

第 3 章 水文水理モデルの構築

3.1 カンボジア氾濫原の水文水理モデルの開発

3.1.1 背景

WUP-JICA 調査開始時点において、観測データの検証や水文モニタリングと並行して水文水理現象の解明等のために、水文水理モデルが必要であることが認識された。同時に実施される WUP-A および WUP-FIN といったプロジェクトとの重複を心配する MRCS と度重なる調整の結果、WUP-JICA 調査団は近年終了した MRCS のプロジェクトで開発された水文水理モデルを引き継ぎ、これを発展させることで MRCS の理解が得られた。

3.1.2 モデルの開発過程

(1) チャトムックプロジェクト

チャトムックプロジェクトは、1999 年から 2000 年にかけて MRCS のプロジェクトの一つとして実施されたもので、日本支援のプロジェクトでもある。チャトムックプロジェクトの一貫として MIKE11 を用いたモデルがメコン - トンレサップ - バサック水系に適用された。このモデルの目的は、チャトムック地区に構築される詳細な 2 次元河床変動モデル(MIKE21C)に境界条件を与えることであった。このプロジェクトでは、2 次元河床変動モデルが主たるモデリングツールであり、MIKE11 のモデルはそれを補完するデータ提供の目的を持ったモデルであった。

MIKE11 モデルは、メコン河本川のクラティエ地点を上流端として、ベトナムのタンチャウ(メコン河)、チャウドク(バサック河)を下流端として開発されている。これらベトナムの 2 観測所はカンボジアとの国境の下流近くに位置している。このモデルは、トンレサップと簡易にモデル化した大湖を含んでいる。こうしたモデルの範囲を設定した理由は、(a)チャトムック地区の観測所には当時長期にわたる水位記録と流量記録が無かった、(b)こうした広い区域をカバーしておけば、チャトムック地区において提案するさまざまな対策工等による水理的な影響が及ばないためである。

(2) WUP-JICA 調査

WUP-JICA 調査における水文水理モデルは、主要河川のモデル構築といったいくつかのモデル要素を、チャトムックプロジェクトのモデルから引き継いでいる。しかし、こうした従来のモデルに、本調査で明らかにすべき課題への取り組みに沿ってさまざまな追加ならびに修正を加えている。こうしたモデル改良は、新たなデータ取得に対応した継続的な作業として随時行った。

WUP-JICA 調査におけるモデル構築の主たる目的は次のとおりである。

- (a) カンボジアにおけるメコン河の流況を解析する。これには、欠測補填、流況解析、水

収支解析ならびに下流への流量予測が含まれる。

- (b) 主要観測所における月平均流況の調査やトンレサップにおける自然逆流量など、水利用規則策定に対する技術的支援を行う。

こうした目的を満足するためには、モデルが乾季雨季併せた年間を通してのシミュレーションが可能で、カンボジアにおける大湖を含めたメコン・トンレサップ・バサックの河川水系全体を高い精度で水理的状況を再現できることが要求される。このためチャトムックプロジェクトで開発したモデルを見直し、河川網、橋梁群、氾濫原および大湖のモデル化に改良を加えた。さらに、大湖流域の支川における流量観測結果から降雨流出モデルを同定し、全体の降雨流出モデルの精度も向上させた。モデルはこのような改良作業を経て、過去の著名な渇水年1998年および洪水年2000年を含めたモデルの同定を行い、年間を通してのシミュレーションが可能となった。

モデルは、前述のように1998年から2001年のデータを用いて同定した。WUP-JICA調査団とTSLVプロジェクトの共同観測により得られた、近年における最も精度の高いデータといえる2002年の水文データで検証した。

(3) トンレサップ湖周辺(TSLV)プロジェクトとの関係

WUP-JICA調査と並行して、日本支援の「水文気象データの観測強化とトンレサップ湖とその周辺地域の多面的水文機能」というタイトルのプロジェクトがMRCで実施された。このプロジェクトは短縮して「トンレサップ湖および周辺プロジェクト」(TSLVプロジェクト)と呼ばれている。

TSLVプロジェクトの主たる目的は、カンボジアの氾濫原の情報収集と機能面の解析である。このプロジェクトでは、氾濫原における洪水の貯留と流出、氾濫原の各区画および河川と氾濫原の間に生じる流水の移動等の動態を定量的に表すことが期待された。直接的な成果は、氾濫原と河道における水収支の評価であった。

このTSLVプロジェクトの最終目標は、基礎的なデータの収集、データ解析さらに水理モデルの構築によって達成される。データ収集には、氾濫原の主要支川においてプロペラ流速計やADCPを用いた流量観測のみならず氾濫原に配置した20カ所の水位計の観測も含んでいる。衛星画像は2002年7月から2003年の1月まで、3から4週の間隔で、合計9回分入手した。これにより氾濫開始から終焉に至るプロセスを把握することができた。

TSLVプロジェクトの実質的な部分は水文水理モデルの構築であり、その目的は、氾濫流の移動や氾濫原自体の貯留量の変化等、氾濫原の水理動態を明らかにするとともに、氾濫原の水収支を評価することである。WUP-JICA調査で開発されたMIKE11モデルは、こうしたTSLVプロジェクトに用いられ、氾濫原のモデル化や河川と氾濫原との接合部が改良された。

このようにTSLVプロジェクトとWUP-JICA調査は並走しながら、両者でモデル改良を行っていった。したがって現在の水文水理モデルは、両者の総合成果である。

3.1.3 降雨流出モデル

カンボジアのメコン - バサック - トンレサップ水系における年流況の主要部分は、上流から流下してくる流量である。しかし、カンボジア領内に降った降雨も、モンスーンの開始と終焉期の流出量の中では、無視し得ない部分を占めている。いっぽうモンスーン最盛期には、こうした降雨はメコン河の流出量に比して無視し得る規模であろう。しかし、この地域的な降雨流出は、主要支川の洪水防御や管理面において重要な因子となる。

こうしたことを考え合わせると、カンボジアの主要河川・湖の水系の水文的なモデル描写に降雨流出を含めることは重要であることが分かる。降雨の寄与は大きく二つに分かれる；一つは広域水面等(湛水した氾濫原、河道、大湖の湖面等)への直接降雨であり、もう一つは主要支川からの流出である。前者は容易に降雨量から流出量に換算できるが、後者はそれに比して困難である。何故なら、長期間の観測流量データないし流域の物理的特性を一般化した既存の降雨流出モデルを必要とする。

カンボジアにおける有用な降雨および流量データは、最近まで極めて限られていた。2000年以降の降雨観測網の整備によって、雨量データは質・量ともに格段に向上した。同時に、メコン河委員会技術支援部(TSD-MRCS)による 2001 年の大湖流域の主要支川における流量観測は、当地域の水文分野に対し新たな価値ある情報を蓄積した。この結果、1960年代に作成して以来ほぼ 40 年を経て、支川における水位流量曲線の作成および降雨流出モデルの同定が可能となった。

(1) モデルの概念および流域分割

MIKE11 は、さまざまなタイプの降雨流出モデルを内蔵している。その中でカンボジアの氾濫原に最も適しているのは NAM モデルである。NAM モデルは、連続性のあるシミュレーションのための集合的概念モデルといえるものである。概念モデルとは、水文循環をモデルの中では相互に連結した貯水池群で概念的に表現している点からそう呼ばれている。集合的というのは、流域という広がりを持つ対象の物理特性を、数少ない特性値やパラメータで表現しようとするものである。さらに連続性のあるシミュレーションとは、地表面と地下水帯水層の連続性を保ちながら解析する事を意味している。

NAM モデルへの入力、雨量時系列、蒸発量および多くのモデル・パラメータである。いっぽう出力は、表面流出・中間流出および地下水流出の各成分から成る流量時系列、および降雨から蒸発量を除いた降雨時系列である。この降雨時系列は、MIKE11 モデルにおいて水で覆われた区域に直接的に適用される。

クラティエから下流ベトナム国境までの流域は多くの小流域に分割され、それら小流域の物理的特性をモデルは反映している。この流域分割には、MRCS の空間データベース、JICA による 10 万分の 1 地形図、および 1963-64 年に実施されたフランスの調査結果が活用された。

図 3-1 および表 3-1 は、小流域分割ならびに排水面積を整理したものである。

表3-1 降雨流出モデルのための小流域分割

Sub-catchment	Catchment Area (km ²)	Sub-catchment	Catchment Area (km ²)
Stung Chinit	8,236	Stung Dauntri	3,695
Stung Sen	16,359	Stung Pursat	5,965
Stung Staung	4,357	Stung Boribo	7,153
Stung Chikreng	2,714	Prek Thnoat	6,123
Stung Seam Reap	3,619	Siem Bok	4,425
Stung Sreng	9,986	Stung Chhlong	5,957
Stung Sisophon	4,310	Delta	13,822
Stung Mongkol Borey	10,656	Lake (dry season)	2,887
Stung Sangker	6,052		

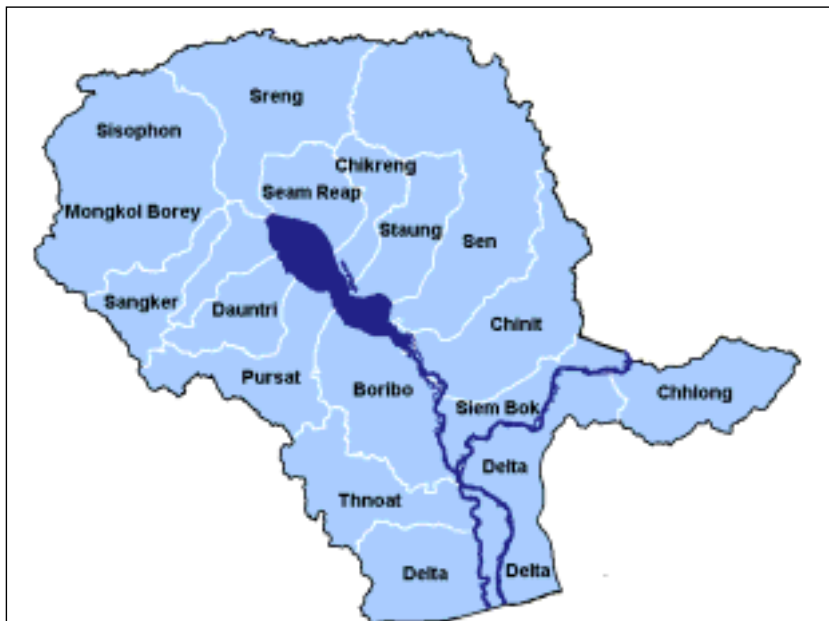


図 3-1 降雨流出モデルのための小流域分割

(2) 大湖における流出解析

小流域における流出量は、(a)水位流量曲線の作成、(b)MRCS から水文データ収集、(c)1998年から2001年までの観測水位の信頼性の評価を経て、算出した。この過程の中で、降雨流出モデルの同定に関してどの流域と期間が適しているかが明らかとなった。

流量データの質および観測期間から見ると、最適な観測所はスタン・チニットである。さらにスタン・スレン、スタン・シソフォン、スタン・モンコール等も期間的には問題はないが、大湖の背水の影響を受けるため、その参照すべき観測所であるバック・ブレア観測所の水位記録に問題がある。バック・ブレア観測所のデータは1999年から2000年のみである。若干精度に問題があるが、さらにスタン・ポリボの水位と流量データも同定に用いた。他の観測所は、変動幅が大きな異常値を含んでおり、データの信頼性は低い。次表は、本調査における水位流量曲線の作成に関するまとめである。

表 3-2 大湖に流入する小流域と代表水位観測所

Sub-Catchment Name (Stung)	Monitoring station		Backwater Effects	Reference Station
	Name	Drainage Area (km ²)		
Chinit	Kompong Thmar	4,130	None	-
Sen	Kompong Thom	14,000	Prevailing	Panha Chi
Staung	Kompong Chen	1,895	None	-
Chikreng	Kompong Kdey	1,920	None	-
Seam Reap	Untac Bridge	670	None	-
Sreng	Kralanh	8,175	Prevailing	Bac Prea
Sisophon	Sisophon	4,310	Prevailing	Bac Prea
Mongkol Borey	Mongkol Borey	4,170	Prevailing	Bac Prea
Sangker	Battambang	3,230	Prevailing	Bac Prea
Dauntri	Maung	835	None	-
Pursat	Bak Trakoun	4,480	None	-
Boribo	Boribo	869	None	-

(3) 降雨流出モデルの同定

水位流量曲線を作成し、降雨流出モデルの同定を直接的に行うための基礎データとして、流量観測した流量データとともに、この曲線を用いて水位から流量を換算した。しかし、こうしたデータは、小流域ごとに質・量ともに大いに異なっている。したがって、より精度の高いデータを有している小流域で同定されたモデルパラメータを近傍流域に適用する方法を、ここでは採用した。こうした方法もかなりの不確実さを内包しているが、最も確実性の高い方法と考えたからである。

最もデータの揃った流域は、図 3-2,3 に示すスタン・チニットとスタン・ボリボである。両流域ともに低水流量と洪水流量の差は極めて大である。スタン・ボリボの減衰部はスタン・チニットのそれよりも短く急である。モンスーン期のピーク流量は、集水域からの直接流出が卓越因子であり、これら両流域に見られるが、とくにスタン・ボリボで顕著である。いっぽうスタン・チニットは、直接流出と基底流出の中間に位置するような流出が大きな部分を占めている。これは地表面近くで発生する中間流出である。

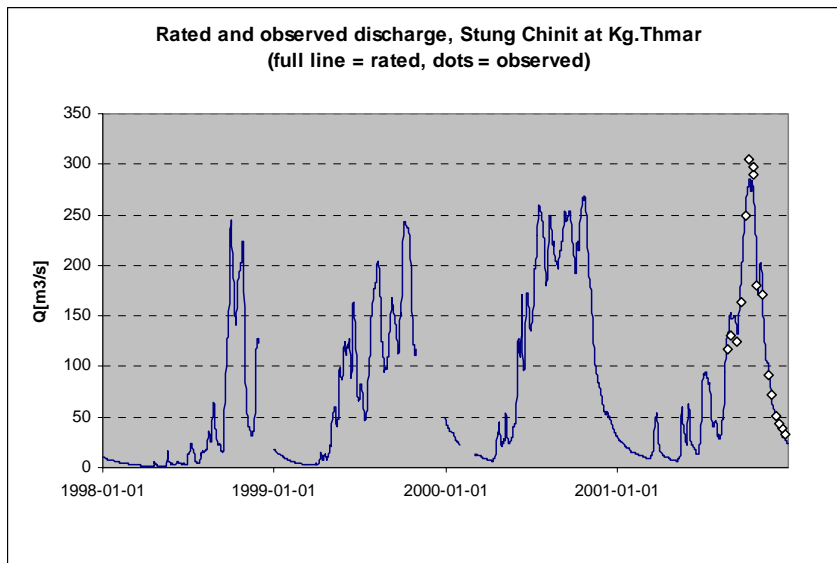


図3-2 実測流量と流量ハイドログラフ(Kg. Thmar地点Stung Chinit流域)

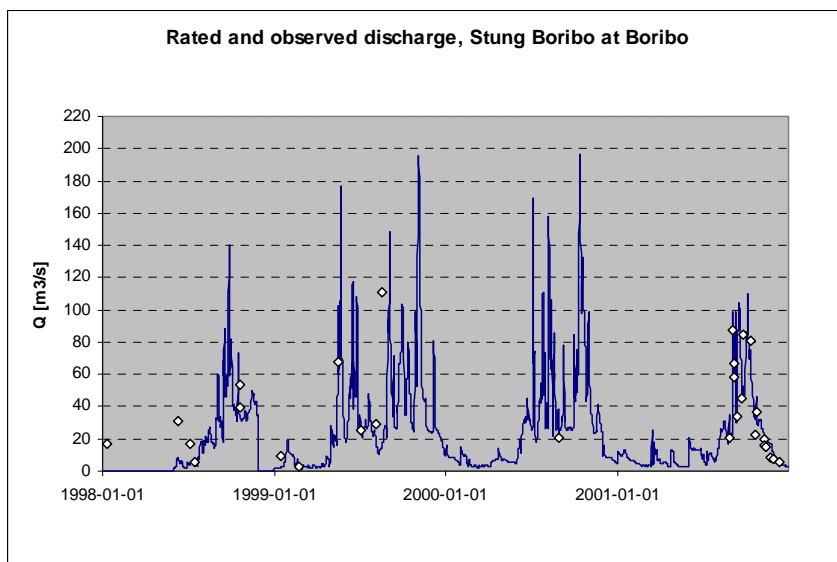


図3-3 実測流量と流量ハイドログラフ(Boribo地点Stung Boribo流域)

モデルの同定作業の概略を記せば次のようである。

1) 降雨

流域に対して適した雨量観測所を選定したのち、単純平均により流域平均雨量を算出した。これは、雨量観測網の不均一な配置と雨量データにおける誤差等の問題から、観測所毎の技術的な重み付け等による流域平均雨量の算定は行わなかった。

対象流域のシミュレーションに用いる雨量観測所は、理想的には流域内に位置しているのが望ましい。しかし有用なデータの不足のため、近傍流域の雨量観測所のデータも使用する必要があった。

2) 蒸発

日蒸発量の月平均値をすべての流域に適用した。

3) モデルのパラメータ

流量ハイドログラフの評価に基づいて、モデルパラメータの初期値を設定し、計算値と観測値との適合度を見ながらパラメータの調整を行った。

MIKE11 の NAM モデルは、それぞれの小流域ごとに設定する。これらは降雨量、蒸発量ならびにモデルパラメータである。モデルの良好な適合度を得るためのパラメータの試算によって、スタン・チニットとスタン・ボリボ流域のモデルが、1998 年から 2001 年のデータをもとに同定された。この結果を図 3-4,5 に示す。

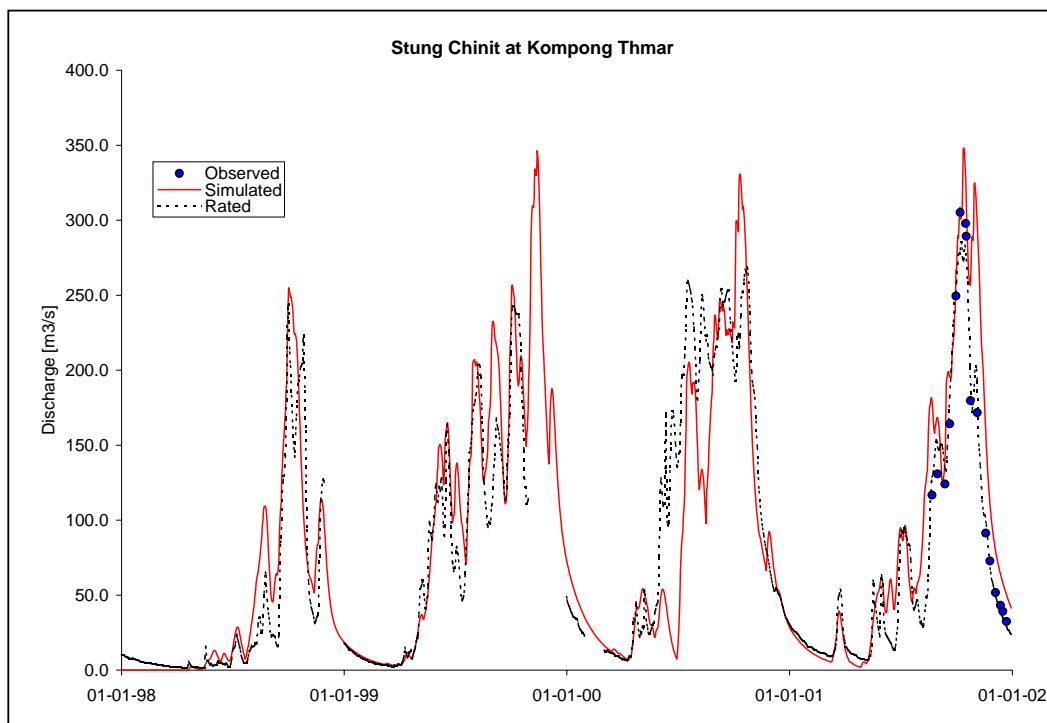


図 3-4 実測・換算・計算による流量ハイドログラフの比較(Kg. Thmar 地点、Stung Chinit 流域)

上図は、スタン・チニットの 1998 年から 2001 年までの実測値、水位流量曲線を用いた水位データからの換算値および計算値をそれぞれ示している。一般に、これら三者は、ピーク流量・ベースフローおよび減水部において、良好な適合状況にある。モンスーン期のいくつかのピーク部については、うまく適合していない箇所もある。こうした原因は、雨量観測所が限られていること、さらには水位流量曲線ならびに換算した流量の精度である。しかし、概して 2001 年の観測値に対してピーク部、減水部そしてモンスーン期間が良好に表されている。

こうしたスタン・チニットの同定作業は、大湖の支川流域の降雨流出モデルとして、NAM モデルが高い適合性を持っていることを示している。さらに雨量観測所の数が比較的少なくとも、合理的な範囲で流出を再現できることも示している。

大湖南岸の小流域は、北岸流域に比して水位および流量の変動が大きい。これは流域の地形的特徴と降雨の特性によるものであろう。

スタン・ポリボの同定結果を図 3-5 に示す。観測された流量パターンは、モデルによって良好に再現されていることが分かる。2001 年のピーク流量および減水部は、ともに良好に再現されている。他の期間については、減水部の適合度が若干悪いようである。この理由として、水位流量曲線から換算した流量の精度に問題があると考えられる。しかし、こうしたスタン・ポリボの同定結果は、大湖南岸流域の水文特性をモデルにより再現できることを示している。

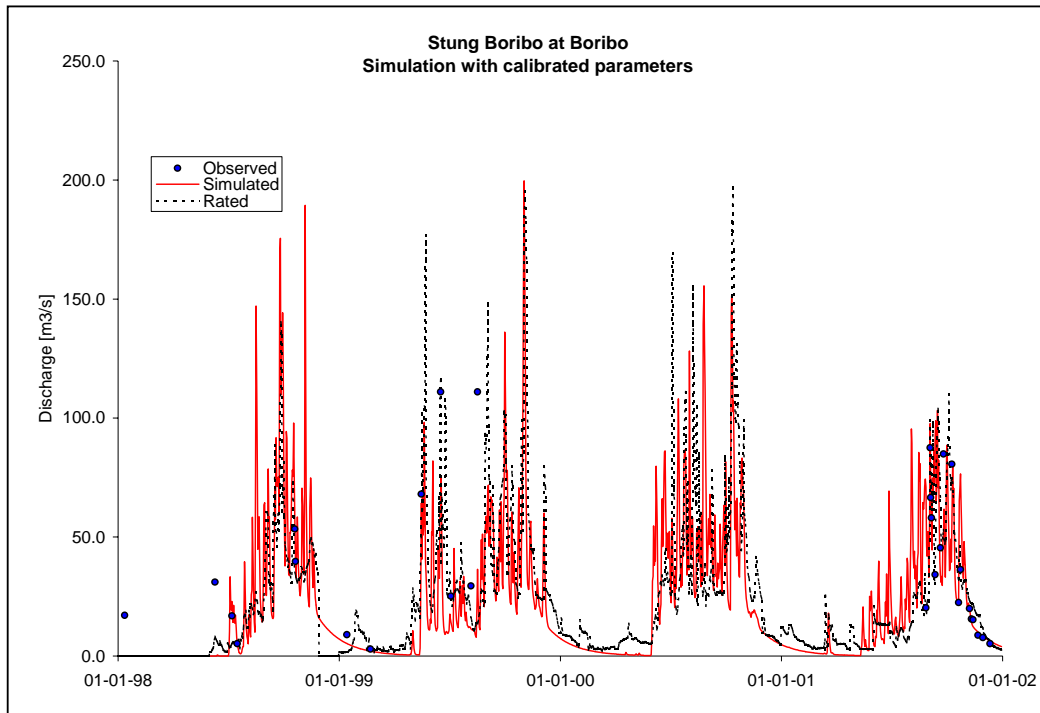


図 3-5 実測・換算・計算による流量ハイドログラフの比較(Boribo 地点、Stung Boribo 流域)

(4) 降雨流出モデルの同定および適用に関する留意点

大湖流域における降雨流出モデルの同定は、提案した NAM モデルが十分な再現性を有していることを明らかにした。大湖流域は南岸と北岸では流出の特性が異なることが分かった。さらに湖の北岸と南岸の範囲内では、近傍流域に同定したモデルパラメータを適用可能なことも分かった。この際には、より詳細なモデルの同定によって、それぞれの流域のパラメータはわずかに異なってくる。全体的な降雨流出モデルの検証を行うためには、継続的な流量観測が必要であり、モデル同定作業の改善には、雨量観測所の増設と観測精度の向上が不可欠である。

カンダル、プレイベン、コンボンチャムの各州における流域では流量観測が実施されていない。緩やかな流域地形を考慮すると、これらの流域は大湖北岸の流域に類似している。それゆえ、これらの流域のパラメータは、北岸流域に近いものとなるだろう。

3.1.4 水理モデル

WUP-JICA 調査は、チャトムック・プロジェクトよりモデル開発を引き継いだ。チャトムック・プロジェクトのモデルは、簡略化されたものであるため、河川と氾濫原の接続ならびに氾濫原自体のモデルの改良が必要であった。

(1) 地形および構造物データ

地形データ

モデルは、クラティエからベトナムのタンチャオおよびチャオドクまでのメコン - バサック - トンレサップ水系および大湖をカバーし、河川と氾濫原から構成される。

地形に関するデータは、その作成時期と精度が異なる。以下のデータは、モデル構築に用いたものである。

- メコン河、トンレサップおよびバサック河：カンボジア水路部(CHO)調査成果(1998 年)
- 大湖：CHO 調査成果(水域、1999 年)、フィリピン作成地形図(氾濫原、1963 年)
- その他の氾濫原：ソクレア(Sogrea)作成地図(1963 年)

大湖の地形に関しては、CHO の水路図とフィリピン支援の地形図を合わせることによって、全体の地形を構成することができる。両者は、ベトナムのハティエンをとともに基準面としており、氾濫原から湖底への地形は滑らかに接続されており、データの一貫性に問題はない。合成したデータは、地形情報の抽出とともに、南東 - 北西方向に 2km ピッチで湖底 - 氾濫原の横断面図を作成した。

さらに水位 - 面積 - 容量関係を作成し、この結果を図 3-6 に示す。この南限はコンポンチュナンである。

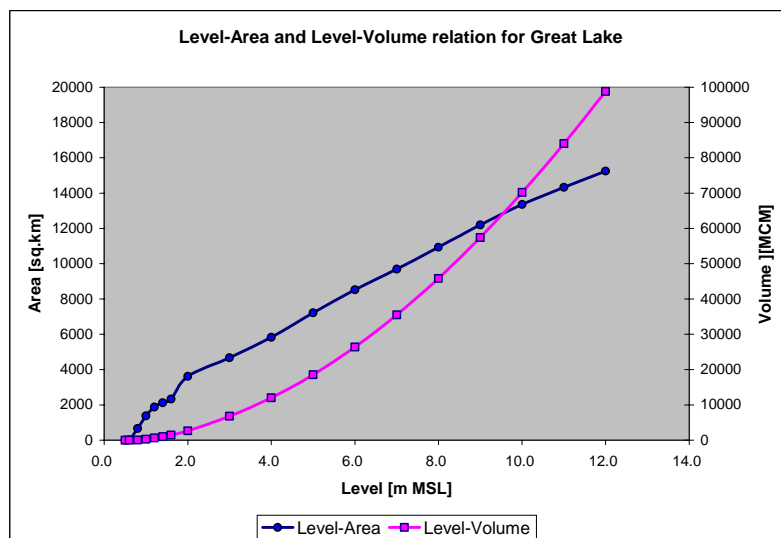


図 3-6 大湖の水位-面積-容量関係

氾濫原の地形に関して、さまざまなデータソースからの等高線を比較の目的で示したものが図 3-7 である。メコン河、トンレサップ、バサック河に沿った氾濫原では、ソクレアのデータが最も信頼性が高い。このデータから、100m 四方のグリッドによるデジタル標高モデル(DEM, Digital Elevation Model)を作成した。この DEM に加えて、公共事業運輸省(MPWT, Ministry of Public Works and Transport)と JICA が作成した地形図は、道路の盛土位置、関連する湿地の区域、自然堤防の広がり等、氾濫原情報を得るために活用した。

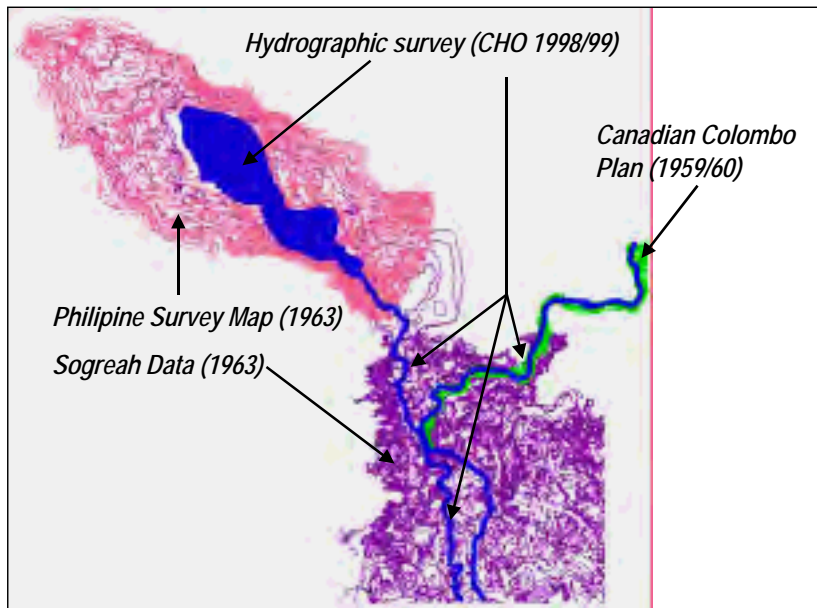


図 3-7 氾濫原モデル作成に有用な地形情報

構造物に関する情報

主要河川を横断している橋梁は、コンボンチャムのきずな橋、トンレサップのチュルイチャンワー橋、そしてバサック河のモニボン橋である。一般に、橋脚付近の流速と上流部の堰上げによる水位上昇といった影響は、橋脚地点での河積の縮減に伴って引き起こされる。しかしこれら主要河川の橋梁では、洪水流が河道内に押し込められて流下しているため、氾濫原の橋梁のような洪水流下のコントロール・ポイントとしての役割は有していない。いっぽう、氾濫原の橋梁は、広大な氾濫原間の氾濫流の出入り口としての役割を果たしている。こうした観点から、主要河川の橋梁はモデルの中に組み込んでいない。

モデルの中で橋梁は、単独に取り扱うものと他と併せて一括してモデル化したものとの両者がある。氾濫原の中で流量の重要なコントロール・ポイントとなる橋梁は単独に設定した。なお、こうしたコントロール・ポイントでの流量は、2001 年から 2002 年の 2 年間のモンスーン期に TSLV プロジェクトで実測されている。

このようにモデルに組み込んでいる橋梁は、(a)国道 6A 号線の 14,17,23,24 号橋、(b)国道 6 号線の F1,F2,F3,2 号橋、(c)コンボンチャム付近の国道 7 号線のモアトクモン橋、(d)ベントム付近国道 70 号線のダク川の橋梁、(e)ネアックルン付近の氾濫原のパナム、スロト、アンピル川に架かっている橋梁である。残りの橋梁は 100 近くあるが、これらはメコン河に沿って広く分布している。

橋梁に関する情報は、主として近年 JICA が実施した無償資金協力のプロジェクトのレポートによった。これらのプロジェクトのレポートや設計図面をもとに、国道沿いの橋梁や盛土の情報を収集しモデル化した。国道 6 号線の橋梁は、メコン河と大湖を結ぶ氾濫原の重要なコントロール・ポイントである。

水理データ

モデルに必要な水理データとしては、モデルの境界条件としてのデータとモデル同定用のデータに分かれる。境界条件としては、水位、流量いずれかのデータが必要である。いっぽう、モデル同定用に関しては、水位と流量ともにあった方が好ましい。これらの観測所の位置図を次図に示す。

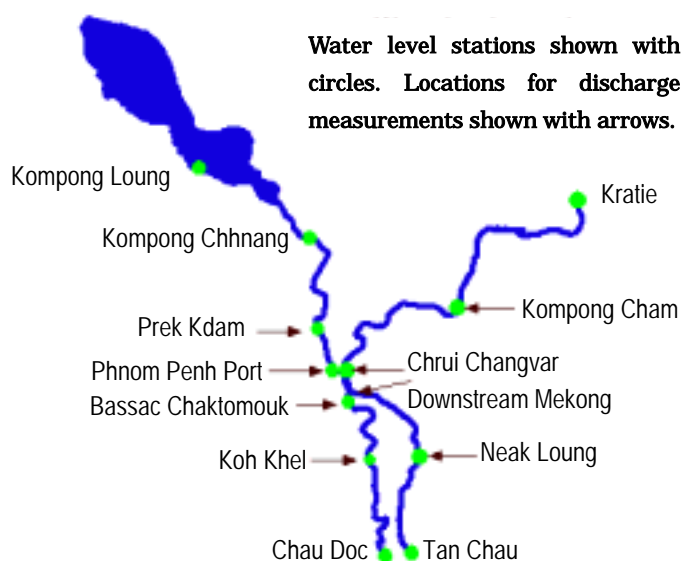


図 3-8 モデル構築のための水文観測所

水利用データ

水利用データは水文循環を知るための一要素であるが、カンボジアはこの種のデータが最も不足している国である。灌漑のための水利用に関しては、1994 年のカンボジア灌漑リハビリ調査(Halcrow,1994)に基づいて推定した。州ごとに月別灌漑水需要量を算定し、これに還元量を差し引いて正味の消費量として、モデルでは擬似的に水利用を考えている。

その他(衛星画像)

河道と氾濫原の水理に関する検証には、氾濫状態が分かる衛星画像が有用である。こうした情報は TSD-MRCS の GIS データベースとして収集されている。こうした目的で使用した RADARSAT 衛星画像は次のとおりである；(a)1999 年 5 月 16 日および 26 日の乾季、(b)1999 年 9 月 24 日洪水氾濫初期、(c)1999 年 10 月 21 日および 25 日の洪水氾濫最盛期、(d)2000 年 8 月 25 日および 9 月 4 日の洪水氾濫初期、(e)2000 年 9 月 23 日および 10 月 5 日の洪水氾濫最盛期、(f)2000 年 10 月 19 日および 20 日の洪水氾濫減衰期、(g)2001 年 8 月 30 日の洪水氾濫初期、(h)2001 年 9 月 23 日洪水氾濫最盛期、(i)2001 年 10 月 17 日洪水氾濫減衰期。

さらに TSLV プロジェクトでは、2002 年 7 月から 2003 年 1 月まで、約 1 ヶ月間隔で 8 時期の衛星画像を入手し、氾濫原の洪水氾濫のモデル検証に用いた。

