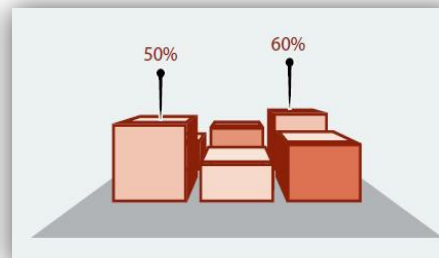
ハザード



エクスポージャー
(リスクにさらされている度合い)



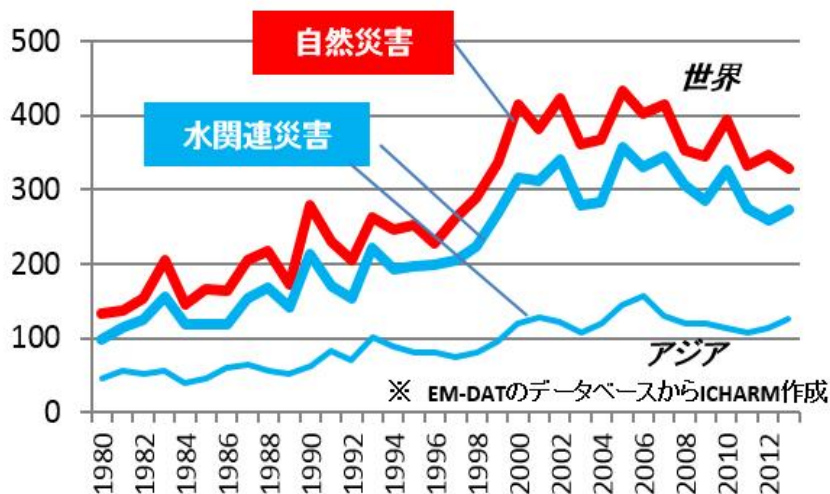
バルネラビリティー
(脆弱性)



リスク



最近のアジアの水関連災害



※ 本グラフでは、次のひとつを満たしたものを災害としている

- 10名以上の死者数が報告された
- 100名以上の影響数が報告された
- 国家による緊急事態宣言が出された
- 国際支援が要請された

データベース: EM-DAT (The OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain, Belgium)
データ加工: ICARM, 2014

台湾地すべり災害
(2009年) 死者約500名



広島豪雨土砂災害
(2014年)



フィリピン台風
「ハイラン」(2013年)
高波・高潮災害により死者行方不明約8,000人
住宅被害約114万戸。避難住民410万人。



ジャカルタ洪水
(2012年、2013年)



インド・ネパール モンスーン
(2013年)
死者6,320人。豪雨により洪水・土砂災害が発生



ミャンマー サイクロン
「ナルギス」(2008年)
死者行方不明者約14万人、被害総額約40億ドル



タイ大洪水(2011年)
死者約800人、洪水被害額8兆円。本邦進出企業の操業停止により国際的なサプライチェーンが寸断

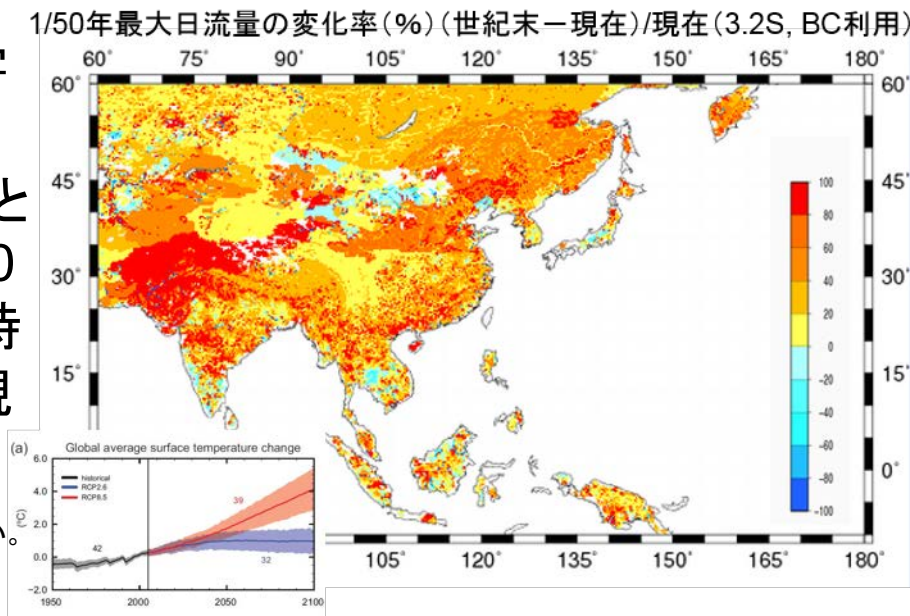


将来の水関連災害リスク

■ 気候変動の影響により水関連災害の将来のハザードは拡大傾向

- 右図は将来の温暖化シナリオのひとつを用いてアジア地域の洪水時(50年に1回の規模)流量の21世紀末時点の変化を調べた。多くの地域で現在より規模の大きな洪水となる。

※試算のひとつであり将来の状況全てを正確に示すものでない。



■ 社会状況の変化により災害リスクが変化

- 右写真は、アジアの都市の居住地の様子。青の高級住宅地区と赤のスクウォッター(不法占拠)地区などが現在、同時に進展。
- この他、都市郊外や農地での土地利用などが急速に変化している。



研究の意義 - アジアの水災害リスクの評価 -

1. 世界において社会・経済に大きな影響を与える自然災害は、近年増加。そのうち水関連災害が占める割合は83%である。そしてアジア地域は半数以上を占めている。

※ EM-DAT(国際災害データベースを元にICHARMで一定条件で試算)

2. 将来の水災害リスク評価について、気候変動と社会変化の影響分析が必要。
3. 災害に強靱な社会を作るためには、リスク管理が有効である。リスクを定量化して潜在的影響を予測することにより、政府、コミュニティ及び個人は情報に基づく判断が可能。
4. 特に、急速な発展を遂げるアジア諸国において、インフラ整備や都市計画策定などを適切に実施するのに有効。また、警報発令・避難等の緊急対応や予防・防災にも有効。
5. また、水利用と水災害軽減はトレードオフの関係。
6. 以上からアジアの水災害リスクの評価を研究。

