



メコン河委員会



カンボジア、ラオス、タイ、ベトナム国  
メコン河流域  
水文モニタリング計画調査

最終報告書

要約



平成 16 年 3 月 (2004 年)



株式会社建設技研インターナショナル



日本工営株式会社

社調二

JR

04-28

独立行政法人 国際協力機構

メコン河委員会

カンボジア、ラオス、タイ、ベトナム国  
メコン河流域水文モニタリング計画調査

最終報告書

要約

平成 16 年 3 月 (2004 年)

株式会社建設技研インターナショナル

日本工営株式会社

## 序 文

日本国政府は、メコン河流域の持続的開発のための協力促進のため1995年に創設されたメコン河委員会の要請に基づき、メコン河流域水文モニタリング計画調査にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力機構（旧国際協力事業団）がこの調査を実施いたしました。

当機構（旧事業団）は、平成13年5月から平成16年1月までの間、6回にわたり、株式会社建設技研インターナショナルの森下甲子弘氏を団長とし、株式会社建設技研インターナショナル及び日本工営 株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。

また同期間、大野静雄(平成13年4月～14年9月；海外建設協会 前常務理事)、栗城稔(平成14年9月～平成15年5月；国土交通省近畿地方整備局 前地方事業評価管理官)、生嶋隆造(平成15年5月～平成16年3月；土木研究所研究企画官)の各氏を委員長とする作業監理委員会を設置し、本件調査に関し専門的かつ技術的な見地から検討・審議を行いました。

調査団は、メコン河委員会事務局ならびに流域関係国の政府関係者と協議を行い、ワークショップを開催するとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書がメコン河開発のための協力推進に寄与するとともに、メコン河委員会事務局ならびに関係各国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査に御協力と御支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成16年3月

独立行政法人  
国際協力機構  
理事 松岡 和久

## 伝 達 状

独立行政法人 国際協力機構  
理事 松岡 和久 殿

今般、メコン河委員会におけるメコン河流域水文モニタリング計画調査が終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

本調査は、貴機構との契約に基づき、株式会社 建設技研インターナショナルおよび日本工営株式会社の共同企業体が、平成 13 年 3 月から平成 16 年 3 月までの間に実施してまいりました。今回の調査においては、とくに、流域関係各国の水文モニタリングネットワークの強化と水利用規則策定作業におけるメコン河委員会への支援に重点を置きました。

なお、同期間中、日本政府とくに貴機構、外務省、およびその他関係機関の方々に多大な協力を賜りましたこと、この機会を借りて、厚く御礼申し上げます。また、調査期間中、メコン河委員会事務局および流域国政府の関係機関よりいただきました協力と支援について深く感謝いたします。

貴機構におかれましては、メコン河協力のさらなる推進に向けて、本報告書を大いに活用されることを切望する次第です。

平成 16 年 3 月

株式会社 建設技研インターナショナル  
メコン河流域水文モニタリング計画調査  
団長 森下 甲子弘

## 最終報告書の構成

### 英文

- 第 1 巻： Main Report (主報告書)
- 第 2 巻： Supporting Report (副報告書 2 冊)
- 第 3 巻： Summary (要約)
- その他： Data Book (データ集)

### 和文

最終報告書 要約



## 主要要約

### I 概要

#### I-1 はじめに

- 1 本ドラフトファイナルレポートは、2000 年 12 月 8 日メコン河委員会と国際協力機構 (JICA、当時国際協力事業団)との間に交わされた「メコン河流域水文モニタリング計画調査」に関する業務規定書に基づき、調査団(WUP-JICA 調査団)によって作成されたものである。
- 2 調査範囲は、メコン河下流域、すなわちメコン河委員会に加盟しているタイ、ラオス、カンボジア、ベトナムの 4 カ国にまたがり、その面積は 606,000 km<sup>2</sup> である。このメコン河下流域は下表に示すように、メコン河流域全体の 76% に相当している。

メコン河流域構成国の支配面積

国	集水面積 (km <sup>2</sup> )	備考
中国	165,000 (21%)	
ミャンマー	24,000 (3%)	
ラオス	202,000 (25%)	メコン河下流域の面積： 606,000 km <sup>2</sup> (76% of entire basin)
タイ	184,000 (23%)	
カンボジア	155,000 (20%)	
ベトナム	65,000 (8%)	
合計	795,000	

- 3 本計画調査の目的は、(1)メコン河水系の流況特性を調査すること、(2)メコン河委員会の水利用計画策定作業の技術的支援を行うこと、(3)計画調査を通じてメコン河委員会ならびに流域国の組織・人材の強化を図ることである。

#### I-2 調査の背景

- 4 「メコン河流域の持続的開発に対する協力に関する合意」は、関係 4 カ国の全権代表によって 1995 年 4 月に調印された。この合意に基づいて、メコン河委員会が新たに創設された。
- 5 現在、メコン河委員会は主軸となる 3 プログラムの推進に力を注いでいる。すなわち、水利用計画(WUP)、流域開発計画(BDP)、環境計画(EP)である。水利用計画(WUP)の目的は、流域関係国による合理的かつ衡平な水利用、環境および水生生物の保護、生態系バランスの維持等を含む、協調的かつ持続性のある水管理の促進・改善に向けた MRC の動きを支えることである。これらは、1995 年合意に基づいて、水利用計画に関する諸規則やガイドラインを作成・合意していく過程で実現されていくものであろう。
- 6 1995 年合意の 26 条(水利用および流域外導水に関する規則)では、(1)雨季乾季の期間の定義、(2)水文観測所の選定と各観測所における維持すべき水位の設定、(3)乾季における本

川余剰水量の決定方法・基準の設定、(4)流域内水利用の監視方法の改良、(5)本川からの流域外導水の監視方法の設定に関して、定めるべき水利用規則が包含すべきであることを規定している。

- 7 1995年11月以降、定期的に開催されている非公式のドナー会合で、26条に定められている水利用および流域外導水に関する規則の作成に関して、日本政府はJICAの開発調査のスキームによって支援協力する準備のあることを提示した。メコン河委員会事務局(MRCS)は、すでにこの時期、合意実施に向け、加盟4カ国の支援のためのさまざまなプログラム・計画および活動を、着手しないし実施していた。2000年3月、世銀GEF(Global Environmental Facility)支援による水利用計画が始まった。
- 8 加盟4カ国を代表してメコン河委員会からの正式要請に対応し、日本政府は法的裏付けのもと、「メコン河流域水文モニタリング計画調査」を実施することを決定した。日本政府の技術援助プログラムの実施機関である国際協力機構(JICA)は、MRCおよび加盟各国の関係機関との親密な協力のもとに調査を実施することとした。
- 9 合意された業務規定書に基づいて、2001年3月に国内作業としてドラフト・インセプション・レポートの作成作業により、調査は着手された。調査団は2001年5月にメコン河委員会事務局(MRCS)とのインセプション会議のためカンボジアに入った。調査団は、それ以降調査を3年間継続し、一連のレポートにその成果全体をとりまとめた。

## II 水文観測網の整備、データ欠測補填および水文モニタリング

- 10 調査団は、既設の主要水文観測所の整備、流量観測を主体とした水文モニタリング、さらには雨量データの欠測補填を行った。

### II-1 水文観測所の整備

- 11 1957年のメコン委員会創設以来、水文観測網の整備充実は委員会活動の主要な柱であった。こうした整備は、流域4カ国の関係機関と委員会の協力のもとに継続的に進められていた。しかし、長期化した内戦と4カ国の経済格差のため、現在の観測網の観測密度と観測値の信頼性も4カ国の間に大きな差を生じるに至っている。
- 12 こうしたメコン河下流域の水文観測網の不均衡な状況を解消するために、まず AusAID 支援の AHNIP(Appropriate Hydrological Network Improvement Project)が実施されている。このプロジェクトでは、中国の2観測所を含むメコン河本川、トンレサップおよびバサック川に設置された主要な合計18観測所を対象に、テレメータ化することにより観測網の整備向上を図ろうとするものである。
- 13 この AHNIP による整備対象観測所との重複を避け、調査団は主要支川流域の下流域に位置する水文観測所の整備を図ることとした。これらは、タイではナム・ムン、ラオスのナム・グムなどの主要支川が相当する。現況状態の検証後、調査団はそれぞれの観測所毎に必要な整備項目を抽出した。これに基づいて、自記水位計(気泡式)の設置、スロープゲージの補修ないし設置、付帯保護工の設置等を実施した。設置した自記水位計は、タイ 1



カ所、ラオス 2 カ所、カンボジア 4 カ所、ベトナム 1 カ所である。設置後も、調査団は水位計の十全な管理運用のため、現地トレーニングを必要な限り実施した。



整備後の水文観測所：左 Neak Luong (カンボジア)、右 Ubon (タイ)

## II-2 日雨量資料の欠測補填

- 14 水利用計画の実施計画書(WUP-PIP, Project Implementation Program)によると、WUP-JICA 調査団の所掌は、欠測補填とルール策定支援のための技術的検討とされている。これらの所掌は、本調査の目的(3 項に既述)とももちろんのこと合致しているが、欠測補填という作業は本来かなり広義な意味を有している。水文的状况を吟味し、調査団は次の 2 点の補填作業が重要と判断し、実施することとした。すなわち、(1)過去の日雨量の欠測補填、および(2)次節で述べるカンボジア領内での流量観測データの欠如を補う作業である。
- 15 まず 1991 年以降、欠測期間はあるものの継続的に雨量観測が続けられている 126 の雨量観測所を、MRCS の水文年報ならびに水文データベースから抽出した。これらは、タイ 52 観測所、ラオス 41 観測所、カンボジア 22 観測所、ベトナム 11 観測所であった。これらのうち、タイ 51、ラオス 25、カンボジア 3、ベトナム 3 のそれぞれの観測所が欠測の無い完全な日雨量資料を備えていた。
- 16 欠測のある観測所に対して、次のような検討を行った。(1)年雨量を相関性の高い近傍の観測所を用いて回帰分析により推定した。(2)利用可能なデータをもとに、対象観測所毎、月別に降雨日と無降雨日の継続する確率を整理した。(3)同様に観測所毎、月別に日雨量発生確率を検討した。(4)これらの関係式をもとに乱数を発生させながら、降雨日とその日雨量を推定し、欠測補填を行った。
- 17 この結果、タイ 1、ラオス 4、カンボジア 11、ベトナム 2 合計 18 観測所の日雨量の補填ができたため、メコン河下流域で 100 観測所の日雨量が近年 10 年間にわたり有用となった。