(2) モデルの構築

等高線を基本にした DEM から、氾濫原の横断面を作成し、これらを氾濫原上に準 2 次元的に配置した。図 3-9 は、横断面の配置と広がり、および氾濫原モデルのネットワークを示している。図 3-10 は、プノンペン周辺部の河川と氾濫原の横断面とそのネットワークを示したものである。

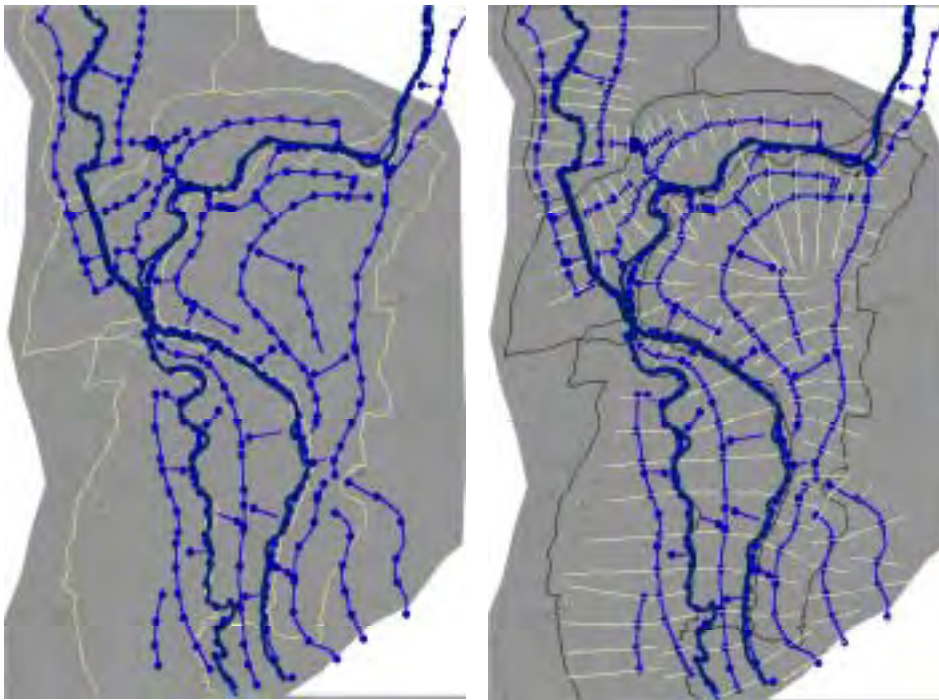


図3-9 氾濫原のモデル化のための断面の準2次元配置と実際の横断面

モデルは、全体で 73 本の枝線を持っており、それぞれの枝線がデータの有用性および水理的解の必要性に応じて数多くの断面を持っている。このネットワークにおいて、モデルは総計 643 の断面を有している。

図 3-10 は、プノンペン周辺部のメコン河とトンレサップに関連する区域の氾濫原のモデル・ネットワークと横断面の位置を記したものである。この図によると、横断面の位置と広がりに関し、枝線に対して直角に横断面が描かれている。さらに水位・流量計算地点は、小さな丸で描かれている。

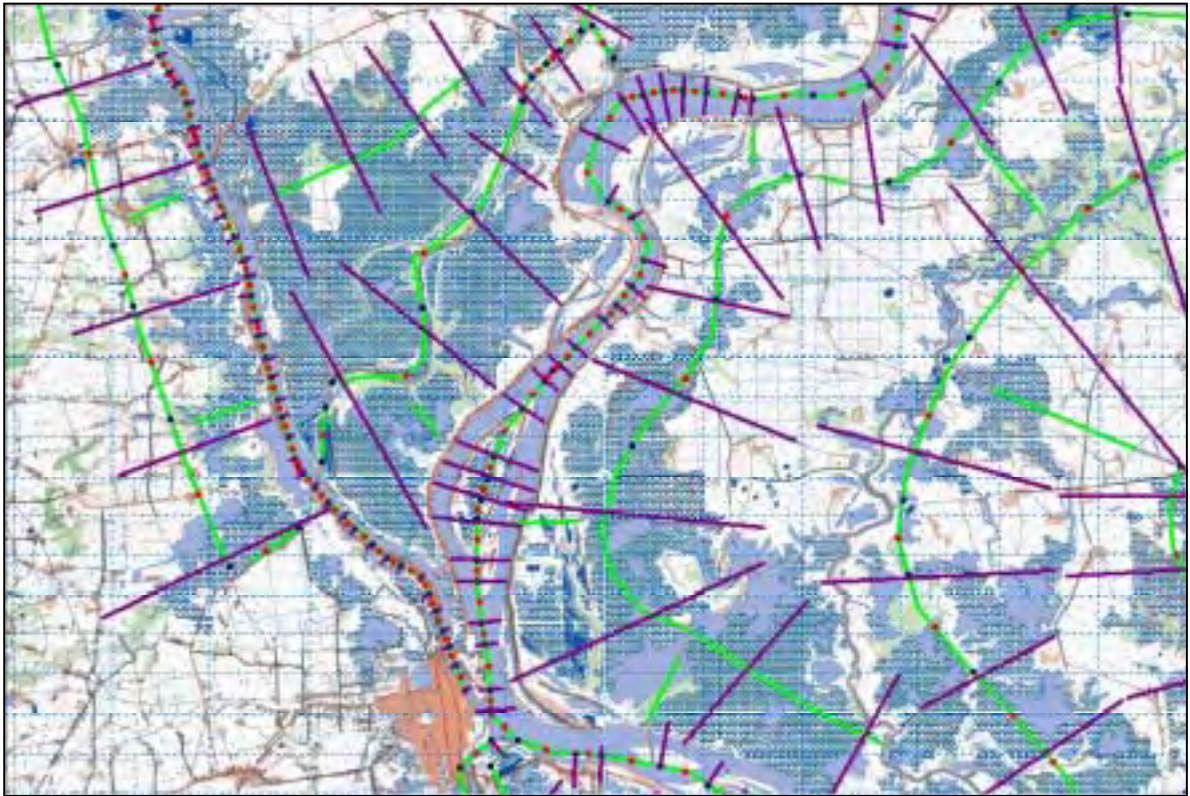


図3-10 プノンペン周辺地域におけるモデルのネットワークと横断面の配置

河川と氾濫原のモデルのシミュレーションには、上流端および下流端における境界条件が必要である。図 3-11 にはこの境界条件を与える地点とその条件が示されている。これらは、次のとおりである。

- クラティエ : メコン河の上流端条件である。流量データが無いため、日水位で与える。
- 大湖 : 湖の上流端の条件は、シソフォンおよびモンコルボーレイ流域の流出量を与える。
- タンチャウ : メコン河の下流端で、時間水位を与える。
- チャウドク : バサック河の下流端で、時間水位を与える。
- 氾濫原支川 : ベトナム国境付近の氾濫原 6 支川の下流端条件は、すべて日水位で与える。

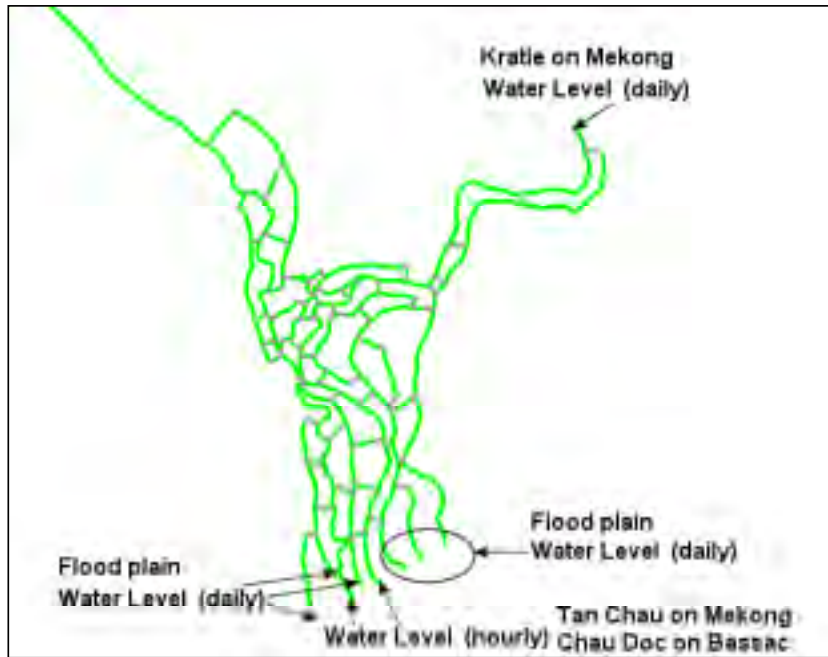


図3-11 境界条件の設定地点と与条件

(3) 水理モデルの同定および検証

RADARSAT 衛星画像を用いて洪水氾濫の広がりを検討した。WUP-JICA 調査では、衛星画像による洪水氾濫の広がりとしミュレーション結果との比較を行い、モデルの検証を行った。いっぽう並行する TSLV プロジェクトでは、氾濫原における氾濫水深や氾濫区域の伸縮等の詳細を検討した。

モデルの検証は、2002年の洪水をもとに実施された。このモンスーン期に約1ヵ月間隔で衛星画像を入手したが、図3-12に示すように氾濫最盛期の10月14日のデータは、大湖上流部の画像が欠けていたが大勢に影響は無かった。モデルは2002年のモンスーン期を通して、洪水氾濫の動態を見事に描き出している。2002年の洪水氾濫の広がりを例として、2002年10月14日の洪水氾濫の実際とシミュレーション結果を比較のために示したものが図3-13である。氾濫原全体にわたって、氾濫状況を良好に再現している。

WUP-JICA 調査団は、2002年に ADCP を用いて集中的な流量観測を実施した。プノンペン周辺のメコン河、トンレサップおよびバサック河の主要観測所を中心に週1回のペースで流量観測を行った。流量観測値は水位流量曲線の作成に主として用いられたが、さらにこの観測値はモデルの検証に極めて有用であった。これは、空間的・時間的により詳細かつ精度の高い流況データが得られことにより、モデルの再現精度を高めることができたためである。

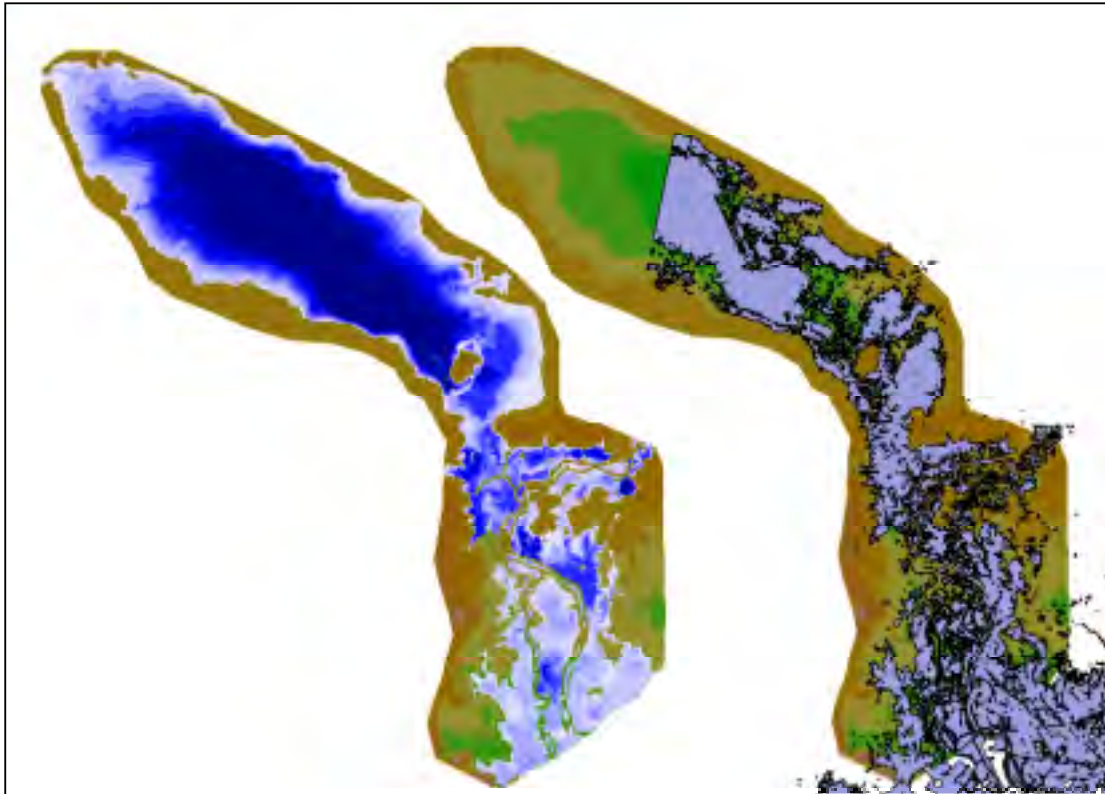


図3-12 シミュレーション結果(左)と観測結果(右)の氾濫区域の比較(2002年10月14日)

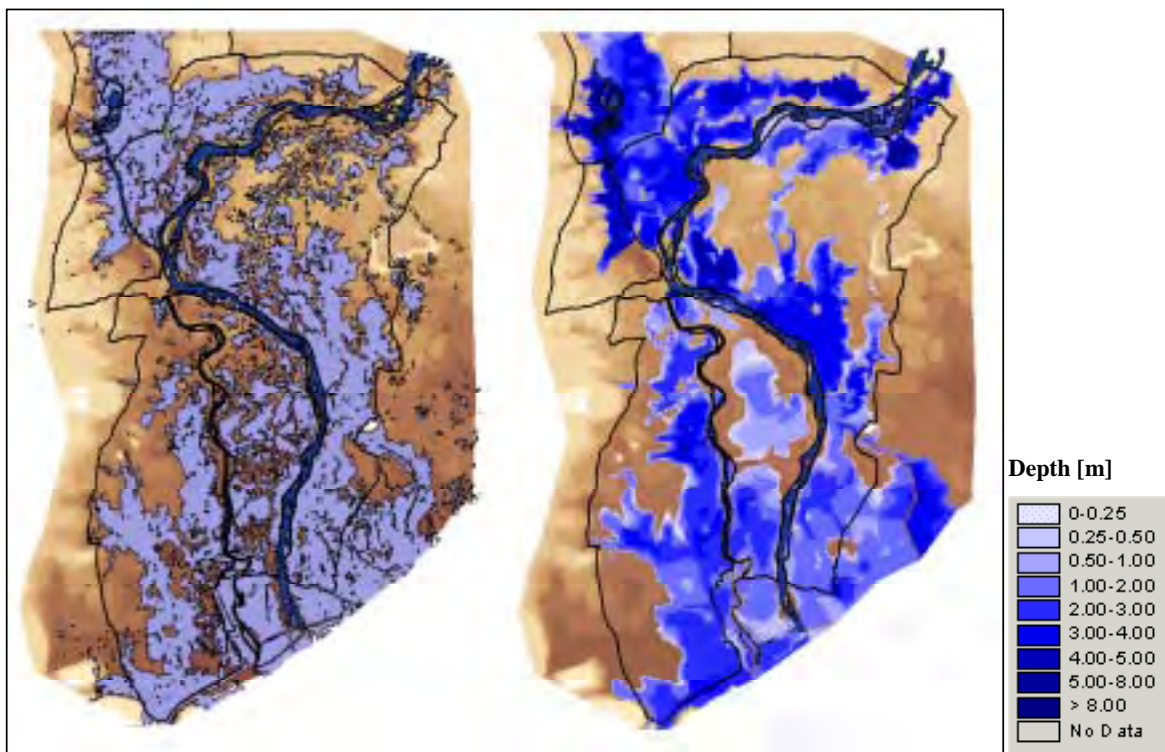


図3-13 シミュレーション結果(左)と観測結果(右)の氾濫区域の比較(2002年10月14日)

TSLV プロジェクトを通して、河川・氾濫原間の洪水流の移動や氾濫原内部での挙動に関してモデルの再現精度は向上した。ここで、氾濫原のモデル化とともに河川と氾濫原の接続についても改良が加えられた。2002 年のモンスーンのデータは、TSLV プロジェクトにおいてモデルの同定に用いられ、主要観測所におけるシミュレーション結果を図 3-14(1/2)に示す。コンボンチャムにおいて観測値と計算値は極めて良い再現状況を示している。

同様にチュルイチャンワー、コーノリア、モニボン橋およびプノンペンポートいずれも良く再現されている。この結果は、4 本の川が分合流するチャトムック合流点における、複雑な流況と水収支を良好に表現できている。図 3-14(2/2)は、トンレサップのブラックダムおよびプノンペンポートの観測値と計算値を示している。これらの結果も良好である。ここで最も興味深い点は、トンレサップにおいて 9 月後半に発生している下流プノンペンに向かう流れと同時に上流ブラックダムに向かう流れが共存する遷移期間をモデルが十分表現し得たことである。

バサック河については、図に示すようにモニボン橋とコーケルの間で流量の減少が見られる。この原因は、プレクトノットへの逆流と数多くのコルマタージ水路への逆流、すなわち氾濫原への洪水流の流入によるものである。さらにこの河道区間においては、氾濫原へ流入した洪水流はバサック河の河道に還流していない。

モデルはさまざまな規模で水理現象を良好に表現できている。メコン河に比して小さい規模の例として、ダッチ橋の例(コンボンチャム付近の 70 号線に架かった橋)を図 3-14(2/2)に示している。本川の流況と異なり、短期間に洪水が発生し減衰している。こうした現象をうまく表現しており、このことは上流のベントム(後背湿地の大きな池)の氾濫および水収支も精度良く推算できていることを示しているものと思われる。

3.1.5 結論

水文水理モデルは、WUP-JICA 調査の一環として開発されたものである。調査団は、チャトムック・プロジェクトで作成されたモデルを引き継ぎ、精度を高め大いに改良を施した。WUP-JICA 調査と並行して、TSLV プロジェクトも同一のモデルを用いた。両プロジェクトによって、水文およびインフラ構造物のデータが収集され、継続的にモデルは改良され、その利用価値も高められた。

確立されたモデルは、降雨流出モデルと水理モデルから成る。降雨流出モデルの目的は、水理モデルへのインプットデータの提供である。この降雨流出モデル作成過程から、長期にわたる精度の高い降雨データがなくとも、カンボジアで小流域ごとの降雨流出モデルの構築がある程度可能であることが分かった。

開発したモデルは、メコン河水系および関連する氾濫原の複雑な水理的挙動を定量的に明らかにした。水理的挙動は 1998 年から 2002 年のデータをもとに検討されたが、この期間には発生頻度の低い渇水と洪水の両者が含まれている。この期間には、さらに多くのデータが増加しかつ集められた。とくに 2000 年以降、カンボジアにおける雨量観測所の増加は著しいものがある。流量については、2002 年の WUP-JICA 調査の流量観測により飛躍的な改善を遂げた。

さらに、2002 年には TSLV プロジェクトによる氾濫原の水位・流量観測が実施された。洪水氾濫の広がりが把握できる月別の衛星画像解析と WUP-JICA の流量観測の両者は、極めて総合的な情報収集の典型であり、これらによってモデル構築作業は飛躍的に深みのあるものとなった。

開発されたモデルは、河川と氾濫原の洪水の移動現象、氾濫原の湛水ならびにその広がり、乾季と雨季両方に適用可能な水位と流量の予測等、さまざまな水理挙動のシミュレーションが可能である。それゆえモデルは、洪水解析、洪水影響評価、水収支解析あるいは乾季流況解析等、広範囲に利用可能である。

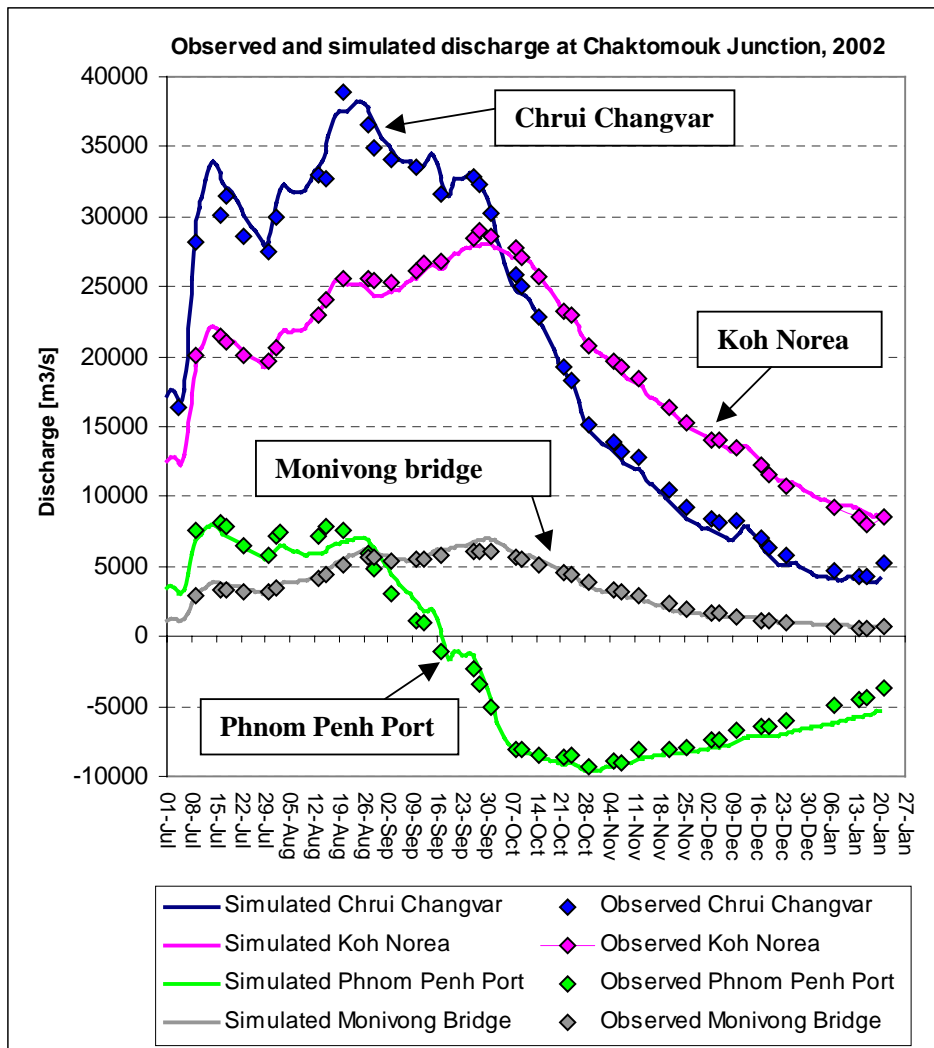
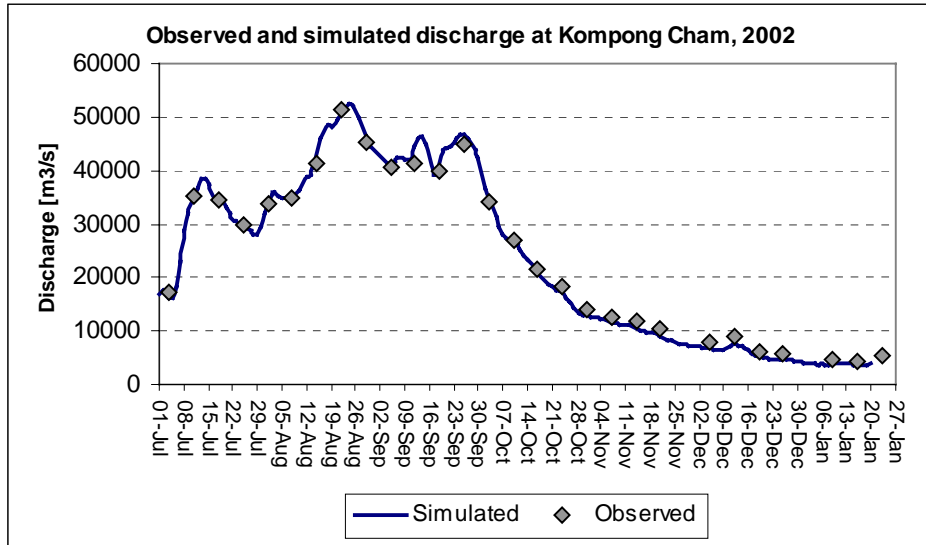


図3-14(1/2) 2002年洪水によるモデルの検証結果:メコン河本川(単位: m³/s)

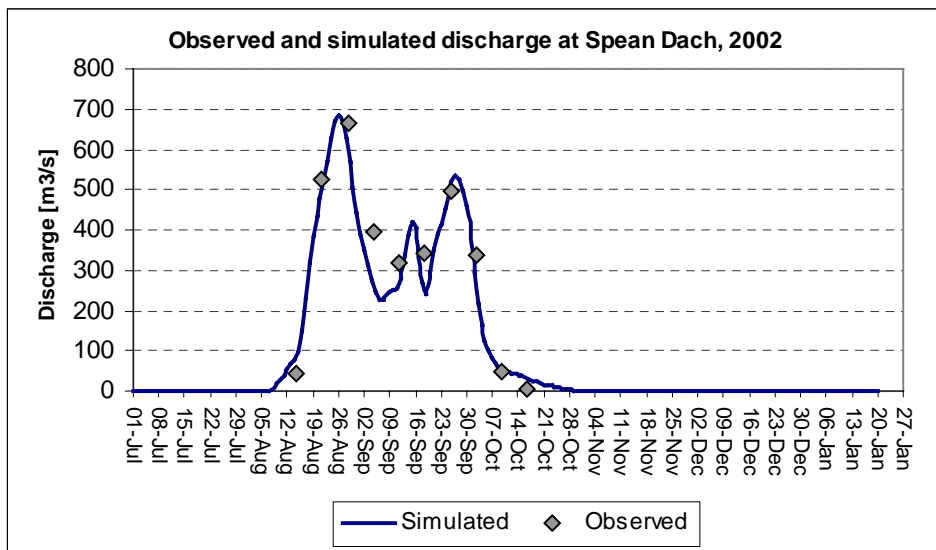
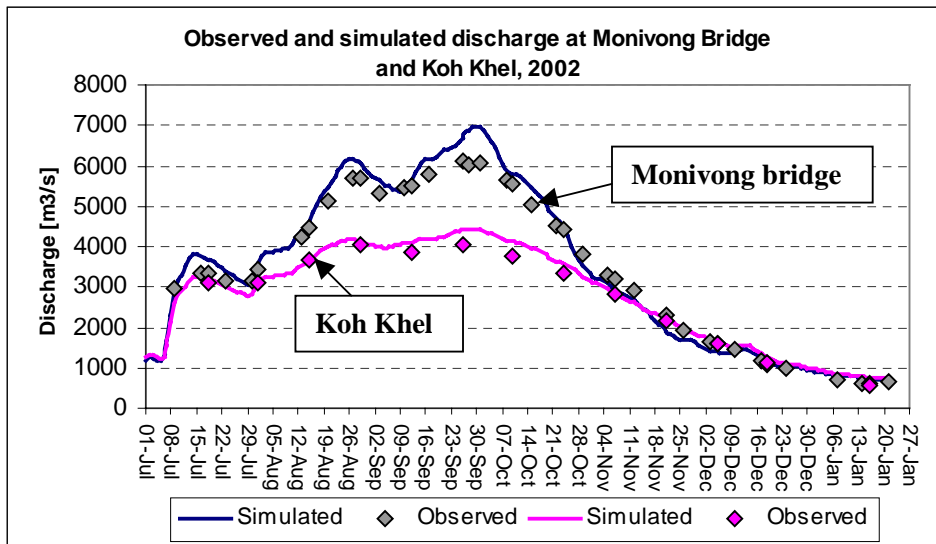
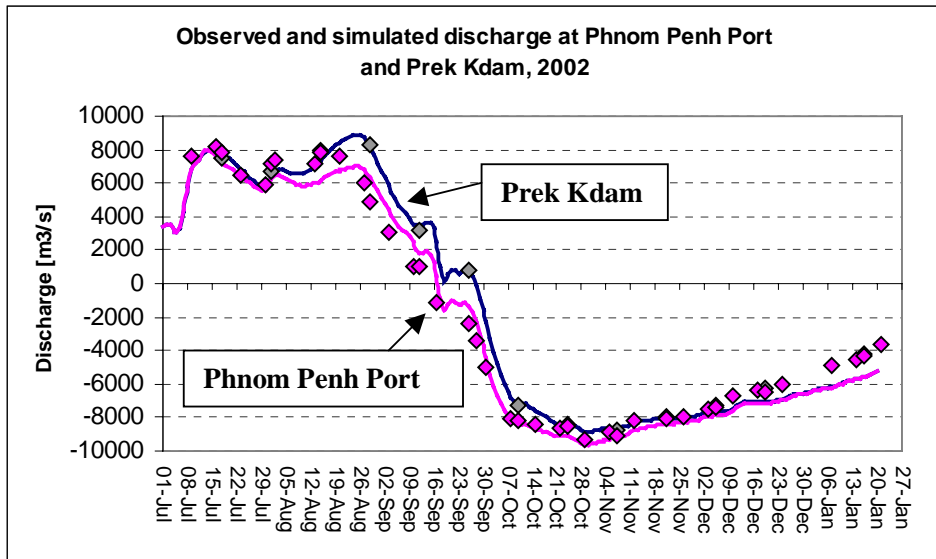


図 3-14(2/2) 2002年洪水によるモデルの検証結果:バサック河、トンレサップ等(単位: m³/s)

3.2 モデルの適用検討

この節では、水文水理モデルをさまざまな分野へ実際に適用した事例を示す。ここで示すのは次の 4 分野である。

- (1) 乾季流況検討：この目的は、乾季流況を発生させて、乾季の水文モニタリング・システム確立のための調査を支援することである。調査団は 2003 年の乾季にチャトムック地区において流量観測を実施し、このデータをもとにシミュレーションを行った。
- (2) 道路網整備の水文水理的影響：1920 年代よりカンボジアの氾濫原では盛土を伴う道路網の整備が始まったが、こうした歴史的な開発がメコン河ならびに大湖に与えた影響は未だ明らかにされていない。こうした影響を明らかにすることは、今後の氾濫原の開発を考える上で重要である。
- (3) 氾濫原における橋梁開口部の拡幅の影響検討：盛土による道路構造物と橋梁の水理的影響について、ケーススタディ的に検討したものである。この結果は、カンボジア氾濫原において水理的に影響を与えるインフラ整備では、水理シミュレーションが不可欠であることを示している。
- (4) 大湖の水収支：1998 年から 2002 年のデータを用いたシミュレーション結果から、大湖の水収支を整理したものである。この作業は水利用規則の中の「本川流量の維持」の 1 項目である「雨季におけるトンレサップの自然逆流量」を検討する際に有用である。

3.2.1 乾季流況検討

モデルシミュレーション結果は、乾季の流況に対しても合理的な精度で推算できることを明らかにしている。図 3-15 に示すように、最も適合度の高かったのはコーノリアであり、他の観測所では若干矛盾する結果も認められるが、概ね再現結果は良好であった。しかしチャトムック(プノンペン・バサック)観測所では、一貫して水位に差が生じ、観測所零点の再測量等、全体的な観測所の再チェックも必要と思われるような結果も得られている。これらについては、今後の課題としたい。ともかくモデルの主たる出力は、日流量の推算値である。2003 年乾季における日流量の推算値を図 3-16 に掲載する。

水理モデルは、乾季においても合理的な範囲で流況を推算できることが明らかとなった。乾季にはチャトムック地区は非常に潮位の変動の影響を受けるため、時間ごとに流量観測値が存在しない限り、従来の観測資料から日平均の流量等を算出するのは困難である。しかしモデルは乾季実測流量に対して再現性のチェックを行っており、このモデルを用いてチャトムック地区の日単位の乾季流況を推算することは十分可能であった。乾季流量観測に先立って、モデルは潮位の影響に対して有効であることが認められ、乾季の流量観測の観測所選定等にも、このモデルは大いに寄与した

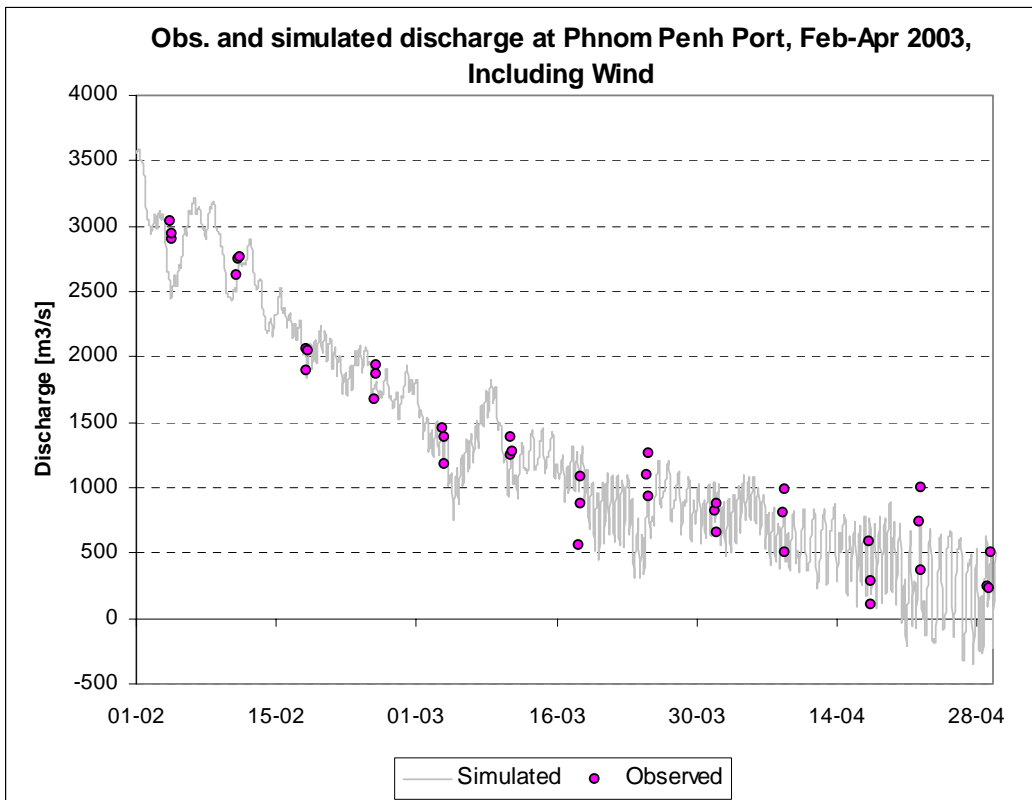
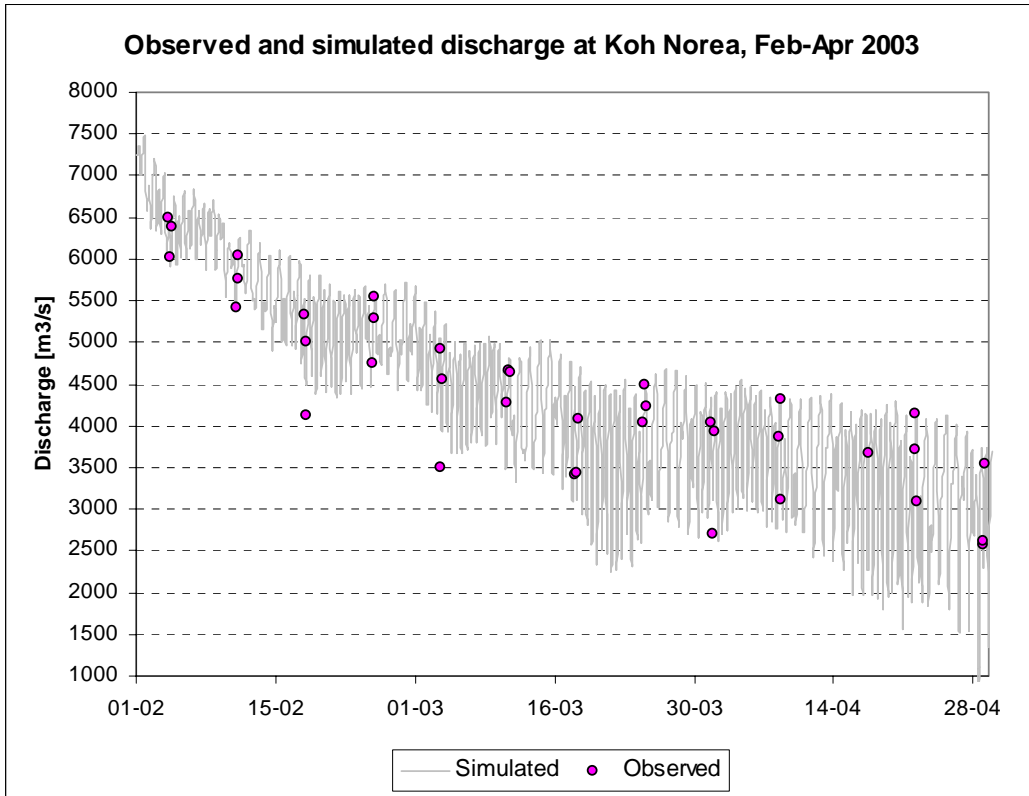