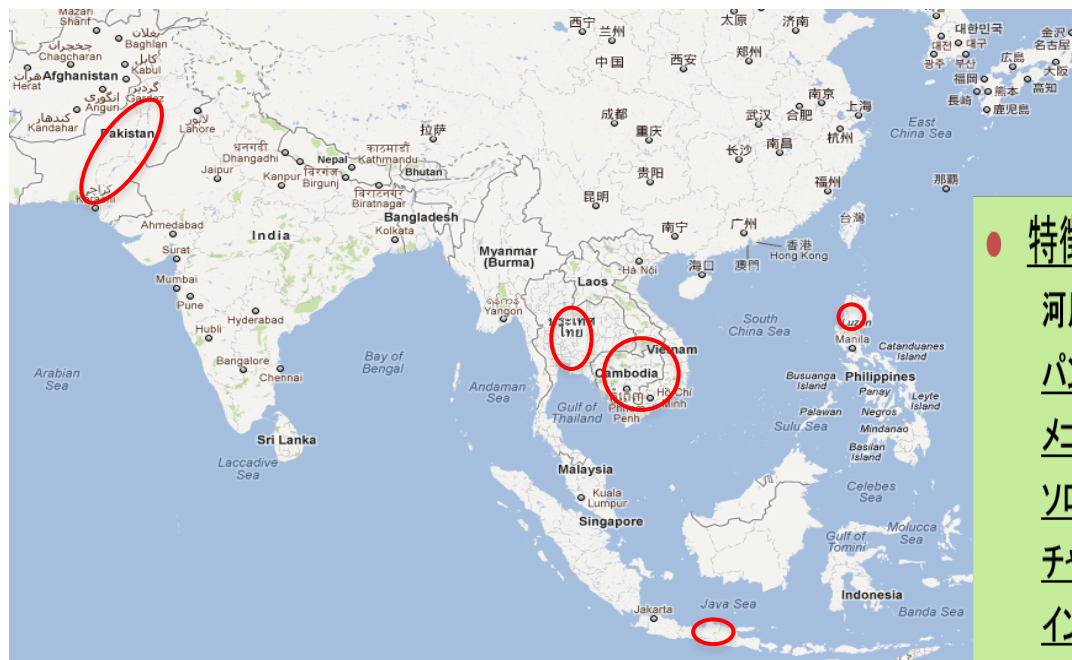
研究の概要 - アジアの水災害リスクの評価 -

- 期間は2012年度から2016年度
- ICHARMがこれまで開発してきたGCM(Global Climate Model; 全球気候モデル)の降水バイアス補正手法、降雨流出・氾濫モデルなどに関するハザード研究を、これまでの広域な範囲から特定の5流域に当てはめ、社会経済影響評価を行う。

※本研究はICHARMが文部科学省から委託を受けて行われている「気候変動リスク情報創生プログラム」の課題のひとつです。



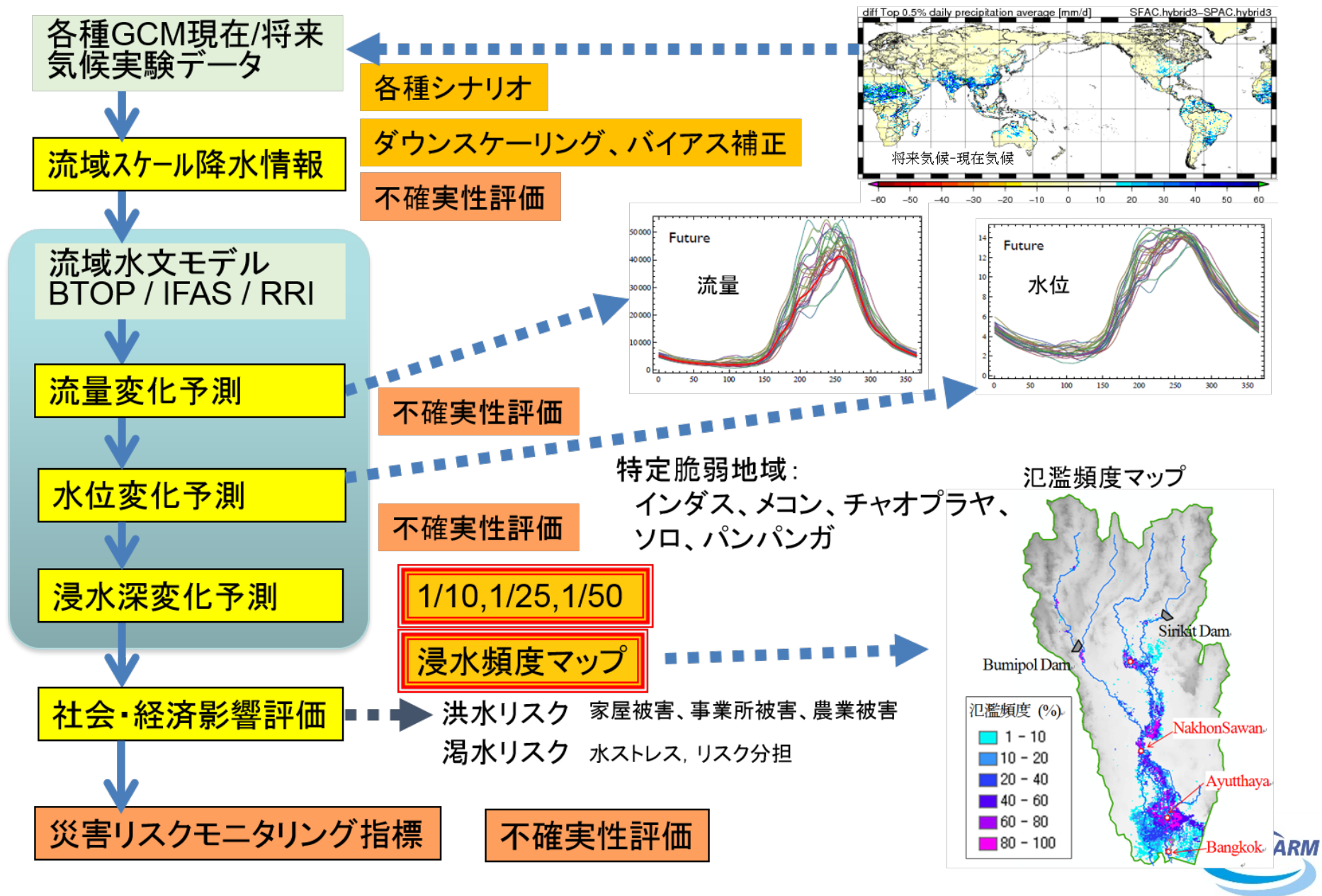
SOUSEI Program for Risk Information on Climate Change
気候変動リスク情報創生プログラム



