

---

---

## 第1章

### タイ2011年大洪水の実態

小森 大輔・木口 雅司・中村 晋一郎

---

#### はじめに

2011年は、東日本大震災を筆頭に多くの自然災害が発生した。国連の国際防災戦略（International Strategy for Disaster Reduction, United Nations: ISDR）によれば、世界全体で2011年の自然災害による経済損失額は3660億ドルに達し、災害疫学研究センター（Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: CRED）の試算でも、その額は1900年以降過去最大であったことが示されている。2011年の経済損失額の半分以上が東日本大震災によるものだが、それ以外はほとんど気象災害によってもたらされ、気象災害の件数は全体の約9割を占めている（CRED 2013）。気象庁（2012）によれば、80億ドルの経済損失をもたらしたアメリカ南部やメキシコ北部における異常高温（3～9月）や異常少雨（1～11月）、900人の死者を出したブラジル南東部の大雨（1月）、500名超の死者を出したパキスタンの多雨（8～9月）、1400万人に影響を与えたアフリカ東部の干ばつ（1～9月）、そしてタイで813名の犠牲者を出したインドシナ半島の多雨（7～11月）など、世界各地で異常気象・気象災害が発生した。とくにインドシナ半島の多雨は、タイ北・中部に甚大な洪水被害をもたらし、日本経済にも大きな影響を及ぼした。

東京大学生産技術研究所沖大幹研究室では、国際協力機構（JICA）と科学技術振興機構（JST）の支援による地球規模課題対応国際科学技術プロジェクト（SATREPS）「気候変動に対する水分野の適応策立案・実施支援システム構築プロジェクト（IMPAC-T）」を主体とし、2011年10月中旬より3回にわたり洪水調査を行い（東京大学生産技術研究所沖大幹研究室 2011）、成果を発信してきた（Komori

et al. 2012, 川崎ほか 2012, 西島ほか 2012, 中村ほか 2013)<sup>(1)</sup>。この SATREPS は、日本国政府のこれまでの ODA などによる海外支援活動を通じた外交だけでなく、外務省と文部科学省が協同して日本の最先端科学技術を通じた外交をめざした新たな枠組みである。これまで IMPAC-T では、将来予想される気候変動に対する的確な適応策の立案支援のため、水循環変動とそれによる水関連災害に与える影響評価とその手法開発を推進してきたが、その研究活動をさらに推進するため、洪水調査を精力的に実施した。本章では、現地調査で得られたタイのチャオプラヤー川における洪水被害の知見について紹介する。第 1 節ではチャオプラヤー川流域の特徴を紹介し、第 2 節では 2011 年の水文気象および水位状況よりタイ大洪水の実態を解説する。第 3 節はチャオプラヤー川流域で行われている洪水管理手法について解説する。第 4 節では日本の科学技術外交に基づくタイの水問題解決への研究支援を紹介する。

2011 年 7～11 月にかけてインドシナ半島にもたらされた多雨は、タイ北・中部に甚大な洪水被害を引き起こした。世界銀行の調べ（2011 年 12 月発表）では、被害および損失額は約 1 兆 4250 億バーツ（約 400 億ドル）にのぼり、タイ国家経済社会開発委員会によれば、農業・製造業・サービス業における洪水被害は、2011 年の実質 GDP 成長率を 2011 年年初の予測より 3.4% 以上押し下げることとなった（図 1 参照）。ここでは、実際にどのような被害が発生したのか、これまでの調査で判明した点を紹介したい。

まず、人的被害だが、タイ全土で死者 813 人、被災者約 950 万人とされている

図 1 タイの実質 GDP 成長率（2007 年から 2012 年第 3 四半期）



（出所） 経済産業省（2012）データから筆者作成。

(CRED 2013)。とくに11月上旬にはバンコクおよびその周辺地域における浸水が深刻化したため、人口密度の高い地域における死者が急増したことが特徴のひとつであり、都市域における広範囲浸水の危険性を示しているといえる。死亡原因ごとにみると、約8割が溺死によるもので、残りの2割近くは感電死、水への転落、ボートの転覆などが占めた(防災・減災局)。

つぎに1900年以降5番目に甚大であった経済損失について示す(CRED 2013; 木口ほか 2012)。被害が大きかった生産部門では、直接被害額が約5400億バーツ、損失額が約6600億バーツ、合計約1兆2000億バーツであり、全体の88%を占めている。そのなかでもとくに製造業部門は被害が大きくおよそ8割を占め、これは多くの工業団地が被害を受けたことが大きな要因であろう。実際、チャオプラヤー川流域の工業団地では甚大な被害を受け、7つの工業団地(804社、うち日系工場は450社ほど)で浸水被害があった。いずれの工業団地も独自の輪中堤を有し、さらに浸水に備えて事前に土嚢の積み上げや盛土の設置をしたにもかかわらず、浸水被害を免れることはできなかった。これら被災企業には日本を含む有数の大企業も含まれ、サプライチェーンの断絶による影響は日本のみならず諸外国へと広がった。このことが大きく実質GDP成長率を押し下げることとなった。これらの工業団地はすべてチャオプラヤー川東側に位置していたが、過去の地形図や水害地形分類図(大倉ほか 1989; 春山 1994)によれば、いずれも後背湿地や潟といった古来氾濫を繰り返してきた場所に立地していることが読み取れ、このような土地利用が推進された経緯は、社会的背景を含む詳細な調査が今後必要とされるだろう(詳細は第3節参照)。

一方、全体の約3.8%を占める農業・畜産・漁業部門の被害は約520億バーツで、タイにおける第一次産業に従事する層の所得を考えれば決して少なくない。タイ農業・協同組合省の調べによる2011年12月29日までの被災農業人口および被災農地面積によれば、浸水に伴う農作物の流出や農業施設などの被害、作付けできなかったことによる機会損失などが挙げられる(木口ほか 2012)が、そのほとんどがタイの主要農作物であるコメへの被害である。また、被害を受けた農業人口は約130万人で、全被災者人口の約14%を占める。田中ほか(2011)によれば、タイの経済構造は過去、農業部門が大きな割合(1980年の農業部門の名目GDPに占める割合は20.0%)を占めていたが、2000年のそれは11.0%に低下し、経済構造変化が顕著となっている。その一方で農業部門における人口の割

合は依然として2000年時点で46%と高く、個人所得が低い。農地を工業団地に転換する動きは、タイの経済構造の変化を反映していると指摘されている（田中ほか 2011）。

本節では、タイにおける2011年の洪水被害の概要について紹介した。今回の洪水で、日系企業だけでなく日本国内の企業もサプライチェーンの寸断に伴う甚大な影響を受けたことがクローズアップされ、日本とタイとの相互依存がいかに深まっているかが示される結果となった。また、その背景として工業団地の立地環境がタイ国内の経済構造の変化に起因していることが示され、将来のタイにおける気候変動による洪水への影響のみならず、今後予想される社会構造の変化にも注視する必要がある。さらに、今後の日本とタイの支援を含めた両国関係を考える際、これまでの経済・技術支援だけではなく、現地調査を通じて得られる科学技術の知見が活かされた支援に取り組むべきである。