## II-3 水文モニタリング

- 18 下流域 4 カ国の合意による水利用計画(流量面)が 2004 年末に策定されることとなり、これらのルールを十全に管理運用していくためには、水文モニタリングシステム、とりわ

け流量モニタリングシステムが極めて重要となる。こうした背景から、流量データの重要性は確実に増してくる。いっぽう、流量に関するデータ欠損という観点から見ると、長期化した内戦によるカンボジア領内の流量データの欠損は極めて大きな課題といえる。しかし、前述のように AHNIP により観測網の整備改善が進められている。こうした状況を総合的に勘案し、WUP-JICA 調査団は、AHNIP の対象観測所以外で、かつ地理的に重要な位置を占めるプノンペン周辺の観測所を流量観測の対象に選定した。これらは、メコン河本川ではコンボンチャム、チュレイチャンワー(プノンペン・メコン)、コーノリア、ネアックルオン、トンレサップではプノンペンポート、バサック河ではモニボンブリッジ(プノンペン・バサック)の6観測所である。調査団は、2002年7月より2003年10月まで、定期的な流量観測をこれらの観測所で実施した。

- 19 上記の流量観測結果とカンボジア水資源気象省(MOWRAM)水文河川局(DHRW)が MRCS の支援のもとに行ったクラティエ観測所の流量観測データも含めて、流況に順流と逆流が現れ極めて複雑であるプノンペンポートを除き、6観測所の水位流量曲線を作成した。さらに、これらの水位流量曲線を用いて算出した各観測所の流量ハイドログラフをもとに、雨季のプノンペンポートの流況も、実用的な範囲で算出できることが明らかにされた。この結果、雨季の水文モニタリングシステムがクラティエ下流からベトナム国境までの間、技術的に確立されたこととなる。しかし現状のカンボジア政府の予算的制約下で、如何に持続的に観測を継続し、こうしたシステムを維持していくかが今後の課題として残されている。
- 20 いっぽう、潮位変動の影響を大いに受ける乾季の流量モニタリングシステムを、システム構成に基づいて、以下のように順次検討し、その可能性について提案を行った。(1) コンボンチャムの水位流量曲線が年間を通して使用可能なこと、(2) チュレイチャンワーの流量は、コンボンチャム流量との間で設定した回帰分析結果により、十分な精度で推定できること、(3) トンレサップの流量は、4月末頃まで続く順流に対しては水位流量曲線により推定可能であることを明らかにした。しかし、4月末以降雨季に入るまでのトンレサップの流量(遷移期間から逆流まで)を推定するのは困難である。したがって、こうした乾季における流量推算の限界を勘案すれば、トンレサップとバサック河の比較的狭い河道に流量観測計を設置し、直接流量・流速を時々刻々観測する方法が最適であると判断され、調査団はこの方法を最終的に提案した。こうしたことが実現すれば、雨季と乾季を通して、水文モニタリングシステムが確立されるのみならず、より信頼性の高い観測結果を提供できることとなる。
- 21 こうした検討に加えて、調査団は2002年に観測機材である ADCP(音響ドブラー流速計)の使用に通じるため、2回の室内トレーニング、約1カ月にわたる実地訓練を実施した。2003年には、乾季における流量観測の開始に伴い1カ月にわたり実地訓練を再度行った。さらに ADCP を用いた観測に関するさまざまな知識獲得のため、7月に AHNIP と共同で5日間にわたるトレーニングワークショップを開催した。



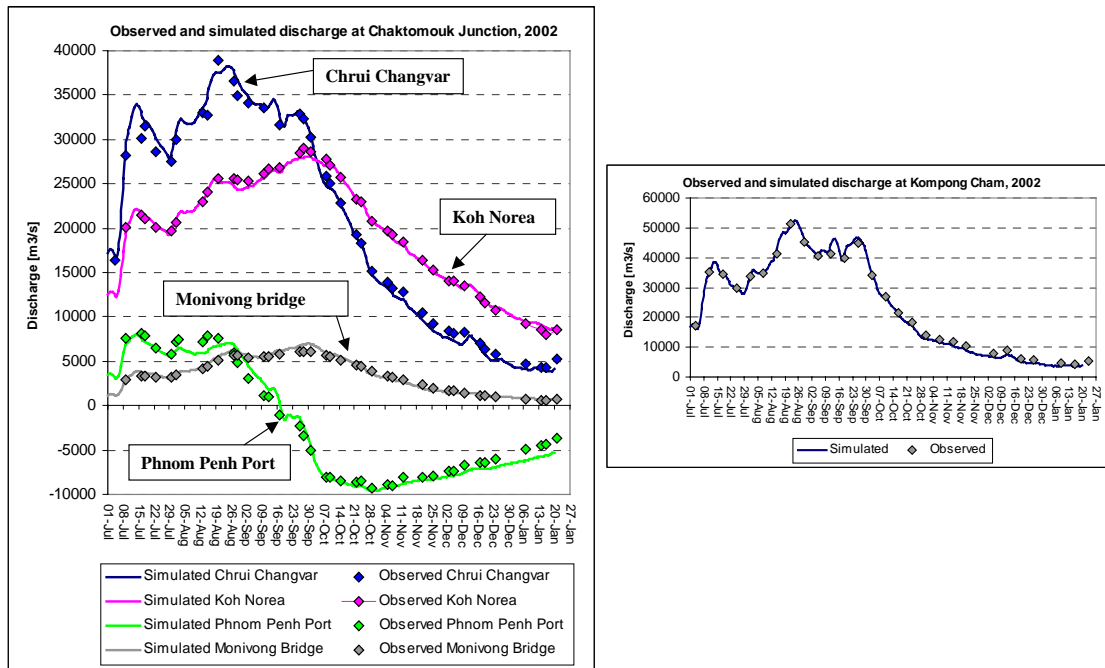
左：水文観測実地訓練、右：流量観測のための共同トレーニングワークショップ

### III 水文水理モデルの作成

- 22 MRCS のチャトムック・プロジェクト(日本支援)で作成された水文水理モデルを引き継ぎ、調査団が実施するさまざまな調査に対する解析ツールとして、この水文水理モデルを発展向上させた。このモデルは、クラティエ地点からベトナム国境までを対象とし、トンレサップ湖(大湖)を含んでいる。

#### III-1 カンボジア氾濫原の水文水理モデルの開発

- 23 「チャトムック地域-環境、水理、河道変遷-(チャトムック・プロジェクト)は、日本の支援により MRCS の技術支援部(TSD)のもとで 2000 年 4 月から 2001 年 7 月まで実施されたプロジェクトである。この中で、クラティエ地点からベトナム国境までの主要河川網を対象に 1 次元モデルが構築された。このモデルの目的は、プノンペンでメコン河、トンレサップが合流し、メコン河とバサック河に分かれるという、合計 4 本の水路が分合流する地域の総称であるチャトムック(4 つの面の意)地域の水理状況を詳細に把握するために構築された 2 次元水理モデルへの境界条件を提供することであった。
- 24 WUP-JICA 調査団は、この 1 次元モデルを改良し、調査に関わる水理面からの支援ツールとしてこれを活用した。大きな改良点は次の 2 点である：(1) 対象区域全体において流域からの流出量を知るために降雨流出モデルを追加、(2) 大湖の水理モデルを追加。
- 25 モデルの精度向上のためには、正確かつ詳細な水理データが不可欠である。この観点から、カンボジア氾濫原の洪水状況を詳細に把握するため、2002 年雨季において集中的な流量観測の実施や衛星画像解析を「トンレサップ湖およびその周辺の水文的観点から見た多面的機能の検討」プロジェクト(TSLVP)と分担して実施した。この TSLVP は上記チャトムック・プロジェクトの継続調査に相当し、日本支援のプロジェクトである。こうした 2002 年雨季における観測および解析を通して、水文水理モデルの再現性と信頼性は飛躍的に向上した。さらにこうした調査成果は関係者間で共有すべきものであり、WUP-MRCS が実施している世銀支援の流域モデリング構築作業等の関連プロジェクトに、データおよび情報を提供した。

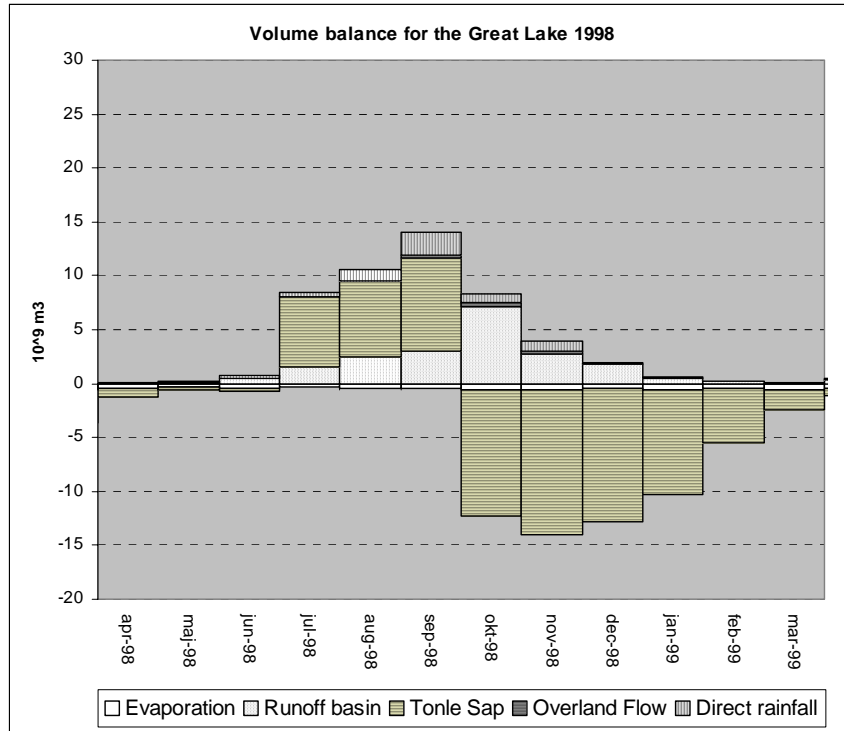


水文水理モデルの検証結果(2002年雨季)