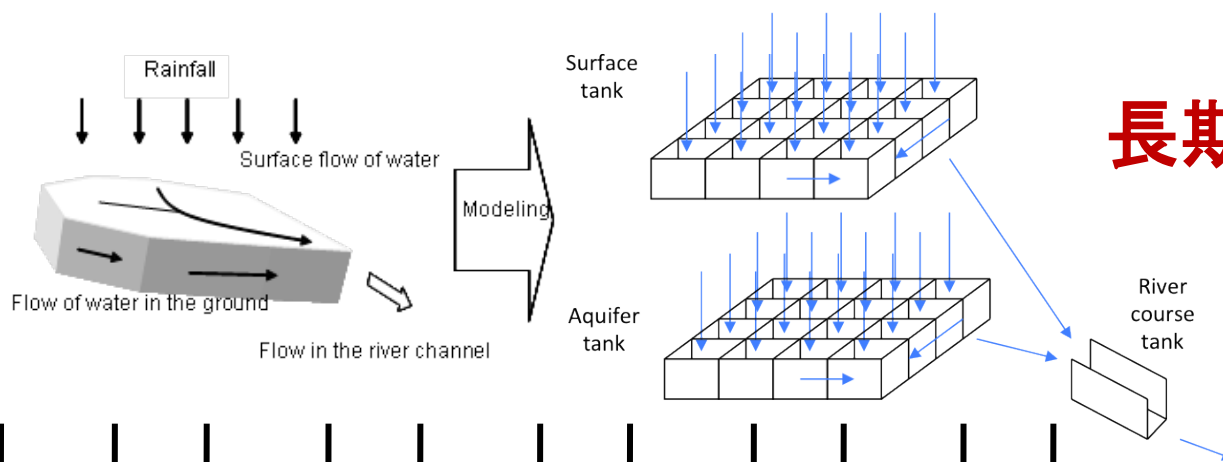
● 特徴の異なる特定脆弱地域での影響評価

河川名	属性	流域面積	流域内人口
<u>パンパンガ</u>	島嶼, 火山, 台風あり	1.1万km ²	580万
<u>メコン</u>	大陸, モンスーン, ダム計画	80万km ²	6000万
<u>ソロ</u>	島嶼, 火山, 台風なし	1.6万km ²	1700万
<u>チャオプラヤ</u>	大陸, モンスーン, 既存ダム	16万km ²	2800万
<u>インダス</u>	大陸, 半乾燥, 雪氷	117万km ²	23700万

研究の基本技術とフローチャート



要素技術の例1 (土研分布型流出解析モデル: 3段タンク)



表面水
タンク

地下帯水層タンク
(不飽和)

地下帯水層タンク
(飽和)

River

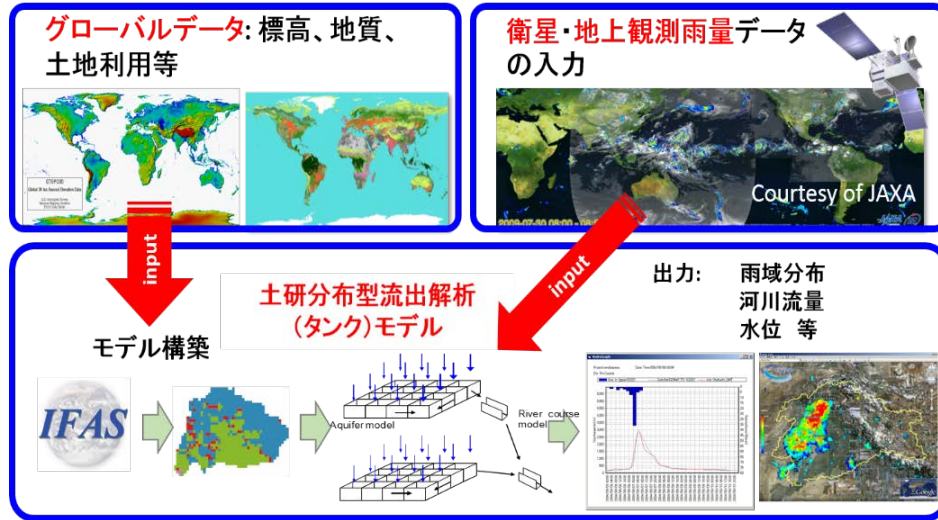
上流

下流

3段タンクモデル
により、長期的な
流出(数ヶ月、数
年単位)を再現す
ることができる

要素技術の例2 標高の自動修正を行い河道網を形成

統合洪水警報システムで活用



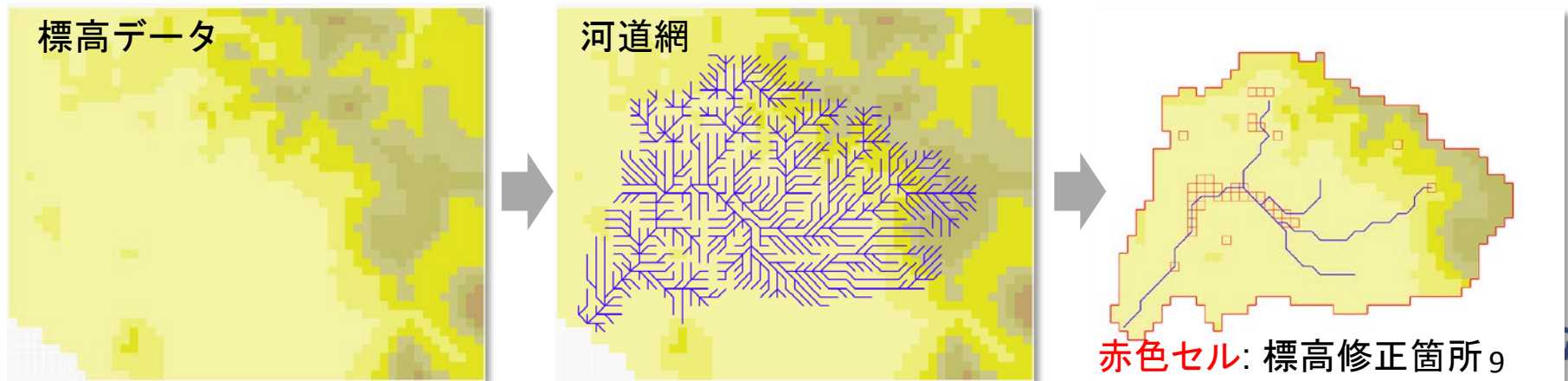
セルの標高と河道網の作成例

116.5	116.4	181.8	198.7
114.2	95.6	110.5	114.8
123.0	91.2 →94.2	98.5	87.3
164.0	93.5	93.2	94.5