図 3-15 チャトムック合流点における観測値と推算値の比較(2003年2月-4月)

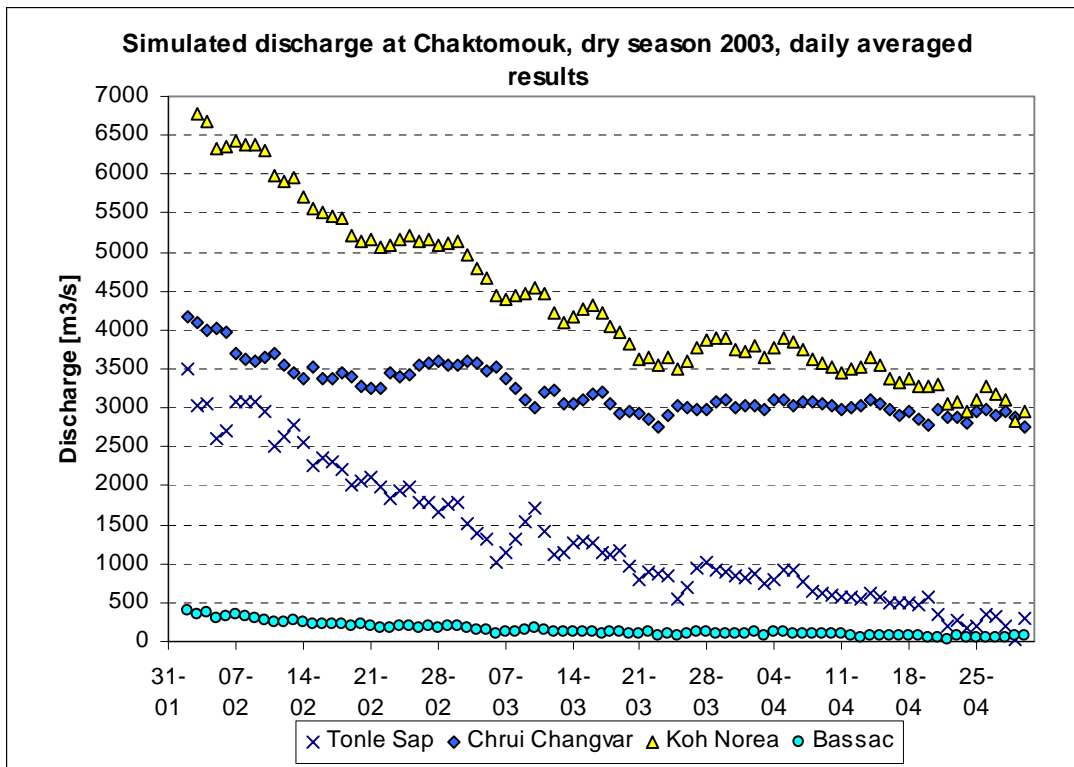


図 3-16 日平均流量の推算値(2月-4月 2003 年)

3.2.2 盛土構造の道路建設による水理的影響

歴史的な道路整備が、メコン河と大湖の水循環に如何に影響を及ぼしたかを調査したものである。メコン河のプノンペンより上流部の氾濫原においては、次のような道路整備が歴史的に行われてきた。

- 1920 年代以前：道路網未整備の時代
- 1920 年代から 1940 年代：トンレサップのプレックダムとコンボンチャムを結ぶ国道 61 号線および 6 号線の建設(フランスによる)
- 1940 年代から 1960 年代：コンボンチャムのメコン河左岸における国道 7 号線の建設
- 1960 年代以降：チュルイチャンワーから 61 号線の末端までを結ぶ 6A 号線の建設

こうした道路区間を図 3-17 に示す。

上記期間の状況を正確に反映するためには、本来であればそれぞれの期間の河川と氾濫原の地形、降雨、水位流量等の情報が必要である。これらの情報のほとんどが欠落しているため、アプローチは、特定した時期に類似させて条件を設定する方法を取らざるを得ない。こうした条件を考慮し、それぞれの期間の水文データを用いる代わりに、シミュレーションには 2000 年から 2002 年のデータを用いた。また、現在のモデルから上記 4 時期の道路盛土の状況に整合するように修正を加えた。

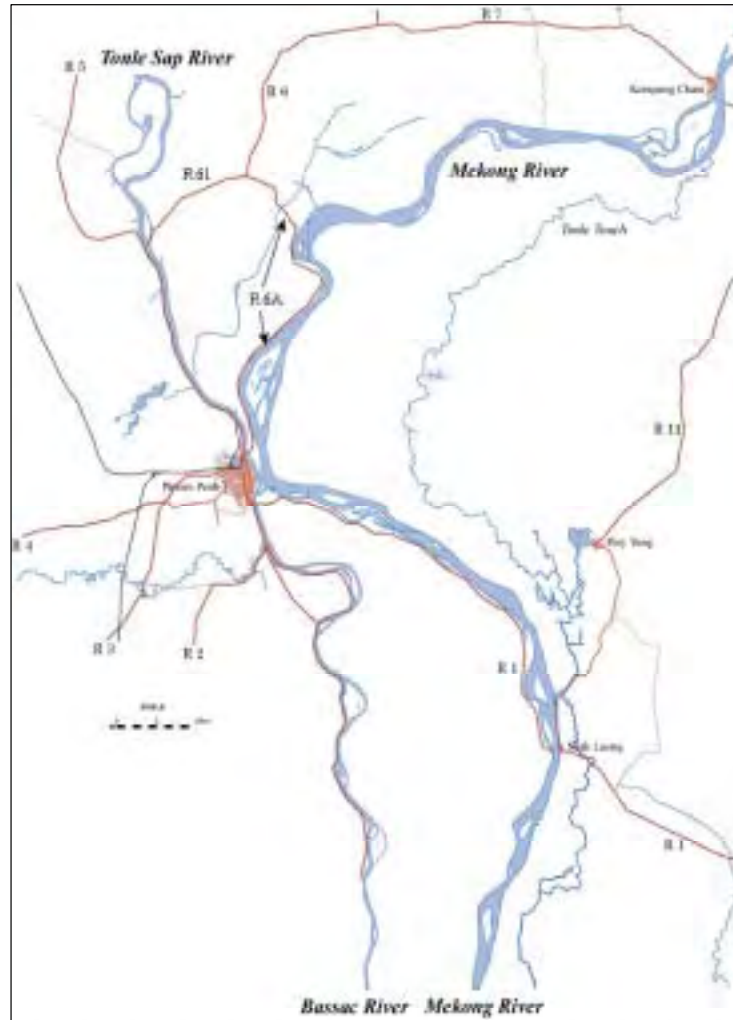


図 3-17 プノンペン周辺主要国道路線図

チュルイチャンワー地点のシミュレーション結果を図 3-18 の上の図に示す。「1920 年以前の状態」における洪水流況は、明らかにそれ以降の年代に比べてピーク付近が低くなっている。これは、道路網未整備の時代には、コンボンチャムとチュルイチャンワー間の右岸氾濫原を越えて、大量の洪水流が大湖に流れ込んでいたためである。1920 年代以降は、チュルイチャンワーの洪水流況に大きな差異は認められない。同様に図 3-18 の下の図に示すように、ブラックダム地点でも「1920 年以前の状況」と以降の年代で、大きな差が認められる。

水収支から見ると、図 3-19 にまとめているように、自然状態と道路網の整備による盛土施工後の状態を比較すると、明らかに差が認められる。主な相違点は、コンボンチャムとチュルイチャンワー間の総溢水量であり、それぞれ左右岸への各溢水量も異なっている。この間で、以前にはコンボンチャムの全洪水流出量に比して 20-23%が溢水していたが、道路盛土後には 12-14%の溢水量に減少している。また以前には約 60%の右岸に溢水していたものが、道路盛土後にはほぼ左右岸等しく溢水するようになったことが分かる。

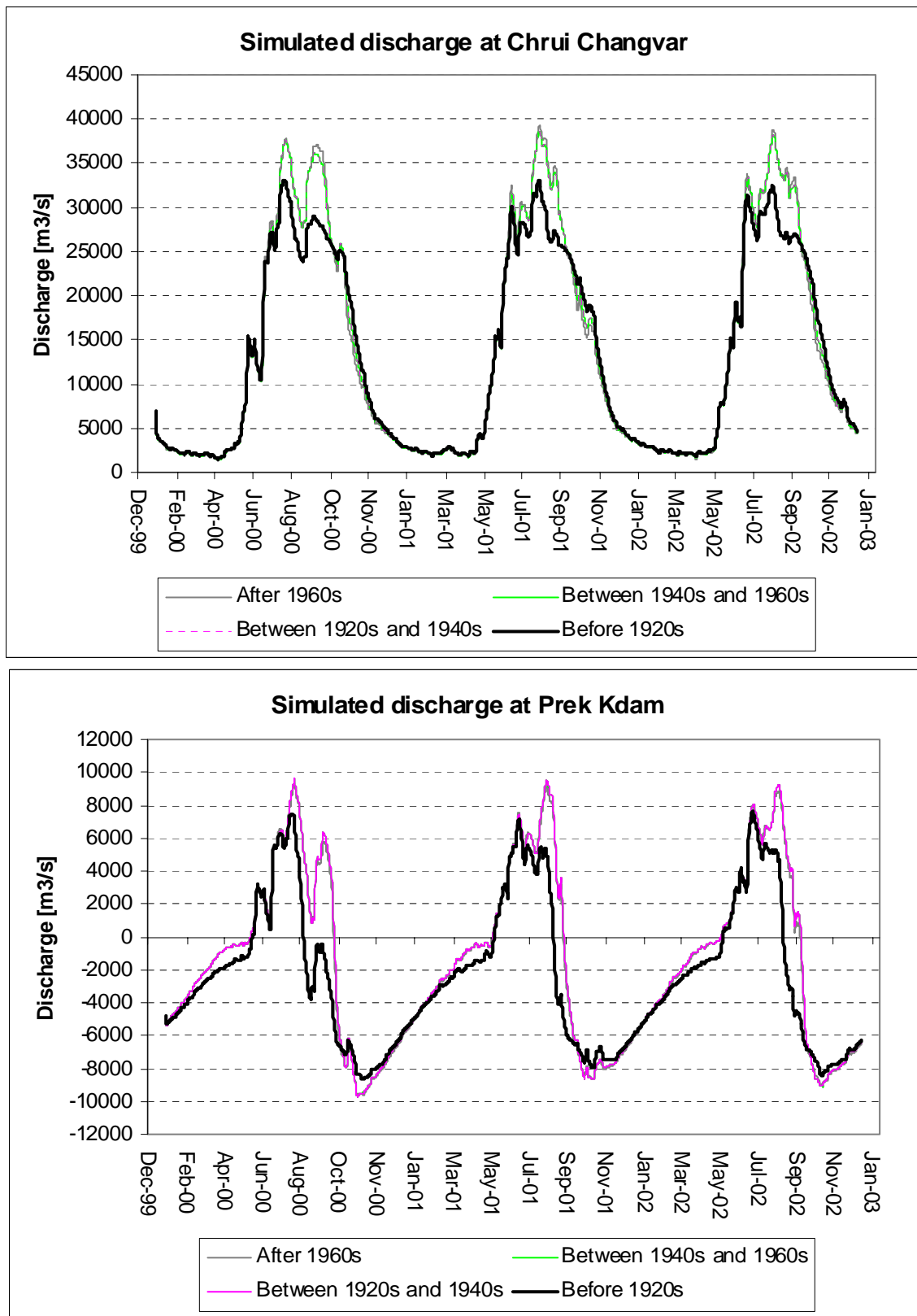
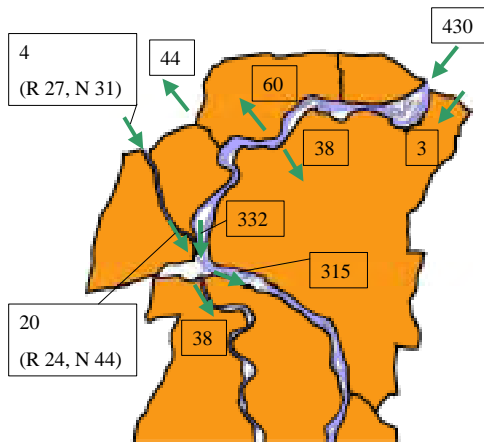
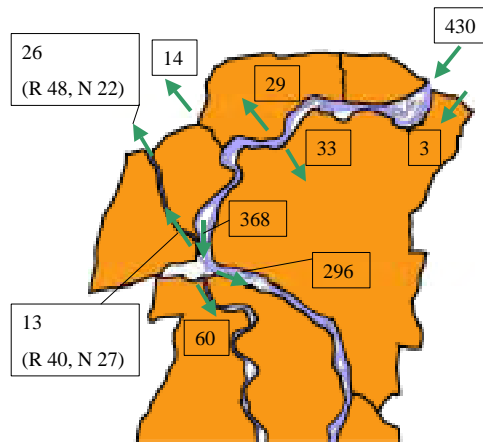


図 3-18 カンボジア氾濫原上流部における道路網整備による洪水流出現象の歴史的变化

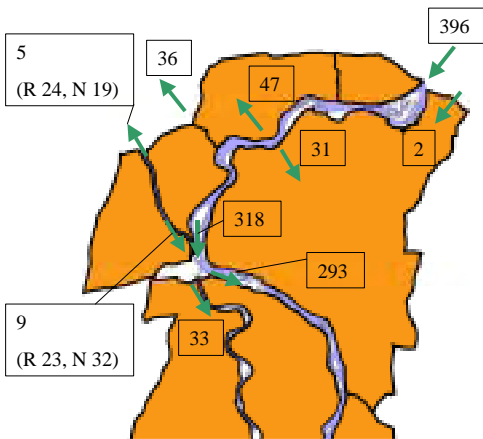
**Prior to 1920 : no embankments
Year 2000 hydrograph**



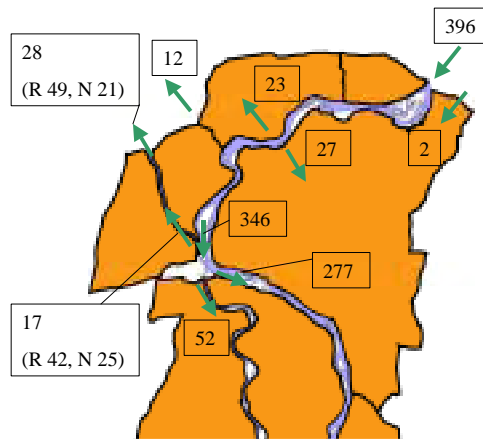
**Present (2003) embankments
Year 2000 hydrograph**



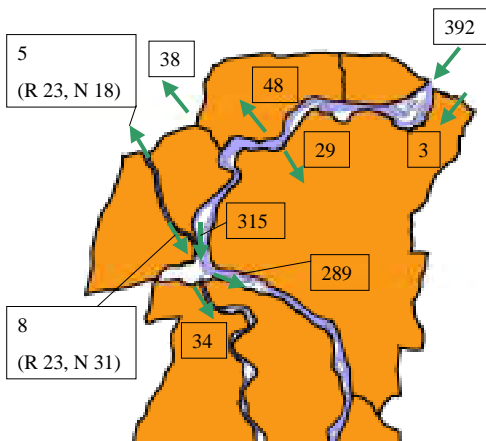
**Prior to 1920 : no embankments
Year 2001 hydrograph**



**Present (2003) embankments
Year 2001 hydrograph**



**Prior to 1920 : no embankments
Year 2002 hydrograph**



**Present (2003) embankments
Year 2002 hydrograph**

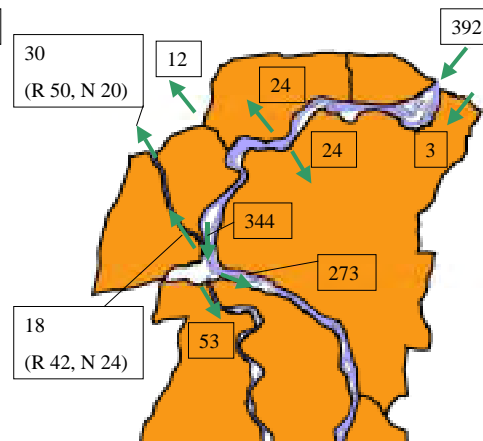


図 3-19 2000年から2002年の洪水流況(6月1日-11月1日)を用いた道路網整備による水収支への影響検討

盛土構造の道路建設による水理的影響に関する評価検討結果をとりまとめると次のようである。

- 主要な河川水文上の変化は、1920 年代の国道 6 号線と 61 号線の建設により起こったことが判明した。
- その後のさまざまな道路網整備は河川と氾濫原の間の水文的な影響としては、上記の 1920 年代の影響に比してさほど大きいものではなかった。現在の幹線ルートである 6A 号線の整備は、すでに 61 号線が氾濫原を横断していたこともあって、大きな影響は与えていない。
- 大湖とメコン河の間に盛土構造物がなかった時代には、現在よりも大量の氾濫流が、メコン河右岸を溢し直接大湖に向かって氾濫原を越えて流下した。この結果、チュルイチャンワーの洪水流量は減少し、トンレサップを經由して大湖へ流入する洪水量も現在より小さい流量であった。
- これに比して、道路網整備以前には、大湖からの流出量、さらにトンレサップの低水流量が増加していた。これは氾濫流流下の障害となる盛土構造物がないため、より大量の氾濫流を大湖が受けていたことによる。
- トンレサップの流向変化(逆流から順流)は、現在よりも約 2 週間早く起こっていた。これは、より大量の氾濫流が氾濫原を直接通過して大湖に流れ込むことによって、大湖への到達時間の短縮と湖の満杯状況の早期発生によるものである。

3.2.3 氾濫原における橋梁開口部の拡幅の影響検討

水文水理モデルのシミュレーションによると、道路の盛土と橋梁の開口部が、洪水氾濫した流れに対する氾濫原上の規制要因となっている。氾濫原のさまざまな地点で、道路盛土の上下流で明らかに水位差が生じていることが明らかとなっている。例えば、国道 6 号線や 1 号線においてである。氾濫原上の多くの橋梁が、その開口部の大きさが不十分なため、氾濫流の流下を阻害している。この結果、例えば国道 6 号線の F3 号橋のように、橋梁部付近での流速の増大や、局所洗掘による被害が、すでに認められている。

モデルの応用例として以下は、ネアックルン東部の国道 1 号線に沿った橋梁開口部の影響を検討したものである。なお、ここでは橋梁開口部の水理的影響を見ることが主眼であるため、橋梁の開口部拡大の方法等は任意に決めた。検討対象地点等を図 3-20 に示す。

この検証計算においては、橋梁開口部を 3 倍に広げたケースを検討している。対象は 2002 年洪水である。図 3-21 は、開口部を拡大したことによる橋梁上下流の水位および流量の変化を模式的に示したものである。上流部の水位は開口部の拡大によって約 0.5m 低下し、直下流では約 0.2m 水位が上昇している。橋梁を流下する流量については、現況の $3,000\text{m}^3/\text{s}$ から $500\text{m}^3/\text{s}$ 増加している。水位の影響は長区間に及び、シミュレーションによるとその影響は約 30km 上流にまで及んでいる。

Example of model application :

Hydraulic effect of bridge openings along Road no . 1

Significant water level gradient is observed during peak flow

Present bridge openings act as bottlenecks for downstream flows and increases upstream water levels

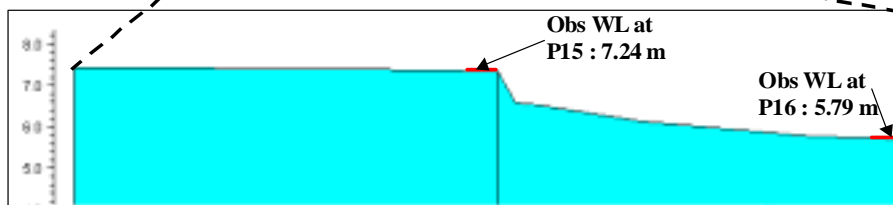


図 3-20 2002 年洪水における氾濫原の水位縦断形状の例(シミュレーション結果)

Test simulation :

Increase the total width of bridges by a factor of 3 (from app. 150 m to 450 m)

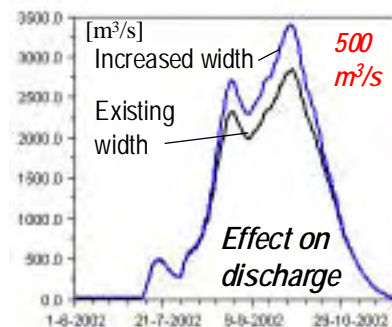
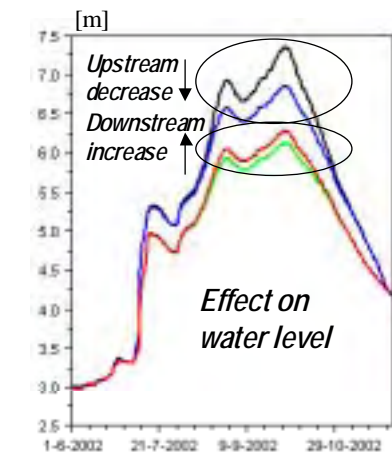
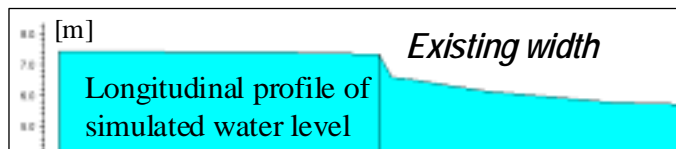
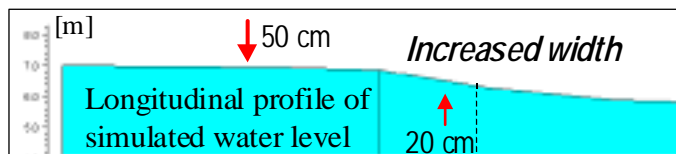


図 3-21 橋梁開口部の拡大による水文水理的影響の例

本節で示した応用例から次のような事項が明らかとなった。

- カンボジア氾濫原の盛土構造の道路は、氾濫原を流下する氾濫流の障害物となっている。
- 道路盛土構造物によって現出した大きな水位差は、橋梁部での大きな流速と局所洗掘を引き起こしている。
- 現存する橋梁の開口部の拡大は、上下流の水面勾配の緩和と洗掘の軽減に寄与する。
- 橋梁開口部の拡大に伴う水位低下の影響は、上流部まで長区間に及ぶ。この検討例では影響は上流 30km に及んでいる。
- 氾濫原では水理的な影響が広い範囲に及ぶため、インフラ整備関連のプロジェクトでは必ず水理的な影響検討・評価が必要である。

3.2.4 大湖の水収支

ここでは、1998 年から 2002 年を対象としたモデルのシミュレーションに基づいて、大湖に関する水収支の結果をまとめる。この対象期間内には、発生頻度の低い渇水年と洪水年とも含まれている。水収支はシミュレーション結果をもとに、月単位でとりまとめた。図 3-22 は、渇水年である 1998 年と、洪水年である 2000 年をそれぞれ例として、月別の水収支を図化したものである。

こうした大湖の水収支から明らかとなった事項を整理すると次のようである。

- 大湖の貯留機能への寄与の大きさを順番に整理すると、(1)トンレサップの逆流、(2)大湖流域(支川流域)からの流出、(3)メコン河からの氾濫流、(4)大湖水面への直接降雨である。
- 10 月において最も寄与率が大きいのは、大湖流域からの流出量である。この時期には、トンレサップの流向は変化しており、貯留した水を吐き出すように作用する順流状態となっている。
- トンレサップや氾濫流は大きな年別変化を示しているが、大湖流域からの流出量は、それほど大きな年別の変動は認められない。
- 渇水年の 1998 年には、氾濫原を流下して大湖へ向かう流入形態はほとんど発生しなかった。
- 月別水収支から求められる容量の変化は、湖面水位から湖の水位-貯留量曲線を用いて推算した収支と大枠ではほぼ同値である。

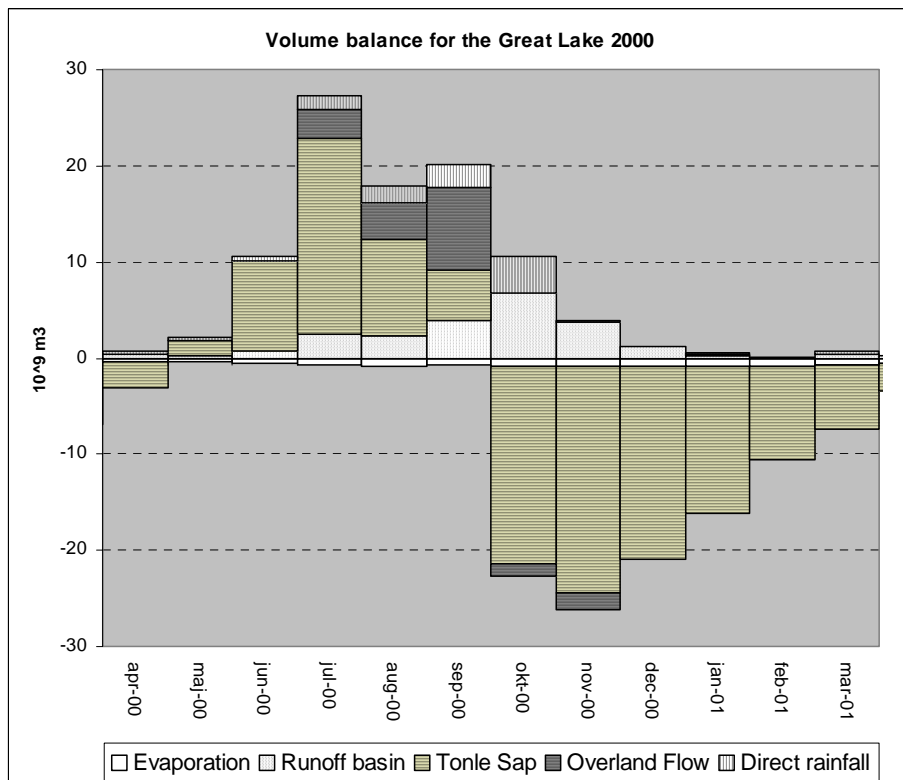
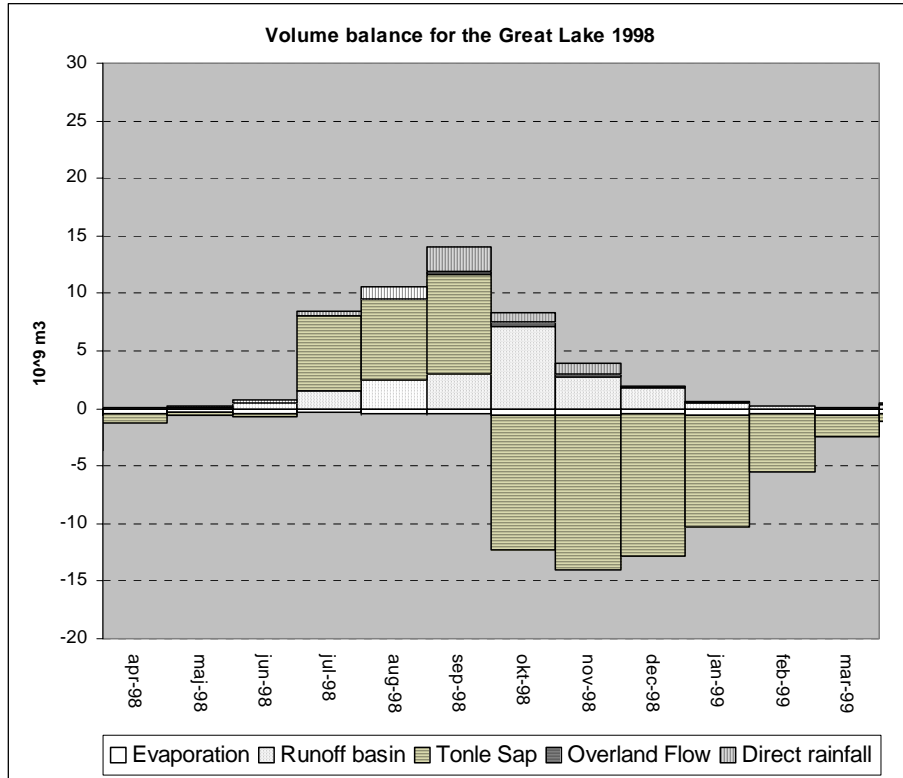


図 3-22 1998年(渇水年)と2000年(洪水年)の大湖の月別水収支

第 4 章 メコン河下流域の水文および水利用

4.1 メコン河下流域の水文

4.1.1 はじめに

WUP-JICA 調査団は、3 ヶ年の調査期間中、水文観測所の整備、水文モニタリング、水文水理モデリング、水利用規則策定に向けた技術支援等、幅広い活動を展開した。この中で、調査団は、水文の見地から提案するアウトプットの妥当性を検証するために、水文解析を必要に応じて適宜実施した。この節では、こうした水文解析から得られた知見等を整理したものであるが、主として次の分野を対象にとりまとめている。

- (1) メコン河下流の水文に関する一般的な特徴
- (2) 渇水の状況
- (3) カンボジア氾濫原の水文的機能

4.1.2 メコン河下流の水文に関する一般的な特徴

図 4-1 にメコン河本川の主要な水文観測所の位置図を示す。これらの大部分は TSD-MRCS による「最適な水文観測網の整備(AHNIP)」の下で、テレメータ化が進められている。表 4-1 は、12 箇所の主要な水文観測所における 1960 年代以降の流量データを整理したものである。これらのデータは MRCS の水文データベースから入手したものである。図 4-2 は、表 4-1 に示した観測所の年最小、年平均、年最大流量の平均値を、縦断的に集水面積に対してプロットしたものである。この単純な図からさえも、次のようなメコン河流域の一般的な水文特性を読み取ることができる。

乾季流況を代表する指標である年最小流量は、中国からの流入量が卓越しており、下流流域からの流出量よりも支配的であることが分かる。なぜなら、下流に向かって集水面積の増加に比例して、徐々に比流量(当該流量を集水面積で除した値)が減少しているからである。ちなみに最上流のチェンセンでは、最下流のプノンペンを基準に考えると、集水面積では $29\% (=189,000\text{km}^2/663,000\text{km}^2)$ に過ぎないが、年最小流量の平均値は $40\% (=720\text{m}^3/\text{s}/1,780\text{m}^3/\text{s})$ を占めており、如何に上流部の中国の低水流量がメコン河の乾季流量の形成に寄与しているかが分かる。

いっぽう年平均および年最大の平均値のプロットを見ると、中流部ラオスのアンナン山脈やボロヴェン高原に降ったモンスーン降雨が、雨季流量の形成に大きく寄与していることが分かる。確かに水文データ自身の精度上の問題から縦断的な矛盾等が生じてはいるものの、雨季流量はこれら高地からの卓越した流出量を受けていることは明らかである。この下流のクラティエを頂点とするカンボジア氾濫原では、毎年のように広大な氾濫区域が生じており、結果として 15% 程度の年最大流量がプノンペンまでに調整されている。プノンペン下流では、さらにメコンデルタを拡散しながら流下し、最終的に南シナ海に注いでいる。



図 4-1 メコン河本川の主要水文観測所

表 4-1 メコン河本川の主要水文観測所における流況指標

Station	Distance from River-mouth (km)	Drainage Area (km ²)	Recorded Period (Year)	Average Discharge for Recorded Periods		
				Annual Minimum (m ³ /s)	Annual Mean (m ³ /s)	Annual Maximum (m ³ /s)
Chiang Saen	2,363	189,000	1961-1999	720	2,690	10,580
Luang Prabang	2,010	268,000	1961-2001	920	3,990	15,320
Chiang Khan	1,717	292,000	1968-1999	910	4,180	15,880
Vientiane	1,580	299,000	1961-2000	1,010	4,410	16,060
Nong Khai	1,551	302,000	1970-1999	1,000	4,480	16,250
Nakhon Phanom	1,217	373,000	1961-1999	1,320	7,090	24,750
Mukdahan	1,123	391,000	1961-1999	1,380	7,570	27,410
Khong Chiam	910	419,000	1966-1999	1,600	8,980	34,870
Pakse	869	545,000	1961-2001	1,610	9,890	37,810
Stung Treng	668	635,000	1961-2002	1,590	13,790	51,400
Krati	545	646,000	1961-1999	1,950	13,180	51,220
Phnom Penh	332	663,000	1960-1999	1,780	12,740	43,110

Note: Discharges at Phnom Penh are simulation results of the Decision Support Framework.