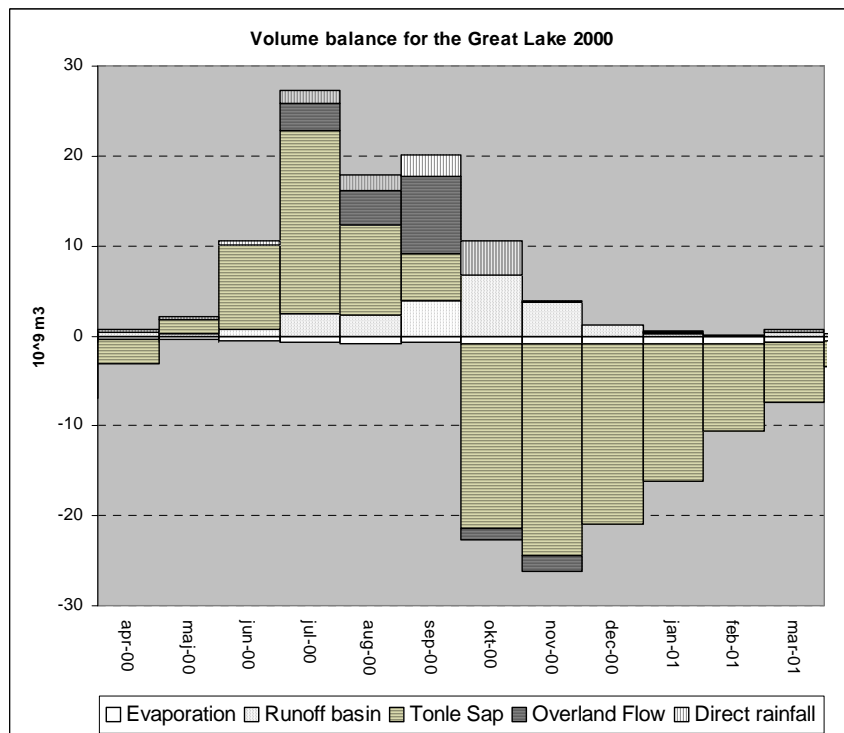
### III-2 水文水理モデルの応用

26 開発したモデルを用いて、次のような応用解析を行い、調査活動を支援した。

- (a) プノンペン周辺での乾季の水位および流量は潮位変動の影響を大きく受けるため、乾季の連続的な流量は水理シミュレーションから算定せざるを得ない。まず 2003 年乾季における流量観測結果からモデルの検証を行い、良好な再現精度を確認した。潮位変動により大きく変動する流量について、シミュレーション結果を時間単位で整理し、これをさらに日平均値に変換し、乾季流量モニタリングシステムの検討に用いた。
- (b) カンボジア氾濫原では古くから盛土による道路網の開発が進められており、こうした開発が大湖を含む氾濫原の水理に大きな影響を及ぼしてきたと考えられる。こうした氾濫原道路の歴史的発展段階を追い、大湖を含む水理機能に及ぼした影響を把握するとともに、例題的に氾濫原に位置する橋梁開口部の拡大が水理的に及ぼす影響度合を検討した。
- (c) さまざまな構成因子を加味しながら、大湖の水収支を検討した。これらの因子には、流域流出、湖面への直接降雨、湖面からの蒸発、トンレサップの順流・逆流、氾濫原を超えて流入する氾濫流が考慮されている。シミュレーションにより、これらの寄与率および月別変化を整理した。



代表的渇水年である 1998 年の大湖の水収支



代表的洪水年である 2000 年の大湖の水収支

- 27 ここで開発した水文水理モデルは、カンボジア氾濫原でこれから提議されるであろうさまざまな開発計画の水文水理的影響を検討するのに、極めて有効な解析ツールである。この目的達成のためには、カンボジア政府の担当機関がモデルの操作運用および解析を

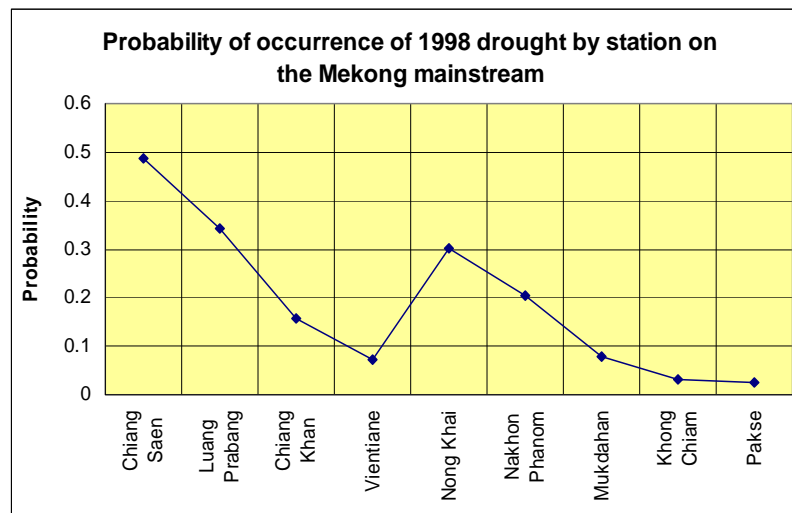
持続的に実施できる能力があることが肝要である。このため、調査団はカンボジア国内メコン委員会(CNMC)および DHRW 職員を対象に、2003年12月26日から31日にわたりモデルに関するトレーニングを実施した。

#### IV メコン河下流域の水文特性と水利用

- 28 調査の過程において、さまざまな水文および水利用に関する資料収集および検討解析を必要に応じ行った。今後の参照材料として活用されるために、これらを別途ここに整理する。

##### IV-1 メコン河下流域の水文特性

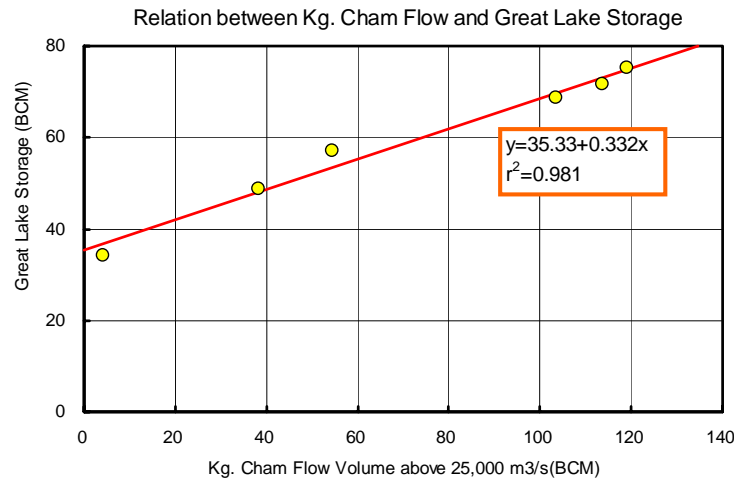
- 29 調査の過程において、水文現象を理解する目的やさらにはMRCのWUPチームや水文チームの要請に応じて、さまざまな水文的な検討を行った。こうした調査結果の中から、今後の参考のため、次のような水文特性を再構成し示した。
- 30 メコン河の一般的な水文特性を、主要水文観測所の流況データをもとに描いた。乾季においては、上流部中国からの流出の寄与が大きく、いっぽう雨季においてはラオス高地からの流出が大きく寄与していることが分かる。
- 31 過去の記録から渇水の発生状況を見ると、降雨の地域分布に応じて、渇水の発生状況はメコン河下流域で縦断的に変化する。こうした渇水の起こり方を見ると、渇水はいくつかのタイプ(流域一様型、偏在型等)に分類できる。



1998年渇水における縦断的渇水確率の比較

- 32 2002年雨季における流量観測とそれに続く水理シミュレーションに基づいて、カンボジア氾濫原の洪水調節機能を河岸溢水氾濫と氾濫原河道流下という観点から、総合的に検討した。さらに大湖の貯水量とコンボンチャムにおける洪水流量ボリュームとの関係を、近年6ヵ年(1998年-2003年)のデータをもとに明らかにした。この関係は、今後課題となる1995年合意の第6条の「本川流量の維持」のなかの1項目である「トンレサップの自然

「逆流」を検討する際に有用である。



### コンポンチャム地点の洪水ボリュームと大湖貯水量の関係

#### IV-2 メコン河下流域の水利用

- 33 調査団は、流域関係国の水資源開発の現状を知るために、文献調査ならびに関係諸機関からの水利用関係のデータ収集整理を行った。
- 34 これらの収集資料は、(1)中国、タイ、ラオス、ベトナムにおける既存のダム貯水池(これらは主として発電および灌漑目的)、(2)2002年にMRCで検討された「農業開発のための土地資源調査」のレポートに基づく4カ国の灌漑区域とその施設、(3)水利用量の推定結果である。
- 35 灌漑用水量の推定については、より参考となるデータが不足しているため、灌漑目的の必要水量および灌漑区域面積から水需要量を算定した。この結果、現状の乾季需要量は全体で181億 $m^3$ 、この内訳はタイ35億 $m^3$ 、ラオス12億 $m^3$ 、カンボジア18億 $m^3$ 、ベトナム116億 $m^3$ である。

## V 水利用計画に関する技術支援

- 36 メコン河委員会で進めている水利用計画策定の支援のために、さまざまな技術的支援を行った。これらは、技術的諸検討、我が国の経験や技術紹介、組織的強化策の検討等である。以下に調査団が実施した技術支援の概要を記す。
- 37 1995年のメコン河合意における水利用規則の記述には、明らかにすべき重要な用語と概念が盛り込まれている。例えば、第6条の本川流量の維持において、「許容」最小「自然」月流量を定める必要があるが、この「許容」および「自然」の意味を、実用的な面から流域関係国が合意できるよう定義付けなければならない。