くぼ地処理のため標高を自動修正
赤色セルの標高を91.2から94.2に修正

標高データから河道網、流域界、主要河道を作成

流域界と主要河道

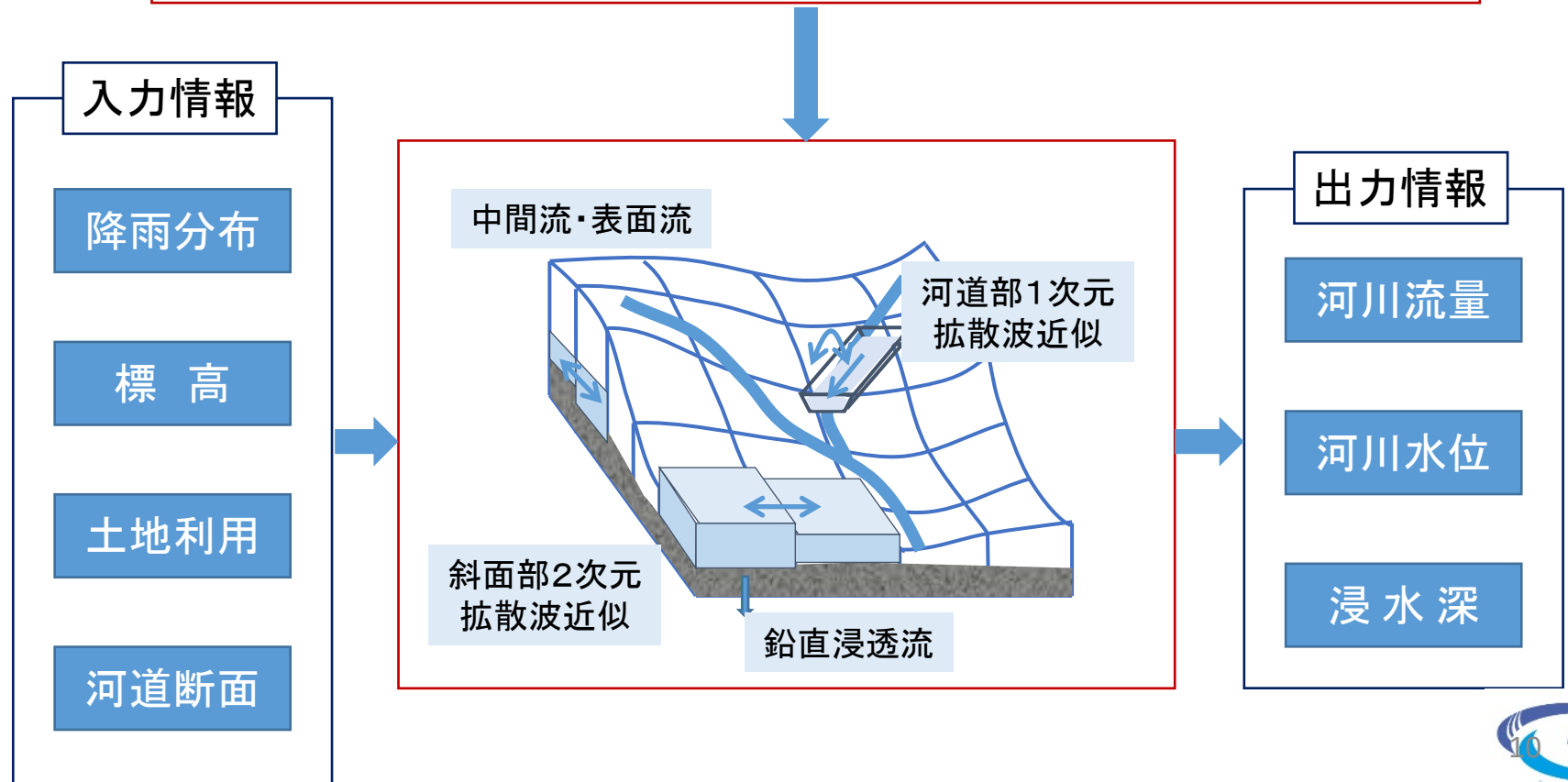


要素技術の例3-1(RRIモデル)

1. 技術の概要

衛星情報や気象予測情報を活用し、世界各地の大規模洪水を河川流量から洪水氾濫まで準リアルタイムで一体的に予測する技術

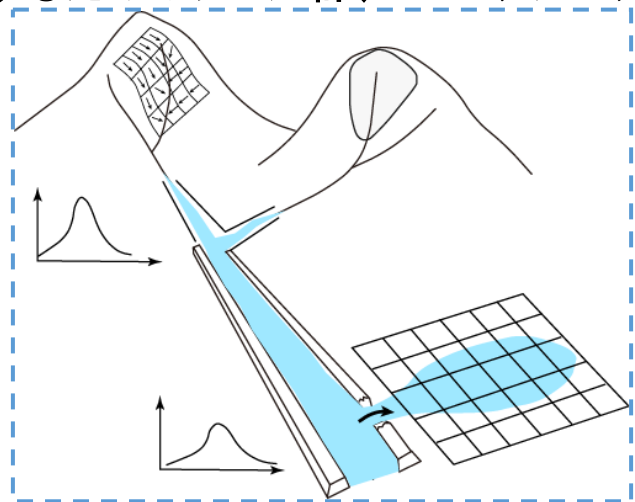
降雨(Rainfall) – 流出(Runoff) – 氾濫(Inundation) → RRIモデル



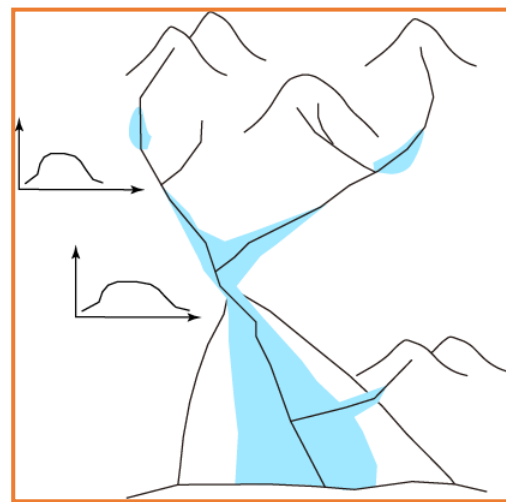
要素技術の例3-2(RRIモデル)

2. 技術の特徴

- ① **一体化**: 降雨流出モデル、河道追跡モデル、洪水氾濫モデルを一体化することにより、低平デルタを含む広域の洪水現象を的確に再現(下図)
- ② **高速かつ安定的な数値アルゴリズム**: 地形起伏の複雑な山地域でも高速に計算できる二次元拡散波近似式の可変時間ステップアルゴリズム
- ③ **複雑な水文過程の反映**: 平野部における鉛直浸透流、山地域における側方地中流、蒸発散と土壌の乾燥による蒸発抑制、ダムや放水路などの影響
- ④ **緊急対応のモデリングを実現するツール群とマニュアル整備**: 衛星降雨や地形情報を活用するためのツール群、マニュアルとチュートリアル