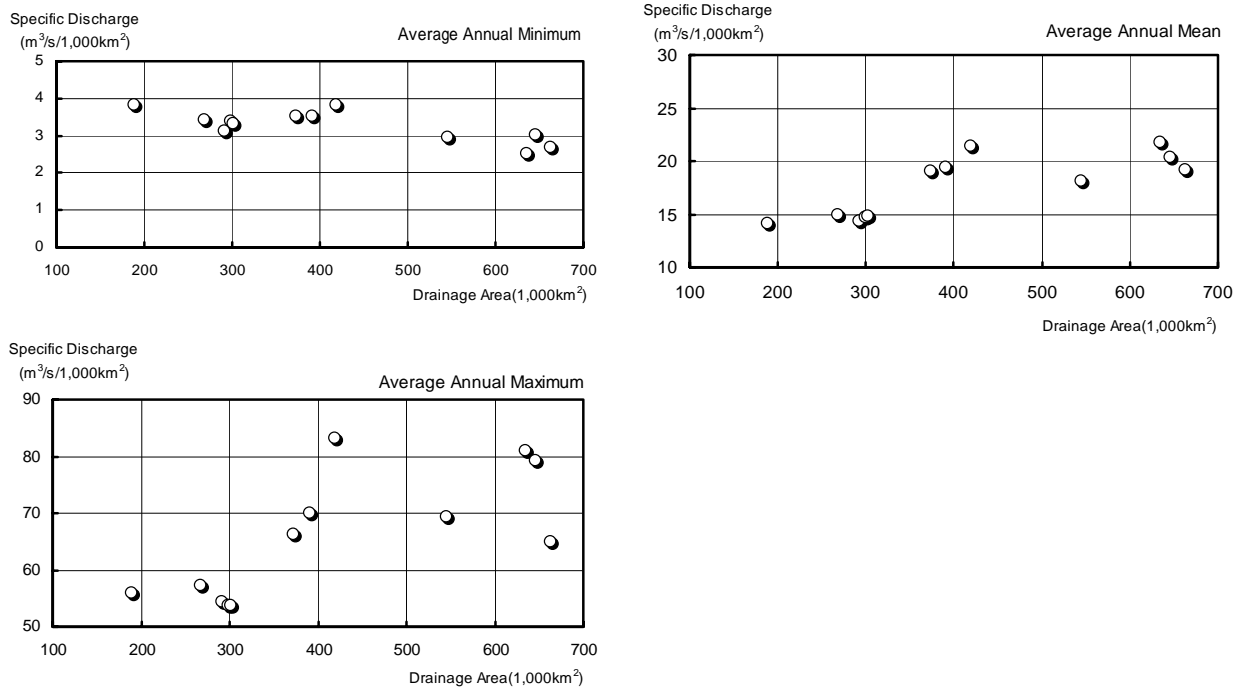


図 4-2 メコン河本川の主要水文観測所における流況指標

4.1.3 メコン河下流の渇水

(1) メコン河本川における 1998 年渇水の発生確率の比較

実際の水文現象は、大きく変動するものであり、事象の発生は確率的である。このように水文現象、例えば流況は、季節により、時間により、そして場所により変化する。チェンセンからパクセまでの 9 観測所で、6 月から 11 月の雨季の総流出量を渇水のパラメータと考えて、1998 年の渇水確率を算定した。これを縦断的に図示したものが次図である。

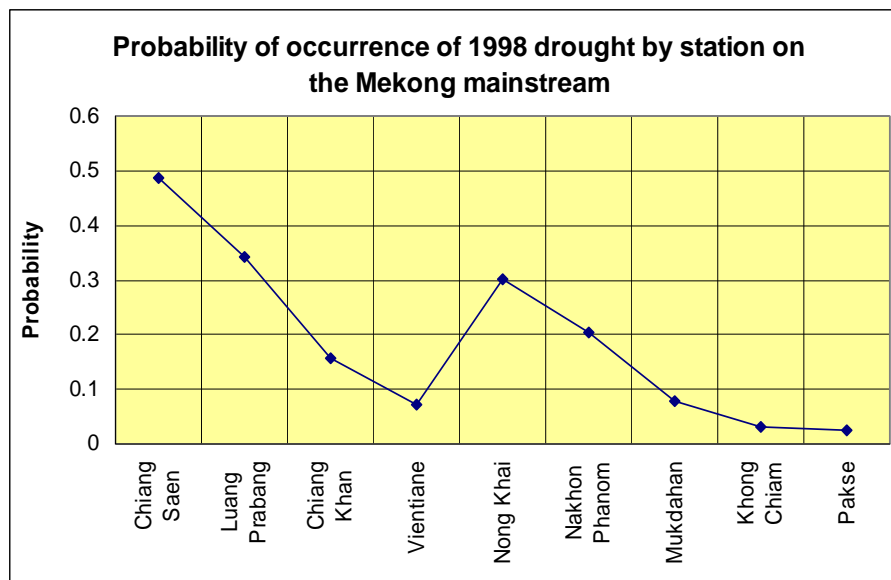


図 4-3 1998 年渇水の発生確率の縦断的变化

上図に示すように、メコン河本川において 1998 年渇水の発生確率は縦断的に大きく変化している。1998 年の渇水生起確率は、チェンセンにおいて 0.5(2 年に 1 度)で最も高く、パクセになると 0.025(40 年に 1 度)と発生頻度は低下する。ムクダハンからパクセに至る生起確率の低い区間を考えると、1998 年渇水は中流部より下流の広い範囲にわたって発生し、とくにラオスとベトナムからの支川流域(セバンヒエン、セサン、セコン、スレポック等)からの流出が低かったために発生したものと推察できる。

1998 年渇水の月平均流量を、上記 9 観測所の月別渇水確率と比較して図示したものが図 4-4 である。ここでは、生起確率として非超過確率で 10%、50%、90%を表示している。

パクセ観測所の年平均流量で 2000 年は $12,670\text{m}^3/\text{s}$ で、近年 20 年間で最大値であった。いっぽう 1998 年の年平均流量は $6,810\text{m}^3/\text{s}$ である。図 4-5 は、2000 年の流量資料が揃っているルアンプラバン、ピエンチャンおよびパクセにおいて、両年の月平均流量とそれぞれの地点の渇水確率流量を比較したものである。

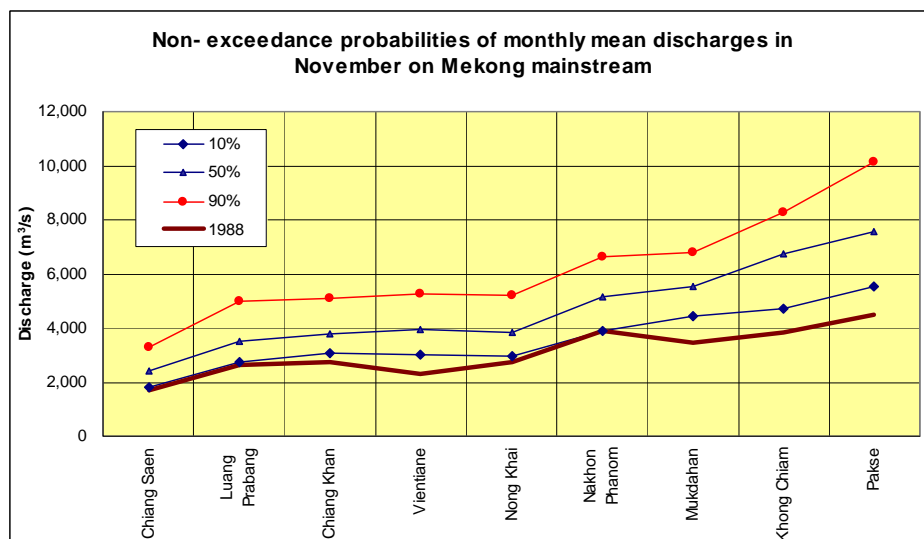
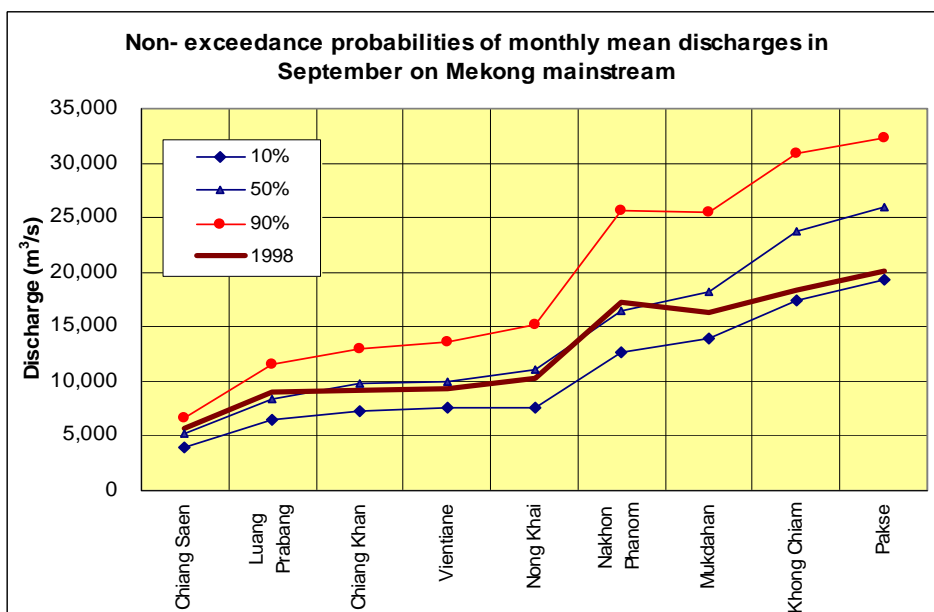
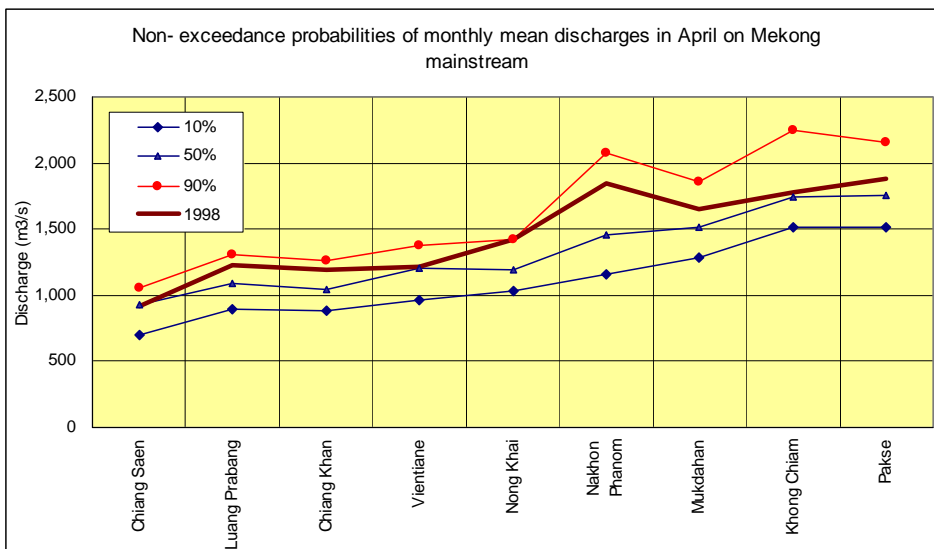


図 4-4 1998 年洪水の月流量の比較(4 月、9 月、11 月)

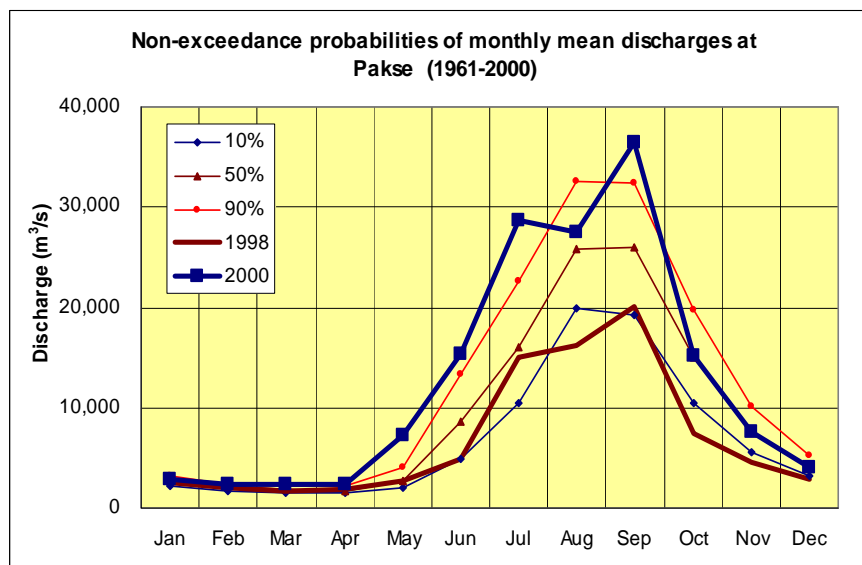
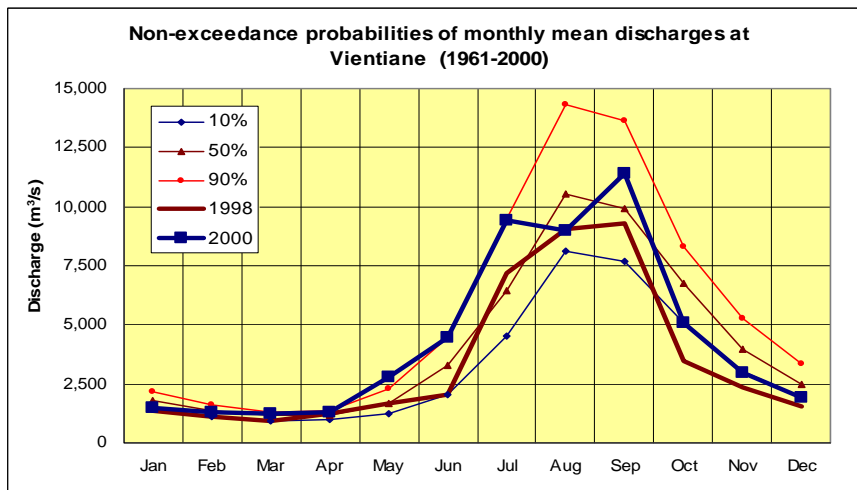
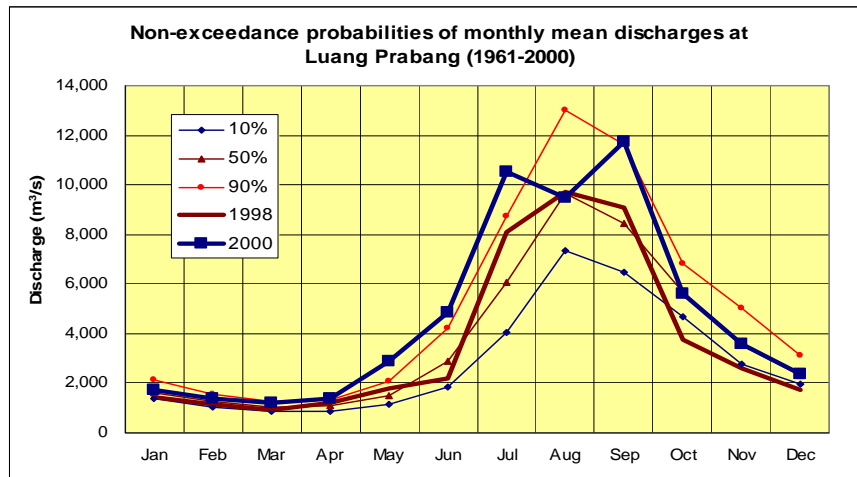


図 4-5 1998年(渇水年)と2000年(洪水年)の月平均流量の月流量渇水確率との比較 (ルアンプラバン、ピエンチャン、パクセ観測所)

(2) 渇水の類型化

メコン河本川に沿ったチェンセンからパクセに至る9観測所の1961年から2000年までの年流況は、渇水の起こり方によって評価できる。渇水確率は、雨季の6月から11月までの総流出量を用いて評価した。年流況で見ても、生起確率は観測所ごとに異なっている。これは主としてそれぞれの支川からの流入量が異なることによるためである。

以上のような正規確率分布をもとに、隔年の流況を考えた場合、次表に示すような6種類の分布パターンが認められた。これらは、またメコン河下流の渇水特性を理解するには非常に分かりやすい方法であろう。次表は集計整理したそれぞれの年流出パターンである。またこれらの代表的な年流況の縦断図を図4-6に記す。

表4-2 年流況の類型化

Type	Typical Year	Description
Type-A	1970, 1981, 1995	Water abundant year when drought probability was far over 0.5 (occurrence of once in 2 years) at all stations
Type-B	1974, 1982, 1990	Normal year when drought probability was almost 0.5 at all stations
Type-C	1987, 1992	Historically basin-wide severe drought when drought probability was far below 0.1 (occurrence of once in 10 years) at all stations
Type-D	1977, 1998	Historical but partial drought when drought probability varies from station to station. Severe drought occurred only in the downstream reaches.
Type-E	1972, 1986	Historical but partial drought when drought probability varies from station to station. Severe drought occurred only in the upstream reaches.
Type-F	1989, 1993	Historical but partial drought when drought probability varies from station to station. Severe drought occurred in limited reaches.

Source: WUP-JICA Study Team

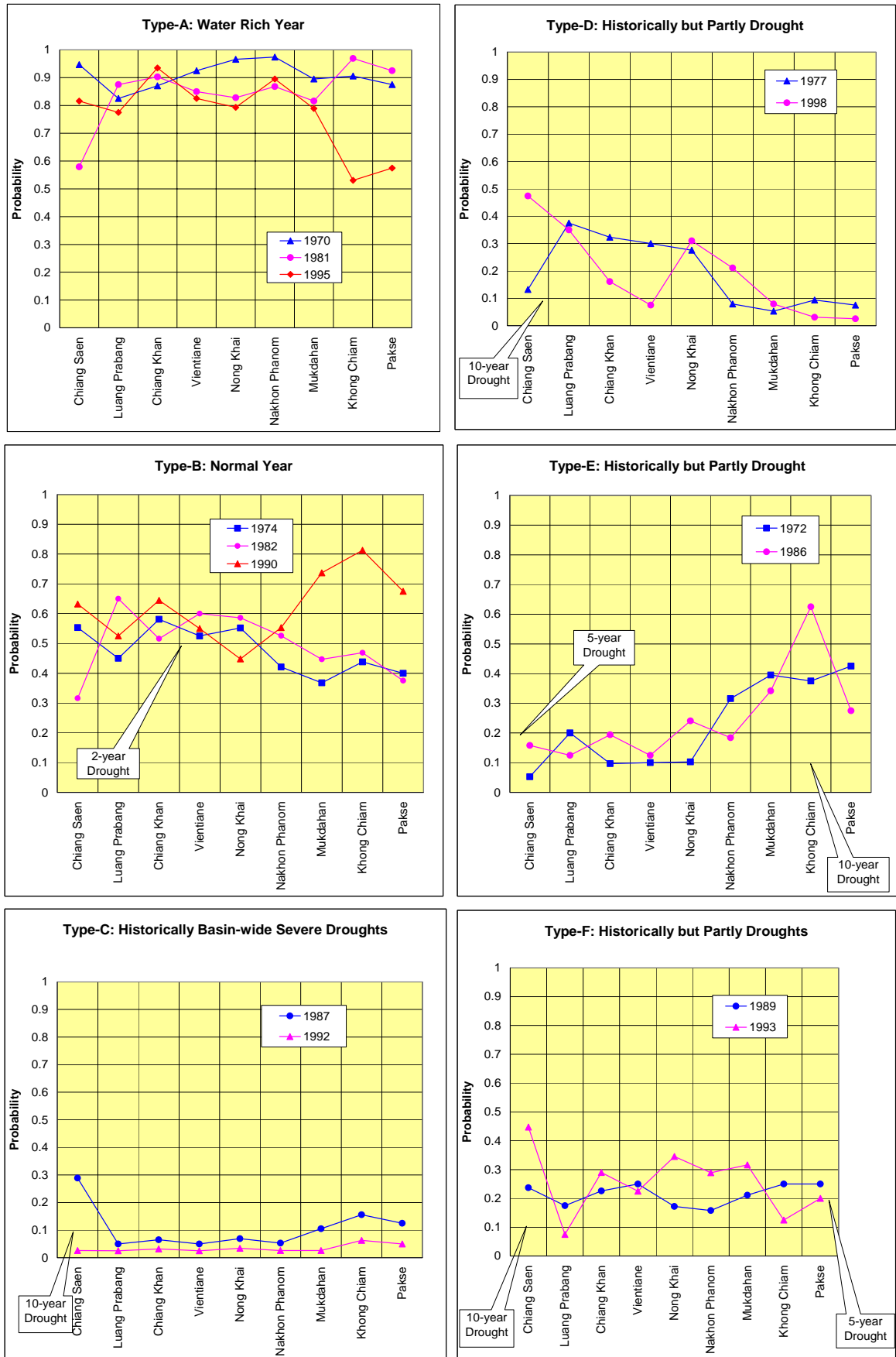


図 4-6 流況の類型化と代表的な年の渇水確率比較

4.1.4 カンボジア氾濫原の水文的機能

(1) 主要流路に沿った流況の特性

WUP-JICA 調査団は、メコン河、トンレサップ、バサック河といった主要流路に沿って、2002年7月から2003年1月まで同時流量観測を隔週の頻度で実施した。こうした成果は、TSLV プロジェクトで実施された氾濫原の水位流量観測と統合されて解析された。さらにそれ以降も、調査団は、2003年の10月までプノンペン周辺地区の主要観測所における流量観測を、ほぼ1週間に1度の割合で継続した。以上の活動で得られた水文水理データをもとに、その解析を経て、カンボジア氾濫原の水文的機能に関して、以下のような事実が明らかとなった。

メコン本川コンボンチャム上流

メコン河本川に沿った同時流量観測は、コンボンチャム(河口から448km)から下流に向かって実施された。コンボンチャム上流では、チュロン(河口から533km)からコンボンチャムに至る左岸で溢水氾濫が毎年のように生じている。カンボジアの水文河川局(DHRW)によって実施された流量観測結果を用いてクラティエ地点(河口から561km)の水位流量曲線を作成した。これを用いて、クラティエとコンボンチャムの洪水ハイドログラフの比較により、上記の洪水氾濫実態を見たものが次図である。

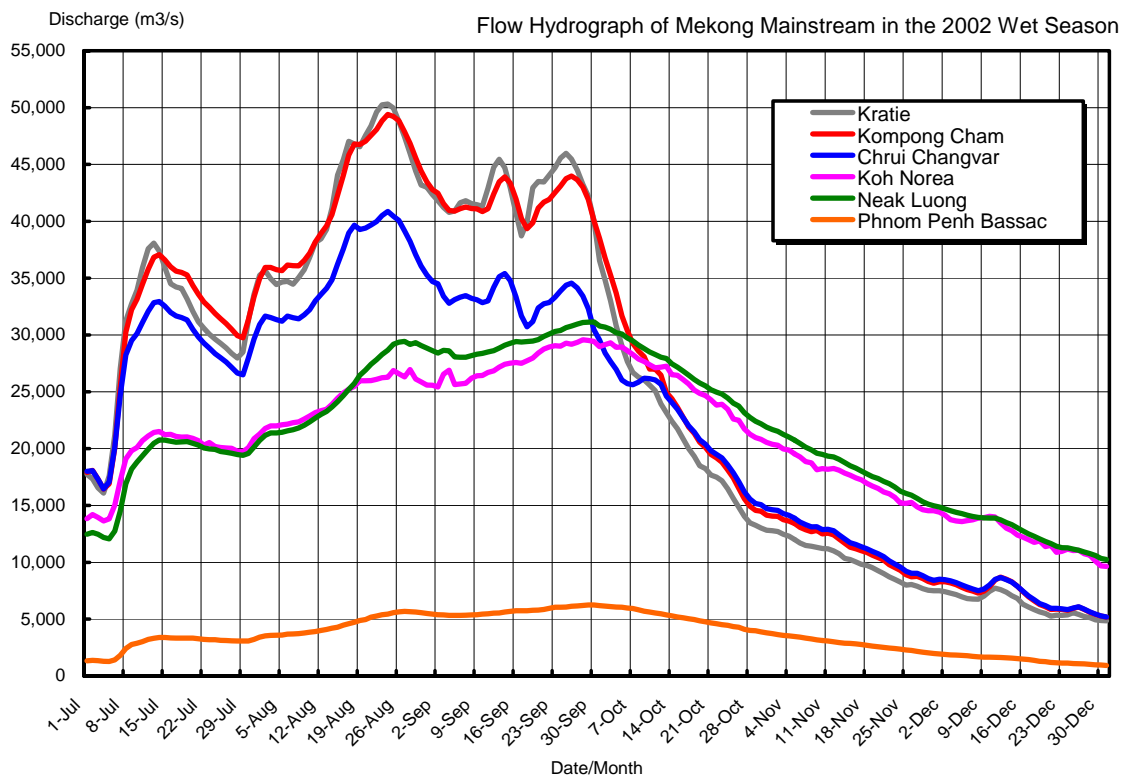


図 4-7 2002年雨季におけるカンボジア氾濫原の洪水波形

図 4-7 は、2002 年雨季の 3 つの洪水ピークを示している。洪水ピーク緩和機能は、 $900\text{m}^3/\text{s}$ から $2,240\text{m}^3/\text{s}$ と見積られ、これはクラティエの洪水ピーク流量の約 2-5%に相当している。

コンポンチャム下流のメコン河本川

コンポンチャムからネアックルンにかけて、2002 年 7 月 18 日から 12 回の同時流量観測を実施した。この一部を図 4-8 に示す。

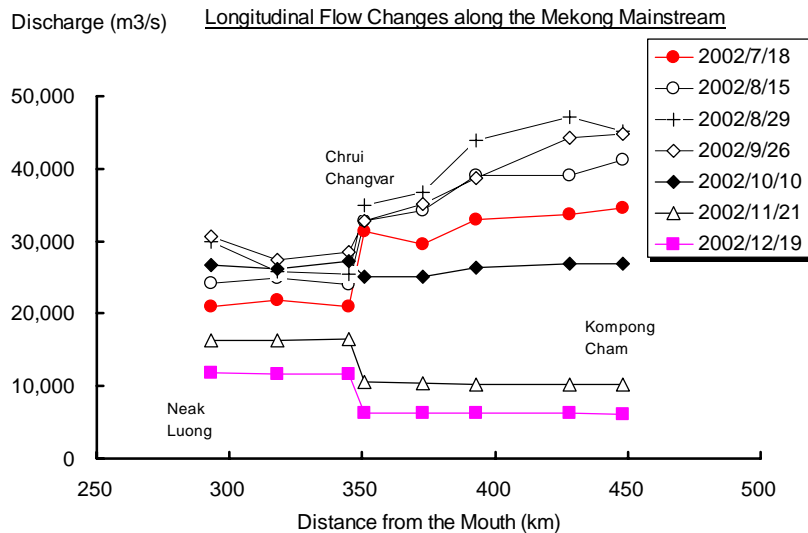


図 4-8 メコン河本川における縦断的な流量変化

この図から次のような水文的特徴が読み取れる。

- 上図に示したコンポンチャムにおける観測値である 8 月 29 日の $45,100\text{m}^3/\text{s}$ および 9 月 26 日の $44,800\text{m}^3/\text{s}$ の洪水流量は、2002 年の洪水ピーク流量に近い値である。こうした $45,000\text{m}^3/\text{s}$ クラスの大規模な洪水は、氾濫原への溢水氾濫や氾濫原内の洪水流路への流入によって調整されながら流下する。こうしてチュルイチャンワーに至るまでに、約 25%の流量が調整されて減少する。
- 図 4-9 はコンポンチャムとチュルイチャンワーの洪水流量の関係をプロットしたものである。コンポンチャムとチュルイチャンワー間の氾濫原における洪水氾濫は、コンポンチャムで流量 $25,000\text{m}^3/\text{s}$ [観測所水位(読み値)で水位上昇期に 11m]を越えると発生する。さらに $35,000\text{m}^3/\text{s}$ [観測所水位(読み値)で水位上昇期に 13m]を越えると、極めて大規模な溢水氾濫が発生する。
- いっぽう $25,000\text{m}^3/\text{s}$ 以下の流量は、チュルイチャンワーまでの河道を氾濫無しにスムーズに流下する。
- チャトムック地区における分合流の状態は、大湖の空き容量如何によって大いに変化する。

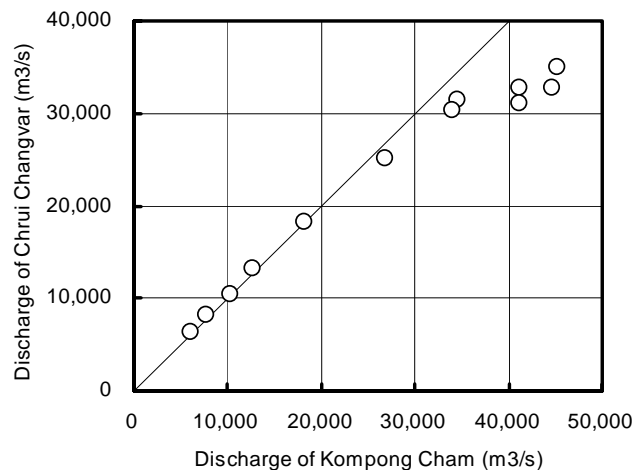


図 4-9 コンボンチャムとチュルイチャンワの洪水流量の関係

トンレサップ

トンレサップは通常、洪水期の最中に流向が劇的に変わるため、複雑な流況を呈するよう
 思われる。しかし、同時流量観測結果を図 4-10 に示すが、メコン河本川の洪水氾濫状況を考慮
 に入れると、プノンポートとプレクダム間の流況変化は理解が容易となる。

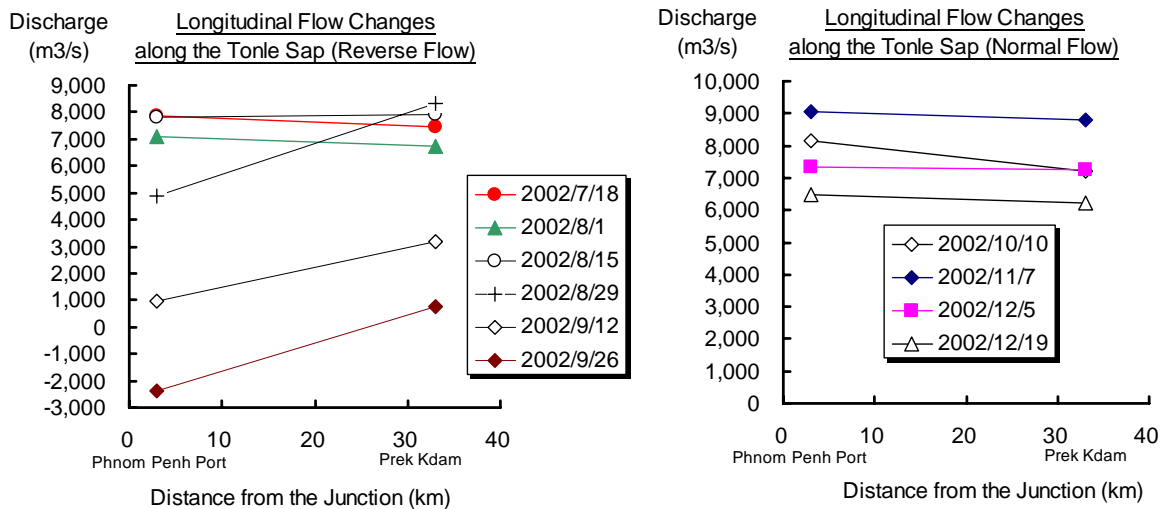


図 4-10 トンレサップの縦断的な流量変化

このトンレサップの動きを時間的な推移とともに考察すると次のようになる。

- 洪水初期の7月から8月中旬にかけては、メコン河本川で激しい溢水氾濫が生じていない。トンレサップの逆流の一部は、プレクと呼ばれる水路に流入し、後背湿地に湛水する。
- 8月中旬から9月の終わりにかけて、メコン河本川では激しい溢水氾濫が至るところで発生する。右岸を溢水氾濫した氾濫流のいくらかは、氾濫原に形成されたバイパス水路を流下し、トンレサップに流入する。その他は、膨張を始めた大湖に直接流入する。こ

のように、チャトムック合流分派点から発した逆流量は、プノンペンポートを通過し、メコン河からの氾濫流を合流させながらプレクダムに到達する。

- いったん大湖が洪水流で満杯となると、トンレサップは流向を変え始める。しかし、10月の時点では、氾濫原はまだ氾濫水を湛水しており、これをトンレサップに流入させている。したがって、プレクダムを発した順流は、氾濫原からの流入量を加えながらプノンペンポートに至る。
- 氾濫原に湛水していた氾濫流が流出し終わった時点から、プレクダムとプノンペンポート間の順流はほとんどバランスした状態で流れる。

バサック河

バサック河に沿った流況は他の河川や氾濫原と比較して単純である。河川の両岸には無数のコルマタージ水路が存在している。例えば、カンダール州において254本のコルマタージ水路が確認されている。コルマタージとは、シルトを含んだ水を導水することによって堤内地側に土地を造成するという、いわゆる流水客土を意味している。したがって、こうした水路の第一の目的は洪水流を堤内の後背湿地に導水することである。

図4-11は、同時流量観測の結果を示している。洪水流量が増大するにしたがって、洪水の緩和・調節効果も増大している。9月26日にモニボン橋で $6,100\text{m}^3/\text{s}$ の洪水流量のうち、下流のコーケルに下るまでに $2,100\text{m}^3/\text{s}$ がコルマタージ水路への流入およびタクマオ付近のプレクトノットへの逆流によって、氾濫原に流入したことを図4-11は示している。この間の氾濫流量はモニボン橋でのピーク流量の1/3に相当している。

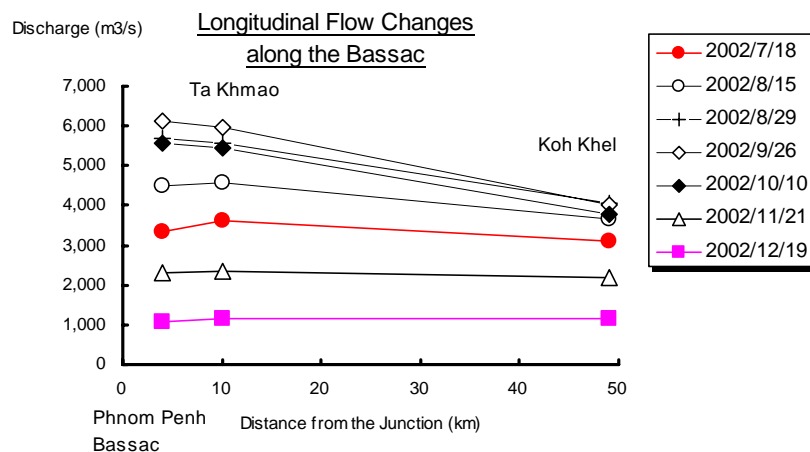


図4-11 バサック河の縦断的な流量変化

さらに、氾濫原に流入した洪水流は、この区間ではバサック河に戻っておらず、氾濫原を流れ下り、さらに下流の水路もしくは合流支川を通してバサック河に戻っているようである。