### V-1 本川流量の維持

- 38 MRCSは、2003年末に世銀GEF(地球環境ファシリティ)の資金援助により、統合的流

域流水管理(Integrated Basin Flow Management: IBFM)を発足させた。このプロジェクトのもとで、WUP チームは 2004 年末に予定されている合同委員会に、第 6 条に規定されている三種の流量を提示する予定である。これらは、「乾季の各月における許容最小自然月流量」、「雨季において発生するトンレサップの許容自然逆流量」および「洪水期に平均的に自然発生する日平均ピーク流量」の三種の流量である。これら三種の流量のうち、調査団は乾季における許容最小自然月流量に焦点を合わせて調査した。何故なら、資源活用に限界のある乾季流量が、流域関係国間で、水利用上最も軋轢を産むからである。

- 39 一般に、必要最小流量を上回る余剰水量は、最下流端から必要最小流量と実際の流況との差を順次上流に算定し決定する。もし、最下流端で余剰水量が無い場合は、当該流域での余剰水量は存在しないとみなすことができる。実際、メコンデルタはメコン河本川で最大の水需要地域であり、毎年のように塩水遡上に対する対応に苦慮している。かつてのメコン河本川の大規模ダムによる水資源開発計画は、こうしたデルタの乾季流量の増大と雨季の洪水調節を主たる目的としていた。
- 40 メコンデルタの乾季の灌漑は、格子状に広がる水路網から取水しており、取水量を計測することや算定することは極めて困難である。現状で可能なのは、栽培作物の必要水量と栽培面積から水需要量を算出し、これを水利用量とみなす方法である。さらに塩水遡上の状況は、水文条件ならびに取水条件に応じて大きく変化する。それゆえに塩水遡上の対策は、灌漑水利用とうまくバランスの取れたものとする必要がある。
- 41 メコン河本川のチェンセンからパクセに至る 10 観測所の月平均流量をもとにさまざまな流量確率を求めたものが次表である。さらにこの表は 1992 年および 1998 年渇水の月流量も併せて比較している。

乾季における観測所別の月流量確率の比較(単位:  $m^3/s$ )

Station	Drainage Area (km <sup>2</sup> )	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

## V-2 組織強化

- 42 組織強化は規則策定支援ならびに規則策定後の監視体制の強化について検討した。
- 43 規則策定支援に関して、調査団は(1)1970年のヘルシンキ・ルール、1980年の国際河川水路における非航行目的に関する法律原案、および1997年の国際水路における非航行目的の法律・協定に関する国連総会決議を普遍的な適用指針として収集整理、(2)国際河川流域



における協定の収集と解釈、(3)これらの事例や指針をもとに1995年合意や各国水関連法規の検証を行った。

- 44 策定されつつある水利用規則の検討を通して、今後必要な対策や活動、例えば具体的なガイドラインの策定等を提案した。さらに流域各国の関係機関におけるインタビューに基づいて、水文モニタリングシステムにおける現状の課題と将来の改善に関する提案を行った。

### V-3 日本における水利用管理システム

- 45 第1次現地調査終了時点の2001年8月、MRCSより調査団に關係各国を回りながらトレーニングワークショップを開催することと、日本の水利用計画をその主要テーマにしたい旨の要請があった。この要請に対して、調査団はJICA本部と協議し、本部は2001年度に要請に基づいて国内トレーニングワークショップを開催することを決定した。
- 46 それ以降、調査団は、MRCSのWUPチームの差し迫った課題に対応しながら、我が国の経験をもとに時宜を得たテーマを選択し、リージョナルないしナショナル・トレーニングワークショップで講演し、技術移転を図った。これらは、(1)2001/2002年：水利権システムを軸とした我が国の水管理システムの歴史的発展経緯と水資源開発の事例ならびに現状の課題、(2)2002/2003年：水利権許可の法的手続きから水利用モニタリングに至る我が国の法的指導体系とその実例、(3)2003/2004年：必要最小流量と流量の維持に関する決定方法とその実例、である。

## VI 提言

### VI-1 水文モニタリングとモデリング

- 47 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、関係機関は關係各国ならびに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。
- 48 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。

## VI-2 水利用計画のための技術支援

- 49 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。
- 50 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程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。
- 51 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。

## メコン河水文モニタリング計画調査

## 和文要約報告書 目次

序文	
伝達文	
最終報告書の構成	
調査対象区域図	
主要要約	
第1章 はじめに	1
1.1 背景	1
1.2 調査目的	2
1.3 調査区域	2
1.4 調査団の活動状況	3
1.5 調査団の構成	3
1.6 技術移転	4
1.7 本書の構成	6
第2章 水文観測網の整備、欠測補填、水文モニタリング	8
2.1 水文観測所の整備	8
2.1.1 背景および活動	8
2.1.2 観測所の選定と整備作業	8
2.2 日雨量の欠測補填	14
2.2.1 背景および目的	14
2.2.2 欠測補填手法	14
2.2.3 選定した雨量観測所と欠測補填	19
2.3 水文モニタリング	21
2.3.1 背景および目的	21
2.3.2 活動状況	23
2.3.3 水位流量曲線の作成	25
2.3.4 カンボジアにおける流水モニタリングシステム	30
第3章 水文水理モデルの構築	37
3.1 カンボジア氾濫原の水文水理モデルの開発	37
3.1.1 背景	37
3.1.2 モデルの開発過程	37
3.1.3 降雨流出モデル	39
3.1.4 水理モデル	45

3.1.5	結論	52
3.2	モデルの適用検討	56
3.2.1	乾季流況検討	56
3.2.2	盛土構造の道路建設による水理的影響	58
3.2.3	氾濫原における橋梁開口部の拡幅の影響検討	62
3.2.4	大湖の水収支	64
第 4 章	メコン河下流域の水文および水利用	66
4.1	メコン河下流域の水文	66
4.1.1	はじめに	66
4.1.2	メコン河下流に水文に関する一般的な特徴	66
4.1.3	メコン河下流の渇水	69
4.1.4	カンボジア氾濫原の水文的機能	74
4.2	メコン河下流域の水利用	83
4.2.1	はじめに	83
4.2.2	メコン河流域の既設水資源開発施設	83
4.2.3	メコン河下流域の水利用現況	87
第 5 章	水利用計画に関する技術支援	88
5.1	水利用規則の紹介	88
5.1.1	1995 年メコン合意と WUP-JICA 活動	88
5.1.2	水利用規則の予備的解釈	89
5.2	本川流量の維持	92
5.2.1	余剰水量に関する基本的考察	92
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	93
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	97
5.3	組織強化	102
5.3.1	はじめに	102
5.3.2	ルール策定に向けた支援	102
5.3.3	規則実施のための強化策	105
5.3.4	水文気象モニタリングの組織強化	107
5.2	日本の水利用管理システム	110
5.4.1	はじめに	110
5.4.2	許容最小月自然流量の決定に関する課題	110
5.4.3	日本の流水管理システム	111
5.4.4	水利用モニタリング	119
第 6 章	提言	124

**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)

**表一覧**

表 1-1	メコン河流域の国別集水面積	2
表 1-2	調査団の活動	3
表 1-3	作業監理委員会および調査団の人員構成	4
表 1-4	WUP-JICA 調査団が参加・講演したワークショップ	6
表 1-5	和文要約レポートの構成	7
表 2-1	整備対象のキー水文観測所	8
表 2-2	月別降雨日連続発生確率と無降雨日連続発生確率の算定結果 (ムオンナムタ観測所)	15
表 2-3	月別日雨量と発生確率を算定する回帰式(ムオンナムタ観測所)	17
表 2-4	観測値(8 年間)と推計値(20 年間)の比較(ムオンナムタ観測所)	18
表 2-5	日雨量パターンの選定結果の例(ムオンナムタ観測所)	19
表 2-6	日雨量欠測補填のまとめ	20
表 2-7	カンボジアの主要水文観測所	24
表 2-8	対象観測所における過去の水位流量曲線と流量観測記録	25
表 2-9	水位流量曲線の適用範囲と適用不能期間	28
表 2-10	水位流量曲線作成のための水位差設定に用いる観測所の組合せ	28
表 2-11	カンボジアにおける流水モニタリングから見た雨季観測の期間	31
表 2-12	乾季流況に対する潮位変動の影響	33
表 3-1	降雨流出モデルのための小流域分割	40
表 3-2	大湖に流入する小流域と代表水位観測所	41
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	68
表 4-2	年流況の類型化	72
表 4-3	コンポ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	81
表 4-4	国別の貯水池数と有効貯水容量の総計	83
表 4-5	メコン河流域の既設水力発電所の一覧	85
表 5-1	水利用計画における規則の構成	88
表 5-2	第 26 条における主要条項と検討進捗状況	90
表 5-3	1998 年時点のメコンデルタにおける人口	93
表 5-4	メコンデルタの潮位の特性	94
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	96
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	100

表 5-7	流域関係 4 カ国の水資源関連法規	104
表 5-8	メコン河下流域の既存灌漑区域	120
表 5-9	渇水対策協議会におけるデータ・情報の提供・交換	121
表 5-10	取水制限の諸活動	121
表 5-11	日本における水利用モニタリングと報告の基準	122
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)	123

### 図一覽

図 2-1	ウボン観測所の位置と整備された観測所の概観	9
図 2-2	ラオスの 3 観測所の位置と整備された観測所の概観	10
図 2-3	カンボジアの 4 観測所の位置と整備された観測所の概観	11
図 2-4	ミトゥアンおよびカントー観測所位置図(メコンデルタ、ベトナム)	13
図 2-5	年雨量の相関(ムオンナムタと近傍観測所)	15
図 2-6	日雨量確率曲線と区間分割による回帰直線の例 (6 月、ムオンナムタ観測所)	17
図 2-7	発生させた降雨パターンと既往の降雨パターンとの比較 (ムオンナムタ観測所)	19
図 2-8	カンボジアの主要水文観測所位置図	23
図 2-9	選定した水文観測所・断面と流況の概観	24
図 2-10	観測所毎の流量観測データ	26
図 2-11	水位流量曲線	29
図 2-12	2002 年雨季の流量ハイドログラフと プノンペンポートにおける観測値との比較	32
図 2-13	プノンペン周辺地域の乾季流水モニタリングシステムの概念	34
図 2-14	プノンペン周辺地域における乾季流況の推算結果(2003 年乾季)	35
図 2-15	プノンペン周辺地域の将来的な乾季流水モニタリングシステムの概念	36
図 3-1	降雨流出モデルのための小流域分割	40
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)	42
図 3-3	実測流量と流量ハイドログラフ(Boribo 地点 Stung Boribo 流域)	42
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)	43
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)	44
図 3-6	大湖の水位-面積-容量関係	45
図 3-7	氾濫原モデル作成に有用な地形情報	46
図 3-8	モデル構築のための水文観測所	47
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	48