既往の氾濫モデルの適用法

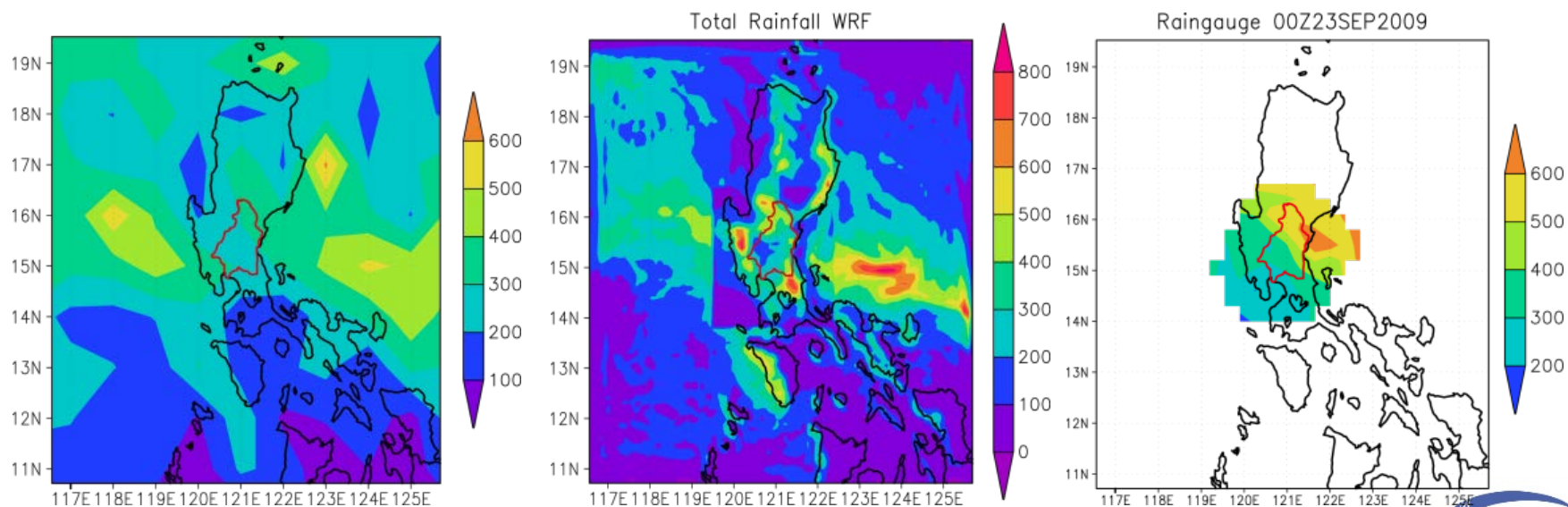


RRIモデルの適用法

研究の事例紹介1-1 - フィリピンのパンパンガ川 -

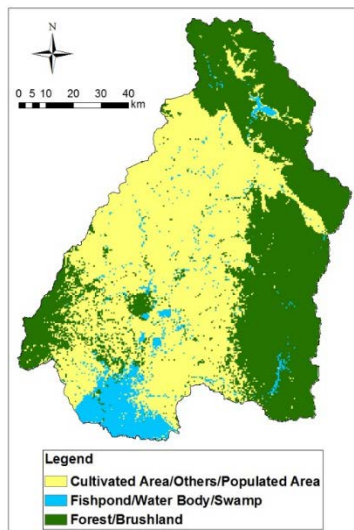
1. 力学的ダウンスケーリング

- GCMの気候実験データの解像度は一般的に粗いため高解像度化(ダウンスケーリングを行っている)。
- 下の左図は100kmの再解析データによる降水量、中図は2kmにダウンスケーリングした後の降水量、右図は実際の地上雨量。
- 研究をさらに進め、実際の地上雨量の再現、そして将来の気候変動下での事象再現を図っている。