## 第1節 チャオプラヤー川流域の概況

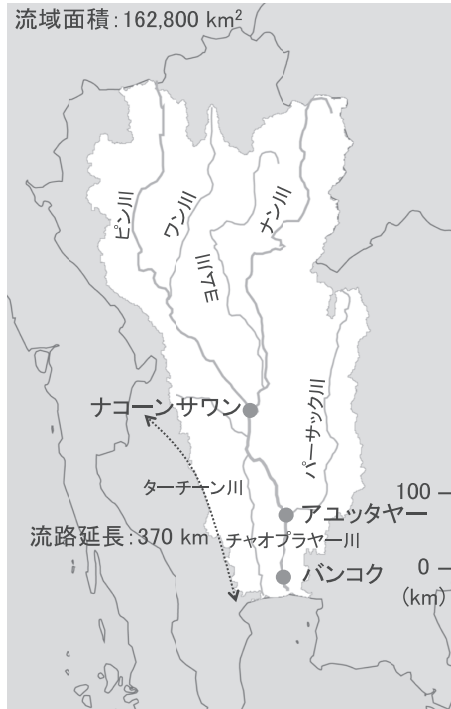
タイの中央平原を流れ河口に首都バンコクが位置するチャオプラヤー川は、狭窄部であるナコーンサワン市で上流域と下流域に二分される。全流域面積は約16万平方キロメートルにもなり、日本で最大の流域面積を誇る利根川の約10倍に相当する。図2にチャオプラヤー川流域図を示す。

上流域の総面積は約11万平方キロメートルで、ピン川にはプーミボン・ダム、ナーン川にシリキット・ダムというそれぞれ国王、王妃の名前を冠した大ダムが、それぞれ1964年、1974年に利水と発電目的のために建設された。貯水容量もそれぞれ135億立方メートル、95億立方メートルときわめて大きく、それぞれ2年分、1.5年分の総流量を貯水することが可能な容量である。それでもタイの水田灌漑率は全国平均で約2割、比較的灌漑が進んでいるチャオプラヤー川流域でも5割程度にとどまり、雨がほとんど降らない乾季の米作を実現するためにはこれらのダムにどれだけ雨季の降水を貯めておけるかが重要である。

下流域では、ナコーンサワン市の下流約100キロメートルにチャオプラヤー大堰が1957年に建設され、チャオプラヤー川の河川流量をコントロールしてチャオプラヤー川の両岸に灌漑用水を分水している。大堰西側上流からはターチャー



図2 チャオプラヤー川流域図



(出所) 小森ほか (2012)。

ン川およびノイ川が分流しており、ノイ川はアユッタヤー以南でチャオプラヤー川に再び合流するが、ターチーン川は本流に戻ることなく海に向けて流下する。チャオプラヤー川はさらにアユッタヤー市で、パーサック川が合流する。チャオプラヤー川は日本の河川とは異なり極端に緩流な河川で、たとえばバンコクの北、河口から約100キロメートルの地点に位置する古都アユッタヤーの標高はわずかに7メートルで、勾配は1万分の1よりも緩やかである（小森ほか 2012）。

このようにチャオプラヤー川は緩流河川であるが、上述したチャオプラヤー川下流域と、ナーン川とヨム川の下流の河川勾配はとくに緩やかである。そのため、河道は数多く蛇行し、洪水時には上流からの堆砂で河川の通水断面は縮小される。本来、河川は水が集まる下流の方で流下能力は大きくなるのだが、

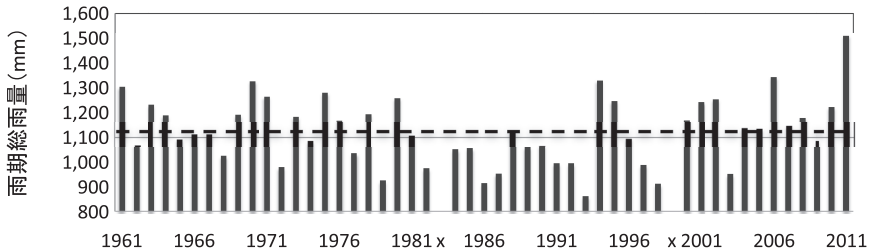
チャオプラヤー川は下流の流下能力に乏しい（図7，24ページ参照）。そのため、上流から流下した洪水は下流で水位が上昇し結果的に氾濫原に拡散される。本流に流入する多くの支流も、本流の水位の上昇に伴う背水の影響により支流流域の洪水を本流に流入させることができず、支流周辺の氾濫原に拡散される。また、アユッタヤー上流で流下能力が半減するのはチャオプラヤー川から西側へ2支流が分流するためであるが、洪水時には西側にも多くの洪水が流入し広大な氾濫水域を形成する。実際に、アユッタヤー近辺にて洪水時には、2支流が流れるセーナー郡が一番始めに洪水が発生する地域である。このように、下流域では河川沿いに広大な氾濫水域が形成され、また氾濫水域が広がることは氾濫水位を低くすることになり、結果として洪水災害軽減につながる。この軽減がなければ下流域は大きな洪水被害を受けることになる。タイはこれまで、このような河川の特徴をいかしてチャオプラヤー川上流域の洪水はダムで貯水し、また下流域の洪水はバンコク中心部や工業団地がない西側を中心に氾濫面積を拡大させ、氾濫水位を低下させて洪水被害を軽減するという治水対策を行ってきた。バンコク都の安全が担保されているのはチャオプラヤー川下流域の氾濫を許容しているからである。

## 第2節 2011年大洪水の実態——気象および水位状況から考える——

本格的な夏の南西モンスーンが南アジアから東南アジア、そして東アジアを席卷するのに先駆けて5月に雨が降り始めるのがインドシナ半島であり、チャオプラヤー川流域はその中心部に位置している。タイの多くは熱帯サバナ気候に属しており、バンコクを例とすると、年間降水量の9割近くの雨をもたらす雨季（5～10月）と乾季（11月～4月）の区別が明瞭で、さらに乾季は11月から1月にかけての比較的冷涼な時期、2月から4月の最も暑くなる時期のふたつの季節に分けられる。

図3に気象局から提供された1961～2011年の雨季における上流域の総降水量を示す。ただし、1983年と1999年のデータは欠損していたためここでは示していない。バンコクにも氾濫被害が生じた1995年や、氾濫面積が2011年洪水より大きく既往最大であったとされる2006年の雨季6カ月間（5～10月）の総降水量は、そ

図3 雨季（5月～10月）におけるチャオプラヤー川上流域の総降水量（1961～2011年）



（出所）29地点の気象局観測所データより算出した。

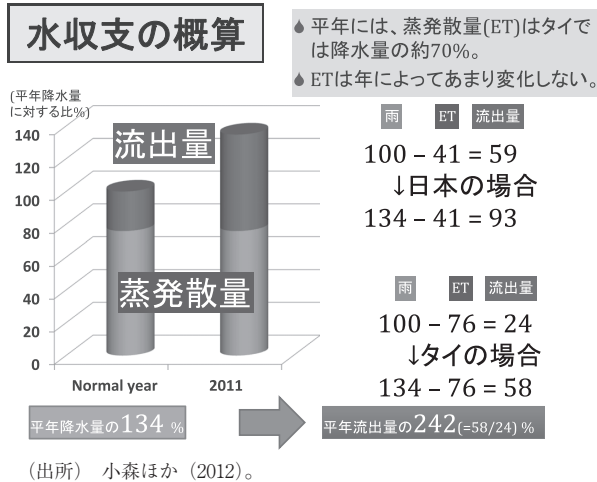
（注）点線は51年間の雨季における総降水量平均を示す。

“x”は欠測年（1983年および1999年）を示す。

それぞれ51年間の雨季における総降水量の平均値（1120ミリメートル）を上回り、1246ミリメートルおよび1342ミリメートルであった。2011年においては、雨季における総降水量は1510ミリメートルと期間平均の134%を記録し過去に類をみない降水量となった。筆者らが参画している JICA のチャオプラヤー川流域洪水対策プロジェクト<sup>(2)</sup>では、2011年洪水の規模を明らかにする観点から2011年の大雨の発生確率を検討しており、1961～2011年の51年間を対象に雨季の総降水量を用いて解析した結果、2011年の大雨はおおむね100年に1回の発生確率に相当することが示された。なお、東京工業大学の鼎信次郎教授の研究チームによれば、1951～2011年の間でタイへの台風の上陸回数を平均すると年約1.5回であるが、2011年は5回も台風が上陸し、この61年間で5回以上台風が上陸したのは1964年、1971年、1972年の3回だけであり、たいへん稀な年であったことがわかる。そのうち2回はラニーニャであったが、それらの年にタイで記録的な大洪水はなく、エルニーニョ・南方振動が遠隔地の気象・気候に及ぼす影響は地域的には毎回異なることが知られており、タイにおいても例外ではない（沖 2012b）。