(2) カンボジア氾濫原の水文的機能

コンポンチャムにおけるメコン河とトンレサップのそれぞれの洪水流況を比較することに

よって、カンボジア氾濫原の洪水状況を時間的推移とともに述べると次のようである。

- (a) メコン河本川の水位が上昇を始める頃、トンレサップは流向を順流から、大湖へ向かう流れとなる逆流に変える。
- (b) コンボンチャムの標尺水位が 11m を越えると、氾濫原への溢水氾濫が始まり、同時にトンレサップの逆流も流量を増す。この開始時点で、コンボンチャムの流量は概ね $25,000\text{m}^3/\text{s}$ である。
- (c) さらに、通常洪水期には水位が増加し続ける。コンボンチャムの標尺水位が 12m を越えると、氾濫原への溢水氾濫の激しさが増してくる。この時点で、コンボンチャムの流量は概ね $30,000\text{m}^3/\text{s}$ である。
- (d) さらにメコン河本川の洪水ピークを迎え、この時にはトンレサップの洪水ピークも同時に発生する。
- (e) この後、トンレサップは流向を逆流から、下流に向けた順流に変える。
- (f) コンボンチャムの標尺水位が 11m を下回ると、氾濫原への溢水氾濫が沈静化し、洪水流はスムーズに河道内を流下し始める。この時点で、コンボンチャムの流量は概ね $23,000\text{m}^3/\text{s}$ に低減している。

このような現象を、2002年雨季のハイドログラフを用いて模式化したものが次図である。

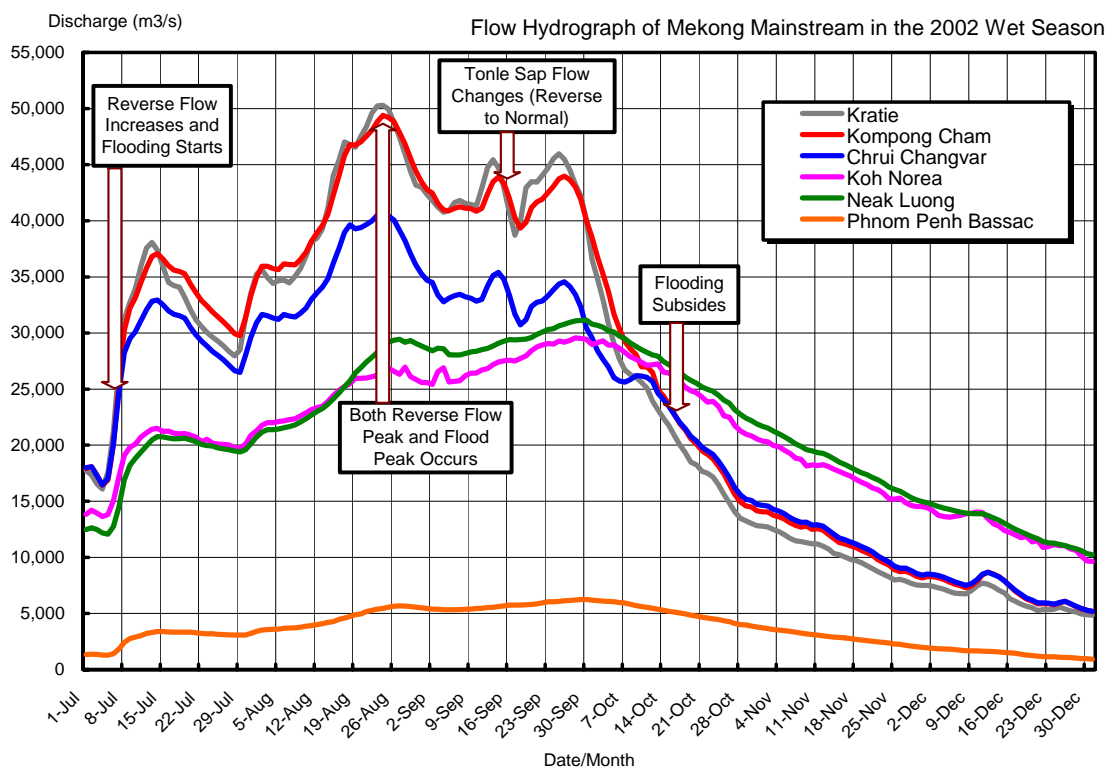


図 4-12 カンボジア氾濫原の洪水状況

コンボンチャムとプノンペン間の雨季の水収支を、流量ハイドログラフの比較、氾濫原の水収支解析結果、水理シミュレーション結果等を参考に整理したものが図 4-13 である。以下に 2002 年雨季の洪水緩和・調整因子の概要をまとめる。

- (a) 洪水疎通：洪水ピーク時にコンボンチャムとプノンペン間の河道を、 $37,900\text{m}^3/\text{s}$ の洪水が、氾濫原への溢水氾濫を伴いながら流下する。
- (b) 洪水分派：チュルイチャンワー地点まで流下してきた洪水は、トンレサップとバサック河の 2 河道に $11,900\text{m}^3/\text{s}(=37,900\text{m}^3/\text{s}-26,000\text{m}^3/\text{s})$ の洪水を分派させ、約 30% 下流への洪水負荷を軽減させる。
- (c) 溢水氾濫： $11,500\text{m}^3/\text{s}(=49,400\text{m}^3/\text{s}-37,900\text{m}^3/\text{s})$ の洪水を溢水氾濫により氾濫原へ拡散させ、約 23% の洪水負荷を軽減させている。

このような水文的なメカニズムのもと、コンボンチャム下流、とくに首都プノンペンは、自然の洪水緩和機能によって防護されているといえる。これらは、氾濫原への溢水氾濫による洪水ピーク流量の低減効果、およびチャトムック地区における 3 河道への分派による洪水危険分散効果とでも言えるものである。

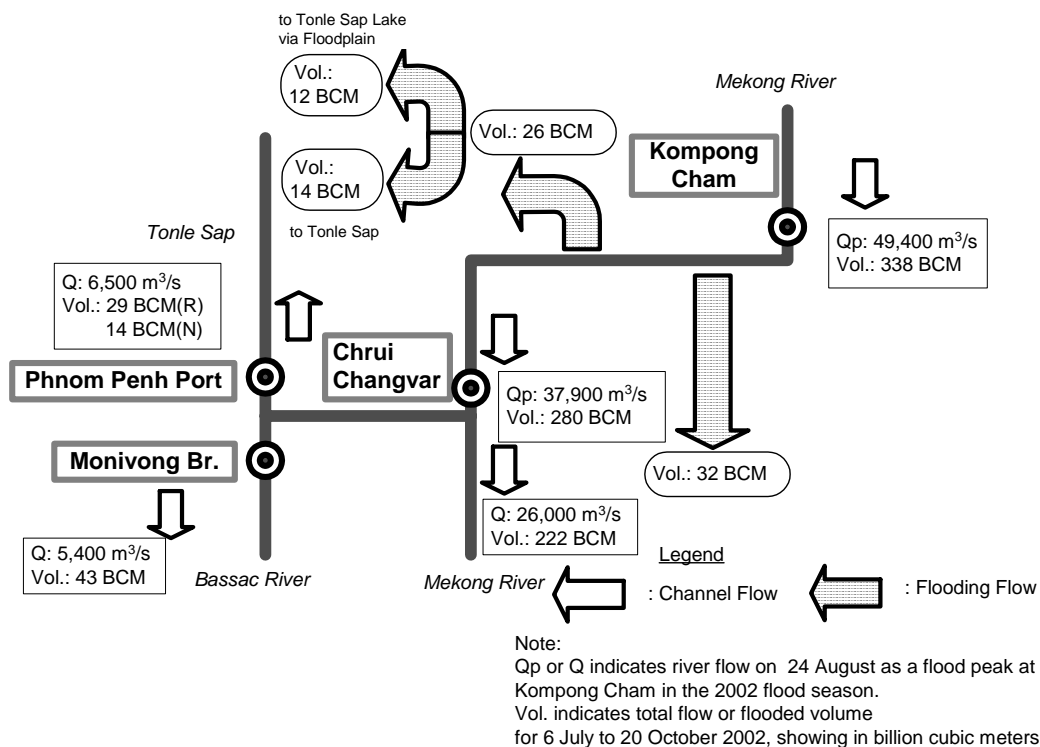


図 4-13 2002 年雨季におけるコンボンチャム - プノンペン間の水収支

さらに、大湖への洪水流下は、大湖の環境保全という観点からも自然の重要な機能である。2002 年 7 月 6 日から 10 月 20 日の期間においては、トンレサップの逆流量と同程度の氾濫流がトンレサップならびに大湖に流入している。したがって、無秩序な開発に対して、大湖と氾濫原の自然環境と資源の防護のみならず、洪水に対する都市市街地の防護の観点からも、こうし

た自然の機能を保全する必要がある。こうした機能はカンボジアの将来にわたる持続可能な開発に対して必要不可欠である。

(3) トンレサップの逆流量

1995年のメコン河合意は、第6条に「本川流量の維持」を規定しており、ここには年間の水文サイクルに応じて、3種類の流量を維持していくことが述べられている。すなわち、(a)乾季における許容最小月自然流量、(b)雨季におけるトンレサップの許容自然逆流量、および(c)洪水期におけるある一定の日流量である。図4-13に示したように、氾濫原の洪水氾濫機能は、自然の遊水地として大湖の保全に対し重要な役割を果たすものである。

この雨季におけるトンレサップの許容自然逆流量を定量化するためには、大湖の年貯留量に関連する因子を明らかにすることが、まず重要となろう。この因子を明らかにした上で、大湖の雨季の最適な水位を、関係者間で議論し、最終的に合意すべきである。ここでは、水文分野からの技術的支援として、大湖の貯留量に対する関連性の高い因子の検討を行った。

ここでは、検討を容易にするため、1995年合意に規定されているクラティエ観測所の代わりにコンボンチャム観測所の流量データを使用した。その理由は、WUP-JICA調査団が2002年7月から2003年10月にかけてコンボンチャムで流量観測を継続し、水位流量曲線を作成し、精度の高い流量データが得られるためである。なお、いったんコンボンチャムの流況と大湖の貯留量との何らかの関係が明らかとなれば、コンボンチャムの流量等からクラティエの流量等へ換算するのは容易である。これは、第2章で述べているように、クラティエでも水位流量曲線を作成しており、コンボンチャムとの流量相関により容易に換算できるためである。

コンボンチャムの流況と大湖の貯留量に関する検討

すでに述べたように、氾濫原へのメコン河の溢水氾濫は大湖の貯留量に大いに影響を与えている。さらに、トンレサップの逆流量はメコン河の流量増大に比例して増加し、とくに溢水氾濫を開始する時期から急激に増加している。このように、メコン河流況と大湖貯留量の間を考えると、コンボンチャム地点での氾濫開始流量が重要な因子とみなすことができ、これを閾値として用いることが考えられる。さらに大湖の貯留量に関しては、ある一定レベルを越える洪水期間も関係してくるであろう。この洪水期間については、上記の閾値を越える期間が妥当と思われる、メコン河のパラメータとしては、コンボンチャムの閾値を越える洪水ボリュームが候補として考えられる。

これらの基本的な考えに則って、コンボンチャム地点の溢水氾濫に関する閾値としてこれまでの検討結果から $25,000\text{m}^3/\text{s}$ を設定し、これを上回る洪水ボリュームを近年の洪水に対して算定した。図4-14は、近年の洪水ハイドログラフと閾値である $25,000\text{m}^3/\text{s}$ の関係を示したものである。この図から、各年の流出ボリュームの違いが明瞭に認められる。

1998年から2003年の6ヵ年におけるコンボンチャム観測所の洪水ボリューム($25,000\text{m}^3/\text{s}$ を越える部分)と大湖の最大貯留量を算定した。なお大湖の各年の最大貯留量は、コンボンルオン観測所の最高水位記録から、本調査で作成した大湖の水位・容量関係(第3章参照)をもとに算

定した。この結果を表 4-3 に示す。

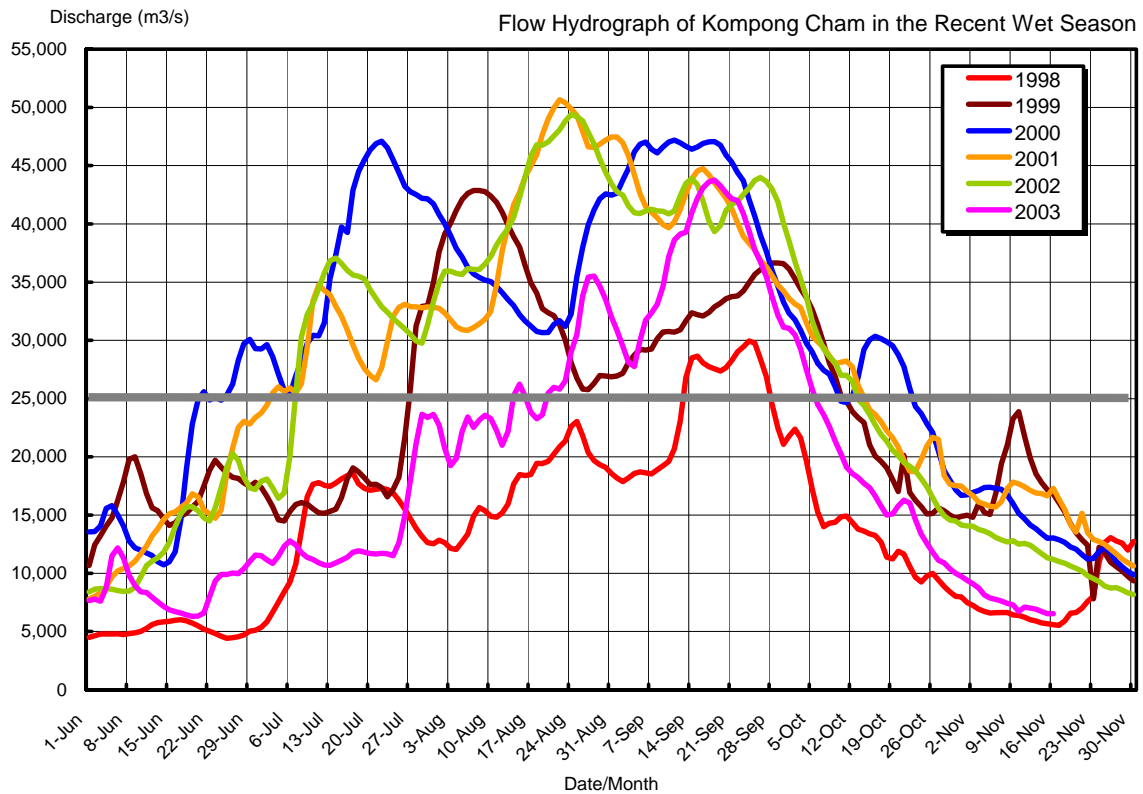


図 4-14 コンボンチャム観測所における近年の洪水ハイドログラフと
溢水氾濫に関する閾値 25,000m³/s

表4-3 コンボンチャム観測所の洪水ボリュームと大湖最大貯留量の算定結果

Year	Kg. Cham Flood Volume (BCM)	Great Lake	
		Maximum Water Level at Kg. Luong (MSL m)	Storage Volume (BCM)
1998	4.233	6.86	34.242
1999	54.342	8.97	57.050
2000	119.143	10.36	75.155
2001	103.640	9.89	68.767
2002	113.708	10.10	71.556
2003	38.209	8.26	48.837

この算定結果に基づいて、洪水ボリュームと貯留量との回帰分析を行い、その結果を次図に示す。図は、両者の高い相関を示している。

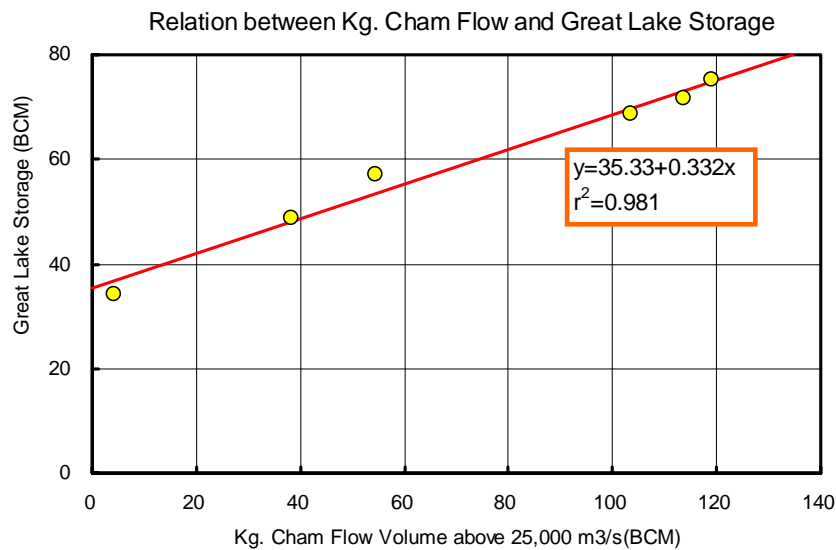


図 4-15 コンポンチャムの洪水ボリュームと大湖最大貯留量との関係

水利用規則策定のための提言

洪水ボリュームと大湖貯留量は、極めて高い相関を示している。内水面漁業や他の水生生物等といった天然資源の保全と、資産や人命の保護に関する洪水防御との最適なバランスを勘案して、関係者は、必要最小限の大湖の貯留量を設定すべきであろう。1995年の合意で規定されている「大湖の最適水位」は、上図において当然ながら1998年湯水の最低レベルと2000年洪水の最高レベルの中間に位置するものと考えられる。1998年の湯水後には内水面漁業の漁獲高が急落したとの報告もあり、最適水位は少なくとも1998年以上の水位となるべきである。いっぽう2000年洪水はカンボジアに深刻な被害をもたらしており、当然この水位より低い水位に設定すべきである。このように近年のデータは、6年間のものではあるが、大湖の最適水位を検討する上で十分な情報を含んでいるといえよう。

4.2 メコン河下流域の水利利用

4.2.1 はじめに

メコン河の表流水は、主として灌漑、水力発電、都市上水および工業用水として利用されている。河川の高水・低水ともにメコン河下流域の持続的開発の関心事となっている。しかし、本川の低水流況は、流域内のさまざまなセクターなり開発事業における水利利用の影響を受けている。本川沿いの主要水文観測所の低水流況は、「本川流量の維持」についての水利利用規則に従った将来の水文モニタリングシステムにも関連するため、その抱える課題を調査した。この水利利用規則は現在策定中であり、「本川流量の維持」に関しては、2004 年末の MRC 評議会で採択が検討される予定である。

4.2.2 メコン河流域の既設水資源開発施設

メコン河下流域には、多くの貯水池が建設されている。現在、大規模貯水池の総計は 121 億 m^3 に上っている。メコン河流域全体の既設貯水池群による調節率は約 2.5% と見積られている。以下、国別に既設の水資源開発の現状を簡単に整理する。

表4-4 国別の貯水池数と有効貯水容量の総計

Country (Coverage of MRB)	Number of Reservoirs	Storage Volume (million m^3)
China (22%)	2	498
Myanmar (3%)	0	0
Lao PDR (25%)	3	5,408
Thailand (23%)	9	5,462
Cambodia (19%)	0	0
Vietnam (8%)	1	779
Total	15	12,147

中国

中国領内の瀾滄江(メコン河の中国内の呼名で、流域全体の 22% を占めている)では、2 基の水力発電所、マンワンとダチョウシャンがメコン河本川の階段状水力開発プロジェクトの一環として完成している。両貯水池の有効貯水容量は合計で 4 億 9,800 万 m^3 である。これらのプロジェクトは大規模な貯水池を有しているが、最大出力を得るために、貯水池水位を最高水位に維持しながら発電する流れ込み式発電(季節的な調節をしない流入=放流タイプの操作)を基本としている。これら 2 基の水力発電ダムは、メコン河本川の低水流況にほとんど影響を与えていないといえる。

しかし、現在建設中の第 3 のダムであるシャオワン(4,200MW)は、季節的な流況調節のために 115 億 m^3 の容量があり、乾季流量を約 550 m^3/s 増大させる能力を持っている。さらに、すべての階段状水力開発プロジェクトの完了時点では、約 1,230 m^3/s の流量が乾季に増強される。この結果、5 月の月平均流量で見ると、チェンセンで 28%、ルアンプラバンで 27%、ヴィエンチャンで 27%、ムクダハンで 17% 増大することが予想される。

ミャンマー

メコン河流域に占めるミャンマーの割合は、わずかに 3%(28,000km²)である。ミャンマー内の流域での水資源開発はほとんどないようで、メコン河に注ぐ支川流域で小規模な水力発電所が建設されているに過ぎない。

ラオス

ラオスはメコン河流域の 25%を占めており、水力発電の高い潜在能力を有している。10MW以上に限ると、現在までに 5 基の水力発電所があり、総設備容量は 615MW である。これらのうち 3 基は、貯水池タイプで、ナムグン川のナムグンおよびナムリエク、セコン川のホォアイホ発電所である。これらの貯水池の総有効貯水容量は合計で 52 億 m³ である。乾季(2月~4月)における月平均流量で見ると、ナムグンダム過去の操作ルールに基づけば約 190m³/s の増加が推算できる。ナムリエク発電所で発電に使用した水量は、ナムグン貯水池に導水され、ナムグン発電所に機能を高める役割を果たしている。ホォアイホ発電所は、765m の計画最高落差を利用して、約 24m³/s の最大使用水量で発電しているため、低水流況に与える影響はほとんどない。

タイ

タイは、メコン河流域の 22%(170,000km²)を占めており、次図に示す東北タイがこれに該当する。

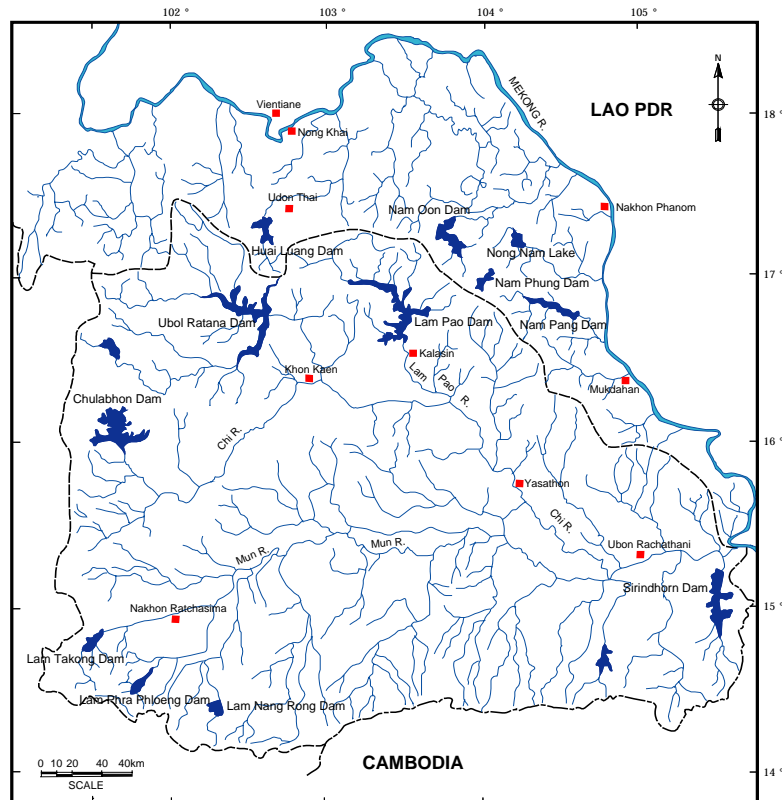


図 4-16 東北タイの主要貯水池の位置図

ムン・チ流域は、120,000km²で最も大きな流域面積を持っている。この流域で、1960年代中

盤から 1970 年代にかけて、積極的な水資源開発が実施された。その結果、9 基の季節変動を調節する貯水池が建設され、乾季の灌漑補給を行っている。これらのうち 4 基は水力発電施設も併設している。総貯水容量は 54.6 億 m³ で、灌漑区域は 24 万 ha である。年平均流量に対して、全貯水池の季節的な流況調節能力を推算すると約 6.9% となる。

カンボジア

カンボジアは、メコン河流域の 19% (155,000km²) を占めており、カンボジア国土の 90% に相当する。トンレサップは大湖を含みメコン河の主要支川である。大湖の容量は 1,500 億 m³ で、内水面漁業の主要生産源であるのみならず下流メコンデルタに対する洪水緩和機能を有している。カンボジアには大規模な貯水池は存在しない。

ベトナム

ベトナムはメコン河流域に二つの区域で関わっている。メコンデルタ (39,000km²) と中央高地 (48,500km²) であり、流域全体の 8% に相当する。セコン (14,800km²)、セサン (18,200km²) 流域が、中央高地における主要支川で、水力発電と灌漑に高い潜在能力を持っている。セサン川のヤリ発電所 (720MW) は、貯水池タイプの水力発電所で、7.79 億 m³ の有効貯水容量を有し、2000 年に完成した。いっぽう、メコンデルタはベトナムの主要な穀倉地帯で、灌漑排水路網が発達しており、水田とその他の作物を併せて 240 万 ha の農地が展開している。

次表に、メコン河流域の大規模な水力発電施設を整理する。

表4-5 メコン河流域の既設水力発電所の一覧

Country	Name of Plant		Type	Capacity (MW)	Completion Year	Annual Output (GWh)	Rated Head (m)	Plant Discharge (m ³ /s)
China	Manwan	Mekong	RoR	1,500	1993	7,870	99	-
	Dachaoshan	Mekong	RoR	1,350	2000	5,931	80	-
Lao PDR	Nam Ngum	Nam Ngum	SS	150	1971-85	900	32	220
	Xeset	Xe Don	RoR	45	1991	180	157	-
	Theun Hinboun	Nam Theun, Nam Hinboun	RoR	210	1998	1,645	230	100
	Houay Ho	Se Kong	SS	150	1999	600	765	10.4
	Nam Leuk	Nam Leuk	SS	60	2000	184	-	-
Thailand	Sirindhorn	Nam Mun	SS	36	1968	115	30.3	-
	Chulabhorn	Nam Chi	SS	15	1971	62	85	-
	Ubolratana	Nam Chi	SS	25	1966	75	16.75	75
	Pak Mun	Nam Mun	RoR	136	1997	462	-	-
Vietnam	Dray Ling	Se Srepok	RoR	13	1995	70	-	-
	Ialy (Yali)	Se San	SS	720	2000-01	3,642	189	105

Note: SS: Seasonal storage, RoR: Run-of-river, Source: MRCS and other related reports

表 4-5 に示したように、メコン河流域では、2000 年時点で設備容量 10MW 以上の水力発電所が 13 カ所ある。これらのうち、7 カ所は貯水池タイプの流況調節能力を有するダムである。これらのダムは、雨季の貯留によって、乾季における支川の流況を改善する機能を有している。いっぽう流れ込み式の発電所は、流況を調節する機能は持たない。これらの発電所の位置図を図 4-17 に示す。



図 4-17 メコン河流域の既設水力発電所位置図

Source: MRC, MRC Hydropower Development Strategy, 2001

4.2.3 メコン河下流域の水利用現況

(1) 家庭・都市用水

家庭用水として、ラオスでは1999年に4,830万 m^3 /年、この74%が首都ヴィエンチャンで使用されると見積られている。さらに、ESCAP(1991)によると東北タイの家庭用水の総量は9,230万 m^3 /年で、このうち都市での使用水量が7,730万 m^3 /年、地方での使用水量が1,500万 m^3 /年と見積られている。同様にカンボジアでは、2002年にプノンペンの都市用水として、6,800万 m^3 /年が見積られている。さらにベトナムのメコンデルタでは、2000年に家庭用水として4億 m^3 /年が見積られており、メコンデルタの家庭用水需要は、流域内の他の地域に比して極めて大きな値となっている。

(2) 灌漑用水

メコン河下流域の住民の75%は、漁業を含む農業に依拠して生計を立てている。1999年の各国GDPに対する農業セクターの寄与率は、ラオス47.2%、タイ18.3%、カンボジア36.5%、そしてベトナム22.7%であった。

MRCのプロジェクトレポートの一つであるLRIAD(2002)によると、メコン河流域の灌漑面積はラオス224,200ha、タイ941,400ha、カンボジア392,100ha、そしてベトナム1,719,100haであった。この値と従来の調査結果を比較して灌漑区域の変化を把握することができる。その結果、この10ヵ年の間にラオスとカンボジアでは灌漑面積が増大しており、いっぽうタイにおいてはほとんど伸びていないことが分かった。

通常、流域内ではポンプによる灌漑が一般的に行われている。ラオスでは81,200haの農地に対し、449ポンプ灌漑システムが稼働している。ラオスではポンプ灌漑が主たるもので、全体の灌漑区域の80%を賅っている。タイでもポンプ灌漑が盛んであり、ムン・チ流域では283システム(DEDP,1994)、メコン河本川では247システム(DEDP,1994)が稼働している。近年のデータはないが、1984年の調査結果によれば1,426のポンプ灌漑システムがタイに存在し、924,400haの農地を灌漑していたとのことである。こうした事実は、ポンプ灌漑の区域はメコン河流域の中で、極めて大きな位置を占めていることを示している。

さまざまな文献等の調査結果に基づいて、地域別に灌漑に必要な水量の整理を行った。これは、具体的な水利用データがほとんど無いためである。灌漑のための乾季(1月~4月)における必要水量は、ラオスでは1,423-2,495mm、タイのチ川流域では2,005-2,400mm、ムン川流域では1,448-2,400mm、メコン本川残流域では1,224-2,400mm、カンボジアでは1,505-2,100mmである。また、ベトナムのメコンデルタでは、二期作が410-1,089mm、三期作が887-1,247mm、畑作が401-599mm、多年生作物381-535mmである。

こうした必要水量と乾季の灌漑面積について最近のデータをもとに、乾季の灌漑水量の概算を行ってみた。乾季灌漑必要水量の総計が約181億 m^3 で、内訳はタイが35億 m^3 、ラオスが12億 m^3 、カンボジアが18億 m^3 、ベトナムが116億 m^3 である。

第5章 水利用計画に関する技術支援

5.1 水利用規則の紹介

5.1.1 1995年メコン合意とWUP-JICA活動

1995年4月5日、メコン河下流域を構成する4カ国、すなわちカンボジア、ラオス、タイ、ベトナムは、歴史的画期をなす「メコン河流域の持続的開発に向けた協力に関する合意書(以下1995年メコン合意と呼ぶ)」に調印した。この1995年メコン合意において、メコン河流域の水および関連資源の持続的開発・利用・管理・保全といった分野での協力のための組織化に向けた任務を定めている。

水利用計画(WUP)は、メコン河委員会(MRC)および流域国が、メコン河流域の持続的開発のための協力に関する合意に盛り込まれている水利用の主要な項目を実施するために組織されたものである。水利用計画は、1995年メコン合意に述べられているメコン河の水および関連資源の合理的かつ衡平な利用を保証するために、適切な水利用規則を定めることを目的としている。さらに水利用計画は、関連する条項を実施に移すことを目的としており、現在次のような5種類の規則の策定を進めている。

表 5-1 水利用計画における規則の構成

Category	Rule
Procedural Rules	1. Procedures for Data and Information Exchange and Sharing (approved in July 2001)
	2. Procedures for Water Use Monitoring (approved in November 2003)
	3. Procedures for Notification, Prior Consultation and Agreement (approved in November 2003)
Technical Rules	4. Rules for the Maintenance of Flows on the Mainstream (to be approved by the end of 2004)
	5. Rules for Water Quality (to be approved by the end of 2005)

WUP-JICA 調査の目的の一つは、WUP の活動に基づく水利用規則策定の過程において、MRC に技術的支援を行うことである。水利用規則策定の進捗に合わせて、技術的支援として同様な分野における過去の経験等の技術移転や、技術的調査解析結果の説明等を行った。

本章は、WUP-JICA 調査団が実施した次のような3分野における技術支援の概要をとりまとめたものである。

本川流量の維持

流域関係各国の一般的な理解と合意に向け、水利用規則の策定支援のために、主として現況のメコン河の水文的な特性に注目しながら水文情報を提供することが調査の目的であった。この調査の過程において、利用可能な水文データをもとに予備的な流況解析を実施した。文献調査も同時に行い、既往調査および解析情報等の最大限の活用を試みている。

組織強化

法的小および組織的小見地からの調査と提言が組織強化の主要コンポーネントである。調査団は、ヘルシンキ・ルールや国連決議および国際河川の協定事例を収集し、こうした事例に照らしながら 1995 年メコン合意および関係各国の水資源関連法規の検証を行った。さらに、組織、人材、施設と予算のそれぞれの観点から、水利用規則の十全な運用に向けた水文モニタリングに関する必要な対応等を提案した。

日本の経験：水利用計画、水利用モニタリングおよび本川流量の維持

MRC による水利用規則の策定作業に並行して、技術的小支援の一環として、我が国における経験に基づくタイムリーなテーマを選択し、地域および国内ワークショップの題材として講演した。これらの題材は、1 年目に水利権システムにより管理運営されている我が国の水管理の実際、2 年目に我が国における水利用モニタリングの法的システムと具体的な事例紹介、3 年目には最小要求量(維持流量および正常流量)に基づく河川流況の管理について紹介した。こうした支援活動は、MRCS および各国メコン委員会や関係機関のスタッフへの技術移転のみならず、規則策定支援にも大いに寄与したと考えられる。

5.1.2 水利用規則の予備的小解釈

(1) 本川流量の維持

本川流量の維持のための草案作成において、まずメコン河において防護・保護すべきレベルは何なのかということについての適切な判断が下されるべきである。こうした重要なレベルの決定には、流域関係 4 カ国の合意が必要となる。また、1995 年メコン河合意の第 6 条(下記参照)は、メコン河本川の必要水量の維持を関係 4 カ国に要求しており、管理の原則を示しているものであるが、その「許容」という解釈がレベル決定には肝要である。

Article 6: Maintenance of Flows on the Mainstream

To cooperate in the maintenance of the flows on the mainstream from diversions, storage releases, or other actions of a permanent nature; except in cases of historically severe droughts and/or floods:

- A. Of not less than the acceptable minimum monthly natural flow during each month of the dry season;
- B. To enable the acceptable natural reverse flow of the Tonle Sap to take place during the wet season; and
- C. To prevent average daily peak flows greater than what naturally occur on the average during the flood season.

The Joint Committee shall adopt guidelines for the locations and levels of the flows, and monitor and take action necessary for their maintenance as provided in Article 26.