研究の事例紹介1-2 - フィリピンのパンパンガ川 -

2. RRIモデルによる解析



山地等

- 鉛直浸透
- 地中側方流

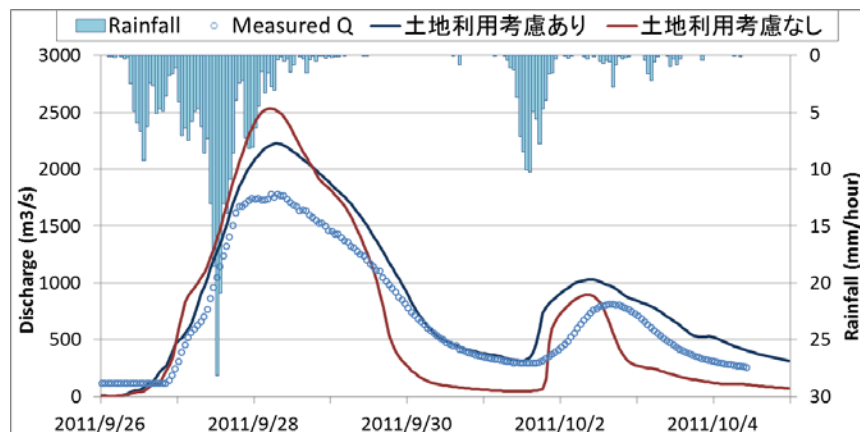
農地等

- 鉛直浸透のみ

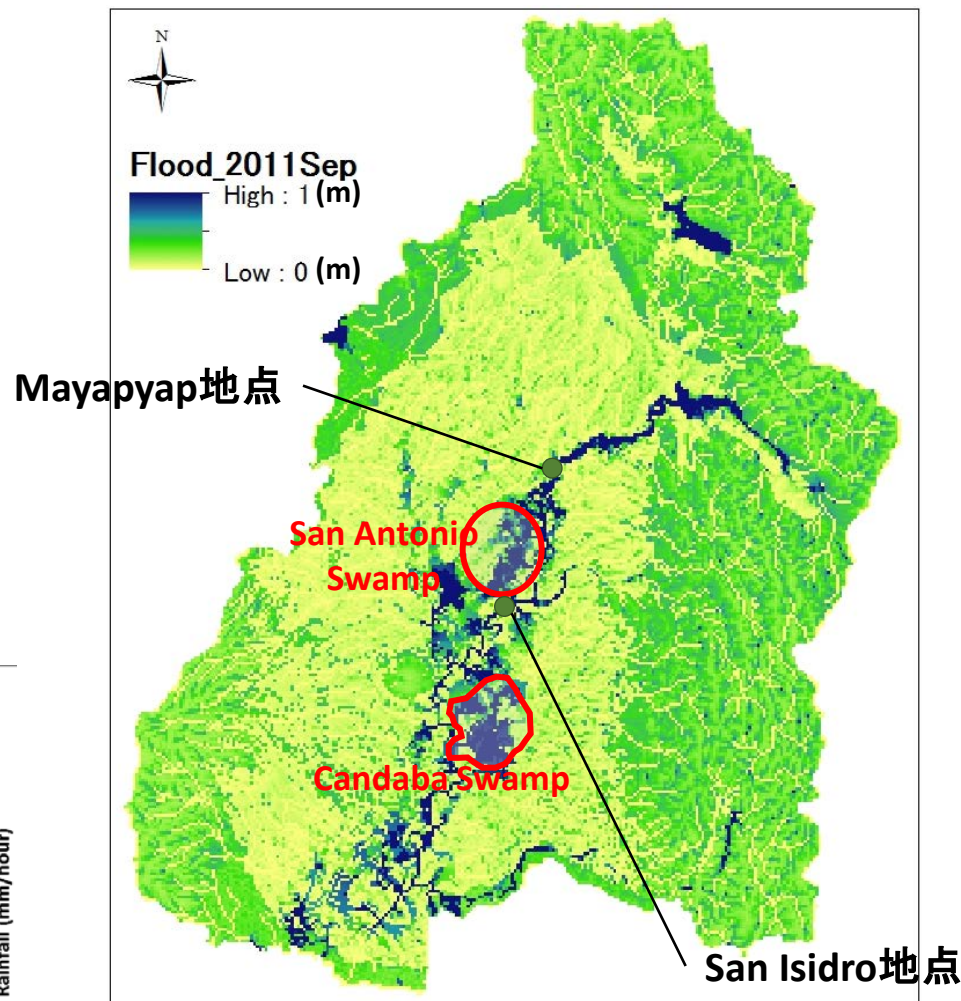
湿地帯等

- どちらも無視

RRIモデルで考慮した土地利用



San Isidro地点における土地利用の
考慮による解析結果の違い



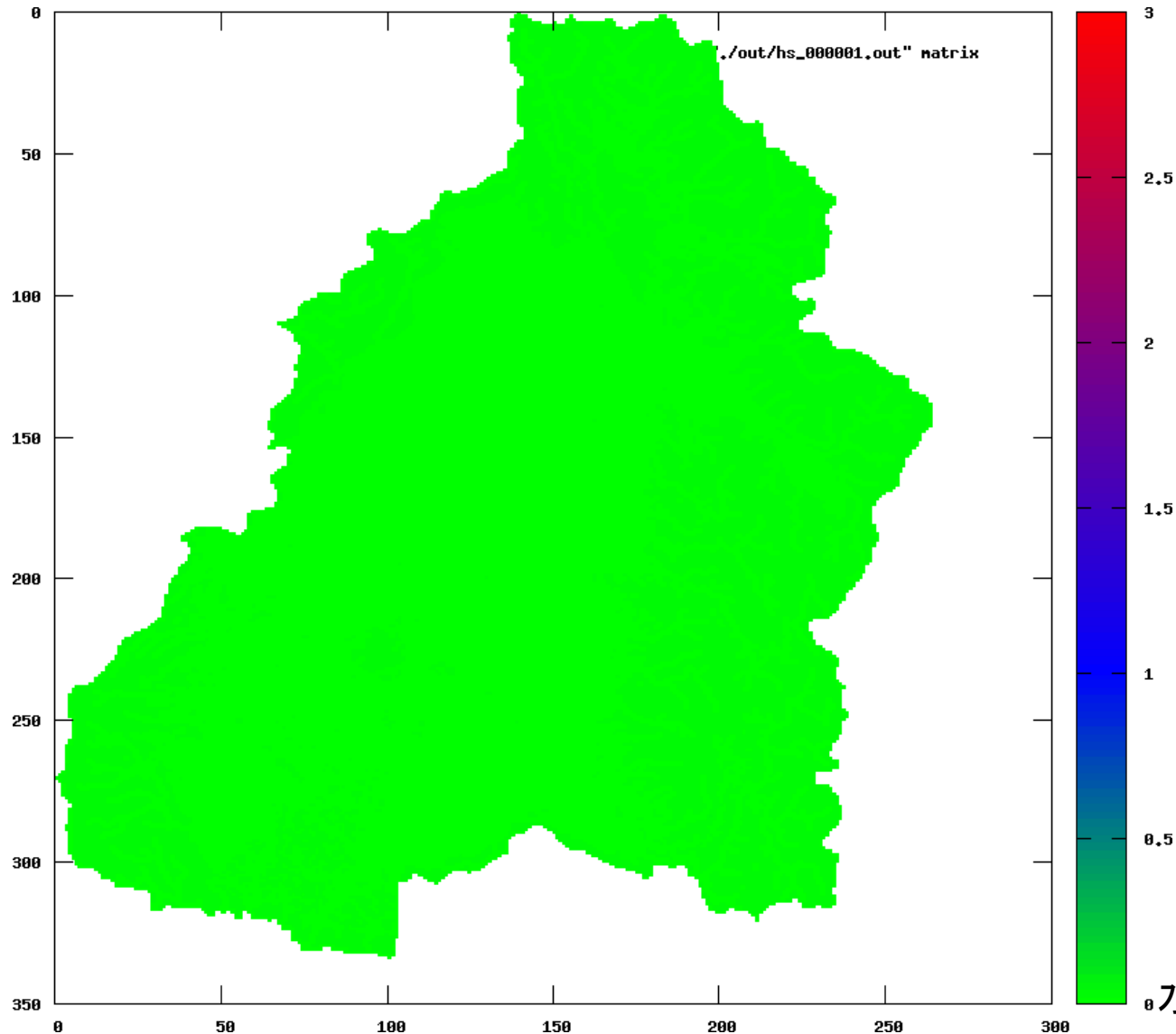
2011年9月洪水の最大水深 (RRIモデル)

スワンプの氾濫による洪水の
貯留効果が再現されている

研究の事例紹介1-3 - フィリピンのパンパンガ川 -

RRIモデルによる解析結果(2011年9月洪水)

2011年9月26日から10月4日まで(9日間)を1時間間隔で表示



研究の事例紹介1-4 - フィリピンのパンパンガ川 -

3. 農業被害計算(洪水)

米の成長段階と洪水日数を用いて推計した農業被害額

米の成長段階と洪水日数に応じた損失量
(%)

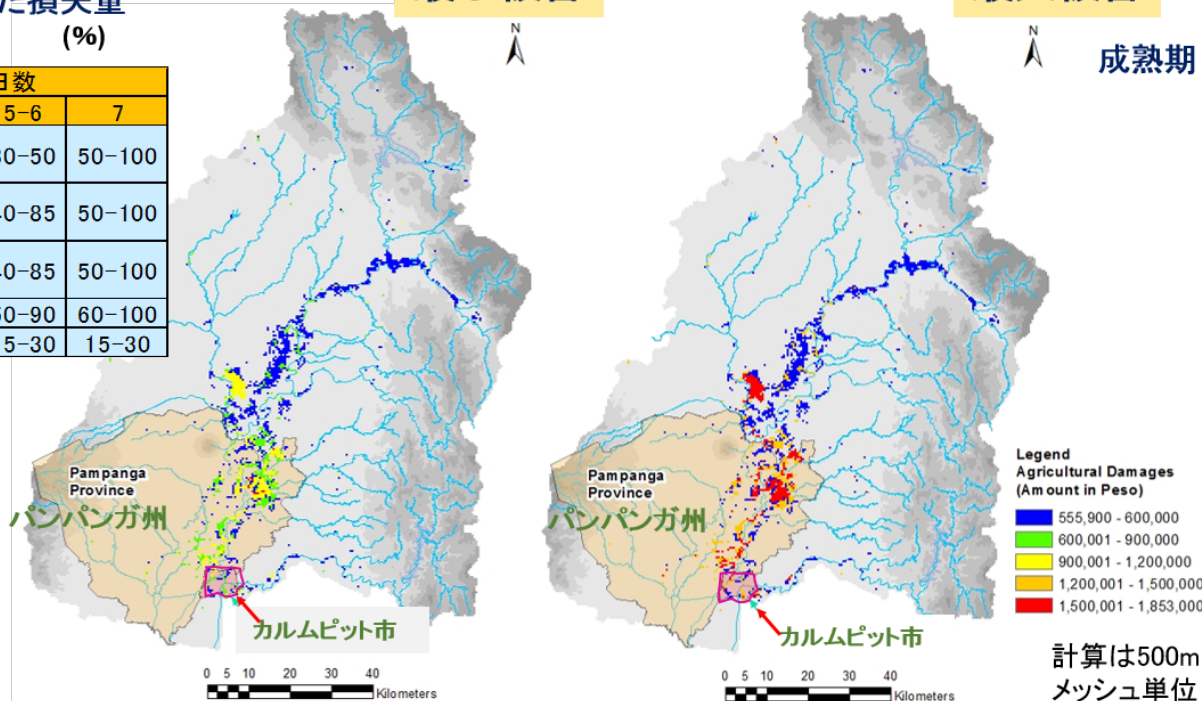
米の成長段階	浸水日数			
	1-2	3-4	5-6	7
成長段階 (田植え後21-45日)	10-20	20-30	30-50	50-100
穂ばらみ段階(46-75日) (部分的浸水の場合)	10-20	30-50	40-85	50-100
穂ばらみ段階(46-75日) (完全浸水の場合)	15-30	40-70	40-85	50-100
成熟段階(76-115日)	15-30	40-70	50-90	60-100
熟成段階(116-130日)	5	10-20	15-30	15-30