これに対して蒸発量は洪水年であろうとも大きく変化しない。例年であれば雨季の平均降水量1120ミリメートルのうち、850ミリメートル程度が地面からの蒸発や植物からの蒸散で失われ、残りの270ミリメートル相当分が流下する（図4参照）。一方、多雨であっても蒸発散量は増えるどころか減ることもあり、2011年の場合では1510ミリメートルの降水のうち650ミリメートル相当分が河川流量となる。すなわち、降水量が1.3倍になると、流量は2.4倍に増えるのである。

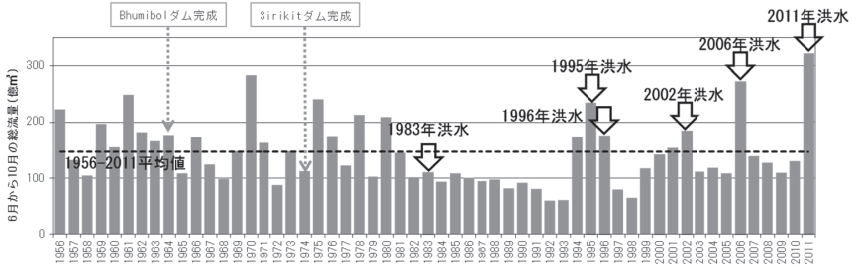
図4 チャオプラヤー川の流域特性



ちなみに、日本では1700ミリメートル程度の降水のうち1000ミリメートル程度が流出する。降水量が1.3倍になった場合、蒸発散量が変化しないと仮定すれば流出量は1.5倍程度となり、降水の変化量よりは大きいが、タイのように2.4倍には達しないことがわかる（小森ほか 2012, 小森 2012, Komori et al. 2012）。

図5に1956～2011年の6～10月におけるナコーンサワン市（C.2観測点）でのチャオプラヤー川の総流量を示す。2011年は6～10月における総流量は326億立方メートルであり、期間平均の232%と先の推定値と同様の値を記録した。チャオプラヤー川上流域にある全7ダムの総貯水容量は、琵琶湖の貯水量に相当する247億立方メートルであり、2011年のナコーンサワン市での総流量がその値を大きく上回っていることは2011年洪水の規模を推し量るのに十分であろう。解析対象期間におけるこれまでの総流量の最大値であった1970年（284億立方メートル）を60億立方メートル上回り、2011年の出水が歴史的にみても最大規模のものであったことは明らかである。なお、洪水年である2006年の総流量は273億立方メートルと期間平均の195%を記録した。2006年の雨季における総降水量は期間平均の119%で、先の仮定を適用すると流量は182%となると推定され、先の概算で示した6～10月の積算雨量がチャオプラヤー川の大洪水に強く影響するという流出特性がこの水収支解析よりわかるだろう。

図5 1956～2011年のナコーンサワン市における雨季総流量。



(出所) 中村ほか (2013)。

一方、既往洪水のひとつとして報告されている1983年のナコーンサワン市での総流量は110億立方メートルと期間平均の79%であった。国際協力事業団による調査（国際協力事業団 1989）や、その後のわれわれの洪水調査により同年の洪水はチャオプラヤー川下流域の降水により洪水が引き起こされたことがわかった。また、2011年洪水の氾濫の半分は下流域の降水によりもたらされているという報告もある。これらのことより、チャオプラヤー川の大洪水は、上流からの洪水が下流に流下してもたらされる場合と、下流の降水が洪水を引き起こす場合の2ケースがあることがわかった。

2011年チャオプラヤー川の大洪水は流域開発に伴って潜在的に増大していた水害リスクが100年に1度の多雨によって顕在化したのである。半年にも及ぶ雨季の総降水量が洪水に効き、いったん氾濫すると長期化してなかなか排水されないというチャオプラヤー川の流出特性は日本国内で一般に認識されている水害とはやや異なるが、日本でも低平地では同様の水害が生じていた時代もある。チャオプラヤー川のように流域面積が広く、勾配の緩い河川では、1日や1週間といった短い時間単位の雨が、たとえ平年の2倍であっても流域全体の洪水には結びつかない。降水量の季節予報ははまだ最先端研究課題のひとつとしており日本の技術をもってしても難しい。日本のように台風による数日～1週間雨量によって洪水がもたらされるのとは時空間スケールが大きく異なり、それに応じて予測や水防の時空間スケールもまったく異なってくるということを認識する必要がある。

### 第3節 タイの水インフラストラクチャーと洪水管理

#### 1. タイのダムと洪水管理の思想

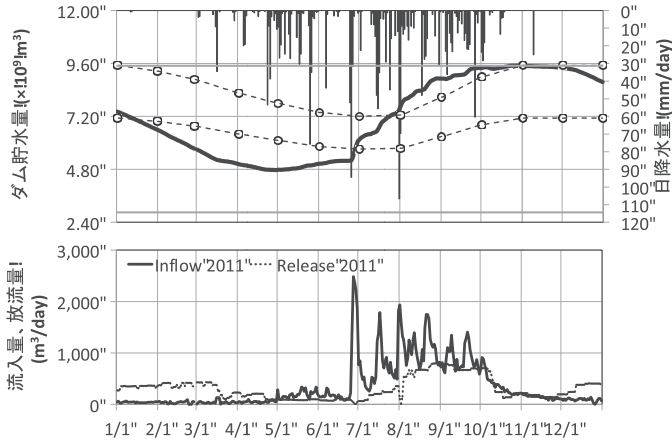
日本では水系一貫の思想のもと、国土交通省や地方自治体が流域全体の洪水管理を行っているのに対し、タイにはその責務を負う行政機関が存在しない。タイの灌漑局（農業・協同組合省）は洪水に備えた堤防や水門の建設を行っているが、その目的はあくまで農業地域の保護であり、市街地や集落、工業団地が立地する都市域の防御は各県や市町村等の地先自治体の責務となる。その理由は、チャオプラヤー川で発生する膨大な流量を防ぐ技術的手段がないこと、そして長年のタイの主幹産業は農業であり、それを保護することが国益の保護に直結するためと考えられる。しかし、先述のとおりタイにおける名目 GDP に占める農業部門の割合は1980年に20.0%であったものが2000年には11.0%まで低下しており、ここ30年で産業構成は急速に変化してきている。2011年の洪水で農業以外のセクターが被災し甚大な経済への打撃を受けたことで、洪水管理手法の転換が迫られている。

この流域全体の治水に対する責務者の不在は、ダム管理の手法にも表れている。チャオプラヤー川流域には、大小合わせて11のダムが存在しているが、いずれのダムも利水や発電を主目的としており、日本のように明確な治水機能は含まれていない。シリキット・ダムを例にとると（図6参照）、年間を通じて貯水量の上下限を示したルールカーブを設けてダム貯水量の調節を行っている。

雨季が始まる時点ではその前の乾季における水利用によって貯水量は大幅に減少しており、次の乾季に備えて雨季の降水の大半はダムへと貯留されるため、その分は下流部に対して結果的に治水効果を発揮することになる。2011年には2大ダムであるプーミボン・ダムおよびシリキット・ダムで総氾濫量の半分に相当する約100億立方メートルを貯留した。