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	49
図 3-11	境界条件の設定地点と与条件	50
図 3-12	シミュレーション結果と観測結果の氾濫区域の比較 (2002 年 10 月 14 日)	51
図 3-13	シミュレーション結果と観測結果の氾濫区域の比較 (2002 年 10 月 14 日)	51
図 3-14	2002 年洪水によるモデルの検証結果	54
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)	57
図 3-16	日平均流量の推算値(2 月-4 月 2003 年)	58
図 3-17	プノンペン周辺主要国道路線図	59
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変化	60
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	61
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)	63
図 3-21	橋梁開口部の拡大による水文水理的影響の例	63
図 3-22	1998 年(渇水年)と 2000 年(洪水年)の大湖の月別水収支	65
図 4-1	メコン河本川の主要水文観測所	67
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	68
図 4-3	1998 年渇水の発生確率の縦断的变化	69
図 4-4	1998 年渇水の月流量の比較(4 月、9 月、11 月)	70
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)	71
図 4-6	流況の類型化と代表的な年の渇水確率比較	73
図 4-7	2002 年雨季におけるカンボジア氾濫原の洪水波形	74
図 4-8	メコン河本川における縦断的な流量変化	75
図 4-9	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	76
図 4-10	トンレサップの縦断的な流量変化	76
図 4-11	バサック河の縦断的な流量変化	77
図 4-12	カンボジア氾濫原の洪水状況	78
図 4-13	2002 年雨季におけるコンポンチャム - プノンペン間の水収支	79
図 4-14	コンポ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 $25,000\text{m}^3/\text{s}$	81
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	82
図 4-16	東北タイの主要貯水池の位置図	84
図 4-17	メコン河流域の既設水力発電所位置図	86
図 5-1	IBFM プロジェクトによる余剰水量の定義	92

図 5-2	メコンデルタで塩水侵入の影響を受ける地域	95
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	97
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)	97
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)	98
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	99
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	101
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	101
図 5-9	組織強化に関する調査の構成	102
図 5-10	日本における河川水利用の原則	113



## 第 1 章 はじめに

### 1.1 背景

メコン河は北方よりチベット高原に源を発し、中国西部を南東に流下し、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジアを経て、最終的にベトナムにて南シナ海に注ぐ。その流域面積は約 795,000km<sup>2</sup> で世界 21 位、年間総流出量は 4,750 億 m<sup>3</sup> で世界 8 位の規模である。流路長に関しては、東南アジア随一で、約 4,880km である。メコン河は流路長では、世界 12 位を誇っている。

流域は、人口 5 千万人以上を擁し、世界で有数の多様かつ生産性の高い淡水システムを形成している。流域の水資源における課題は、資源の合理的かつ衡平な配分と持続可能な開発に関するものである。これに関し最も重要な因子は、河川流況の変化であり、とくに乾季の流況が重要である。

「メコン河流域における持続的開発のための協力合意」(1995 年合意)は、関係各国、すなわちラオス、タイ、カンボジア、ベトナムの 4 カ国の全権委員によって 1995 年 4 月に調印された。この合意に基づいて、メコン河委員会(MRC)は創設された。

現在、MRC はコアとなる三種のプログラムを進めており、これらは、水利用計画(WUP)、流域開発計画(BDP)、環境計画(EP)である。この 3 プログラムのうち、水利用計画は、流域関係国の合理的かつ衡平な水利用、環境や水生生物の保護、および生態バランスの維持を含む流域の調整がとれかつ持続的な水管理を促進・改善するよう、MRC がその仕組みを確立する手助けとなることを目的としている。こうした目的は、「1995 年合意」に沿って情報の共有や通告・事前協議といったそれぞれの手続きと水利用に関するルールを準備していくことによって達成されるであろう。

「1995 年合意」の第 26 条の「水利用および流域外導水に関する規則」によれば、定められるべき規則は少なくとも次のような事項をカバーする必要がある。

- (1) 雨季乾季の時間的枠組みの確立
- (2) 水文観測所の選定とそれぞれにおける守るべき必要水位の設定と維持
- (3) 乾季における本川の余剰水量決定の基準設定
- (4) 流域内水利用の監視に関する改善
- (5) 本川からの流域外導水の監視方法の設定

1995 年 11 月以降、定期的に行われている非公式の援助国・援助機関会合の場で、日本政府は、JICA 開発調査の枠組みによって、第 26 条に規定されている水利用および流域外導水に関する規則の策定および水文観測体制の改善等に関して、協力支援を実施する用意のあることを表明した。いっぽう、メコン河委員会事務局(MRCS)は、「1995 年合意」の実施に向け、加盟 4 カ国を支援するさまざまなプログラム・計画・活動を開始ないし実施していた。2000 年 3 月、世

銀地球環境ファシリティ(GEF)の支援を受けて、水利用計画(WUP)がスタートした。

加盟4カ国を代表したMRCの公式要請に対応して、日本政府は国内の関連法制度に準じ、「メコン河流域水文モニタリング計画調査」を実施することを決定した。国際協力事業団(当時、JICA)は、日本政府の援助協力プログラムの実施に関する担当機関として、MRCならびに加盟4カ国との緊密な協力のもとに調査を実施した。

まず事前調査団が2000年12月2日から14日に、調査の業務範囲(Scope of Work)を協議するため、MRCならびに加盟4カ国に派遣された。事前調査団は、現地調査ならびに関係機関との一連の調整協議を行った。本格調査における業務範囲は、最終的にJICAとMRCの間で合意を見た。

こうして取り交わされた業務範囲に基づいて、本格調査が、2001年3月、国内作業におけるインセプションレポート(ドラフト)作成作業を皮切りに開始された。そして2001年5月、調査団はMRCSとのインセプション協議実施、そして調査実施のためカンボジアに派遣された。それ以降、ほぼ3年間にわたり調査が継続され、この一連のレポートは調査団の活動の全体を取りまとめたものとなっている。

## 1.2 調査目的

本調査の目的は次のとおりである。

- (1) メコン河水系の流況を調査する。
- (2) 水利用とくに水量面での規則策定準備過程においてMRCを支援する。
- (3) 調査を通じて加盟4カ国ならびにMRCSの組織ならびに能力強化を図る。

## 1.3 調査区域

調査区域は、メコン河下流域すなわちカンボジア、ラオス、タイ、ベトナムを含む606,000km<sup>2</sup>の区域であり、巻頭の調査区域図に示すとおりである。メコン河下流域は、下表に示すように、メコン河流域全体の76%を占めている。

表 1-1 メコン河流域の国別集水面積

Country	Catchment Area (km <sup>2</sup> )	Remarks
China	165,000 (21%)	
Myanmar	24,000 (3%)	
Laos	202,000 (25%)	Lower Mekong River Basin's Total Catchment Area: 606,000 km <sup>2</sup> (76% of entire basin)
Thailand	184,000 (23%)	
Cambodia	155,000 (20%)	
Vietnam	65,000 (8%)	
Total	795,000	

#### 1.4 調査団の活動状況

調査は 36 ヶ月にわたり、調査団は、雨季乾季の違いの理解と季別のモニタリング活動のため、雨季と乾季といった各年 2 回ずつの現地調査を実施した。これらを取りまとめたものが次表である。

表 1-2 調査団の活動

Year	Month	Field Study	Home Office Work	Reporting (Duration of Field Study)
2001	March		<input type="checkbox"/>	Draft Inception Report
	April			
	May	■		
	June	■		Inception Report
	July	■		(3 months)
	August	■		Working Paper I
	September		<input type="checkbox"/>	
	October	■		
	November	■		
	December	■		(5 months)
2002	January	■		
	February	■		Progress Report
	March	■	<input type="checkbox"/>	
	April			
	May	■		
	June	■		
	July	■		(3.5 months)
	August	■		Working Paper II
	September		<input type="checkbox"/>	
	October	■		
	November	■		
	December	■		(4.5 months)
2003	January	■		Interim Report
	February	■	<input type="checkbox"/>	
	March	■		
	April	■		
	May	■		
	June	■		(4 months)
	July	■		Working Paper III
	August		<input type="checkbox"/>	
	September	■		
	October	■		
	November	■		(5 months)
	December	■		
2004	January	■		Draft Final Report
	February		<input type="checkbox"/>	
	March			Final Report

#### 1.5 調査団の構成

本調査実施に当って、JICA は作業監理委員会と調査団からなる組織を構成した。作業監理委員会は、JICA に対して調査に関する必要なアドバイスを与え、調査団は JICA に対し調査実施の責任を負う。これらの人員構成を次表にまとめる。

表 1-3 作業監理委員会および調査団の人員構成

名称	担当
<b>作業監理委員会</b>	
(1) 大野 静雄	委員長(2001年4月-2002年9月)
栗城 稔	同上 (2002年9月-2003年5月)
生嶋 隆造	同上 (2003年5月-2004年3月)
(2) 大井 英臣	河川管理
(3) 松井 健一	水文観測
(4) 増本 隆夫	水利用
<b>調査団</b>	
(1) 森下 甲子弘	総括
(2) 高柳 則男	組織・制度
(3) ヘルリック・ガルダール	水文・水理モデリング
(4) 大内 実	低水管理
(5) 近藤 兼一郎	流域管理
(6) 濱田 祐一朗	水文観測/施設設計
(7) 村田 直人	水利用計画
(8) 奥村 一郎	PCM
(9) ニールス・ボイ・クリステンセン	流量観測計画
(10) ガブリエラ・ラムサル	プロジェクト調整(水文)
(11) 中村 和弘	業務調整(2001年5-6月)
岡崎 亮男	同上 (2002年1-2月)
藤本 和良	同上 (2003年1-2月)
山崎 竜一	同上 (2003年4-5月,2004年1月)