出典: 被害評価と報告システムマニュアル
(フィリピン農業省農業統計局)

RRIモデルを使って
再現した洪水(2011
年9月26日~10月4
日)による計算

最小被害

最大被害



被害曲線の最小値を適用

被害曲線の最大値を適用

推計結果と
被害データの
比較

	パンパンガ流域(45,900ha)	パンパンガ州(15,900ha)		カルムピット市(1,250ha)	
	推計値	推計値	統計値	推計値	統計値
最大被害	1,754	777	1,376	54	37
最少被害	966	443		30	

被害額(単位: 百万ペソ)

研究の事例紹介1-5 - フィリピンのパンパンガ川 -

4. 家屋被害

地域の状況によって家の造りが異なり、被害も避難のタイミングも変わってくる

→現地での家屋形態別の分布状況を把握し、建物フラジリティカーブを用いたリスクアセスメントを実施

A. 湿地帯付近:

貧困層家屋



富裕層家屋



平均的家屋

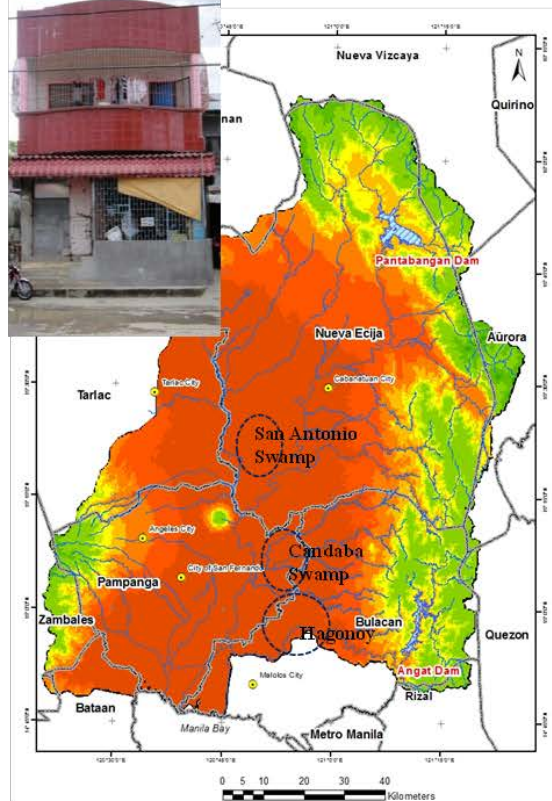


カンダバ湿地帯に多い

最貧層家屋



木造家屋: ハゴノイ地区に多い



B. その他地区

平均的家屋



富裕層家屋



浸水頻発地区の人口密度は低く、貯蓄率も低い: 貧困層が多く住んでいる

- ・時間経過毎の浸水深に基づき、要避難地区、避難所の確認
- ・浸水制御、緊急復旧のため、緊急資材の運搬経路、重機の確保等の確認

研究の事例紹介2-1 - タイのチャオプラヤ川 -

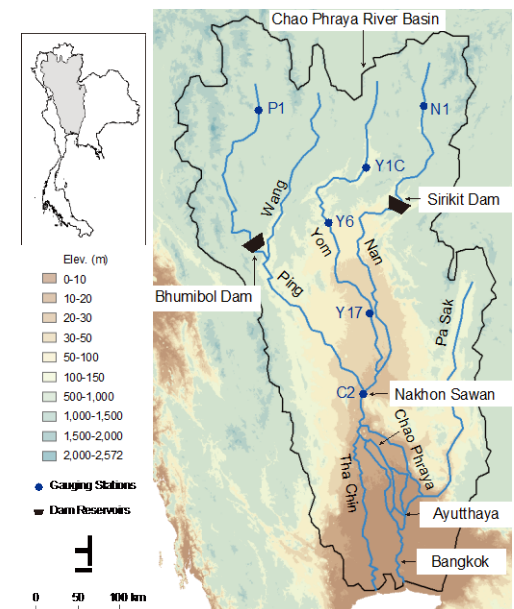
1. 検討手順

- ① チャオプラヤ川全流域を対象にRRIモデルを適用
- ② 地上観測雨量を入力した長期連続の流出氾濫シミュレーション
(モデル空間分解能: 約2 km、1960 - 2011 の52年)
 - 2011年洪水時の降水量・洪水氾濫量を推定
 - 降水量と洪水氾濫量の感度を分析
- ③ AGCMの出力結果をRRIモデルに入力した将来予測
AGCM3.2S (20 km), AGCM3.2H (60 km) - SRESA1Bシナリオ(革新)
現在気候(1979-2003) : 4ケース (3.2S : 1ケース + 3.2H : 3ケース)
将来気候(2075-2099) : 13ケース (3.2S : 1ケース + 3.2H : 12ケース)