2011年のように大規模な降雨が発生しダム貯水池が満水に近づいた場合は、日本と同様に「流入量＝放流量」となるように放流量を調整（日本では「ただし書き操作」という）せざるをえない。日本のような小規模のダムの場合は満水になる前に数時間先の降雨を予測し事前放流を行って貯水量に余裕をもたせるこ

図6 シリキット・ダムの貯水量推移



(出所) 小森ほか (2012)。

- (注) (1) 上図の実線は、2011年のシリキット・ダム貯水量、破線は貯水池操作ルールカーブをあらわす。直線の上限は総貯水容量、直線の下限は総貯水容量から有効貯水容量を差し引いた量、堆砂容量+死水容量をあらわす。さらに上図の棒グラフは日降水量を示している。  
(2) 下図は2011年のシリキット・ダムへの流入量および放水量を示す。

とが技術的に可能であるが、チャオプラヤー川にあるような大ダムの場合、満水になるまでに数十日から数カ月かかるため、その予測は今の技術をもってしても困難である。また先述のとおりタイのダムの主目的は水資源の確保であり、乾季に備えて一滴でも多くの水を貯めることが、ダムに求められる役割である。タイの温暖な気候では水さえあれば1年中稲作を行うことができるため、年間の収穫量、農業収入自体がダムの貯水量に大きく依存している。乾季に水が足らなくなれば干ばつを招きかねない。ダム貯水池の水を放流する判断自体がタイの社会や経済を左右する合意形成のきわめて困難な問題であり、そのタイミングやダム容量の効果的な配分を行うには、国全体の合意形成に基づいたルールづくりとそれを支える予報技術のさらなる発展が不可欠である。

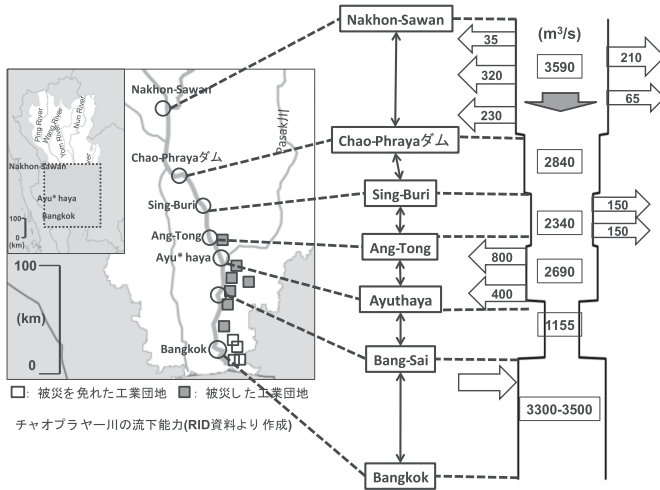
## 2. チャオプラヤー川下流域での氾濫原管理

### (1) 下流域の氾濫原管理とモンキーチーク

図7は、チャオプラヤー川のコーンサワンからバンコクまでの流下能力を



図7 チャオプラヤー川下流部の流下能力図



(出所) 中村ほか (2013)。

示している。

チャオプラヤー川の流下能力はナコーンサワンからアユッタヤーの区間で下流に向かって減少する。チャイナートからアユッタヤーにかけての両岸には、タイ灌漑局によって中小規模の洪水から水田を守るために堤防が設置されており、大規模な洪水が発生した場合は、堤防沿いに設置された水門を操作し水路を通じて両岸に広がる広大な水田へと洪水を誘導する。比較的被害の小さい水田を洪水管理のバッファーとすることで、想定外の大破堤を防ぎ、アユッタヤーより下流に広がるバンコク首都圏へと流れる洪水の制御を行っている。つまり遊水地の一種であるが、その操作は浸水地域ごとの稲の刈り取りや生育の状況を考慮しながら行うもので、非常に高度なものである。これらの水田の一部は「浸水を許容するエリア」として、行政主導のもと計画的に指定されており、現地では「モンキーチーク」と呼ばれている。この一風変わった名前はその機能が、猿が食べ物を頬に蓄えて後から食べる様子に似ていることからプーミボン国王によって名付けられたそうだが、その名前のおり雨季にはモンキーチークに洪水を貯留することで下流部の洪水被害を軽減し、乾季にはこの貯留した洪水を用いて農業を行う。タイの人々にとって洪水は恵みの一部であり、資源

としてできるかぎり活用しようという水に対する基本姿勢が、前述のダム管理と同様、氾濫原管理のなかにもあることがわかる。

## (2) 下流域に位置する都市部での洪水対応

ナコーンサワンからアユッタヤーまでの下流域に位置している主要都市は、灌漑局が設置した堤防の川側に位置しており、毎年のように発生する洪水に対して地方自治体ごとに治水計画を策定し対応を行っている。この治水計画では都市部を「洪水を許容するエリア」と「洪水から守るエリア」に分け、それぞれの特徴に応じた治水策がとられている。たとえば、アユッタヤーから北へ約20キロメートルに位置するアーントーンという都市では、病院や市役所が位置している中心市街地を「洪水から守るエリア」として指定し、チャオブラヤー川からの直接の氾濫に対してはコンクリート堤防を川沿いに築くことで洪水の侵入を防いでいる（写真1参照）。

また、上流から流れてくる氾濫流に対しては土嚢やパラペット（胸壁）を用いて臨時堤防を設置し市街地への氾濫流の侵入を防ぐ。その際使用するパラペット<sup>(3)</sup>などの資材は街中のいたるところで見ることができ、いつでも設置が可能な状態となっている。2011年の洪水では、上流で大規模な破堤があり氾濫流が少なかったこともあるが、行政と市民の協力のもと、この臨時堤防が設置され中心市街地の浸水を免れた。一方、市街地の北側にある住居地区は「洪水を許容するエリア」に指定され、川沿いには堤防がなく洪水に対しては伝統的な高床式住居を用いて被害を低減している（写真2参照）。このエリアに住む住民は、



写真1 チャオブラヤー川沿いのコンクリート堤防  
(2012年8月3日、中村撮影)



写真2 アーントーンの高床式住居  
(2012年8月3日、中村撮影)

堤防を建設する代わりに浸水の状況に応じて自治体から補償金の支払いを受けることで合意している。このような氾濫域の明確なゾーニングとエリアごとの特徴に応じた柔軟な治水策の選択は前述のアユッタヤー上流の氾濫原管理と同様、タイ治水の最大の特徴でありわが国でも参考にすべき事例である。