## 1.6 技術移転

水利用計画の協調プロジェクトとして、次のようなプロジェクトが JICA 調査(WUP-JICA)と同時並行して MRCS の中で進んでいた。

- (1) 世銀 GEF 支援による流域モデリングおよび知識ベースの構築(WUP-A)：流域全体を対象にした水文水理モデルの開発、メコン河流域の水資源に関連したデータおよび知識ベースの構築、加盟4カ国および MRCS の意思決定を支援する意思決定支援システム(DSF, Decision Support Framework)の開発
- (2) フィンランド支援のトンレサップの流況および水質のモデル化(WUP-FIN)：トンレサップ湖の水量および水質に関する水文水理モデルの開発
- (3) フランス支援の水質診断調査(WUP-EP)：メコン河流域における水質に関する知識の蓄積・改善

これらのプロジェクトは頭に水利用計画(WUP-)を付けて呼ばれており、JICA 調査も WUP-JICA という呼称で呼ばれている。こうした WUP 関連のプロジェクトと並行し、WUP-JICA の活動と深く関係しているのが次のようなプロジェクトである。

- (1) オーストラリア支援の水文観測網整備プロジェクト(AHNIP, Appropriate Hydrological Network Improvement Project)：メコン河本川を主体に主要水文観測所18カ所(中国2カ所)を対象にテレメータ化を図り、MRCS ならびに関係国にリアルタイムで水文デ

ータを提供する。

- (2) 日本支援のトンレサップ湖および周辺の水文気象データの整備と多面的水文機能の調査 (TSLVP, Consolidation of Hydro-Meteorological Data and Multi-functional Hydrological Roles of Tonle Sap Lake and its Vicinities) : カンボジア氾濫原の水文的機能をさまざまな現地調査等を通して定量化し、氾濫原および水田の多面的機能を評価する。

調査団は、調査団が開催するワークショップのみならず、こうしたさまざまなプロジェクトが並行している環境を活用し、多くの機会を捉えて技術移転および経験の交流を図った。これら調査団が開催ないし参加し、講演したワークショップを表 1-4 に整理する。

こうしたワークショップに加えて、水文観測ならびに流量観測に関する知識と経験の蓄積のため次のようなトレーニングを繰り返し実施した。

- 調査団が実施した水文観測所の改良整備に関連し、自記水位計の操作運用に精通するため、現地トレーニングを実施した。このトレーニングは、各国の観測現場で 2002/2003 年度および 2003/2004 年度に継続的に実施し、データ格納や処理も含んでいる。
- プノンベン周辺で流量観測を開始した 2002 年に 2 回、流量観測に関する室内トレーニングを開催した。同様に 2003 年には観測したデータをもとにした水位流量曲線の作成に関する室内トレーニングを開いた。このトレーニングへの参加者は、MRCS の水文チームとカンボジア水資源気象省(MOWRAM)水文河川局(DHRW)の職員である。
- 2002 年および 2003 年にそれぞれ約 1 カ月間ずつ、流量観測に関するオンザジョブ・トレーニングを実施した。流量観測に用いた ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)の使用に精通することを目的に、調査団の流量観測計画担当がトレーニングに参加し、現場作業を通して ADCP の設定・測定・結果の整理格納等について、DHRW 職員を訓練した。

表 1-4 WUP-JICA 調査団が参加・講演したワークショップ

Date (Y.M.D)	Workshop Theme	Venue	Organizer	Presentation by the WUP-JICA
2001.12.13-14	Data review and modelling concept	Phnom Penh, Cambodia	WUP-A	Progress of the WUP-JICA study
2002.01.04-05	Water allocation and monitoring (National training)	Kompong Cham, Cambodia	WUP-JICA	(1) Water utilization rules in Japan (2) Interpretation of basic concept on water utilization rules in the Mekong River Basin
2002.01.07-08		Bangkok, Thailand		
2002.01.10-11		Thalat, Laos		
2002.01.14-15		Ha Long, Vietnam		
2002.01.23-25	Water allocation and monitoring	Ho Chi Minh, Vietnam	WUP-JICA	(1) National training results (2) Study Progress
2002.06.10-11	Water use monitoring	Bangkok, Thailand	WG3 of WUP	Water use monitoring in Japan
2002.09.23-24	Interim results of TSLV project	Phnom Penh, Cambodia	TSLVP of TSD	Discharge measurement on the Mekong mainstream
2002.12.03-04	Technical support for drafting process of the water use monitoring	Siem Reap, Cambodia	WG3 of WUP, and TSD	Water use monitoring in Japan and issues in the LMRB
2003.01.07-08	Integrated water management in the LMRB	Phnom Penh, Cambodia	WUP-JICA	Report on Interim Report
2003.03.04-05	Final evaluation of TSLV project	Phnom Penh, Cambodia	TSLVP of TSD	Discharge measurement results and monitoring issues
2003.07.14-18	Training of trainers on discharge measurement	Phnom Penh, Cambodia	WUP-JICA and AHNIP	Theory and practices on discharge measurement using ADCP
2003.12.15-16	Integrated water management in the LMRB	Phnom Penh, Cambodia	WUP-JICA	Report on Draft Final Report
2003.12.23-24	Maintenance of Flows on Mainstream (National Training)	Kompong Cham, Cambodia	CNMC	WUP-JICA Flow Monitoring Activities

## 1.7 本書の構成

本和文要約レポートは3年間のWUP-JICA調査団の活動結果を4つの分野からとりまとめており、これらは1.2でのべた調査目的とも整合の取れたものとなっている。この要約レポートの内容を参照しやすいように、以下に各章各節の構成を簡単に述べる。

表 1-5(1/2) 和文要約レポートの構成

章	節	タイトル	概要
2		水文観測網の整備、欠測補填、水文モニタリング	本章はとくに物理的な活動面を整理しており、水文観測網の整備、日雨量の欠測補填、水文モニタリングについて述べている。
	1	水文観測所の整備	整備すべき水文観測所の選定、整備項目の確認を経て、自記水位計の設置等、観測所の修復・改良を実施した。
	2	日雨量資料の欠測補填	日雨量資料の不足を補うために、推計学的手法によって日雨量を発生させ、欠測補填を行った。
	3	水文モニタリング	流量面では最も大きな欠測とみなされるカンボジアの流量データの長期にわたる欠損に対して、流量観測から水位流量曲線設定に至る一連のモニタリングを実施し、流量データの整備を行った。
3		水文水理モデルの構築	MRCs で実施されたチャトムックプロジェクトで開発された水理モデルを改良し、本調査の解析ツールとした。
	1	カンボジア氾濫原における水文水理モデルの開発	モデルの原型である水理モデルに、流域の降雨流出モデル、大湖のモデルおよび氾濫原内の流下モデルを組み込み、精緻化した。この結果、モデルの再現能力は飛躍的に改善した。
	2	モデルの適用検討	改良されたモデルを用いて、調査を支援するツールとして、次のような解析を実施した：乾季流量解析、氾濫原の道路等の盛土構造物による水理的影響、大湖の水収支検討。
4		メコン河下流の水文特性および水利用	調査全般を通して収集データおよび解析結果を今後の参考のためにとりまとめたものである。
	1	メコン河下流域の水文特性	調査全般にわたり、さまざまな水文的検討を行ったが、これらのうち有用と思われるものを整理した。
	2	メコン河下流域の水利用	調査団は文献調査ならびに関係機関からの資料収集によって、水利用情報を検討した。こうした灌漑・水力発電およびその他という分類で整理している。
5		水利用規則策定のための技術支援	水利用規則策定作業に伴い、調査団はさまざまな技術支援活動を行った。これらは、技術的調査、我が国の水利用に関する経験等の共有、さらには組織強化に関する調査である。
	1	水利用規則の基礎的解釈	「1995年合意」の中には、とくに水利用規則に関連する事項に、解釈を必要とするさまざまな重要用語や複雑な概念があり、まずこれらの整理が必要である。
	2	本川流量の維持	本川流量の維持の中で、最も重要かつ決定が困難である乾季における許容最小自然月流量の検討を行った。ここでは、流量設定の鍵となるメコンデルタの水文特性および水利用に関して、資料収集ならびにさまざまな観点からの検討を行った。
	3	組織強化	国際河川における合意事例、各国水資源関連法案と国際規範との整合性、さらには水文モニタリングに関する関係機関の課題等の分野に対して、資料収集、事情聴取ならびに解析検討を行った。
	4	日本における水利用管理システム	MRC の水利用規則策定の進行に沿って、必要とされる日本の経験をとりまとめ、ナショナルおよびリージョナルワークショップで講演した。こうした3カ年の活動のトピックをとりまとめている。

## 第 2 章 水文観測網の整備、欠測補填、水文モニタリング

### 2.1 水文観測所の整備

#### 2.1.1 背景および活動

メコン河下流域の水文観測所は、観測網の管理の観点から、位置的重要度、河道の安定性、観測データの信頼性に応じ 4 クラスに分類されている。これらは、キー、プライマリー、ベイシックおよびローカル・ネットワークに分かれる。最近の MRC による調査結果によると、25 観測所がキー観測所に指定されているが、このうちの 15 観測所が AHNIP の下でテレメータに整備される予定である。残りの 10 観測所を本調査の検討対象とした。これらは次表のとおりである。

表 2-1 整備対象のキー水文観測所

No.	Station (River)	Country
1	Ubon (Nam Mun)	Thailand
2	Pak Kagunung (Num Ngum)	Lao PDR
3	Ban Phonesy (Nam Cading)	
4	Ban Keng Done (Se Bang Hieng)	
5	Ban Komphoun (Se san)	Cambodia
6	Kompong Cham (Mekong)	
7	Chak Tomuk (Bassac)	
8	Neak Luong (Mekong)	
9	Can Tho (Bassac)	Vietnam
10	My Thuan (Mekong)	

これらの観測所を対象に 2001 年 5 月から 7 月にかけて現地調査を行い、現地と観測機器の現状を確認した。現地において関係機関と協議し、観測所毎の整備課題を整理した。以下に、整備が必要である観測所の選定過程、必要整備項目ならびに実際の整備作業について述べる。