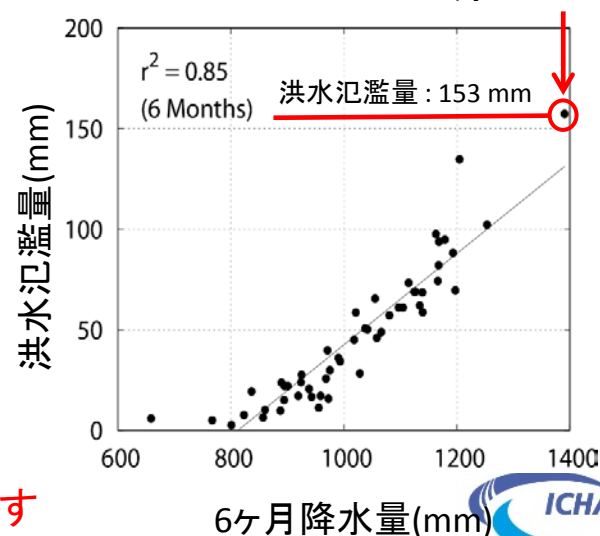
2. 観測雨量によるシミュレーションと感度分析

- ① 2011年 6ヶ月降水量: 約1400 mm、氾濫量: 約150 mm
(氾濫量は氾濫体積を流域面積で除してmmに換算)
- ② 過去の洪水(1995, 2006)では、6ヶ月降水量: 約1200 mm
右図の回帰直線の傾き(dF/dR) が 0.30 なので、
→ 200 mmの6ヶ月降水量増加は、 $200 \times 0.3 = 60 \text{ mm} = 98 \text{ 億 m}^3$
シリキットダムの総貯水量(=95億 m^3)に匹敵する。

200 mmの降水量増加は洪水氾濫にとって大きなインパクトをもたらす



タイ・チャオプラヤ川流域(160,000 km^2)
2011年洪水
雨: 1391 mm



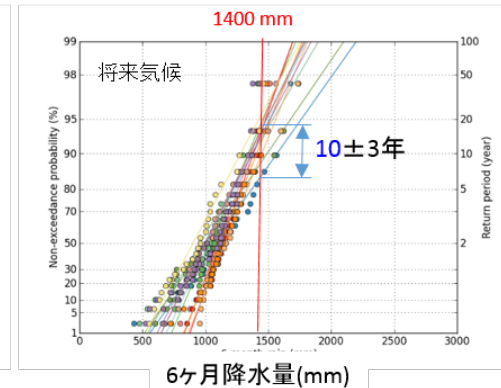
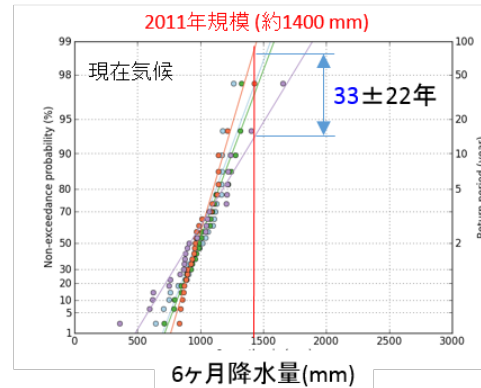
研究の事例紹介2-2 - タイのチャオプラヤ川 -

3. 気候変動影響評価

① 流域平均6ヶ月降水量

平均値は現在(994 mm)から将来(1078 mm)になり、84 mm増加

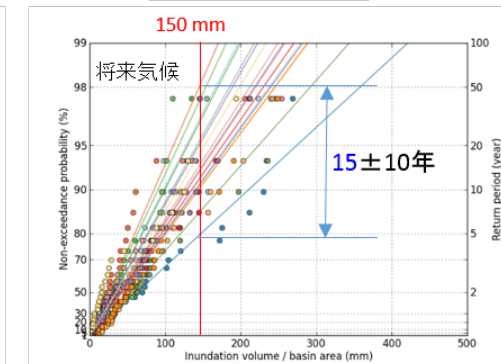
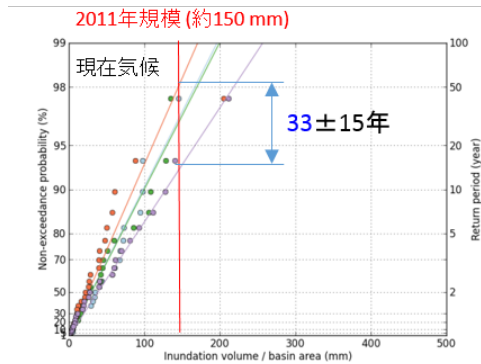
2011年規模(1400mm)のリターン
ピリオドは現在**33年**から将来**10年**
年に短くなる



② 洪水氾濫量

平均値は現在(42 mm)から将来(60 mm)になり、18 mm増加

2011年規模(150mm)のリターン
ピリオドは現在**33年**から将来**15年**
年に短くなり、洪水の頻度が高まる



現在気候

将来気候

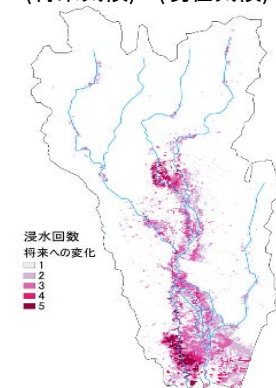
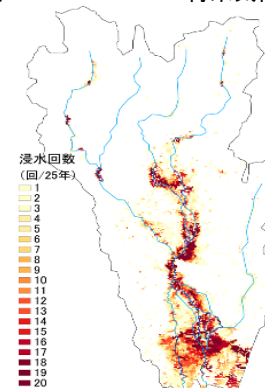
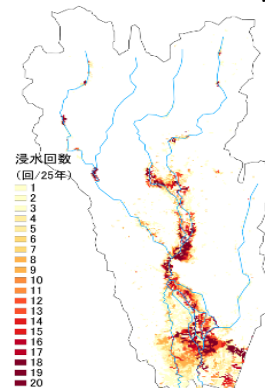
(将来気候) - (現在気候)

③ 浸水域と浸水頻度の変化

浸水頻度が増加

(例: バンコク北西部で
3~5回増/25年)

浸水域は現在と将来で
大きく変化していない



浸水域と浸水頻度(回/25年)

研究のこれまでの進捗と課題

1. これまでの進捗

(1) 不確実性を考慮した河川流域スケールでのGCM予測値に基づく

洪水・渇水ハザード予測値の現地適用手法の開発

- ・規模の大きな流域(チャオプラヤ、メコン、インダス川)

気候モデルの日降水量のバイアス補正及び統計的ダウンスケーリング

(MRI-AGCM、CMIP5)、チャオプラヤ川では、MRI-AGCMを用いて氾濫計算(RRI)を実施

- ・規模の小さな流域(パンパンガ、ソロ川)

パンパンガ川流域において、再解析データ、MRI-AGCM(現在及び将来RCP8.5)の力学的ダウンスケーリングを実施し、モデルのバイアスや将来の降水量増加の知見を得た。また、現在気候データを用い氾濫計算(RRI)及び既往の渇水時流量の再現計算(BTOP)を実施

(2) 社会経済評価のための基本技術の開発

- ・パンパンガ川流域において洪水による農業被害を推定するための洪水リスク評価モデルを検討。また灌漑水需要量を試算し、実際の状況と比較
- ・「特定脆弱地域での影響評価」に向けて、パンパンガ川での検討手法を参考にしつつ対象5流域での情報収集を進める

2. 課題

(1) 今後、将来の気候変動による影響を評価し、

必要な情報を創設

(2) 各国の災害リスク管理組織と連携強化



ご清聴ありがとうございました！



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