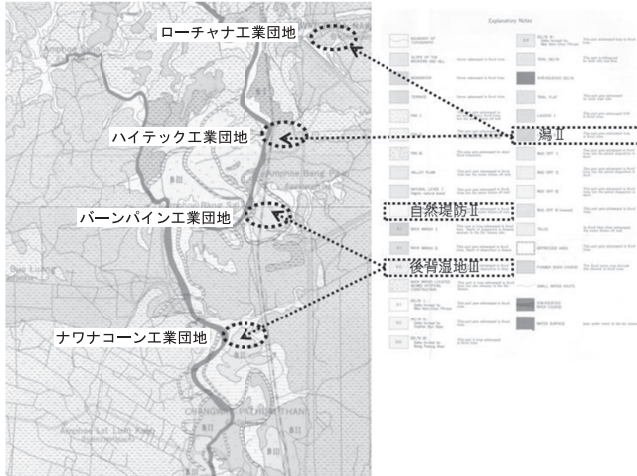
### (3) バンコク首都圏における洪水管理と水防活動

2011年の洪水では、近年激しい人口増加と都市化が進んでいるバンコク首都圏にまで氾濫流が及び、都市機能が麻痺状態に陥った。バンコク中心部は1999年にJICAの技術支援を受け治水計画を立案している。この計画では、バンコク中心部を囲うように「外周堤防」（「国王堤」あるいは「キングス・ダイク」）を設置し、その周りをグリーンベルトに指定し遊水機能をもたせ、グリーンベルトからタイ湾へと抜ける放水路を設置することが計画されていた（吉川・本永 2006）。しかし実際は、都市周辺のグリーンベルトにはすでに住宅や工業団地が立地してしまい浸水を許容できる状況ではない。また、グリーンベルト最下流部にはスワンナプーム国際空港が建設され、放水路を建設するのが困難な状況になっている。さらに2011年洪水で、キングス・ダイクが完全に機能していればバンコク中心部の浸水を防げたはずだった。しかし、北側に位置するドーンムアン空港付近に未整備区間があり、ビッグ・バッグと呼ばれる巨大土嚢を設置することで氾濫流の中心部への侵入を防ごうとしたが、それに伴う水位上昇に対する上流住民の反対運動が激しく、一部ビッグ・バッグを撤去し、その結果氾濫流の侵入を許すこととなった。

また、バンコク首都圏では急激な市街地の拡大が進んでおり、すでにキングス・ダイクの外側にまで市街地が拡大している。2011年の洪水で甚大な被害を受けた日系企業の工場の多くも、バンコク北側にあるパトゥムターニー県やアユッタヤー県などの郊外地域に立地していた。浸水した工業団地周辺の過去の地形図や水害地形分類図をみると、これらの地域が以前は水田として利用されており、それも水はけがひととき悪い後背湿地や潟に位置していることがわかる（図8参照）。

パトゥムターニー県のパワナコーン工業団地に立地しているA社では、2011年10月17日に浸水が始まり、水が完全に引いたのは同年12月8日で排水に1カ月半を要した（東京大学生産技術研究所沖大幹研究室 2011）。タイのような高温多

図8 バンコク北側に位置する工業団地の水害地形

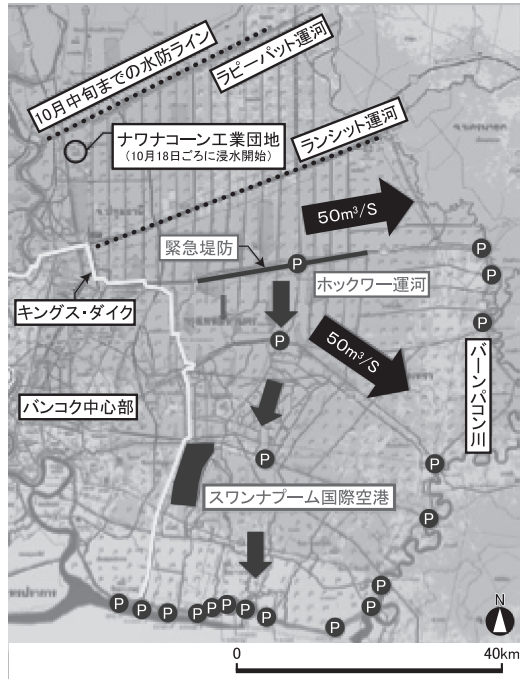


(出所) 大倉ほか (1989) に加筆。

湿の条件下、浸水した工場内に1カ月以上さらされた機材は修復不可能となり総入れ替えが必要となった。日本と比べ極端に長い浸水期間は、チャオプラヤー川のような緩流河川における洪水の特徴のひとつである。今回の被害がこれほどまで甚大となった原因のひとつは、水害に対してもともと脆弱な地域に対して行われた無秩序な開発であったとはいえ、本来なら市街地や工業団地等の新規開発は氾濫原の地形的特徴を考慮した計画的なゾーニングのもとに行われるべきであり、経済成長が著しいタイにおいては早急な土地利用計画の立案が求められる。

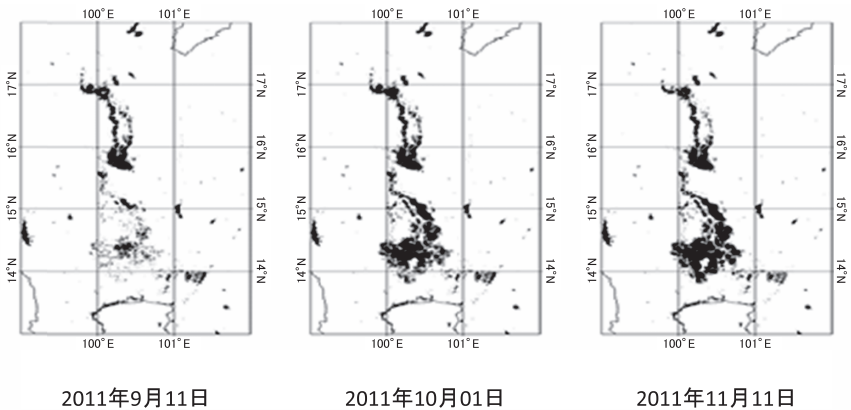
2011年洪水では、キングス・ダイクの外側において北から押し寄せる氾濫流に対して、東西にのびる用水路に沿って緊急堤防を設置し水を受け止め、用水路を用いて東側のバーンパコーン川へと誘導することが行われた(図9参照)。チャオプラヤー川のような緩流河川の場合、その氾濫流の流下速度は日本と異なり非常に遅く、到達までに十分なリードタイムを確保することができる。たとえば、今回の洪水では、アユッタヤー上流で9月上旬に破堤や水門の破損が発生し、そこから大量の洪水流が流れ出した(図10参照)。だが、約100km下流のバンコク首都圏に氾濫流が到達したのは10月上旬であり、到達までに約一カ月を要している。このリードタイムを生かし、今回の洪水では氾濫流の到達前

図9 2011年洪水での水防活動の概要



(出所) 中村 (2012)。

図10 2011年洪水における反乱流の流下過程



(出所) 澤田・沖一雄研究室 (東京大学)。

に緊急堤防の設置が完了していたが、水防活動が十分に機能しなかった。その理由は、今回の氾濫流が想定していた以上に膨大で、バーンパコン川へのポンプ排水が追いつかなかったこと、そして緊急堤防を挟んで上下流の住民が争いや反対運動を起し、緊急堤防の設置と維持が円滑に進まなかったことが挙げられる。このような住民による反対運動は流域全体でみられ、円滑な洪水管理に支障が生じた（中村ほか 2013；沖 2012a）。チャオプラヤー川下流域内にはこれまで洪水を許容できるエリアが点在することで流域全体の治水安全度が確保されていたものの、産業構造の変化に伴う洪水許容エリアでの新たな開発や居住スタイルの変化によって洪水許容エリアが減少し、流域の治水安全度は急激に低下しているといえる。

#### 第4節 日本の科学技術に基づくタイ、そして世界の水問題解決への研究支援

タイは、伝統的には主要産業が農業であることに加え、近年の工業セクターの発展や生活様式の変化などによる水需要の急増と相まって、水資源への依存度が高まっている。同時に、世界各地で解決が求められている典型的な水問題である洪水、干ばつ被害の増大、都市部地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下、主要河川の年流量の長期的な減少傾向、大規模貯水池の適切な運用の必要性、国際河川メコン川の支流におけるダム開発など、タイではこれらの課題を解決するための適切な水資源管理情報に対する社会的ニーズがきわめて大きくなっている。加えて将来の気候変動からの影響に対応するためには、現在顕在化している問題への取り組みを強化するだけでなく、長期的な視点を加味した適応策の立案・実施がきわめて重要となる。そして、その根拠となる気候変動による将来リスクを予測するためには、気候変動やそれに伴う水循環変動の長期モニタリングならびに水循環・水資源モデルの構築が不可欠である。