第6条は、「本川の乾季の各月における許容最小月自然流量」を維持することを要求しており、また雨季の本川流量は「トンレサップの許容自然逆流量の発生」を可能とするに十分であるべきとしている。MRCは、こうした課題を評価するため、国際的にも認知され始めている環境流量の考え方を取り入れて、メコン河本川の許容レベルを決定しようとする試みを開始したところである。

第6条は第26条を補完するもので、第26条には規則策定に向けて、次のような5つの要求事項が述べられている。

- (a) 雨季乾季の期間設定を行うこと
- (b) 水文観測所を選定し、各地点での要求される水位ないし流量を設定し維持すること
- (c) 本川の乾季における余剰水量の決定に関する基準・方法を確立すること
- (d) 流域内水利用のモニタリングの方法・仕組み等を改善すること
- (e) 本川からの流域外導水に対するモニタリングの方法・仕組み等を確立すること

こうした流れに従って、「統合的流域流水管理(IBFM: Integrated Basin Flow Management)」プロジェクトが、世銀支援のもとに2003年7月から開始された。この試みは、いかなる流量変化までが、社会的・経済的・環境生態学的に許容できるかを明らかにしようとするものである。MRCの主要な目標時期は、2004年末の評議会であり、ここで本川流量の維持の合意を得る予定である。IBFMプロジェクトは、簡略化した解析により、この時期までに当面の許容流量を定義する予定である。

第26条の水利用規則に関連する主要条項とその進捗状況を、以下の表にとりまとめる。

表5-2 第26条における主要条項と検討進捗状況

No.	Key Term	Progress/Undertaken
1	To establish the timeframe for the wet and dry seasons	Approved by the MRC Council in November 2003
2	To establish the location of hydrological stations, and to determine and maintain the flow level requirements at each station	Under the IBFM Project and Technical Drafting Group (TDG) 5
3	To set out the acceptable minimum monthly natural flow during each month of the dry season	Under the IBFM Project and TDG 5
4	To set out the acceptable natural reverse flow of the Tonle Sap to take place during the wet season	Under the IBFM Project and TDG 5
5	To set out criteria for determining surplus quantities of water during the dry season	Under the IBFM Project and TDG 5
6	To improve upon the mechanism to monitor intra-basin use	Approved by the MRC Council in November 2003
7	To set up a mechanism to monitor inter-basin diversions from the mainstream	Approved by the MRC Council in November 2003

(2) 自然流量

今後に残された課題の一つに、1995年メコン河合意に述べられている「自然流量」の定義がある。一般に、いつの時代でも人間活動が介在しているため、純粋な自然流況を得ることは困難である。したがって、実測された流況をもとに自然流量を算定するためには、介在している水利用のデータが不可欠となる。現在のメコン河の流況は、過去からの水利用の集積した結果であるが、実用的な観点から見ると、以下に述べるような特性を勘案し、現在の流況が自然流況と概ねみなされると考えられる。

まず現在進められている世銀支援の流域モデリングにおいては、流域関係国において水利用データの集積が遅れており、今後も完全な流域内水利用の全体像を把握するのは困難であろう。現在進められている流域開発計画(BDP: Basin Development Plan)は、メコン河下流域における既存の水利用を侵害しないよう策定され、実施されるべきである。既存の水利用の削減を、流域4カ国は望んではいない。したがって、現況流況はすでに既存の水利用の影響が入っているため、これをもとにして考えるのが妥当なアプローチといえよう。

ラオスでは、ナムグム貯水池による流況調整により、乾季に $190\text{m}^3/\text{s}$ の流量増が見込まれるが、これに灌漑の必要水量 $100\text{m}^3/\text{s}$ を考えると(乾季の灌漑区域 $100,000\text{ha}$ 、必要原単位 $1\text{liter}/\text{s}/\text{ha}$)、差し引きは $90\text{m}^3/\text{s}$ の増分となる。同様に、タイでは貯水池による調整と灌漑による消費の収支が $40\text{-}50\text{m}^3/\text{s}$ の流量増として見積られる。カンボジアでは、大規模な貯水池がないため、むしろ $68\text{m}^3/\text{s}$ の流量減となる。このような本川の極めて概算による乾季の水収支によると、既存の乾季における水利用(主として灌漑)は量的に無視しえる量であると判断できる。ちなみに、メコン河の水量が最低となる4月のカンボジアとベトナム国境での流量は、月平均で $2,800\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。

中国では、メコン河本川上流にシャオワン(小湾)水力発電所が建設中であり、この貯水量は 115億 m^3 である。このプロジェクトは、メコン河本川において流況調整機能のある最初の大規模貯水池である。このプロジェクトによって、とくに乾季流量は大幅に改善されるといわれており、約 $550\text{m}^3/\text{s}$ の流量増が見込まれている。この点からも、このプロジェクト完成前の、現在の流況を自然流況とみなすことができる。

以上の考察から、例え自然流況を何らかの方式で推算したとしても、現況の流況から算定した許容最小レベルとは大差がないものと推察できる。実用的には、現在の流況を用いて許容最小流量等を算定することが可能である。しかし、将来各国間の水利用の配分等が課題となってきた時には、十分な水利用データの蓄積のもと、自然流況等を算定する必要性が出てくるであろう。

5.2 本川流量の維持

5.2.1 余剰水量に関する基本的考察

流域4カ国は既存の水利用が削減されることなど望んではいない。余剰水量は、理論的には、観測流量から合意される許容最小月自然流量を差し引くことによって求められる。ある基準点において求められた余剰水量は、その地点での余剰水量の総量を意味しているのではなく、当該地点上流域の基準点すべてにわたって利用可能な余剰水量という意味を持っている。算定された余剰水量は、すでに上流域の余剰水量を含んでいるし、さらには下流域のものも含んでいる。こうした概念が水利用規則に適用されるならば、許容最小月自然流量は、新規の水利用が認可されるたび毎に増加させなければならなくなる(支川流域も考慮すべきであるが、支川では通告のみで新規の水利用が可能である)。このように許容最小月自然流量ないし必要流量(水位)は、流域内の水資源開発の進捗に応じて、余剰水量を減らすように変更されるべきである。

MRC は、前述のように IBFM プロジェクトをスタートさせ、メコン河の環境流量に重点を置きながら、許容最小月自然流量等を設定していこうとしている。このプロジェクトでは、さまざまなケースの流況を発生させて、まず学際的なアプローチによってこれを評価し、最終的には意思決定者の判断に委ねて、流量が決定される過程を踏む。これらの流況は、さまざまな水利用のレベルを設定した流域開発シナリオに沿って、MRC の意思決定支援システム(DSF: Decision Support Framework)を用いたシミュレーションによって算出される。こうした開発レベルの選択は、各国メコン委員会との協議を経て、最終的には MRC の評議会によって決定される。

一般に、環境流量は、開発と保全の許容可能なバランスを、工学・経済・生態・社会それぞれの影響を反映させながら模索して決定するものである。メコン河流域の水および関連資源の持続的な開発、利用、保全および管理を可能とするよう、このような模索ないし折衝は、流況データに基づいて行われる。この許容最小月自然流量の概念を次図に示すが、将来のシナリオを介するため、前述のように許容最小月流量を開発の進捗に応じて変えていく必要はなくなっている。

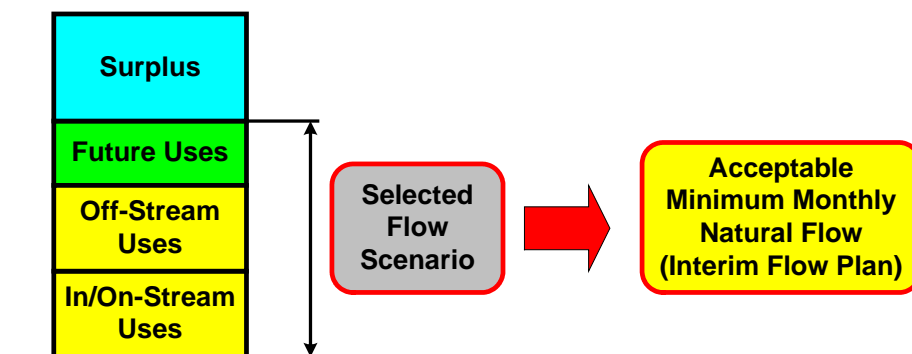


図 5-1 IBFM プロジェクトによる余剰水量の定義

5.2.2 メコンデルタにおける自然条件と水資源に関する課題

(1) 余剰水量算定の出発点としてのメコンデルタの重要性

メコン河流域全体の余剰水量の定量化は、メコン河水系の最下流端での余剰の有無によって決定される。ベトナムのメコンデルタへの入り口であるメコン河本川のタンチャオおよびバサック河のチャオドク両観測所において、水文モニタリングが実施されているため、懸案の流量はこれらの地点で把握可能である。

一般にメコン河が形成したデルタの面積は 45,000km² であり、そのうちベトナム領内で 87%(39,000km²)を占めている。なお、このレポートでは、メコンデルタという名称は、ベトナム領内のメコン河デルタを指すものとする。メコンデルタはベトナム国土の 12%を占め、人口の 20%(1,600 万人)が居住している。さらにメコンデルタは、メコン河流域から見ると、流域全体(795,000km²)の 4.9%、下流域(606,000km²)の 6.4%を占めている。

メコンデルタは、ベトナム政府の経済開放政策ドイモイに即座に呼応し、効果を発揮している地域である。当地の経済は、ベトナムの主要農業生産地帯であり、全国の GDP の 27%、農業生産の 40%、米生産の半分を賅っている。米の生産は 1,100 万トンで、人口密度が 400 人/km² と稠密なのにもかかわらず、一人当りの産出高は 740kg と高く、ベトナムの他流域と比較して最大の生産量を誇っている。米と水産加工品は、国家の貿易収支の改善に大きく寄与している。とくに米はベトナムの輸出全体の 85%を担っている。

メコン河下流域の中で、下流の沖積低地は、歴史的にも最も人口稠密で農業生産性の高い地域であった。しかしデルタ内部においては、プレイン・オブ・リーズ(アシ・ヨシ原)、ロンセン・ハティエン四辺地域、カマウ半島内部等の広い区域にわたって、硫酸塩土壌の地域が広がっており、灌漑等による十全な水管理は、こうした悪条件の土壌における農業生産を高めるために必要不可欠である。メコンデルタは 12 州から構成されており、1998 年の人口等は次表のとおりである。

表 5-3 1998 年時点のメコンデルタにおける人口

Province	Area (ha)	Population	Density (person/km ²)
Long An	444,885	1,306,202	294
Tien Giang	232,694	1,605,147	699
Ben Tre	228,191	1,296,914	568
Dong Thap	323,530	1,564,977	484
Vinh Long	147,370	1,010,486	686
Tra Vinh	236,694	965,712	408
Can Tho	296,300	1,811,140	611
Soc Trang	320,027	1,173,820	367
An Giang	340,623	2,049,039	602
Kien Giang	625,564	1,494,433	239
Bac Lieu	248,925	736,325	296
Ca Mau	521,511	1,117,829	214
Total	3,965,314	16,132,024	407

Source: MRC and KOICA; Flood Control Planning for Development of the Mekong Delta (Basin-wide), September 2000

(2) メコン河本川の低水流況

3月から4月にかけて、メコン河の水位は最も低くなる。3月と4月におけるチェンセン(集水面積 189,000km²)からクラティエ(集水面積 646,000km²)に至るメコン河本川の比流量は、0.3-0.5m³/s/100km²という狭いレンジの中で変化する。カンボジアのクラティエより下流は、広大な氾濫原が広がりメコンデルタへと続く。

カンボジアのプノンペンでメコン河はトンレサップと合流し、雨季の減水期から乾季にかけて、大湖に蓄えられた洪水が徐々にトンレサップを通して下流へ排出される。この合流点は、チャトムック(4つの顔の意)と呼ばれる4河川の分合流地点で、メコン河はトンレサップと合流し、メコン河(下流部)とバサック河に分派する。この分派した2河川はメコンデルタに流下する。現在これらの河川の水位と流量は、メコン河のタンチャオ、バサック河のチャオドクの両観測所で観測されており、これらはカンボジアとの国境からほぼ10km下流、河口からほぼ200kmの内陸部に位置している。

乾季の流量の一部は、大湖に貯留された洪水にも依存する。メコンデルタに流入する流量は、タンチャオとチャオドクを合計して(集水面積 756,000km²)、4月と5月で0.54m³/s/100km²および0.42m³/s/100km²である。これらの値は上記の上流の比流量よりも大きな値を示している。この原因は大湖で貯留された洪水の補給によるものであろう。大湖からメコンデルタへの補給量は、それぞれの月で0.28m³/s/100km²および0.16m³/s/100km²と推算される

両観測所で時刻水位および時刻流量が1997年以降観測されている。年平均のメコンデルタへの流入量(両河川の合計)は、13,200m³/sであるが、月平均流入量は、4月の2,800m³/sから9月の26,300m³/sに大きく変動する。またタンチャオとチャオドクの流入量比率は乾季には一定で、メコン河本川(タンチャオ)が82%の流入量比率を占めている。

(3) メコンデルタの塩水侵入

塩水侵入距離に関連したメコンデルタへの乾季流量の規模は、デルタの流水管理上、最も重要な因子である。タンチャオとチャオドク両観測所において、潮位変動の影響は極めて有意であり、流量が最も小さくなる3月から5月の乾季には、潮位変動は最大となる。潮位変動の影響を強く受けて、水位と流量の時間変動が早くなるため、両観測所での精確かつ信頼性の高い水文観測は極めて困難であろう。乾季には両観測所で潮位の影響による逆流も生じている。

表 5-4 メコンデルタの潮位の特性

Item	South China Sea (at My Thuan)	Gulf of Thailand (at Rach Gia)
Tidal Amplitude	3.0 m	0.7 m
Salinity	33 ppt	25 ppt
Highest Tide Level	+1.6 m	+0.5 m

Source: Mekong Delta Water Resources Development Project, Feasibility Study Update, Environmental Impact Assessment and Environmental Action Plan, Annex 1, August 1998

上表は、南シナ海とタイ湾では、潮位変動や塩分濃度が違っていることを示している。上表の大きな潮位の振幅は、大潮と小潮の時に発生する。

乾季においては、南シナ海とタイ湾からの塩水が、メコンデルタの河川および水路を伝って上流へ侵入する。メコンデルタの塩水侵入は極めて複雑である。最も高い塩分濃度は、通常4月に観測される。近年では、170万haの土地が塩水侵入の影響を受けており、灌漑開発だけではなく、上水供給にも影響を及ぼしている。塩水は水質を悪化させるだけでなく、耕地に被害を与える。最も厳しい状況は、河川流量が減少し、塩水侵入を防止できない渇水時に発生する。塩水が最も遡上した場合、約50-70km上流まで侵入する。現存の技術的な対応策では、デルタの水利用が増加した場合、塩水侵入に十分な対応ができなくなる。その結果、塩水による影響を受けるであろう地域は、220万haに増加すると予想されている。図5-2は、メコンデルタの塩水侵入の影響を受ける地域を図示したものである。

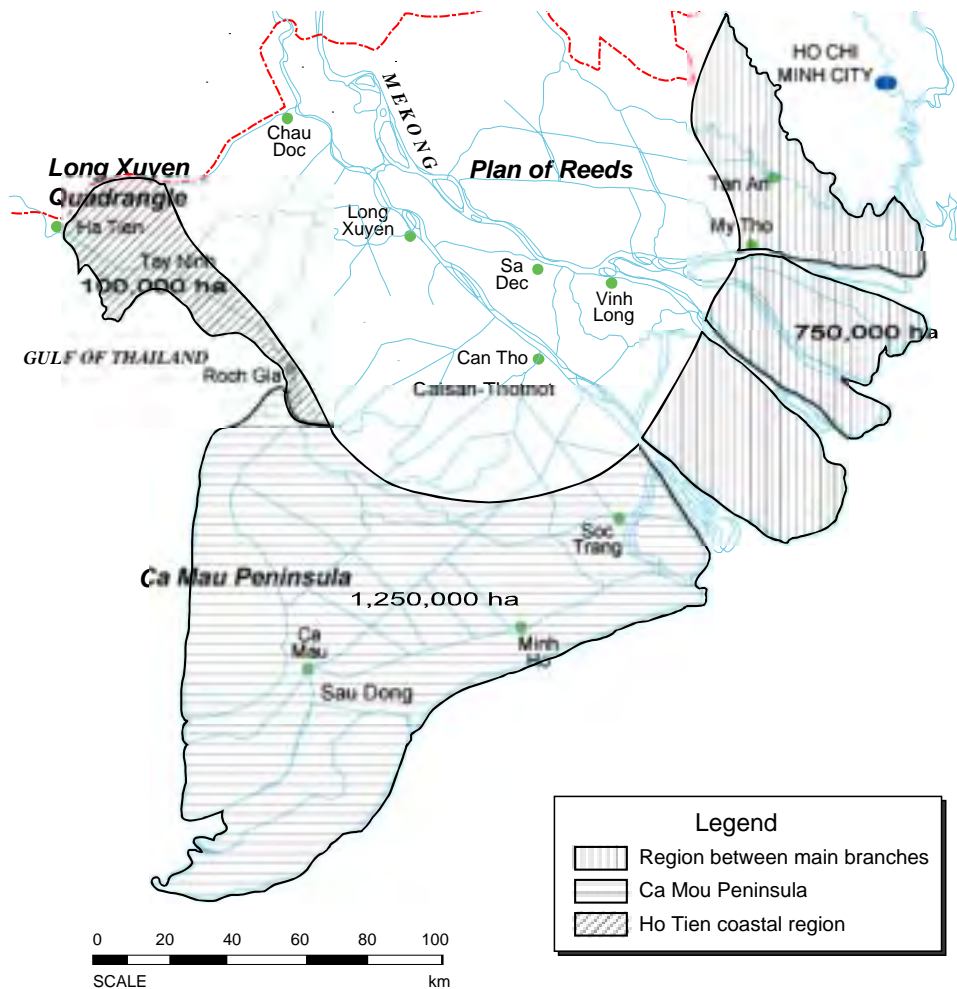


図5-2 メコンデルタで塩水侵入の影響を受ける地域

Source: Summary Report of the Project Manager, Programme of Mekong Delta
Salinity Intrusion Studies, Phase III, 1992

一般的に、4g/l以上の濃度を持つ塩水は灌漑には不適切である。こうした4g/lの塩分侵入線は、コチエン派川で29.4km、ハムルオン派川で26.4km、クアダイ派川で26.2km、クアティエウ派川で43.2km、バッサク河で25.6kmである。しかし、実際には塩水侵入による影響は、年毎に異なる。これは、水文気象条件のみならず、河川からの取水状況にも左右される。とくに

後者は、河川流量の減少を招くからである。したがって、乾季における水利用の増大は、メコン河本川の流量の減少を意味し、結果として塩水侵入を激化させることとなる。これは、水資源の開発と防護の対立例の一つともいえよう。

(4) メコンデルタの水資源管理の主要課題

メコンデルタの水資源管理および現況の水利用の面から、次の三点の課題を挙げるができる。

- (a) 乾季における水不足
- (b) 乾季における塩水侵入
- (c) 酸性土壌

これらの課題のうち、(a)と(b)は「メコン河本川の流量の維持」の決定に関する鍵となる要因である。これらの課題は、将来、上流関係国の水資源開発の影響を受け、より深刻化する恐れがある。

乾季におけるメコン河の流量の減水によって、塩水はデルタの上流に侵入する。この塩水侵入の機構は複雑である。最も高い塩分濃度は、一般に4月に観測されている。170万haの土地が塩水侵入の影響を受けており、灌漑開発だけではなく、上水供給にも影響を及ぼしている。この問題は、メコン河の流量が最も低下する4月に最も深刻化する。この時には、灌漑への適不適の判断となる4g/lの塩分濃度限界が、河口から30-40km上流に上っていく。

塩水侵入調査プログラムのもとで、かつて1989年から1990年の乾季に流量と水質の観測を実施した。調査結果は、潮位変動が最も激しく、メコン河の流量が最も低くなる4月に、最大の塩分濃度が高い頻度で発生していることを示している。次表に示すように、1990年にはデルタの主要観測所において乾季の流量と塩分濃度が計測されている。

表 5-5 1990年乾季におけるメコンデルタの15日平均塩分濃度

Period	Total Discharge	Salinity (g/l)				
		My Tho	Xuan Hoa	My Hoa	Tra Vinh	Dai Ngai
Feb 1st	4,100	0.16	0.59	0.78	2.03	0.36
Feb 2nd	3,170	0.21	0.71	1.22	2.86	0.68
Mar 1st	2,550	0.75	2.09	1.11	2.83	2.64
Mar 2nd	2,070	0.50	1.47	1.54	3.57	3.51
Apr 1st	1,930	0.65	1.74	1.65	4.56	2.89
Apr 2nd	1,570	1.49	2.86	3.13	5.57	2.96
May 1st	2,340	1.95	3.87	2.24	5.48	3.48
May 2nd	3,600	0.47	1.31	0.88	2.83	1.38

Source: Some Fundamental Hydrodynamic Characteristics of the Mekong Delta Water System during the Dry Season, Programme of Salinity Intrusion Studies in the Mekong Delta Phase III, SIWRPM, 1992

上表の塩分濃度の変化を図示したものが次図である。乾季における流量の減少のため、塩水

がより上流に侵入していく様子がこの図から見られる。

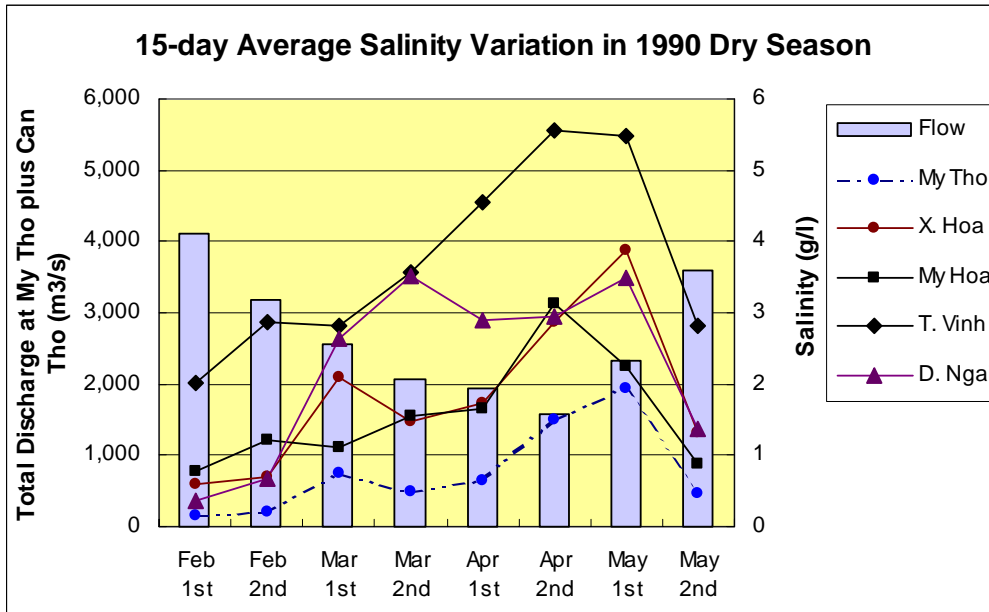


図5-3 1990年乾季におけるメコンデルタの15日平均塩分濃度

5.2.3 メコンデルタにおける水文的な観点からの必要流量

(1) 1998/1999 年の渇水とその影響

1998 年は渇水年であり、その渇水の状況は近年の出来事でもあり、地域の農業および漁業従事者に鮮明に記憶されている。メコン河本川のクラティエ観測所の水位を次図に示す。

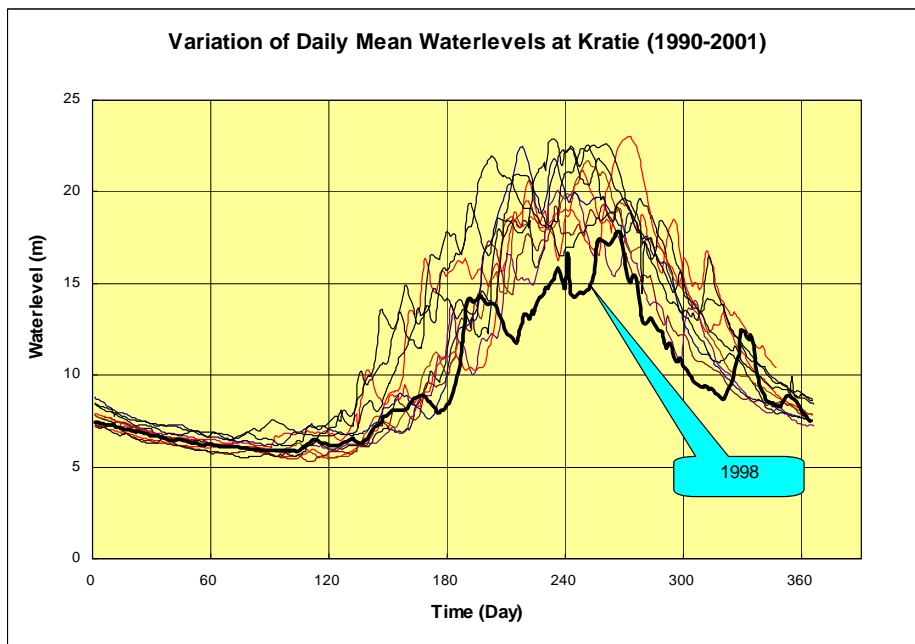


図 5-4 メコン本川クラティエ観測所の水位ハイドログラフ(1990-2001)

図 5-4 から 1998 年雨季の水位が平年の水位よりかなり下回っていることが分かる。またタンチャオとチャオドク両観測所においても、雨季において最も低い水位変動を示しており、これを図 5-5 に示す。例年に比べて、雨季に 1.5m 程度水位が低下している。この結果、渇水の影響は翌年の 1999 年の乾季に、デルタへの流入量の減少として現れてくる。1999 年の月平均流入量は、3 月 $1,850\text{m}^3/\text{s}$ 、4 月 $2,200\text{m}^3/\text{s}$ であった。こうした流量は、近年 12 年間の月平均流量と比較して、最も低い値であった。ちなみにこの 12 年間の月平均流量は、3 月 $3,200\text{m}^3/\text{s}$ 、4 月 $2,800\text{m}^3/\text{s}$ であった。

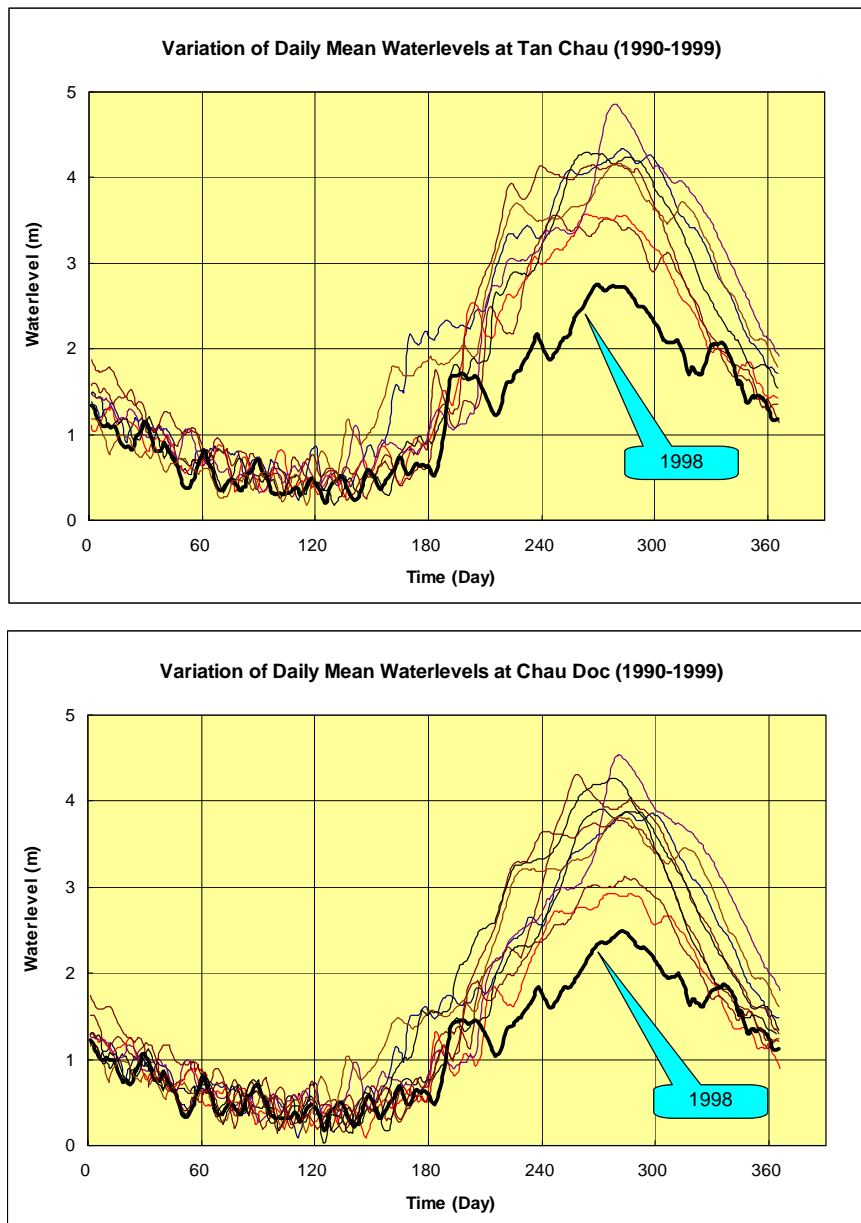


図 5-5 タンチャオ、チャオドク両観測所の水位ハイドログラフ(1990-1999)

1998 年の渇水は環境へも何らかの影響を与えている。大湖においても、1998 年には例年に無い低い水位であった。1998 年の水位と貯留量は約 6m 、 280億 m^3 、いっぽう 2000 年は約 9.5m 、 650億 m^3 であった。同様に湛水区域にも大きな相違が出ており、1998 年は $8,500\text{km}^2$ 、2000 年は $13,000\text{km}^2$ であった。カンボジアの氾濫原への湛水は、幼魚の成長と移動に深く関わってお

り、結果として極めて内水面漁業の高い生産性に繋がっている。このため、内水面漁業の漁獲高は、氾濫原の氾濫湛水の広がりと期間に大きく関係している。この1998年の渇水による湛水規模の縮小は、カンボジアにおいて漁獲高の急激な低下を引き起こした。カンボジアでは内水面漁業は経済的にも社会的にも重要であるため、こうした渇水現象の社会経済的影響は極めて大きい。

1999年乾季におけるメコンデルタへの流入量の減少は、塩水を通常の年よりもさらに上流に侵入させる結果となった。塩分濃度は急激に増大した。メコン河のトラビンでは、通常6g/l以下の塩分濃度であるが10g/lを越え、バサック河のダイガイでは、通常4g/l以下であるがほぼ10g/l近くまで上昇した。この状況を次図に示しているが、この時の農業に対する影響を判断できる情報は得られていない。

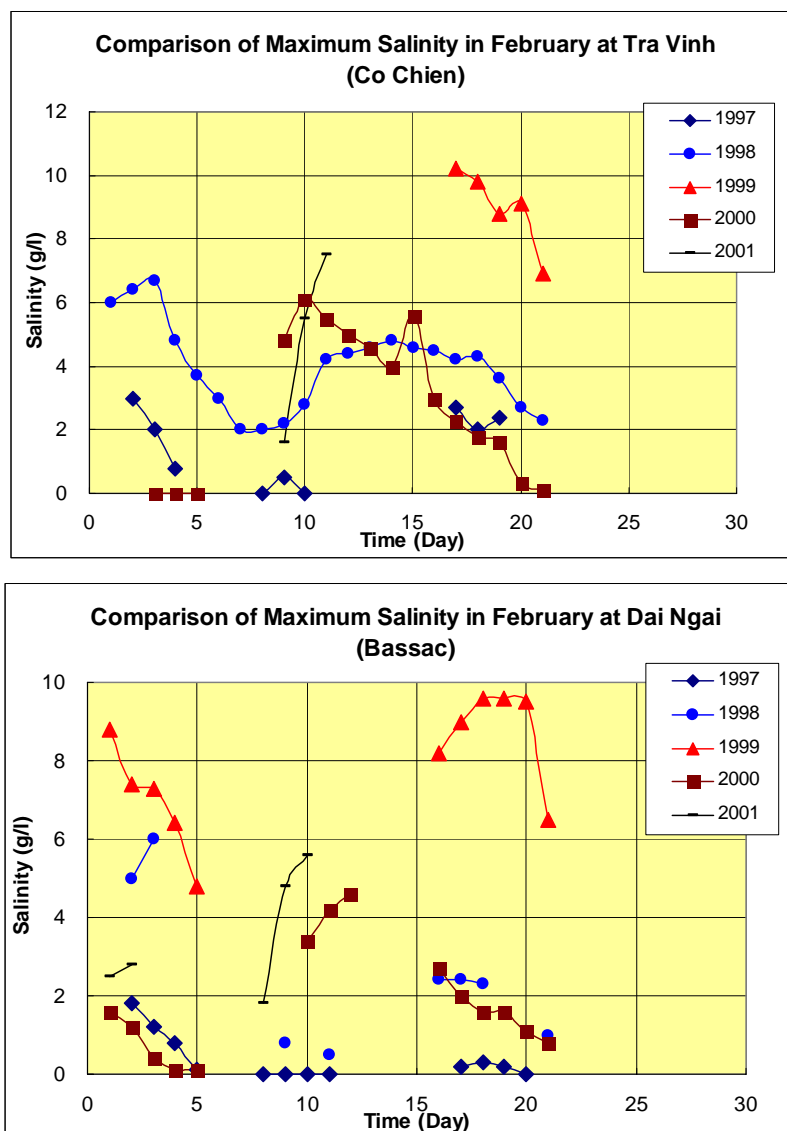


図 5-6 メコンデルタの2月における塩分濃度の経年比較

魚類の活動状況からの氾濫原の氾濫湛水、デルタにおける農業生産からの塩水侵入といった事項は、今後 IBFM プロジェクトにおいて環境流量を決定する場合の重要な要素である。

(2) メコン河本川における渇水解析

実際の水文現象は、確率的な事象であり、大きな変動を伴う。さらに季節的、経年的ならびに場所的に変動する。渇水現象も多様性に富んでおり、例えば1992年の渇水は流域全体に及んでおり、1998年の渇水は下流域中心に発生している。

1998年渇水の渇水確率を、6月から11月の雨季の総流出量を指標にして、メコン河本川に沿って、チェンセンからパクセまでの9水文観測所で推算した。算出した確率は観測所間で大きく異なり、チェンセンの0.5(2年確率)からパクセの0.025(40年確率)まで大きく変動している。発生頻度の低い観測所がムクダハンからパクセまで分布していることを勘案し、1998年渇水は左岸ラオス・ベトナム高地における1998年雨季において降雨が少なかったために発生したものと推察できた。このラオス・ベトナム高地から流入する支川(セバンヒエン、セサン、セコン、スレポック)は、流域面積は13%に過ぎないが、年間流出の寄与率は約22%であり、この高地に降る雨量の多さを物語っている。

(3) メコン河本川の流況解析

チェンセンからパクセまでのメコン河本川の9水文観測所およびメコンデルタへの流入量について、渇水期間である3月と4月の月平均流量の確率処理を行った結果を次表に示す。さらにこの表においては、1992年と1998年の渇水についてそれぞれ翌年の3月と4月の月平均流量を併記している。