#### 2.1.2 観測所の選定と整備作業

実際の整備作業を開始する前に、カンボジアの水資源気象省(MOWRAM)水文河川局(DHRW)より整備対象観測所の追加申請があった。これはセコン川の Cham Tangoy 観測所であり、セコン川はメコン河の主要国際支川の一つであるとの理由であり、調査団はこの要請を受け対象観測所に加えた。

観測機器に関しては、MRCS 技術支援部(TSD)の水文チームと協議し、気泡式水位計の設置を決定した。これは、各種センサーに対する関係機関の熟練度と多大な堆積土砂に対する耐久性を考慮した結果である。以下に各観測所に対する整備の概要を記す。

##### (1) タイ(水資源局 DWR、前エネルギー開発促進局 DEDP)

ウボン Ubon 観測所：ムン川(Nam Mun)流域

ウボン観測所はウボンの市街地でムン川を横断する Saereprachatippatai 橋の下に位置してい



る。ここでは、スタッフゲージが設置され、良好な状態で観測が続けられている。

スタッフゲージに加え、調査団によって気泡式水位計一式が設置された。橋梁のハンドレールに観測箱を取り付けセンサーとロガー等を格納するとともに、橋桁に沿わせて垂鉛メッキ管を設置しガスチューブを這わせ、河床付近にガスチューブの末端を配置した。



図 2-1 ウボン観測所の位置と整備された観測所の概観

## (2) ラオス(水路管理部 WAD および気象水文局 DMH)

ラオスの水位観測所の位置図および施設概観をまとめて図 2-2 に示す。

### パカニユン Pak Kagnung 観測所：グン川(Nam Ngum)流域(DMH)

パカニユン観測所にはスタッフゲージが設置されているのみである。さらにアクセス用の階段も無い。したがって、スロープゲージとともに階段を設置し、観測に際しての安全性を確保し、さらに気泡式水位計を設置することとした。また階段の側面には洗掘防止のため蛇籠を設置した。

### バンフォンシー Ban Phonesy 観測所：カディン川(Nam Cading)流域(DMH)

JICA 草の根無償プロジェクトによって、1990 年代後半にスロープゲージと階段が設置されており、これらは現在でも良好な状態である。気泡式水位計を追加的に設置した。

バンケンドン Ban Keng Done 観測所：セバンヒエン川(Se Bang Hiang)流域(WAD)

気泡式水位計が、オーストラリア支援の「水文気象観測網整備 II」プロジェクトで 1999 年に設置されている。しかし、スロープゲージはあるものの階段が設けられておらず、水位観測は極めて危険である。したがって、新たなスロープゲージと階段および階段側面に洗掘保護用の蛇籠を設置した。



図 2-2 ラオスの 3 観測所の位置と整備された観測所の概観

注：写真上段はパカニユン、中段はバンフォンシー、下段はバンケンドン観測所

(3) カンボジア(水文河川局 DHRW)

カンボジアで対象とした 4 カ所の水位観測所の位置図および施設概観をまとめて図 2-3 に示

す。



図 2-3 カンボジアの4観測所の位置と整備された観測所の概観

注：写真上段左はバンコムフォン、上段右はチャムタンゴイ、  
下段左はチャトムック、下段右はネアックルン観測所

バンコムフォン Ban Komphoun 観測所：セサン川(Se San)流域

観測所にはスタッフゲージが設置されているのみであり、スロープゲージと蛇籠保護工付き階段工および気泡式水位計を設置した。

チャムタンゴイ Cham Tangoy 観測所：セコン川(Se Kong)流域

当観測所の整備は追加的に DHRW から申請を受けたものであるが、観測所にはスタッフゲージが設置されているのみであり、スロープゲージと蛇籠保護工付き階段工および気泡式水位計を設置した。

コンボンチャム Kompong Cham 観測所：メコン河(Mekong)流域

オーストラリア支援の「水文気象観測網整備 II」プロジェクトで、気泡式水位計が設置されており稼動している。さらにスロープゲージや階段工も良好な状態であり、DHRW スタッフとの現地での協議により、改良作業は必要でないと判断した。

チャトムック Chak Tomuk 観測所：トンレサップおよびバサック(Tonle Sap and Bassac)流域

プノンペンの国立会議場の河岸にスロープゲージと階段工が設置されており、これらの状態は良好である。これに加えて、気泡式水位計を設置した。

ネアックルン Neak Luong 観測所：メコン河(Mekong)流域

ネアックルン観測所には、観測井とフロート型の水位計が設置されていたが、水位計および観測井ともに老朽化していて、DHRW から修復要請が上がった。調査団は、観測井および付帯施設を新設するとともに、従来のフロート型水位計に加えて気泡式水位計を設置した。

**(4) ベトナム(南部水文気象センターSRHMC)**

ベトナムで対象とした 2 カ所の水位観測所の位置図を図 2-4 に示す。

カントーCan Tho 観測所：バサック河(Bassac River)流域

カントー観測所には、フロート型、気泡式それぞれの水位計、ならびにスタッフゲージが設置されている。これら機器ならびに施設の状態は良好である。現地において SRHMC のスタッフと協議し、整備は必要ないとの判断を得た。

ミトゥアン My Thuan 観測所：メコン河(Mekong)流域

ミトゥアン観測所は、現在スタッフゲージが設置されているのみである。しかし、SRHMC によると 2002 年に 1km 上流の地点に移動する計画とのことであり、新しいミトゥアン観測所には、フロート型水位計とスタッフゲージが設置される予定であることが確認された。調査団は、ミトゥアン観測所に気泡式水位計の併設を話し合い、両者の合意を得た。



図 2-4 ミトゥアンおよびカントー観測所位置図(メコンデルタ、ベトナム)

## 2.2 日雨量資料の欠測補填

### 2.2.1 背景および目的

近年 10 カ年において、タイを除く流域関係 3 カ国における雨量観測所の数が飛躍的に増大した。これらタイを含む 4 カ国の状況を 1990 年から 2000 年への推移で見ると、タイは 154 から 153、ラオスは 70 から 143、カンボジアは 41 から 170、ベトナムは 21 から 103 にそれぞれ雨量観測所数が推移している。すなわち 2000 年にはメコン河下流域で 569 の観測所による雨量観測網が構築され、この 10 カ年のうちに倍増している。

これらラオスやベトナムの観測所の中には、1990 年代初頭においてデータの欠測が認められる。いっぽうカンボジアでは、日本支援の「水文気象観測網整備 I」プロジェクトのもと MRC 主導により、1996 年から 1998 年に設置なり復旧した観測所がほとんどである。したがって、この期間以前の雨量資料は極めて限られている。タイについては、雨量資料の整備状況は極めて良好である。

WUP-A の流域モデリング等において、1991 年から 2000 年の 10 カ年の雨量資料が流出解析を実施する上で最も有効と判断された。このため WUP-JICA 調査団は、TOR に盛り込まれている活動の一つに「データの欠測補填」があり、その一環として当該期間の雨量資料の欠測補填を実施した。

### 2.2.2 欠測補填手法

推計学的手法を用いた欠測補填の手順を、以下順を追って説明する。

#### (1) 年雨量の欠測補填

雨域が小さいため、周辺の観測所ですら日雨量の高い相関を得ることは稀である。しかし、過去の雨量を解析すると、年雨量規模になると近傍観測所間で高い相関性が認められる。したがって、欠測補填の第 1 段階として、近傍観測所の雨量データを用いて、単ないし重回帰分析により対象観測所の年雨量の欠測を補填することとした。

年雨量の補填については単回帰分析ないし重回帰分析を用い、その結果は等雨量線図により検証した。まず近傍観測所間の相関分析を行い、相関係数が十分高ければ(ちなみにここでは 0.8 を設定)、単回帰分析により年雨量の欠測補填を行った。観測所間の相関係数が低い場合は、重回帰分析を用いた。

年雨量の推算事例として、ラオスのムオンナムタ(Muong Nam Tha)観測所における年雨量の重回帰分析結果を次図に示す。推算に当っては、ラオスのフォンサリ(Phongsaly)観測所とタイのチェンコン(Chiang Khong)観測所を用いて重回帰分析を行っている。

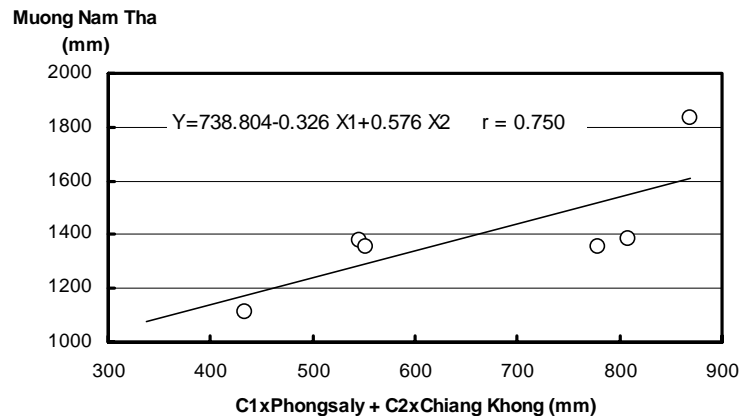


図 2-5 年雨量の相関(ムオンナムタと近傍観測所)

## (2) 日雨量の欠測補填

## 降雨日と無降雨日の推定

まず日雨量の欠測補填作業の第1段階として、降雨日と無降雨日の設定を行った。このためにマルコフ連鎖と月別の降雨日と無降雨日が連続する確率を算定し、これらを適用した。

既往の日雨量資料より、降雨日連続発生確率(降雨日の次に降雨日が続く確率)と無降雨日連続発生確率を算定した。本調査では、実用的な意味から、降雨日は、日雨量 0.5mm を超える雨量を観測した日、無降雨日は、日雨量 0.5mm 以下の日と定義した。

この定義に基づいて、月別の降雨日連続発生確率と無降雨日連続発生確率を算定した。次表は、ラオスのムオンナムタ観測所での算定結果である。

表 2-2 月別降雨日連続発生確率と無降雨日連続発生確率の算定結果(ムオンナムタ観測所)