このような背景を受け、IMPAC-Tでは、タイとの共同研究で、的確な適応策の立案に資する将来の気候変動に伴う水循環変動とこれが水関連災害に与える影響の評価手法に関する研究開発に取り組んでいる（図11参照）。2011年後半に観測体制が整備され、得られた観測データを組み込んだ数値シミュレーション



図11 IMPAC-Tの概略（上）およびタイ日共同研究実施体制（下）



（出所） 沖大幹研究室（東京大学）。



を推進し、洪水予測の研究も行っていた。最終段階では、これらの成果をまとめた治水・利水計画の立案から数時間から数週間先の洪水・土砂災害予測警報にも利用可能な水循環・水資源管理情報の提供が可能となるシステムを開発する予定だった。しかし着手早々にタイを大洪水が襲ったため、タイ政府から大規模な洪水も含めたタイの水循環のシミュレーションをできるだけ早く示すよう IMPAC-T に要請され、計画を修正し対応することとなった。

洪水の被害が広がるなか、IMPAC-T では2011年10月中旬より日タイの専門家で断続的に現地調査を行い、広範な洪水の拡大の原因を探るとともに、被害状況の把握、そして水資源管理施設の運用状況の現地調査を実施した。2012年1月には、タイの洪水対策を担う水資源管理戦略委員会と JICA が「チャオプラヤー川流域統合水資源管理セミナー」を共催した。IMPAC-T からは、過去の貯水池操作の実績や2011年の状況をふまえ、2012年1～4月の乾季の間に例年の2～2.5倍の水を上流貯水池から放流し、洪水期の貯留用に容量を確保する試算を提案した。これによって2011年に工業団地を襲ったと考えられる約50億立方メートルを半減することが可能になる。この提案はタイ政府に採用され、ほぼ提案どおり例年の乾季の倍の量が放流され、5月には貯水量を45%に下げると設定された目標も達成された（沖 2012b）。

その後、2012年8月には、2011年チャオプラヤー川洪水に関する事後調査を行い、日本政府が緊急援助として準備を進めているチャオプラヤー川の治水マスタープランの見直しに向けた提言の基礎資料となる科学技術的知見を集約した。2013年5月にタイ国チェンマイで開催された第2回アジア・太平洋水サミット<sup>(4)</sup>では、タイ国を事例に水資源の有効な管理方法や水災害の軽減策のモデルの提示、政策実施を支援する水循環情報統合システムの構築を公開した。IMPAC-T で取り組んでいる治水や利水などの効果的な水管理を行うための水循環情報統合システムは、日本の最先端技術を基に開発した日タイ共同研究の成果である。当システムはノウハウを蓄積することによって他地域へ敷衍できるようになる。こうした手法を国際的に広げていくことが、国際的な課題に対して大いに貢献することになるだろう。

〔注〕 \_\_\_\_\_

- (1) 本章は、小森大輔（東北大学大学院工学研究科）が第1, 2, 4節、木口雅司（東京大学生産技術研究所）がはじめに、中村晋一郎（東京大学生産技術研究所）が第3節をそれぞれ分担執筆している。
- (2) 日本政府およびJICAでは昨年の洪水発生直後より、タイ側の支援要請に応えるとともに在タイ日本企業・日本人をはじめとする日本社会の期待・ニーズにも沿うべく、広範囲にわたり支援を行っている。緊急開発計画調査型技術協力「チャオプラヤー川流域洪水対策プロジェクト」は、中長期的洪水対策支援の中核をなすものとして、2011年12月より開始された。詳細は川端（2012）を参照されたい。
- (3) 堤防は原則として土より築造するが、土地利用の状況やその他の事情によりやむを得ない場合に築造される、コンクリート構造もしくはこれに準ずる構造の胸壁を有する特殊堤防。
- (4) アジア・太平洋水フォーラム（Asia-Pacific Water Forum）（事務局：日本水フォーラム）が主催し、アジア・太平洋地域各国の政府首脳や国際機関のリーダーが参加し、アジア・太平洋地域の水に関する諸問題について、幅広い視点から議論を行う国際会議。

## 〔参考文献〕

### <日本語文献>

- 沖大幹 2012a. 『水危機ほんとうの話』新潮選書 新潮社。
- 沖大幹 2012b. 「チャオプラヤ川における2011年の大洪水とタイの水害」『予防時報』（250）8月 18-23。
- 大倉博・春山成子・大矢雅彦 1989. 『衛星リモートセンシングによるタイ中央平原の水害地形分類 付 タイ中央平原水害地界分類図』研究速報 第83号 国立防災科学技術センター。
- 川崎昭如・小森大輔・中村晋一郎・木口雅司・西島亜佐子・沖一雄・沖大幹 2012. 「2011年タイ洪水における緊急災害対応：政府機関の組織間連携と情報共有に着目して」『地域安全学会論文集』（17）1-4。
- 川端智之 2012. タイ政府による洪水対策と日本政府/JICAの支援『所報』（盤谷日本人商工会議所）（604）8月 1-8。
- 木口雅司・中村晋一郎・小森大輔・沖大幹 2012. 「2011年タイ・チャオプラヤ川における洪水被害」『ARDEC』（46）3月 29-33。
- 経済産業省 2012. 『通商白書2012』経済産業省。
- 国際協力事業団 1989. 『タイ国チャオピア川流域水管理システムおよび監視計画実施調査』国際協力事業団。
- 小森大輔・木口雅司・中村晋一郎 2012. 「2011年タイ国チャオプラヤ川大洪水の実態および課題と対策」『河川』68（1）1月 18-25。
- 小森大輔 2012. 「2011年タイ国チャオプラヤ川大洪水はなぜ起こったか」『所報』（盤谷日本人商工会議所）（598）2月 2-10。
- 田中總太郎・田中修三・高崎健二 2011. 「衛星画像で見る2011年タイ洪水」『地理』57（1）1月 20-27。
- 中村晋一郎 2012. 「郊外開発が生んだ『想定外』の水害」『日経コンストラクション』（535）1月9日 68-73。

- 中村晋一郎・小森大輔・木口雅司・西島亜佐子・山崎大・鈴木聡・Fernandez, Jeanne・梯滋郎・Mateo, Cherry・岡根谷実里・恒川貴弘・湯谷啓明・川崎昭如・沖一雄・沖大幹 2013. 「2011年タイ王国チャオプラヤ川洪水における水文及び氾濫の状況」『水文・水資源学会誌』印刷中.
- 西島亜佐子・中村晋一郎・小森大輔・木口雅司・Fernandez, Jeanne・梯滋郎・Mateo, Cherry・岡根谷実里・恒川貴弘・湯谷啓明・川崎昭如・沖一雄・乃田啓吾・飛野智宏・Chamindam, G. G. Tushara・片山浩之・沖大幹 2012. 「2011年タイ王国チャオプラヤ川大洪水の氾濫流の流下に着目した水質調査」『水環境学会誌』35(11) 187-195.
- 春山成子 1994. 『モンスーンアジアデルタの地形と農地防災』文化書房博文社.
- 吉川勝秀・本永良樹 2006. 「低平地緩流河川流域の治水に関する事後評価的考察」『水文・水資源学会誌』19(4) 267-279.