表 5-6 乾季における主要観測所の月流量と渇水確率流量

Station	Drainage Area (km ²)	Mar					Apr				
		Mean	10-year	5-year	1992/93	1998/99	Mean	10-year	5-year	1992/93	1998/99
Chiang Saen	189,000	835	660	730	801	702	915	700	820	824	645
Lua. Prabang	268,000	1,065	890	920	1,025	673	1,112	900	990	1,011	625
Chiang Khan	292,000	1,043	870	910	962	969	1,056	890	920	881	943
Vientiane	299,000	1,167	960	1030	1,046	755	1,194	970	1030	974	766
Nong Khai	302,000	1,176	1,020	1,090	1,214	971	1,215	1,030	1,100	1,110	991
Na. Phanom	373,000	1,548	1,230	1,310	1,224	1,454	1,526	1,160	1,230	1,108	1,692
Mukdahan	391,000	1,600	1,300	1,450	1,548	1,343	1,569	1,290	1,430	1,453	1,514
Khon Chiam	419,000	1,903	1,520	1,640	1,845	1,616	1,839	1,520	1,610	1,775	1,789
Pakse	545,000	1,852	1,490	1,650	1,575	1,502	1,819	1,520	1,600	1,449	1,778
Delta Inflow	756,000	4,120	2,230	3,450	4,024	1,852	3,204	2,200	2,440	2,856	2,191

(4) メコン河本川の余剰水量についての予備的検討

タンチャオとチャオドクの流量を合計して、これをメコンデルタへの流入量とし、余剰水量の予備的検討を行った。この条件として、10年確率の渇水流量を許容最小月自然流量と仮定した。適用した両観測所の流況は、1997年から2001年の観測流量である。

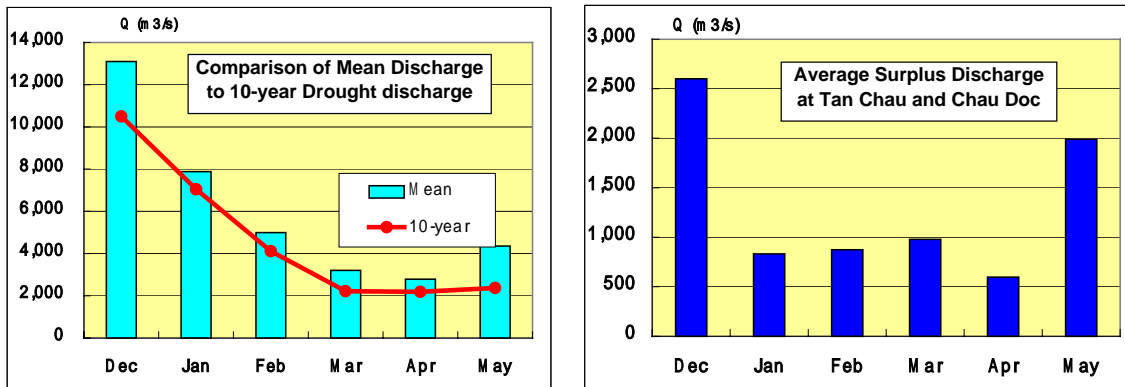


図 5-7 10年渇水流量を基準とした余剰水量の予備的算定結果

(5) 乾季における本川流量の維持に関する予察

メコン河本川の乾季流量の維持管理は、MRC が直面する重要課題の 1 つである。過去の本川流量と月別の確率流量を用いて、例えば許容最小月自然流量が 5-10 年確率程度の流量に設定されたケースを想定し、簡便な机上シミュレーションを実施した。確率規模としては、10%(10年渇水確率)と 20%(5年渇水確率)を設定し、上流のチェンセンからタンチャオとチャオドクまでの観測所を対象とした。メコンデルタへの流入量を例として、豊水年である 2000/2001 年と渇水年である 1998/1999 年の乾季の流況と渇水流量の関係を次図に示す。

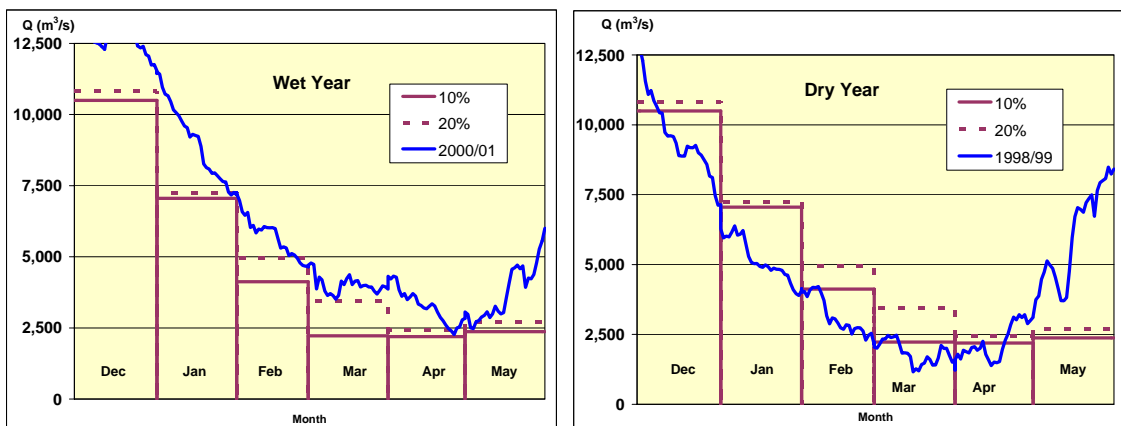


図 5-8 豊水年と渇水年の乾季における確率渇水月流量と日流況の比較

5.3 組織強化

5.3.1 はじめに

1999年の第6回の評議会において水利用規則に関する5つの手続き面ならびに技術面のルール策定が決定された。MRCの水利用計画(WUP)グループは、流域4カ国から成るテクニカル・ドラフティング・グループ(TDG)とともにルールの作成作業を実施し、2003年末までに予定通り手続き面の3ルールの策定作業を完了した。

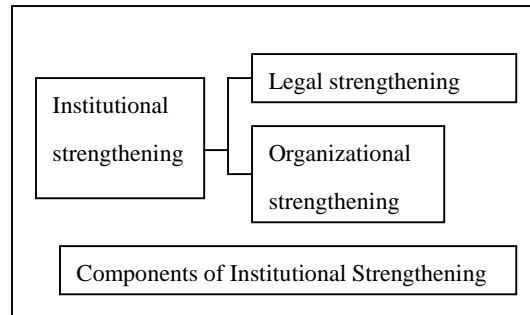


図 5-9 組織強化に関する調査の構成

組織・制度に関する調査の主たるものは、法律および組織両面からのアプローチを必要とし、水利用規則と水文モニタリングに関する法的裏付けならびに組織的強化の将来的な方向性をMRCに提言していくことである。法的な提言としては、MRCのWUPチームがルールを策定する過程においての支援を行い、組織強化については各国の水文モニタリングを担当する組織に対する実態調査とその改善策を提案した。

これらの調査内容をより具体的に示せば、ルール策定支援については、(a)ルール策定に適用される重要な概念と原則の整理、(b)ルールに適用される概念と原則の技術的な解釈、(c)各国の水資源関連法規とルールとの比較検討を行った。

ルールの実施面に関しては、(a)ルールの機能・役割の確認、(b)ルール実施のためのシナリオの想定、(c)運用の観点からのルールの評価について考察を加えた。

いっぽう、組織強化については、(a)水文モニタリングシステムの現状と(b)ルール実施に関連した現存システムの評価を行った。

5.3.2 ルール策定に向けた支援

(1) 国際河川の水配分等に関する協定の収集整理

調査団は、ルール策定支援のための参考とするために、国際河川流域の現存の協定を収集整理した。収集した協定は、国際規範的な3ルールおよび多国間ないし2国間の国際河川の15協定である。国際規範的ルールは、ヘルシンキ・ルール(1970)、国際河川水路の非航行利用に関する法律原案(ジュネーブ、1980)および国連総会決議「国際河川水路の非航行利用の法律に関する

る協定(ニューヨーク、1997)である。これらは、一種の普遍的な規範として、それぞれ個別の国際河川の協定締結時には、その基本的な考え方が適用されるべきものである。

収集した個別河川の協定は次のとおりである。

- (i) Amazon Cooperation Treaty
- (ii) Agreement on the Utilization of Water in the Boden Lake
- (iii) The Columbia Treaty
- (iv) Convention regarding the Regime of Navigation on the Danube
- (v) Agreement between the Government of the Republic of Austria and the Government of the Federal Republic of Germany and of the Free State of Bavaria concerning the Danube Power Pla and Jochenstein Stock Company
- (vi) Protocol regarding Water Regulation of the Tigris and the Euphrates (The first annex to the Treaty for Friendship and Good Neighbour)
- (vii) Agreement between His Majesty's Government of Nepal and the Government of India on the Gandak Irrigation and Power Project
- (viii) Agreement between the Government of the Peoples' Republic of Bangladesh and the Government of the Republic of India on Sharing of the Ganges Water at Farrakka and on Augmenting its Flows
- (ix) Agreement between the Government of the Union of Soviet Socialist Republics, the Government of Norway and The Government of Finland concerning the Regulation of Lake Inari by means of the Kaitakoski Hydroelectric Power Station and Dam
- (x) The Indus Waters Treaty concluded between India and Pakistan
- (xi) Treaty of Peace between the State of Israel and the Hashemite Kingdom of Jordan (Article 6; Water)
- (xii) Agreement for the Full Utilization of the Nile Waters
- (xiii) Treaty between Austria and Liechtenstein regarding the Regulation of the Rhine and Tributary Waters
- (xiv) Protocol on Shared Watercourses in the Southern African Development Community
- (xv) Agreement between the Republic of Syria and the Hashemite Kingdom of Jordan concerning the Utilization of the Yarmuk Waters

これら収集した協定およびそれらのまとめを行い、「水利用のための協定」事例集として2002年3月に印刷製本し、国際協力機構に提出した。

(2) 国際協定の基本的な概念と原則

収集した国際規範は、それと同様な基本的な概念と原則を、流域関係国間の良好かつ平和的な関係を維持し、合理的かつ衡平な水利用の達成に資するため、国際河川の管理に関する協定に盛り込むよう主張している。こうした基本的な概念と原則は次のとおりである。

- (i) 河川流域を基本単位とする概念
- (ii) 水資源が共有財産であるという原則
- (iii) 合理的かつ衡平な水利用の原則
- (iv) 持続的開発の原則
- (v) 危機管理の原則
- (vi) データ・情報交換の原則
- (vii) 有害な影響を他に及ぼさないことの原則
- (viii) 協力の原則
- (ix) 補償の原則

調査団はこうした概念と原則の技術的な解釈を行い、策定準備中の水利用規則の条項に、こうした原則との齟齬が無いよう規則案のチェックを行い、WUP チームとの協議を継続した。

(3) 共通概念・原則と各国水資源関連法規との比較検証

準備されている水利用規則は、1995年メコン河合意と各国の水資源関連法規のいずれにも整合の取れたものでなくてはならない。これに関連して、各国の水資源関連法と国際規範の概念および原則との整合をまず確認し、水利用規則の各国での実施の法的裏付けをとっておく必要がある。本調査で収集し、検討・評価を行ったのは次表に示す法規である。

表5-7 流域関係4カ国の水資源関連法規

Country	Name of Law
Cambodia	Draft Law on Water Resources Management of the Kingdom of Cambodia (Submitted to the Council of Ministers on March 5, 2001)
Laos	The Water and Water Resources Law (Resolved at the National Assembly on November 10, 1996)
Thailand	Water Resources Act (Unofficial translation: Note on principle and reasons)
Vietnam	The Law on Water Resource (Resolved at the National Assembly on May 20, 1998)

上表に示した法規を条文ごとに検討し、概念・原則と矛盾の無いことを確認した。これら法規は、水利用規則と同様な基盤の上に構築されている。カンボジア、ラオスおよびベトナムの法規は、国際協定に依拠することを、その条文の中に表明している。2002年末にドラフト段階であるタイの法規には国際協定への対応が盛り込まれていない。しかし、水利用規則が先に合意されれば、それと矛盾する法規は制定できないであろうし、実施の段階で矛盾が生じるのは明

らかである。

5.3.3 規則実施のための強化策

(1) 水利用規則の運用実施

合理的な水利用の目的は、水の移動性と確率的事象を十分勘案しながら最大限あるいは最適に利用することにある。最大限の利用とは、モニターされた情報をもとに操作等を最適化することによって、選定した観測所・基準点における必要流量なり需要と供給のバランスを維持させながら、海域への水の無駄な放流を最小化することである。

水文現象の変動に対応するための適切なアクションを採り、合理的な水利用を実現するためには、日単位のモニタリングと収支予測が必要である。データ・情報の交換・共有(PDIES: Procedures for Data and Information Exchange and Sharing)や水利用モニタリング(PWUM: Procedures for Water Use Monitoring)といった水利用規則の実施に当っては、日単位で観測されるべきであろう。実際にはこうした運用がコスト面からの制約で例えば 10 日単位になっても、日単位の水文状況の監視・実行等が技術的には妥当である。

実際には現在進められている水利用規則に加えて、実施上のガイドラインや基準、詳細な手順書等が必要である。こうしたガイドライン等が準備される段階となると、実施はより具体性を帯びることとなる。

(2) 水利用規則の運用面からの考察

データ・情報の交換・共有(PDIES)

ルールは MRCS がデータおよび情報の保護管理を行うことを規定している。MRCS には毎年合同委員会と評議会にデータを報告する責任を規定し、これに対し、MRCS はこの任務を受けて、事務局内に ISDIT(Information System Design and Implementation Team)を構成した。この ISDIT の機能は、このルールを実行するための幅広い統合された機能を TACT(Technical Assistance and Coordination Team)に移行されていく予定である。

データ・情報の交換は、メコン河流域関係者が互いに恩恵を受けるよう、持続的開発のための合理的かつ衡平な水利用を確立していくために計画されている。しかし、効果的な運用のためには、次のような強化が必要と考えられる。

- データ・情報収集の基準が、アクセスや検索のための基準と同様に必要である。
- MRCS へのデータ・情報の提供のための時間間隔は、すでに実施している洪水予警報のように、水利用管理に役立つようなものとするべきである。
- 本川の流量の維持に関するルールを監視しながら水利用の適正化を図るための近代的な予測システムが確立され、これを流域関係国で了承されるべきである。
- 水利用の責任機関へのデータ伝達についての基準は、円滑かつ有効な施設運用に資する

ことが要求される。

- 手続きルールの実施に伴い、担当機関にはデータ観測と伝達においてより多くの支出を負わせるため、それを補償するような特別なルールの確立が必要であろう。

通告・事前協議・合意(PNPCA: Procedures for Notification, Prior Consultation and Agreement)

雨季と乾季の時間フレームの定義は、PNPCA の事前協議および合意の策定において、まず明確に関係国間で合意すべき事項である。承認された手続きには、この時間フレームの定義が述べられており、水文的な経年変動に沿って約1月の幅を持たせて雨季と乾季が定義付けられている。ルールではさらに、合同会議が雨季乾季の具体的日付について決定することが規定されている。

ルールは、派川を支川として定義している。したがって、バッサク河を含むデルタの派川は支川の範疇に入ることとなる。こうした派川の水利用は、本川の水の一部であるにもかかわらず、通告のみの処理となる。

このルールでは、合理的かつ衡平な水利用の原則が定義されている。社会経済開発の政策は国によって異なっており、主権平等の原則から如何なる国も他国の政策に干渉する権利は有さない。急速な開発を志向している国は、開発速度の遅い国より、当然ながらより大量の水を必要とする。しかし、現在開発速度が遅い国も、いずれは速度を速め、水需要が増大する可能性を有している。将来に向かって衡平な水利用の原則を堅持すべきであろう。

このルールに盛り込まれている手続きに加え、ルール実施の強化策として、ある新規の水利用の通告に対して、他の国からのコメントをファイリングするような仕組みも必要と考えられる。何故なら、ある支川流域の水利用は何らかの形で、本川の流量に影響を及ぼすからである。こうした原則は、1995年メコン河合意の中にも、「有害な影響を他に及ぼさないことの原則」として規定されている。

水利用モニタリング(PWUM)

このルールでは、まず水利用モニタリングの全体の枠組みを定め、より詳細な実施方法等のガイドラインや基準については今後順次決めていくものとしている。

水利用モニタリングを実効あるものとするための組織面での強化が一つの課題である。モニタリングシステムの確立は、MRC の合同委員会および各国メコン委員会の役割であるとルールには定められている。これらの組織は、モニタリングの対象、観測場所、方法を決定していくであろう。いっぽう、モニタリングに関して、各国メコン委員会を財政的かつ技術的に支援強化していく新たな任務が MRCS に与えられている。

こうした技術支援チームがモニタリングシステムの詳細を決定するのであるが、その早急な結成が望まれるところである。合同委員会および各国メコン委員会は、モニタリングシステムを早急に確立しなければならないし、いっぽう MRC は、財源を見出し、各国メコン委員会が実施に向けて関係機関に働きかけを行うための財政支援の流れを確立しなければならない。

5.3.4 水文気象モニタリングの組織強化

WUP-JICA 調査団は、水利用規則の実施に必要とされる組織的な機能に関する評価を行うため、実際の水文気象モニタリングに携わっている 4 ヶ国の機関を訪問し、聴き取り調査を実施した。同様にデータ・情報の最終的な保管代理人的役割を果たす MRCS にも聴き取り調査を実施した。

調査は、モニターされているデータの種類、人材面に関してモニタリングの可能性、利用可能な施設、モニタリングに配分されている予算等をメインテーマに行われた。調査団は予め質問状を各国メコン委員会に配布し、それを回収する際に、関係機関に集ってもらい会議形式で事情聴取した。MRCS ではそれぞれの関連分野の担当者に直接事情聴取した。

以下にこうした調査を踏まえて既存の水文気象モニタリングの評価と、組織強化に関する提言を整理する。

(1) 水文気象モニタリングのための人材

流域 4 カ国の関係機関は、地域住民との契約によって、とくに遠隔地の水文気象観測を実施している。観測所は、たまに彼ら地域住民の住居からさえも遠距離に在る場合もある。とくに雨季におけるアクセスが困難である。いっぽう関係機関の地方事務所のスタッフは主として主要水文観測所あるいは気象観測所の運営・観測にあたっている。これらの住民や地方スタッフの観測へのインセンティブは、日当等の金銭的なサポートであるが、ほとんどの観測に携わる住民は支給される日当に対して満足感を得ていない。その結果、何かあれば簡単にこの観測を止めてしまう傾向も強い。

観測員に対するセミナー等は実施されておらず、彼らの水文気象観測に対する興味や重要性を喚起するに至っていない。

機械や維持補修に関わる技術員は、まず人員が限られている。いったん彼等がより高度な技術を習得した場合、より給料の良い職場に移ることが頻繁に発生しており、担当機関での技術的な蓄積や知識の移転等が困難な状況である。いっぽうでは、組織自体の昇進体系が彼らに有利でないことも民間企業へ転職する要因となっている。

地方事務所や中央政府の管理者レベルになると、科学的興味や水資源管理の向上などがモニタリングに対するインセンティブとして働いている。しかし経験を積んだ専門家の移籍が、モニタリング強化の障害となっている。移籍の理由は、職場環境の悪さや給与である。

流域 4 カ国の関係機関の管理者から観測員に至るすべてのレベルのモニタリング従事者に、水文モニタリングの使命を再確認させ、メコン河を軸とした協力精神の涵養を再度根付かせるような人材育成のプログラムが必要であろう。

いっぽう MRCS においては、各国メコン委員会よりデータを受けて保管代行業務を実施するが、これには TSD の人間があたる予定である。水利用規則の実施に伴って MRCS の業務は増大することが予想され、こうした荷重の増大に対処するよう、データベース管理等の分野で人

材の確保が必要である。

(2) 雨量観測機器

雨量計の主流は転倒マス型のものである。ロール紙に記録するのが主流であるが、徐々に電子形態での記録に代わりつつある。雨量マスをを用いた目視による観測も一般的に行われている。水力発電所のようなリアルタイムにデータ取得の必要性の高い地域では、テレメータシステムが導入されている。

多くの機関では、独自の基準、経験に基づくか、あるいは WMO の基準に従って雨量観測機器および場所の選定を行っている。また、山岳地帯等の雨量観測の選定にはアクセスの良さが第一条件となる。

MRCS は約 700 の雨量計を登録している。MRCS は 1997 年には 231 観測所の雨量データを受けており、これらはメコン河下流域の水文年報に掲載されている。

(3) 水位観測・流量観測機器

水位観測機器も雨量計と同様、まだスロープゲージやスタッフゲージによるマニュアル観測が主流である。

MRCS は 200 以上の観測所を登録している。MRCS は 1997 年には 125 観測所の水位データ(一部は流量も含む)を受けており、これらはメコン河下流域の水文年報に掲載されている。流量観測については、流速計が主流である。

(4) 土砂および水質分析施設

土砂に関して関係機関は、月 1 回から 4 回にわたるサンプリングを実施しており、このデータは試験所で濃度等を計測される。このサンプルは一般に浮遊砂であり、掃流砂はサンプリングの対象になっていない。水質も同様に月 1 回のサンプリングを行い試験所で検査している。

(5) 情報伝達・データ伝送施設

雨量・水位データはその必要性に応じて、24 時間以内から 1 年に 1 回の報告まで、千差万別である。同様に伝送手段も直接手渡しから電話・FAX、E-mail、SSB ラジオ等と多様である。これは、雨量や水位観測所は重要度に応じて早急にデータをセンターに送るべき観測所と、1 年に 1 回の報告で事足りる観測所までさまざまなレベルがあるためである。またそれぞれの観測所が位置している場所・地形によってもその報告の速さは異なる。すなわち、都市部に位置している観測所は利便性も高く伝送も容易であるが、山岳部や氾濫原に位置している観測所などはアクセス自体も悪く、さらに伝送も容易でない。こうした立地条件・情報の重要度等を考慮しながら、経済的に最適な方法で情報伝達・データ伝送の改善を進めていくべきであろう。

(6) 予算制約とその他の課題

各分野毎の予算分別が非常に困難なため、水文気象モニタリングに配分されている正確な予算は把握できていない。しかし、現在の予算規模ではただモニタリングシステムを維持していくのが精一杯で、将来に向けて改善等を行っていく予算が不足している。実際に聴き取り調査では、財政的な制約がデータ観測ならびに伝達において最も障害となっているとの指摘がなされている。

5.4 日本の水利用管理システム

5.4.1 はじめに

メコン河下流域の水利用管理システムは、1995 年のメコン河合意に基づいて確立すべきである。この中で、下記の 3 条項は、管理システム確立のために、技術的に最も重要と考えられる。

- 第 5 条：合理的かつ衡平な水利用
- 第 6 条：本川流量の維持
- 第 26 条：水利用および流域外導水のための規則

これらの条項には、解決すべき多くの技術的課題が含まれており、なかでも次の 3 課題は最も基本的なものと考えられる。

- 本川における許容最小月自然流量の設定
- 本川の流域外導水および乾季における流域内導水に関する合意
- 水利用モニタリングシステムを含む渇水時の本川流量の管理

調査団は、2001 年から 2003 年の 3 カ年にわたって、上記課題に関する議論を深めるため、日本の水利用管理に関する政策や経験を、資料・ガイドライン・提案等を含めてワークショップにおいて提供した。本節はこれらの題材の概要をとりまとめたものである。

5.4.2 許容最小月自然流量の決定に関する課題

第 6 条は、歴史的な異常事態とみなされる渇水や洪水を除いて、導水、ダム等による貯水の放流やその他の行為から本川の流量の維持を協力して行うことを規定している。乾季においては、本川の流量は、歴史的渇水時を除き、各月で許容最小月自然流量を下回らないこととされている。

そもそも、この許容最小月自然流量は何のために設定されるのであろうか。まず、技術的課題に移行する前に、この許容最小月自然流量の設定目的を明らかにするべきであろう。

- (1) 第 5 条では、新規水利用の必要な手続きが示されており、既存の水利用については触れられていない。数多くの流域内の導水がすでに運用されており、これらに対する事前協議等は意味をなさない。
- (2) 支川流域における新規水利用は、合同委員会への通告のみである。このことは、支川流域の新規水利用は、それぞれの国の水法によって個別に管理されることを意味していると考えられる。
- (3) したがって、第 5 条は、本川における新規水利用について合同委員会の事前協議なり合意を得なければならないものに関し、次のような対立因子の調整のために規定されたと解釈すべきである。

- 本川における既存と新規の水利用の対立:もし新規の水利用が非常に大きなものとなると、必ず下流の既存の水利用に影響を及ぼす。したがって、新規水利用は合同委員会の場で利害関係者が協議し、事前協議なり合意を得なければならない。
 - 本川の利用可能な水資源の配分における流域国間の対立:乾季における本川の開発可能な余剰水量には限界がある。もし流域関係国それぞれが提出した利用計画の総量がこの余剰水量を上回った場合、関係国間への水の配分について、合同委員会で事前協議や合意を通して調整しなければならない。
- (4) 既存と新規の水利用の対立調整および新規水利用のために配分すべき余剰水量の評価に関して何らかの基準やガイドラインが必要である。第6条の許容最小月自然流量は、この対立の調整や余剰水量の評価の基準と考えられるからである。

しかし、許容最小月自然流量の決定には、次のような技術的課題を明らかにしなければならない。

(1) 既存水利用の保護

1995年メコン河合意の中では、許容最小月自然流量によって既存の水利用が保護されるのか否かについて、明確に述べられていない。

(2) 許容最小月自然流量の安全度

第6条によると、許容最小月自然流量は歴史的な深刻な渇水を除いて維持されるべきと書かれているが、その深刻な渇水の定義がなされていない。許容最小月自然流量の有すべき安全度(確率)を決定し、既存水利用ならびに余剰水量の信頼性を評価すべきである。

(3) 自然流量の定義

許容最小月自然流量の「自然流量」の定義は、1995年メコン河合意の中で明確に定義されていない。したがって、許容最小月自然流量を設定する際には、水文データベース等からの十分な検討が必要となる。本川沿いの主要観測所の実際の流況は、過去の水資源開発や水利用による影響を少なからず受けている。その度合を踏まえて、純粋な意味での自然流況を再現する必要性の有無を検討しなければならない。

以上の考察を踏まえれば、許容最小月自然流量の概念は、日本の「必要最小流量(正常流量)」の概念に近いものがある。上記の技術的課題を明らかにし議論を深めるために、日本の流水管理システムを参照することは有用であろう。上記事項に関連する日本の事例を以下にとりまとめ整理する。

5.4.3 日本の流水管理システム

(1) 概論

河川表流水は、1986年に制定され、1964年と1997年に大幅に改訂された河川法によって、

「公有財産」として指定されている。河川管理者は、水利権システムに基づいて、河川の取水に対し統括的に管理している。

日本の河川水系は、法的に大きく二つに分かれており、1級河川と2級河川である。1級河川は国家の社会経済および環境への影響も大きく、流域が原則として2つ以上の都道府県にまたがっている河川である。2級河川流域は1つの都道府県内に収まっている。

1級河川は中央政府によって管理され、河川管理者は国土交通省の大臣である。いっぽう2級河川は、都道府県が管理し、河川管理者は知事である。河川管理者は、河川流量、河川の水利利用、河川流路、関連する環境、河川構造物等の管理・調節を行っている。

家庭上水、灌漑、工業、水力発電等の目的で河川水を取水しようとする如何なる人も、河川管理者から水利権の許可を受けなければならない。既得水利権者は新規申請者から保護される。しかし、主として農業目的の数多くの水利権が、河川法制定以前にすでに実働に移っていた。これらの水利権は、慣行水利権と呼び、合法的に賦与された水利権と同等の権利を有している。

いっぽう河川水の他の利用カテゴリーとして(in/on-stream uses)、水生生物や魚類等の生態系の保全、景観の保全、水質の保全、内陸舟運の保護、塩害の防止、河口閉塞の防止、地下水位の維持等の観点から、基準点において環境流量(日本では維持流量と呼ぶ)を定め、これの維持を図る。河川管理者はこうした取水のみならず河川内の利用に対しても必要流量を定めて、この維持の責任を負っている。

(2) 水利権による水利利用管理

水利権賦与の原則

新たに水利権を得ようとする申請者は、所定の申請書類を作成し、河川管理者に提出しなければならない。申請者は、書類が以下に列記する条件を満たす限りにおいて、水利利用(水利権)が許可される。

- (a) 申請した水利利用が極めて近い将来に実施に移されること。
- (b) 申請した水利利用が、下流の既存の水利利用者(取水および河川内利用も含む)に影響を与えないこと。
- (c) 水利利用は所定の渇水確率において、河川の余剰水の範囲内にあること[許可すべき新規水利用量 (計画低水流量 - 必要最小流量)、図 5-10 のケース 1 参照]
- (d) 河川余剰水よりも申請水量が上回っている場合、貯留効果のあるダム等の構造物によって、計画低水流量が改善されること[図 5-10 のケース 2 参照]
- (e) 提案している構造物が、河川の洪水の状況を悪化させないこと、および河川環境に悪影響を及ぼさないこと。

上記を満たしている場合、河川管理者は、次のような条件を定めて申請者に水利権を賦与する。

- 取水位置と取水量
- 貯水池ないし取水堰の操作ルールと取水方法・条件

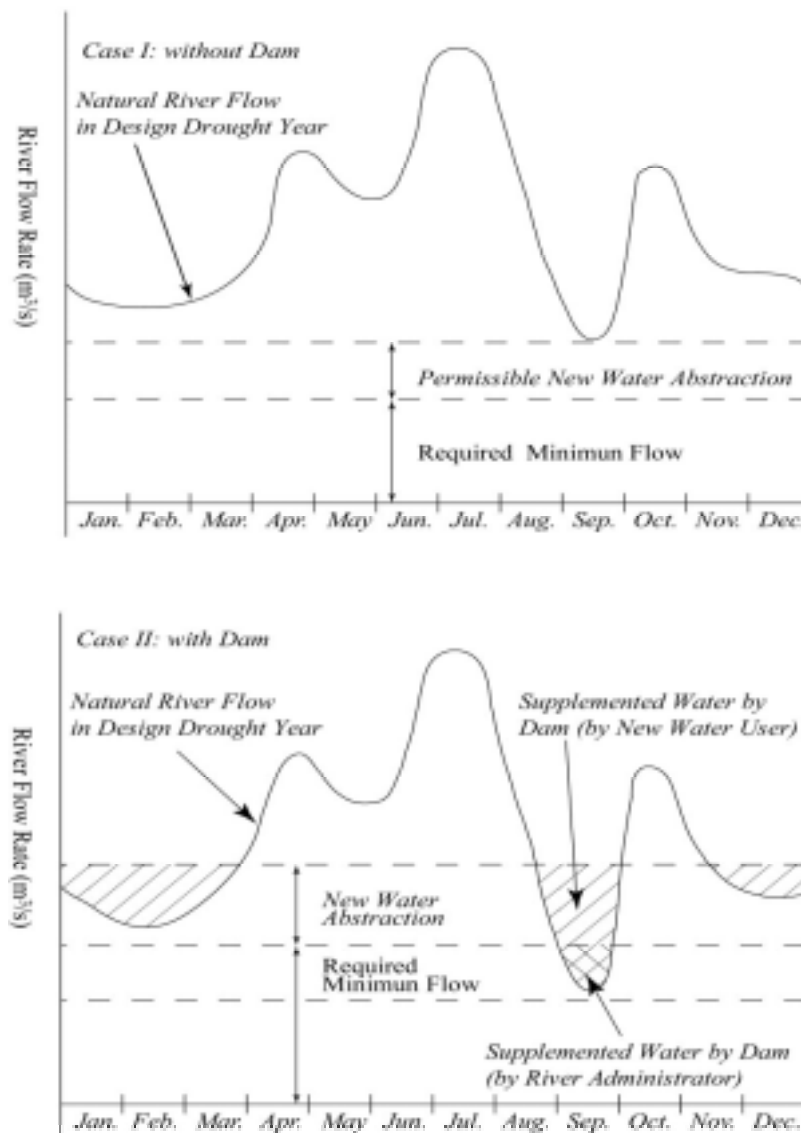


図 5-10 日本における河川水利用の原則

水利権賦与に先立つ協議と調整

1 級河川水系においては、河川管理者(国土交通省大臣)が、もし申請者に水利権を新たに賦与しようとする場合、関係する上水、農水、工業用水、水力発電等の水利用に関連する省庁の大臣、および関連する知事に対して協議を行うこととなる。同様に 2 級河川水系の場合は、河川管理者である知事が、関連市町村長と協議し、国土交通省大臣の合意を得て賦与することとなる。国土交通省大臣は、上記の知事による協議に先立って、各関係省庁の大臣との協議を行い合意を得ておく。

さらに、河川管理者は、新規水利権についての申請書を受けた段階で、下流の既存の水利権者に通告し、水利権者からの異議ないし了解を確認する。河川管理者は基本的には、既存の水

利権者が悪影響を蒙るような新規水利権の申請に対しては許可を与えない。

優先順位

通常、古い水利権に高い優先順位が与えられる(first in time, first in right)。したがって上水に必ずしも高い優先順位が与えられるわけではない。

有効期間

水利権の有効期間は、水力発電で30年間、他の水利用で10年間である。社会経済の状況に応じて、当初の使用水量、取水パターン、取水位置等は変化する。このため、水利権の内容は一定期間毎に見直されるべきである。しかし、水利用が必要であり、その取水が現に継続しており、当初計画に決定的な変化がない限り、基本的に更新時期毎に有効期間を延伸しているのが実情である。

(3) 水利用管理における計画流量

技術的には自然流量、計画低水流量および必要最小流量を設定して、水利用管理を行う。これらの定義、基準および算定方法等の一般を以下に記す。

自然流量

河川表流水は、古い昔より水需要を満たすために継続的に開発されてきた。それゆえ、河川流況は、歴史的に開発に伴って変化してきたと言えよう。

過去においても、貯水池による流況調整や河川からの取水を含む新規の水需要は、その時点の実際の流況を基準に計画された。この提案された水利用は、既存の水利用と協調しながら取水された。

現在も、既存の水利用は、現況の流況に基づいて管理運用されている。新規水利用は、既存の水利用を侵害しないように計画・運用されている。したがって、新たな水利用計画を立案する際に、既存の水利用をすべて取り払った過去の自然状態の流況を作成することは、実用的でもないし不必要かも知れない。

このような考察に基づいて、既存の水利用に修正ないし訂正を加えない場合、新たな水利用計画を討議する際には既存水利用(河川水の取水やダム貯水池による調節を含む)の影響を受けた河川流況を自然状態(計画前の状態)と定義すべきであろう。

通常、過去のある一定時期の流況データは、新規水利用の計画に必要である。しかし、このデータは、流況特性、水文的確率評価、さらに計画している水資源調節施設等の運用ルールの検討に用いられる。したがって、過去の流況が大規模ダム等の水資源開発施設によって水文統計的に大きく乱された状態であれば、自然流況を作成せざるを得ないと考えられる。しかし水文データの統計的な乱れが無視しえる範囲であれば、既存の水利用の影響を受けた流況を、自然状態とみなして用いることができる。