<外国語文献>

- Komori, Daisuke, Shinichirou Nakamura, Masashi Kiguchi, Asako Nishijima, Dai Yamazaki, Satoshi Suzuki, Akiyuki Kawasaki, Kazuo Oki, and Taikan Oki 2012. “Characteristics of the 2011 Chao Phraya River Flood in Central Thailand,” *Hydrological Research Letters*, (6) May: 41-46.
- Daisuke Komori, Cherry May Mateo, Akane Saya, Shinichiro Nakamura, Masashi Kiguchi, Phongchai Klinkhachorn, Thada Sukhaphunnaphan, Adisorn Champathong, Kimio Takeya, and Taikan Oki 2013. “Application of the Probability Evaluation for the Seasonal Reservoir Operation on Flood Mitigation and Water Supply in the Chao Phraya River Watershed, Thailand,” *Journal of Disaster Research*, 8 (3) May: 432-446.

<ウェブサイト>

- 気象庁 2012. 「世界の[2011]年の天候」([http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/annual/annual\\_2011.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/annual/annual_2011.html)).
- 東京大学生産技術研究所沖研究室 2011. 「2011年タイ洪水関連情報11月」(<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Mulabo/news/2011/ThaiFlood2011.html>).
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) 2013. “EM-DAT The International Disaster Database,” January (<http://www.emdat.be/>).

## 補論 チャオプラヤー川流域洪水予測システム

布村 明彦

### 1. チャオプラヤー川流域洪水予測システムとは

チャオプラヤー川流域洪水予測システムは、2011年のタイ大洪水をふまえ同年12月にタイ政府から要請された「チャオプラヤー川流域洪水対策プロジェクト」の一環として、人々により正確な洪水の情報を伝えることで被害の軽減を図ることを目的に、JICA が構築した情報提供システムである。翌年7月に着手し、JICA の要請を受けた(財)河川情報センター (FRICS) が、タイ政府の灌漑局 (RID) と水資源局 (DWR) と協力して、開発・整備等を行ってきた。

2012年9月からタイ政府関係者や多くの在タイ日系企業も含むモニター向けの試験運用を開始しており、首相をはじめタイ政府首脳からは高い評価と期待をいただいている。その後、さらに精度や機能の向上を図り、2013年9月からタイ政府独自の情報として一般向けの情報提供サービスが始まる予定である。

ここでは、本システムによる洪水予測情報を効果的に活用していただくために、システムの使い方の説明を中心に解説する。なお、2013年9月からのタイ政府による情報提供においては、タイ政府の考えによる若干の変更がある可能性がある。

### 2. システム各画面の操作と見方

#### ① システムのトップ画面 (<http://floodinfo.rid.go.th/>)

システムの入口は図1のようになっており、タイ語版と英語版を切り替えることができる。iPad などでの使用を考えた設計としており、シンプルでわかりやすい表示としている。マニュアルレスで操作できるものとしているが、ヘル

ブ画面で使い方を確認していただくこともできる。2013年9月のタイ政府による情報提供サービス開始までは、自己責任による使用を前提としたモニターに登録していただければ、簡単に利用することができる。(問い合わせ先: thai-fri@river.or.jp)

図1 トップ画面の構成



(出所) 筆者作成。

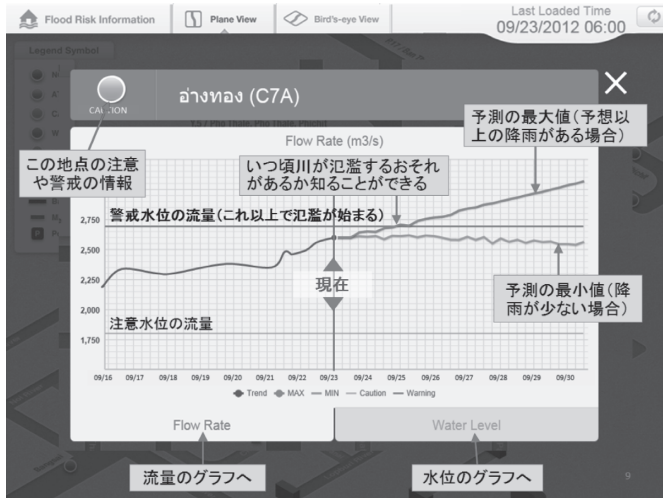
## ② 水位・流量予測情報

チャオプラヤー川流域における主要な川の水位と流量の予測情報は、図2から5までの画面で見ることができる。図2, 3の平面図の地点ボタンの色は、現在の各地点の水位・流量がどの段階にきているかを表している。このボタンをクリックすると流量の値が表示され、さらにクリックすると図4, 5のように水位や流量の過去からの変化と今後の予測をグラフで見ることができる。

これらにより、近くのチャオプラヤー川や主要支川がどの程度の水位・流量になってきているか、また過去からの変化を見ると急激な水位上昇なのかゆっくりとした上昇なのかなどがわかる。なお、横線はタイ政府が定めた河川の警戒水位(赤)と注意水位(黄)であり、赤線を越えると川の能力を超え水があふれ氾濫することになる。



図4 河川流量の過去・現在・今後の予測のグラフ



(出所) 筆者作成。

図5 河川水位の過去・現在・今後の予測のグラフ



(出所) 筆者作成。



今後の予測については、最大と最小という幅をもった予測となっている。これは、システムが自然現象の予測を含んでおり、特に気象予測による今後の降雨は必ずしも予測通りになるとは限らず、災害に対する備えを間違わないように、過去の予測状況を勘案して多いときと少ないときというように幅を持った予測値を表示している。日本でも、台風の進路と規模についての幅を持った予測や降雨確率など、自然現象に関わる予測はかなりの確度を持つものとなってきたているが、確実な予測ができるわけではない。それでも、おおよそこのようになりそうだという情報は、被害軽減等のために貴重な情報となっている。

図4、5のグラフは、図にも記述してあるように、今後どのくらいの余裕時間があるかを知ることができる。前述のように、自然現象の予測を含んでおり、早ければこのくらいの時間で川が氾濫する、遅ければこのくらいで川が氾濫するというように、リスクの状況を類推し、判断・行動の参考にすることができる。

### ③ 浸水区域の予測情報

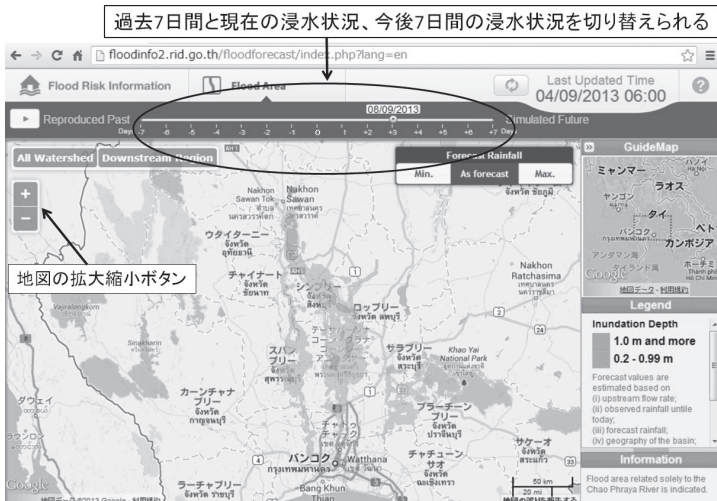
浸水区域の予測情報は、Google マップに表示されるようになっている。過去7日間と現在の浸水状況を示すとともに、今後7日間の浸水のおそれがある区域を表示する。浸水深0.2メートルから1メートル未満のおそれがある区域を薄青色で表示し、浸水深1メートル以上のおそれがある区域を濃い青色で表示している。

2011年の洪水ではどのあたりがどの程度浸水しているかなどの現況情報が十分でなかったが、このシステムによってかなり正確に知ることができるようになる。また、予測については、自然現象の予測でありおおよその状況としてとらえる必要があるが、今後どのあたりが浸水の危険性が高まるか、浸水の方向やスピードなど、どのように浸水区域が拡大していくかなど、災害への備えや緊急行動の判断に貴重な情報を提供するものとなると思われる。

本予測システムはマクロに浸水のおそれのある地域を知ろうとするもので、シミュレーションの計算も約1キロメートル四方を1メッシュとして行っている。したがって、この浸水区域予測図を拡大して数十メートル単位の予測状況を知ろうとするのは無理があり、大きな誤解を招くおそれもある。あくまでも、マクロな状況として浸水が迫ってきているのか、今後そのようなおそれがある

のかなどを知ることには使用していただきたい。また、いつ頃水が引きそうかを知ることなどにも活用することができる。

図6 浸水区域予測図



(出所) 筆者作成。

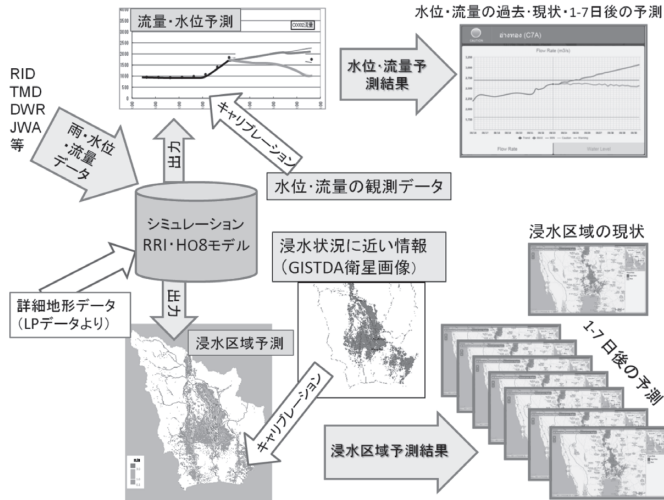
なお、数十メートル単位などの個別地域の浸水状況の予測については、実際に堤防が切れたり川があふれ始めた後の情報を入力することで、氾濫流の挙動をシミュレーションし、局所的な浸水予測を行うリアルタイムハザードマップ等があり、タイ政府には今後の対策として提案している。

### 3. システム構成と精度

システムの構成は図7のとおりである。各機関の降雨・水位・流量観測データと、気象予測データを入力し、RIDに設置したサーバでシミュレーション計算し、計算結果をより正確にするために実際に観測された河川水位・流量やGISTDA衛星画像による浸水情報により随時補正（キャリブレーション）し、さらに一般の方にもわかりやすい表示にして、インターネットで提供するものとなっている。

本予測システムは、マクロ的におおよそこのあたりの地域が洪水氾濫や浸水

図7 洪水予測システムの仕組み



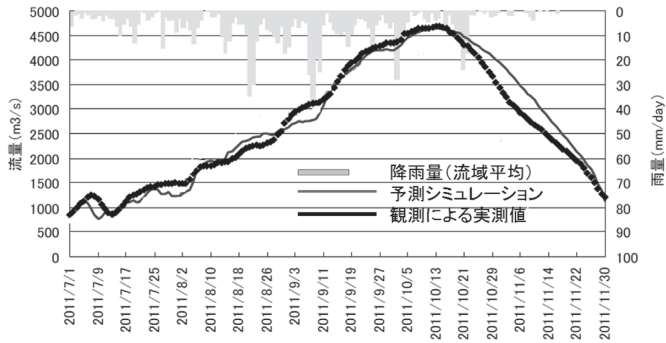
（出所） 筆者作成。

のおそれがあるということを示すもので、個別の地域を局所的に見る目的のものではない。それでも、被災回避のための判断・行動に活用できる一定の精度は保持している必要がある。本システムの場合、精度は、雨量や水位等の観測の誤差、気象予測の誤差、地形の誤差、シミュレーションモデルの誤差などにより左右されるが、JICAが行ったレーザープロファイラ（LP）による地形データの整備と、前述した実際の観測値とのキャリブレーションシステムを組み合わせることによって、実用に耐える精度を持つことができたと思われる。

図8は、2011年洪水におけるナコンサワン地点流量であり、本システムによる予測シミュレーション値と実測値とは、かなり適合している。また、図9は2012年9月に本システムを稼働させ実際に予測してみた値と、後日結果として観測された値とをプロットしたものであり、予測幅の中に実測値がほぼ収まっているのがわかる。

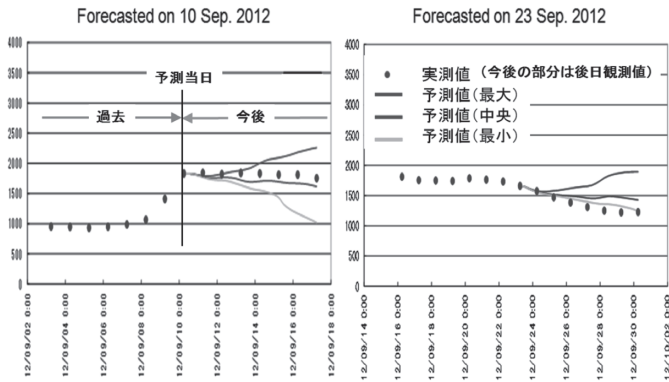
また、浸水区域の予測については、図10のようにひとつの実測値であるGISTDA衛星画像とほぼ同様のシミュレーション結果となっており、必要な精度をもっていると思われる。

図8 2011年大洪水における予測値と実測値の関係（ナコンサワン地点流量）



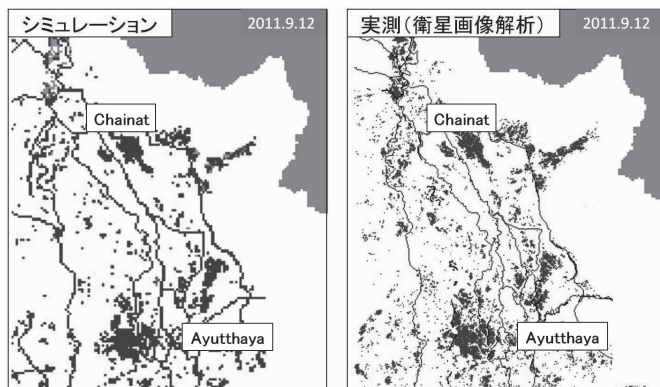
(出所) 筆者作成。

図9 2012年洪水における予測値とその後の実測値（ナコンサワン地点流量）



(出所) 筆者作成。

図10 浸水区域の予測シミュレーションと実測との比較



(出所) 筆者作成。

#### 4. おわりに

予測情報はあくまで予測であり必ずしもそのとおりにならないものであるが、情報により人々の判断・行動が左右されるので、情報が持つ精度に合った活用がなされることがとても重要である。2013年8月頃からタイ政府の情報として提供される予定であり、タイ政府では情報の精度と行政責任のあり方、効果的な活用の仕方とそのための広報などについての議論が、我々も協力して展開されている。こうした広報等の動きにも注意していただく必要がある。

またタイ政府では、各機関の情報の統合体制が重要であると認識して統合情報サイトを設けており、この日本語ページも JICA/FRICS の協力で作成されているので、参考にしていただくことができる (<http://www.thaiwater.net/web/>)。

本システムのような浸水区域の予測地図情報は、世界的にも先駆的なものである。本システムを支えるプログラムには、日本独自開発の RRI モデルや Common MP システム、日タイ共同で進めている IMPAC-T 研究の成果が活用されているが、いずれも日本国内にしか適応できないものではなくタイの地形や気象等に適合したものであり、他のアジアの国々からの関心も高い。この場を借りて、関係各機関のこれまでのご努力と本システム開発におけるご協力に感謝申し上げます。