日本のほとんどの河川において、古くから渇水時には、自然流況はほとんど取水され尽くし

てきた。しかし、大規模な貯水池により河川流量を調節し始めたのは第2次世界大戦後(1945年以降)のことであり、実際には主要河川流域で大規模な水資源開発(大規模な貯水池や導水路等による)が開始されたのは概ね1955年から1960年の間であった。1955-1960年以前の水資源開発計画では、当時の流況そのものを使って計画を立案してきた。何故ならば、当時の流況はほとんど自然状態に近いものであったからである。

計画低水流量

計画低水流量は、利用可能な余剰流量を評価するために決定されるが、これは計画渇水時の流況における最小値として定義される。しかし、水利用の季節変動が大きい場合は、それぞれの季節毎に決定される。

(a) 計画低水流量の確率

計画低水流量は水文学的生起確率に応じて変化する。もし計画安全度(生起確率)を低く設定すると、大きな計画低水流量が算定され、この結果より大きな取水量が設定できる。この場合、水利用の信頼性は低くなる。これとは逆に、計画安全度を高く設定すると、水利用の信頼性は高まるものの、新規水利用は限定され、より多くの水が無駄に海域に放流されることとなる。

日本では、計画低水流量は10年渇水確率の安全度で決定される。すべての範疇の水利用が10年渇水で計画されている。この計画規模は、東南アジア地域においては、高すぎると考えられる。その理由は、次のとおりである。

- 都市域では、河川水の多くの部分が上水および工業用水として利用されている。
- 水供給の停止等は、国内の都市および産業活動において致命的な損害を生じさせるため、こうした用途が中心の我が国では安全性を高める必要がある。

(b) 計画流況

河川流況は年間を通して大きく変動し、日本では乾季と雨季の区別がほとんどない。例えば、利根川は日本で最も流域面積が大きく、東京首都圏を抱えているため極めて重要な水系である。この利根川の計画基準地点である栗橋地点(流域面積8,588km²)の近年約60年間の水文資料によると、最小流量が6m³/s、最大11,444m³/s、平均252m³/sであった。

通常、既往の10年確率規模の渇水年におけるハイドログラフを、計画流況として設定する。この計画流況を用いて、基準点における水収支を計算し、ダム等の流況調整施設からの必要な水補給をシミュレートする。こうした簡便で静的な方法により、新規水資源開発計画が検討される。その理由は次のとおりである。

- 水資源開発計画立案に際しては、地域社会、中央・地方政府、NGOs、水利用者、関連する専門家等、さまざまな多くの利害関係者等が関わってくる。
- 多くの利害関係者は計画プロジェクトから何らかの恩恵を受けるが、ある関係者

はむしろ悪影響を受ける可能性がある。

- 日本の水資源開発では、稠密な土地利用と高い人口密度のため、 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ の新規水量を開発するのに多大な事業費を必要とする。通常、こうした事業費は、中央・地方政府・自治体、水利用者(市民、農民、民間企業等)が負担している。
- 計画基準が定まっていなかったり、ある幅を持っていたりすると、開発水量は時々かなりの幅で変動する。このような場合には、利害関係者間での深刻な利害調整や対立を引き起こしかねない。
- したがって提案される計画は、すべての利害関係者にとって、理解が容易であり受け入れやすいものとする必要がある。計画手法は、技術的・科学的に許される範囲内で、簡便で、実用的かつ理解しやすいことが望ましい。

(4) 必要最小流量

流量設定の目的および機能

河川管理者は、河川法に則り、河川各区分における望ましい流水の機能維持のために必要な最小流量を設定しなければならない。この流量は、一般に日本では「河川流水の正常な機能を維持する流量(維持流量)」と呼ばれているが、この報告書では技術的な誤解を避けるために「必要最小流量」と呼ぶ。ちなみに、この流量は、1995年メコン河合意に規定されている「許容最小月自然流量」に極めて近いものである。如何なる新規水利用も、必要最小流量を侵害しないよう適切な措置のもとに実施されねばならない。

必要最小流量は、それぞれの河川区分において、既存の水利権に基づく取水と河川内利用の両者を満足するように計画される。取水は上水、農業用水、工業用水、水力発電およびその他の用途の取水すべてを含んでいる。いっぽう河川内利用は、水生生物や魚類等の生態系の保全、景観の保全、水質の保全、内陸舟運の保護、塩害の防止、河口閉塞の防止、地下水位の維持等である。この河川内利用(in/on stream uses)は、日本では通常「河川維持流量」と呼ばれている。いっぽう本報告書では、誤解を避けるため「環境流量」という呼称を採用している。

流量の季節的変動

日本では、上水および工業用水の使用量は、年間通してほぼ一定量である。農業用水は主として水田の灌漑に用いられる。米は通常年一回夏季(5月-9月)に栽培される。この灌漑用の水利用は次のように3期に分かれ、それぞれの需要量が異なっている：代掻き期(5月)、出穂期(6月-9月)、非灌漑期(水路の維持管理)。

河川内利用もまた時間的に、季節変動に応じたそれぞれの要求量に応じて変動する。したがって、必要最小流量も季節毎に設定する。

流量の安全度

日本の各種用水の取水は、10年渇水に対する安全度を有するように計画されている。しかし、

河川内利用については、理論的には、その使用目的に応じて確保すべき安全度は異なるはずである。

それにもかかわらず、水管理の実用性という観点から、今のところ用水取水と河川内利用すべて同一の安全度を適用している。したがって、必要最小流量は、基本的に10年渇水時を計画基準として設定されている。

(5) 必要最小流量の設定

概要

必要最小流量は、河川法によりその設定が規定された1964年以降(現在の河川法は1964年に全面的に改訂)、109の1級河川水系のほぼ50%の水系ですでに提案されている。これら提案された必要最小流量は、各水系で用水取水を完全に包括するように設定されている。何故なら、既存の水利権に関わる取水量はすべて河川管理者の事務所に登録されているからである。しかし、環境流量については、その算定自体が困難なこともあって、必ずしもすべての河川で満足の行く算定結果が得られているわけではない。

1997年に、政府は河川法を改訂し、従来からの水利用コントロール、洪水・渇水コントロール、河川空間・流路・構造物の管理に加えて、河川環境の保全・修復を新たに含めるものとした。河川管理者は、関連する政府および非政府機関、学識経験者、市民の協力のもと、河川環境を保全・修復・改善する環境整備計画を策定し、計画を実行しなければならない。

こうした環境への関心の高まりに呼応して、国土交通省河川局は、すべての1級河川水系の河川および周辺区域の生態の現状を調査した。この調査は、「河川水辺の国勢調査」と呼ばれ、対象とする生態は、河川沿いの植生、水生植物、魚類、鳥類、昆虫、底生生物等多岐にわたっている。

さらに国土交通省は、環境流量を含む必要最小流量の設定に関する技術的なガイドラインを作成した。このガイドラインに沿って、1級水系すべての必要最小流量の検討が行われている。これらの中から、約20河川水系の必要最小流量がすでに認可されており、それ以外は現在協議中である。

このガイドラインに沿って、必要最小流量の算定手順を以下に述べる。

基本的な考え方

河川環境、とくに生態環境は、河川の流況変化に対応して、年間を通して変化する。理論的には、環境流量は、こうした河川流況の変動に合わせて変化する環境面からの要求量を満たすという、いわば動的なアプローチによって決定すべきであろう。しかし、動的な決定法は以下に列記する理由で採用されていない。必要最小流量は、統計的に決定しており、河川内利用も用水取水と同様に、計画渇水時(10年渇水)に十分な機能が発揮できるよう設定されている。

- 流況の変動が生態に与える影響が未だ明らかにされていない。

- 用水取水と河川内利用に異なる安全度を適用することは、水利用の管理をより複雑化し困難性を増すこととなる。例えば、環境流量が年間で変化する場合、豊水期においても、上流の貯水池による、下流の生態保全のための流況調整が必要となるかも知れない。このことは貯留の便益を損なうことにもなる。

一般に、主要水系の本川の調整後の流況は、特殊な位置ないし渇水時期を除いて、自然流況に近いものが流れているとみなすことができる。

方法論

(a) 河川の区間分割

河川流路は、いくつかの区間に分割し、この区間毎に用水取水と環境の両者を満足する必要最小流量を設定する。この河道区間は、次のような点を考慮して分割する。

- 支川の流入：主要支川の合流点直上流で分割する。
- 地形的条件：地形的な変化点(河川勾配や河道幅の大きな変化)に応じて分割する。
- 環境条件：環境的な変化点(水生生物や河川水質の大きな変化)に応じて分割する。
- 水収支：大規模な取水、還元水の流入、支川の流入、派川の分派等、大幅に水収支が変化する点で分割する。
- 潮汐の影響：感潮区間(とくに汽水域)は、環境ならびに水文的な特性が異なるため、分割する。

(b) 用水取水の算定

用水取水は、河川管理者の管轄事務所において、すでに登録がなされている。登録された水利権量が、基本的には取水量とみなされる。時として、水利権量は実際の実取水量より大きい場合がある。必要に応じ、現地調査を行い、これを検証・修正する。また農業取水は季節的に変化する。最終的に、季節に応じて、用水取水の位置と取水量を整理する。

(c) 環境流量の算定

河川区間毎に、現存の河川内利用の各項目を満足する環境流量を季節別に算出する。とくに満足すべき主要な項目は、(a)水生生物および魚類、(b)景観、(c)河川水質、(d)舟運、(e)塩水侵入である。

(d) 水収支の算定

用水取水については、取水量のかなりの部分が排水路を通して下流河川に戻って来る。通常、農業用水の還元量はかなりの量にのぼり、水収支に考慮される。この還元水の量と位置については、現地調査によって設定する。河川水は、支川合流によって支川流量を受けるため、計画渇水時の流入量を推定する。

最終的に、用水取水、還元水、支川流入を加味した水収支を計算する。

(e) 必要最小流量の設定

分割した河川区間毎および季節毎に、用水取水と環境流量の両者を満足する必要最小流量を算定する。この流量は、それぞれの河川区間の上流端で設定される。

実際には、河川管理を容易にするために、この必要最小流量は、1カ所ないし数カ所の基準観測所で設定される。それぞれの基準観測所は、下流のいくつかの河川区間を統括するような役割を持つ。この基準観測所における必要最小流量は、下流河川区間の用水取水と環境流量をすべて満足させるとともに、基準観測所が複数ある場合は、全体の水収支上も整合の取れた流量として設定する。

5.4.4 水利用モニタリング

(1) メコン河下流域での課題

第6条は、第26条に規定されている本川流量の維持に関する観測所の位置と流量(水位)、その監視と流量維持のための必要な対応等について、合同委員会がガイドラインを定めることを述べている。この「流量維持のための必要な対応」とは、深刻な渇水時の調整を含んだものと思われる。

第26条に従うと、合同委員会が定める「水利用と流域外導水の規則」の中で、次のような水利用モニタリングの事項が含まれている。

- 流域内水利用をモニターする方法・仕組みの改良
- 本川からの流域外導水をモニターする方法・仕組みの設定

こうした合意から離れても、すべての流域関係国は、それぞれの水資源関連法規に則って、自国内の水利用についてモニターすべきである。水利用モニタリングは次の点で重要である：(a)既存の水利用の把握、(b)水利権の遵守状況(実際の取水量との比較)の検証、(c)深刻な渇水時の取水量の調整に活用。

地域レベルにおいても、次のような点から水利用モニタリングは重要である：(a)互いの水利用に関するデータの共有、(b)合同委員会に提出された通告等による水利用が遵守されているか否かの検証、(c)深刻な渇水時の取水量の調整に活用。

十分な透明性を保って、水利用データを共有することは、メコン河下流域の水利用管理における協調上極めて重要である。

メコン河下流域には、数多くの灌漑用水、都市用水、水力発電等の水利用が存在する。しかし、大規模な貯水池の運用に関わるモニタリング以外は、ほとんどモニタリングされていないのが実情である。

メコン河下流域での最大の水利用者は農業灌漑であるが、灌漑区域は流域関係4カ国に広く分布している。ちなみに100ha未満の小規模な灌漑区域を省いても、表5-8に示すようにメコン河下流域で灌漑区域は300万ha以上に及んでいる。これら灌漑区域の取水システムは老朽

化しており、かつ複雑である。

表 5-8 メコン河下流域の既存灌漑区域

Item	Laos	Thailand	Cambodia	Vietnam (Delta)	Total
No. of Projects	703	1,426	386	85 ¹⁾	
Whole Area (ha)	165,328	924,398	269,642	1,683,094 ²⁾	3,042,462
Dry Season Area (ha)	113,080	No data	138,466	1,417,549 ²⁾	

Note: 1): Number of irrigation blocks that are further divided into many small projects.

2): Gross area including settlements, fishponds, uplands, roads and water channels.

Source: Land Resources Inventory for Agricultural Development, Feb. 2002, MRC.

さらに、数多くの灌漑および水力発電用の貯水池が存在している。これらの貯水池にしても、詳細な情報は大規模なものだけに限定される。

こうした状況を考え、技術的かつ財政的に実行可能なモニタリングシステムを確立するためには、次のような課題が残されている。

- モニターすべき水利用の種類の設定
- ダム操作を含む水利用モニタリング・ガイドラインの作成
- 水利用、とくに流域間導水の透明性の維持に関する手続き
- 深刻な渇水時の水利用の調整に関する手続き

日本のモニタリングに関する経験は、上記の技術的課題に関する議論を深めるのに、大変有用であると思われる。我が国の河川流量、ダム操作、取水を含めた水利用モニタリングシステムおよび渇水時の水利用調整システムについて以下にとりまとめる。

(2) 渇水時の水利用規制

水利権は、ある安全度までの低水流量に対し保証されており、日本では通常 10 年確率の渇水である。河川流量が計画値を下回った際に、水利用の部分的な調整に入る。河川法によると、こうした水利用量の調整は、水利用関係者間での調整を通じて、基本的には決定されることとなっている。河川管理者は、この調整に対して十分な情報を提供し、必要であれば関係者間の仲裁をしなければならない。

この目的のために、1999 年までに 109 の 1 級河川水系のうち 68 水系に 99 の渇水対策協議会が設立されている。協議会は、河川管理者、水利用関係者、関係中央省庁と地方自治体から構成されている。

渇水調整は、一般に次のような手順で行われる。

(a) 第 1 段階：渇水管理の開始

河川水位がある基準より低下し、ダム貯水池の貯留量がある一定量より下がり、水利用が十全に取水できない事態の発生が予測される時に、渇水管理が開始される。

(b) 第2段階：渇水対策協議会の開催

渇水対策会議において、河川管理者と水利用者(大抵は地方政府の関係部署が代表する)は、下表に記すような情報の提供と交換を行う。

表5-9 渇水対策協議会におけるデータ・情報の提供・交換

Concerned Person	Information
River Administrator	<ul style="list-style-type: none"> ● River flow quantity, water storage in dam and river water quality ● Necessary rate of water use restriction based on the forecasting of future river flow and dam storage
Water Users	<ul style="list-style-type: none"> ● Expected damages due to water use restriction ● Dissemination of necessity of water use saving

(c) 第3段階：取水制限の決定

水利用者間の調整により、水利用の削減率や開始日時等を盛り込んだ取水制限計画を決定する。

(d) 第4段階：取水制限の実施

取水制限期間において、河川管理者と水利用者は次表のような活動を行う。

表5-10 取水制限の諸活動

Concerned Person	Activities
River Administrator	<ul style="list-style-type: none"> ● Dam operation based on the water use restriction program ● River flow monitoring and forecasting
Water Users	<ul style="list-style-type: none"> ● Performance of water use restriction ● Monitoring of damages

(3) 水利用モニタリングシステム

水利用モニタリングの必要性

河川表流水は、上流域から河口まで、数多くの地点で取水されている。上流の水利用者によって過剰な取水が行われれば、下流の水利用者が水不足の被害を受ける場合がある。このような事態を避けるためには、すべての水利用者が水利権賦与の際に提示した水利用条件を遵守する必要がある。

登録された水利権量は、取水量の最大値を示している。しかし、現実の水利用は、水利権量の範囲内で、季節的に変動している。河川流量の日々管理は、実際の取水量に基づいてなされるべきである。

日本では、乾季において、ほとんどの河川で余剰水は存在しない。不足する水量は、上流のダム貯水池から補給されている。効率的なダム操作のためには、実際の水利用をモニターする必要がある。

深刻な渇水時には、水利用者は取水量を一部削減する。この渇水調整を合理的に行うためには、水利用者による取水量のモニターとその報告が不可欠である。

水利用モニタリングシステム

河川法によれば、水利用者は取水地点における取水量のモニターを行い、その結果を河川管理者に報告しなければならない。水利用者自身が貯水池を保有している場合は、貯水池の運用(水位、流入量、取水量、放流量)をモニターし、同様に河川管理者に報告しなければならない。モニタリングと報告の基準は次のとおりである。

表 5-11 日本における水利用モニタリングと報告の基準

Monitoring Item	Monitoring Interval	Monitoring Measures	Data Reporting Time to River Administrator
Intake Abstracted Quantity	Everyday	Automatic Water Gauge	End of Year (or Month)
Storage Dam Water Level	Everyday	Automatic Water Gauge	End of Year (or Month)
Inflow Discharge	Everyday	Automatic Water Gauge	End of Year (or Month)
Abstracted Quantity	Everyday	Automatic Water Gauge	End of Year (or Month)
Released Discharge	Each Time	Automatic Water Gauge	End of Year (or Month)

水利用モニタリングは水利用者自らの費用で賄われる。河川管理者は報告されたデータを評価し、それらを保管する。また河川管理者は、河川の取水施設や貯水池の関連構造物や運用状況を年に一回検査する。この検査の際、同時に、河川管理者はモニタリングシステムおよびその機器も併せて検査する。

河川管理者自身、多くの多目的ダムや、流水管理のための雨量計や水文観測施設を保有している。河川管理者もまた、雨量、河川水位・流量、貯水池運用(水位、流入量、取水量、放流量)を毎日モニターしている。

流量と同じく河川水質も、水利用管理のための重要な指標である。河川水質のモニタリングに主として責任を持っているのは、河川管理者、地方政府および上水管理者である。河川水質汚濁対策協議会は、河川管理者や地方政府等から構成され、水質モニタリングの実施、水質汚濁情報の交換、水質事故に対する対応等のために、1級水系毎に設立されている。

雨量、河川水位・流量、水質、取水量、貯水池運用に関するデータは、河川管理者によって保管され、水利用についての相互理解や渇水時のスムーズな調整のために、あらゆる水利用関係者や組織に対して開示されている。またデータは、情報公開法に則って、要求があれば公開されることになっている。

河川管理者は、管轄下の観測所および施設を対象に、雨量、河川水位・流量・水質、ダム貯水池運用に関する年報を発行している。環境省も同様に、公共水域における水質に関する年報を発行している。

次表に示す1級河川のリアルタイム情報は、インターネットを介して一般に公開されている。

表5-12 日本における河川情報システム(インターネット情報)

Item	Real Time Data
Rainfall	Rainfall at Principal Station, Radar Rainfall
River Water	Water Level and Water Quality at Principal Station
Storage Dam	Storage Volume, Inflow Discharge, Outflow Discharge, Notice/Alarm of Flood Water Release
Drought Management	Remaining Dam Storage Volume, Cut of Water Abstraction
Flood Management	Flood Forecasting/Warning

第6章 提言

6.1 水文モニタリングとモデリング

水文モニタリング

水文観測網の使命は、時宜に適い必要十分かつ信頼性の高い水文データ・情報を関係機関および諸活動に提供することである。調査団は、調査途上において、流域各国の間で水文モニタリング活動に大きな差があることを認識した。水利用計画策定作業が終了すると、次は自ら4カ国の水文モニタリングシステムによる流水管理の段階に移行するであろう。メコンスピリットとして長い期間培われてきた相互信頼の精神を持続するためにも、関係機関は関係各国ならびにMRCに、時宜に適い必要十分かつ信頼性の高い水文データ・情報を提供できるよう努力しなければならない。とくにカンボジアの水文観測網は、マスタープランおよびガイドラインの策定とそれに基づくさらなる整備が必要である。また、そのマスタープランには、関係組織の強化とともに観測網整備の最終目的、段階的整備方針等が詳細に述べられていなければならない。

水文水理モデリング

開発された水文水理モデルは、雨季と乾季の河川水系における動的な水の流れ、カンボジア氾濫原における水位と氾濫現象、さらには河川と氾濫原の間での洪水流の移動等を表現できる。このモデルは水文水理解析を伴う今後のさまざまな調査検討に極めて有用である。すなわち、洪水解析、洪水に関する影響評価、水収支解析、乾季の水解析等である。さらに、モデルは将来、洪水予警報システムなどへの発展の余地を十分に持っており、極めて柔軟性に富んでいる。調査団は、MRCに対して、とくに低平地の洪水管理に有用であり、洪水管理計画のための管理ツールとしてこのモデルを発展させるよう提言する。それと同時に、カンボジアの関係機関が、カンボジア氾濫原におけるさまざまな開発計画や環境保全計画の計画・評価ツールとして、このモデルを活用することを提言する。

6.2 水利用計画のための技術支援

本川流量の維持

メコン河全体の余剰水量の定量化を最下流端から実施すべきである。メコンデルタは、メコン河本川の流量の維持に関わる解析の出発点である。ここには、メコンデルタの現況の水利用ならびに水資源管理の観点から、重視すべき三つの項目がある。これらは、(1)乾季の水不足、(2)乾季の塩水遡上、(3)酸性土壌問題である。これらのうち、メコン河本川の流量の維持を考えた場合の重要因子は乾季の水不足と塩水の遡上である。これらの課題は、上流各国のさまざまな水資源開発の影響を受けるため、近い将来より深刻さを増すかもしれない。統合的流域水管理(IBFM)プロジェクトと並行して、デルタの上記因子に関する詳細なデータなり情報は、関係各国が水需要量を合意するのに不可欠である。調査団は、現在までのデータなり情報はサポーティングレポートにとりまとめており、本調査レポートを参照すべきことを提言する。

許容最小月自然流量

現存する本川沿いの水利用は、関係各国の水資源関係法令ないし過去開催された国際会議等における国際河川の規則によって、ある一定限度までは保護されている。許容最小自然月流量は、河川外への取水や河川内利用を問わず、こうした既存の水利用をある限度まで満足するべく定められるべきであろう。余剰水量は、こうして設定された許容最小自然月流量を基本として算出されるであろう。したがって早急に許容最小自然月流量を算出することが望まれる。

水利用モニタリング

MRC による水利用モニタリングの主要目的は、(1)お互いに流域内の既存水利用データを共有すること、(2)合同会議に提出される通告・事前協議・特定合意に基づく水利用が提案どおりなされているかの検証を行うこと、(3)計画を超える渇水時に本川の水利用の調整を行うこと、である。現在のメコン河下流域の主要な水利用は、灌漑と発電である。しかし、灌漑水利用については、大規模な貯水池の運用記録を除き、ほとんどモニタリングされていない。灌漑取水施設や灌漑面積の情報にしても未だ不十分である。

河川流水と水利用は、本川の低水管理とくに計画を超える渇水時において、本川水利用の調整のために、一体的にモニタリングされるべきである。このためには、本川流量は各主要観測所で、主要支川はその出口で、水利用はその取水地点で十分な精度を持って観測されるべきである。現存する最大の本川からの取水は、メコンデルタにおける灌漑取水である。この算定は、本川流量の管理において極めて重要である。しかし、取水量の直接的測定は困難である。それ故、関係各国が了解できる取水量の間接的測定方法を、可能な限り早急に確立すべきである。

添付資料

1. 協議議事録(インセプションミーティング)
2. 協議議事録(ドラフトファイナルレポート)



Mekong River Commission

P.O. Box 1112 • Phnom Penh, Cambodia
Telephone: (855-23) 720 979 • Facsimile: (855-23) 720 972

MINUTES

(Meeting between the WUP Team and JICA Mission, 10:00-11:30, 13 June 01)

This Minutes of Meeting is made between the WUP Team of the Mekong River Commission (hereinafter referred to as "WUP Team") and the joint mission of the Study Team on Hydro-meteorological Monitoring for Water Quantity Rules in Mekong River Basin (hereinafter referred to as "JICA Study Team") and its Advisory Committee, based on the meeting held on June 13, 2001.

After presentation of the draft Inception Report by the JICA Study Team in the middle of May, the issues concerning with the overlapping of some parts of the JICA Study to the related MRC's projects and some administrative arrangements were raised as the main issues to be resolved or modified. Since then, both sides, the WUP Team and the JICA Study Team, made the clarifying or modifying efforts to solve the issues.

In the Meeting, the JICA Study Team presented the following issues and directions to finalize the Inception Report.

1. Technical issues:

- (1) Clarification of working activities on hydrological monitoring
- (2) Clarification of working activities on Tonle Sap modelling
- (3) Modification of working activities on draft "rules" preparation

2. Administrative issues

- (1) Status of the JICA Study Team
- (2) Financial Issues.

The WUP Team agreed with the revised directions on the technical issues proposed by the JICA Study Team. Furthermore the WUP Team informed the Meeting that MRCS is now working on setting up the joint technical advisory committee to supervise and coordinate all WUP activities. Joint workshops/meetings will be held among the related projects/programs to keep all concerned parties informed. The Advisory Committee understood the importance of the joint workshops/meetings, and emphasized that those joint activities should be conducted flexibly in accordance with the technical themes.

Regarding administrative issues, the WUP Team informed the Meeting that the issue on the status of the JICA Study Team had been raised with the CEO and the MRCS staff status would be granted to the JICA Study Team. However, on the financial issues, i.e. financial assistances for the activities being made by NMCs and line agencies related to the JICA Study, have been under consideration. The JICA officials stated to convey these issues to the Headquarters. The JICA officials explained the rules and regulations on the JICA development study scheme, and emphasized that the request together with justification should be made promptly for the necessary arrangement. The WUP Team understood the above conditions.

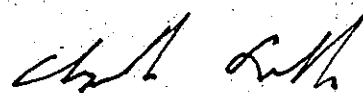
Finally, the JICA Advisory Committee requested the MRCS for early arrangement so that the JICA Study Team could timely start activities on the explanation trips and field surveys to the member countries. Furthermore the Committee also requested the MRCS for early approval of the Inception Report being finalized to conform to the discussion results.

Attendance List

Name	Position
MRCS	
Chaiyuth Sukhsri	Team Leader, WUP, MRCS
Nguyen Tat Dac	Head of WG1, WUP, MRCS
Hideto Fujii	Senior Advisor, TSD, MRCS
JICA	
Kanehiro Morishita	Team Leader, JICA Study Team
Shizuo Ono	Leader, JICA Advisory Committee
Hidetomi Oi	JICA Advisory Committee
Kenichi Matsui	JICA Advisory Committee
Takao Masumoto	JICA Advisory Committee
Senichi Kimura	JICA Headquarters
Kosuke Odawara	JICA Headquarters

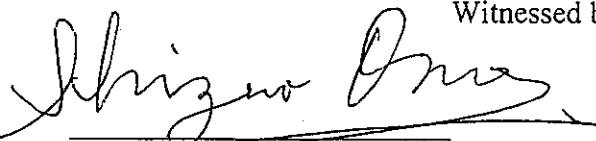


Kanehiro Morishita
Team Leader, JICA Study Team

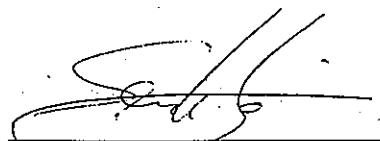


Chaiyuth Sukhsri
Team Leader, WUP, MRCS

Witnessed by



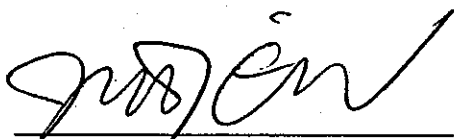
Shizuo Ono
Leader, JICA Advisory Committee



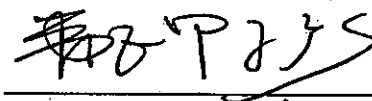
Senichi Kimura
Director, 2nd Social Development
Study Division, JICA

MINUTES OF MEETING
ON
THE DRAFT FINAL REPORT
FOR
THE STUDY ON
HYDRO-METEOROLOGICAL MONITORING
FOR WATER QUANTITY RULES IN MEKONG RIVER BASIN
AGREED UPON BETWEEN
MEKONG RIVER COMMISSION SECRETARIAT
AND
JICA STUDY TEAM

28th JANUARY 2004, PHNOM PENH

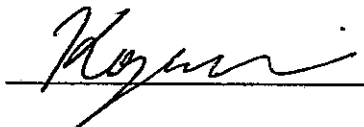


Mr. Khuon Komar
Officer-in-Charge
WUP, MRCS



Mr. Kanehiro MORISHITA
Team Leader of
JICA Study Team

Witnessed by



Mr. Yukihiro KOIZUMI
Assistant Resident Representative
JICA Cambodia Office

**Minutes of Meeting on the Draft Final Report for the Study
on Hydro-Meteorological Monitoring for Water Quantity Rules
in Mekong River Basin**

In accordance with the Scope of Work (hereinafter referred to as 'S/W') as well as the revised inception report, in which the concrete work components and schedule were stipulated, mutually agreed on June 13, 2001, the JICA Study Team (hereinafter referred to as "the WUP-JICA Team") implemented and completed their planned work components in January 2004. Prior to final printing of the Draft Final Report (hereinafter referred to as 'DF/R'), the regional training workshop was held on December 15 to 16, 2003, in the conference room of Cambodiana Hotel in Phnom Penh. In this workshop the WUP-JICA Team presented the work results and discussed about them with the participants who joined from the four riparian countries.

Based on the discussion in the regional training workshop, the WUP-JICA Team finally compiled the work results into the DF/R. The WUP-JICA Team submitted the DF/R to the Mekong River Commission Secretariat (hereinafter referred to as 'MRCS').

1. Acceptance of the Draft Final Report

After presentation of the DF/R by the WUP-JICA Team, discussion was made between two parties and the DF/R was in principle accepted by the MRCS. The following copies were submitted to the MRCS:

Main Report	:	50 copies
Supporting Report	:	50 copies
Summary	:	50 copies
Databook	:	25 copies

2. Comments on the Draft Final Report

Both sides agreed that the MRCS would summarize the comments on the DF/R given by not only the MRCS but also the National Mekong Committees and line agencies in the riparian countries, and send them in writing to JICA Cambodia Office by February 27, 2004, so as to be reflected upon the Final Report.

3. Submission of the Final Report

S/W states that the Final Report is to be submitted "within one month" after receipt of the comments on the DF/R. Thus the Final Report shall be submitted to the MRCS within March 2004.

Mr. Khuon Komar representing the WUP, MRCS expressed their deepest gratitude to the WUP-JICA Team's activities as well as various assistances including technical and

Khuon Komar

legal aspects by the Japanese Government. In particular, he emphasized the following effective assistances and contributions made by the WUP-JICA Team:

- (1) Hydrological monitoring activities including discharge measurement and rating curve development gave great contribution to the monitoring system in Cambodia, in terms of gap filling of flow data.
- (2) Through development of hydro-hydraulic modelling, the hydrological and hydraulic functions of the Cambodian floodplains could be clarified so that the CNMC and responsible agencies of Cambodia can utilize the model for evaluation of development effects in the floodplains.
- (3) Technical assistances also gave the MRCS as well as NMCs and line agencies good facilitation of the rule formulation and knowledge building: these assistances comprise (a) time frame determination of wet and dry season, (b) maintenance of flows on the mainstream and (c) best practices of water use management system in Japan.
- (4) Furthermore the various and frequent trainings in hydrological monitoring provided the good opportunities of capacity building to the line agencies: these are training workshop on discharge measurement, on-the-job training on discharge measurement, on-site training for operation and maintenance of the automatic water level gauges, and so on.

In response to the comments, the WUP-JICA Team expressed these results were attained through cooperative efforts with the WUP-MRCS group and appreciated their cooperation. In addition, both parties confirmed and agreed upon importance of the recommendations mentioned in the report, namely (1) to conduct the continuous hydrological monitoring in parallel with the institutional strengthening of the line agencies, (2) to utilize the hydro-hydraulic model, (3) to utilize the study results on maintenance of flows for IBFM project, (4) to determine the acceptable minimum monthly natural flow in due consideration of existing water uses, and (5) to strengthen monitoring system and activities for major water uses.

4. Request for Donation of Relevant Equipment

In addition, Mr. Khuon Komar as the OIC of WUP requested to donate the relevant equipment that have been used by the WUP-JICA Team as well as used by and installed at line agencies for survey and office work. He expressed such equipment shall be necessary for continuous activities. The WUP-JICA Team promised to convey his request to JICA HQ. The list of relevant equipment was attached in the minutes. The official request will be made soon.

The meeting was thereafter adjourned.

[Handwritten signatures and initials]

LIST OF PARTICIPANTS

MRCS

1. Mr. Khuon Komar OIC of WUP, MRCS

Japanese Side

1. Mr. Yukihiro KOIZUMI Assistant Resident Representative, JICA
Cambodia Office
2. Mr. Kanehiro MORISHITA Team Leader of the WUP-JICA Team

Handwritten signatures:
Kw
MS
AS

Water Level Observation Equipment

	Description of Goods	Quantity	Note
1	Main Unit - Nimbus Sensor	8	2 sets for Lao PDR 1 set for Thailand 4 sets for Cambodia 1 set for Vietnam (already installed)
	Consist of:		
2	CPU 12 Electrical Control Unit	8	
3	EPS 50 Bubble Pot	8	
4	Air Tube for Measuring (100m)	8	
5	Duo Link Cable	8	
6	Solar Panel (KC54S)	8	
7	Lead Battery (MSE-50-12)	8	
	Power Cable		
8	- CVV-2SQ-2C (4m)	8	
9	- CVV-2SQ-2C (1m)	8	
10	- Earth Cable 1V 5.5 (5m)	8	

Discharge Measurement Equipment

	Description of Goods	Quantity	Note
1	Workhorse Rio Grande ADCP 600 kHz	4	2 sets in DHRW 2 sets remaining
2	TOSHIBA Dynabook Satellite 1800	4	
3	RE-12-12, Lead Battery YUASA	4	
4	PS12-30T, Battery Charger YUASA	4	
5	C-300, DC/AC Inverter Meltec	4	
6	Transformer (AC 220V to AC 100V)	4	

Others

	Description of Goods	Quantity	Note
1	Computer 1 (TOSHIBA Dynabook Satellite Pro 4600)	1	Available
2	Computer 2 (TOSHIBA Dynabook Satellite 1730)	4	1 pc. in DMH, Lao PDR 3 sets available
3	LCD (Epson ELP-7600)	1	Available
4	Multimedia Viewer (Epson ELPDC02)	1	Stored in JICA Cambodia Office
5	Printer1 (HP Laser jet 5000)	1	Available
6	Printer2 (HP DeskJet 1125C)	1	Available
7	Software (HYMOS, ArcView)	1 each	Available
8	SCSI Card (Buffalo SCSI Interface IFC-USCB)	1	Available
9	CD-R Drive (YAMAHA CRW2100SX-VK)	1	Available
10	Copy machine (Canon Copier NP-1215)	1	Using in CNMC

Handwritten signatures and initials