	Month	Probability of Occurrence of Consecutive Wet Days	Probability of Occurrence of Consecutive Dry Days
1	January	0.353	0.952
2	February	0.500	0.967
3	March	0.400	0.885
4	April	0.439	0.787
5	May	0.667	0.639
6	June	0.651	0.409
7	July	0.737	0.370
8	August	0.725	0.403
9	September	0.578	0.688
10	October	0.424	0.820
11	November	0.357	0.920
12	December	0.519	0.941

降雨日連続発生確率と無降雨日連続発生確率の算定式は、次のとおりである。

降雨日連続発生確率は次式による。

$$P_{WW} = \frac{\sum WW}{TWD}$$

ここに、

- $P_{WW}$  = 月別の降雨日連続発生確率
- $WW$  = 翌日も降雨が発生した日数
- $TWD$  = 総降雨日数

無降雨日連続発生確率は同様に次式による。

$$P_{DD} = \frac{\sum DD}{TDD}$$

ここに、

- $P_{DD}$  = 月別の無降雨日連続発生確率
- $DD$  = 翌日も無降雨が発生した日数
- $TDD$  = 総無降雨日数

いったん上記の確率を設定すると、マルコフ連鎖に基づいて、前日の状況(降雨 or 無降雨)とその確率分布によって次の日の状況を、0 から 1 までの乱数を発生させながら順次予測していくことができる。

#### 日雨量の推計学的発生

欠測の日雨量は推計学的手法によって補填する。ここでは、対象観測所毎に月別に日雨量の発生確率をまず整理する。異常値の発生を防止するため、既往日雨量データを自然対数に変換し昇順に並べ、ワイブル分布を用いて各データの確率的重み付けを行う。ワイブル分布は、次式で表される。

$$P_i = \frac{i}{n+1}$$

ここに、

- $P_i$  = 日雨量データの  $i$  番目の値に対するプロットング・ポジション
- $i$  = 日雨量を昇順に並べた場合の順番
- $n$  = 全日雨量データ数

この結果を、前述と同様にラオスのムオンナムタ観測所のデータで例示したものが図 2-6 である。日雨量確率曲線は、適合度を上げるために 3 区間に分割し、それぞれの区間に適合する回帰式を回帰分析により求める。この分割については、累加確率で 0-0.3、0.3-0.9、0.9-1.0 の 3 区間を設定し、それぞれをグループ I、II、III と呼ぶ。こうして算定した回帰式とそれぞれの相関係数の例を、表 2-3 にムオンナムタ観測所を同様に例として示す。



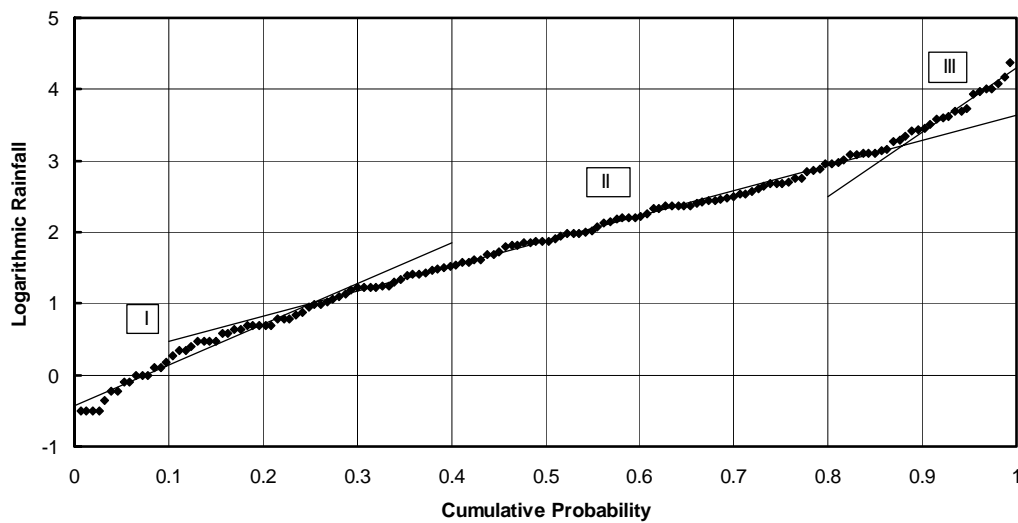


図 2-6 日雨量確率曲線と区間分割による回帰直線の例(6月、ムオンナムタ観測所)

表 2-3 月別日雨量と発生確率を算定する回帰式(ムオンナムタ観測所)

	Month	Cumulative Probabilities								
		0.0 - 0.3			0.3 - 0.9			0.9 - 1.0		
		a	b	r	a	b	r	a	b	r
1	January	-0.621	2.291	0.997	-0.277	2.939	0.885	-6.694	10.355	0.972
2	February	-0.171	4.494	0.951	-0.734	5.106	0.970	0.601	3.611	0.998
3	March	-0.558	4.549	0.984	-0.143	3.382	0.993	-3.638	7.383	0.955
4	April	-0.536	4.010	0.988	-0.520	4.280	0.990	-4.854	8.956	0.937
5	May	-0.423	5.960	0.988	0.533	3.088	0.986	-5.109	9.501	0.972
6	June	-0.435	5.704	0.984	0.112	3.532	0.997	-4.666	8.960	0.975
7	July	-0.533	6.944	0.993	0.464	3.343	0.999	-6.433	10.852	0.841
8	August	-0.475	7.252	0.992	0.697	3.006	0.995	-3.178	7.318	0.895
9	September	-0.435	6.811	0.975	0.154	3.808	0.998	-6.716	11.251	0.954
10	October	-0.440	3.742	0.958	-0.384	3.657	0.985	-10.419	14.693	0.915
11	November	-0.615	3.799	0.951	-1.104	5.084	0.993	-0.112	4.007	0.955
12	December	-0.827	5.269	0.873	0.000	3.393	0.974	-5.475	9.801	0.922

注：a:回帰式切片、b:係数、r:相関係数

回帰式群を算定した後、0 から 1 の乱数を発生させて、累積確率値を推定し、回帰式から日雨量を推算する。これらの関係は次式のとおりである。

$$\log_e P_e(k) = a + b.k$$

$$Y = e^{a+b.k}$$

ここに、

$P_e$  = 日雨量(mm/d)

$a$  = 回帰式切片

$b$  = 回帰式係数(勾配)

$k$  = 日雨量を昇順に並べた際の累積確率

- $Y$  = 推定日雨量(mm/d)  
 $\lambda$  = 0 から 1 の間で発生させた乱数

### (3) 推計モデルの検証

推計モデルで発生させた日雨量を、観測結果との比較を行い検証した。次表は、今まで例として示してきたラオスのムオンナムタ観測所において、8 年間の観測値と 20 年間の推計値の両者を、それぞれの月平均雨量と日雨量の月別標準偏差を算出し比較したものである。両者の母集団を比較するためにステューデントの t テストを実施したが、95% の信頼度で明瞭な相違が認められないことが分かった。したがって、観測値と推計値は同一の母集団からのデータとみなすことができる。さらに推計値と観測値の相関係数も高く、推計結果は十分な信頼性と再現性を有していると考えられる。

表 2-4 観測値(8 年間)と推計値(20 年間)の比較(ムオンナムタ観測所)

	Month	Mean Monthly Rainfall		Standard Deviation of Rainfall	
		Observed	Generated	Observed	Generated
1	January	11	14	1.9	2.8
2	February	28	27	5.6	5.8
3	March	39	47	4.4	5.3
4	April	83	89	7.6	7.9
5	May	212	172	12.8	10.9
6	June	227	226	12.7	12.8
7	July	308	292	15.8	13.8
8	August	288	291	12.8	13.0
9	September	184	195	13.1	13.1
10	October	62	61	6.5	6.9
11	November	35	29	5.2	4.6
12	December	33	28	5.1	4.1
	Mean	126	123		
	Correlation	0.993		0.980	
	t-tests	Differences in both mean monthly rainfalls and standard deviations are non-significant at 95% confidence level			

### (4) 発生させた日雨量の調整とパターン選定

ムオンナムタ観測所を例にとって説明する。まず前述のように乱数を発生させながら日雨量の年間パターンを 20 ケース計算した。いっぽう欠測補填のため(1)に述べたように、近傍観測所を用いた回帰分析によって、欠測のある年の年雨量を推定している。この年雨量と日雨量を発生させた 20 ケースの年雨量を比較し、欠測補填する年の年雨量に対し  $\pm 5\%$  以内に入ったパターンを、その年の日雨量として選定した。この例を表 2-5 に示す。欠測補填の対象としたのは、1991 年と 1993 年の 2 カ年であり、この 2 カ年の年雨量の推定値とそれに該当する日雨量発生パターンの選定状況を示している。

表2-5 日雨量パターンの選定結果の例(ムオンナムタ観測所)

	Sets of Generated Rainfalls	Annual Amount of Generated Rainfalls	Annual Rainfall fixed by Multiple Regression (MR)		Acceptable Range for Amount of Annual Rainfalls		Selection of Set of Generated Daily Rainfalls
			Data Missing Years	Annual Amount	-5% of MR fixed Amount	+5% of MR fixed Amount	
1	Set - 1	1334	1991	1076	1022	1130	Set - 6
2	Set - 2	1609	1993	1219	1158	1280	Set - 4
3	Set - 3	1292					
4	Set - 4	1232					
5	Set - 5	1532					
6	Set - 6	1118					
7	Set - 7	1376					
8	Set - 8	1634					
9	Set - 9	1649					
10	Set - 10	1627					
11	Set - 11	1805					
12	Set - 12	1286					
13	Set - 13	1551					
14	Set - 14	1520					
15	Set - 15	1277					
16	Set - 16	1518					
17	Set - 17	1448					
18	Set - 18	1367					
19	Set - 19	1682					
20	Set - 20	1576					

年雨量をもとに降雨パターンを選定した後、その降雨パターンを既往パターンよりチェックし、特異なパターンではないことを確認する。次図は、同様にムオンナムタ観測所での比較例を示したものである。横軸は日(365 日)、縦軸はそれぞれの年の年雨量で無次元化した累積日降雨量である。発生降雨パターンが既往の降雨パターン群の中にあれば採用し、外部に出たものとなれば再度他のパターンを比較検討する。この方式を繰り返し、現実的に起こり得る可能性の高い降雨パターンを選定した。

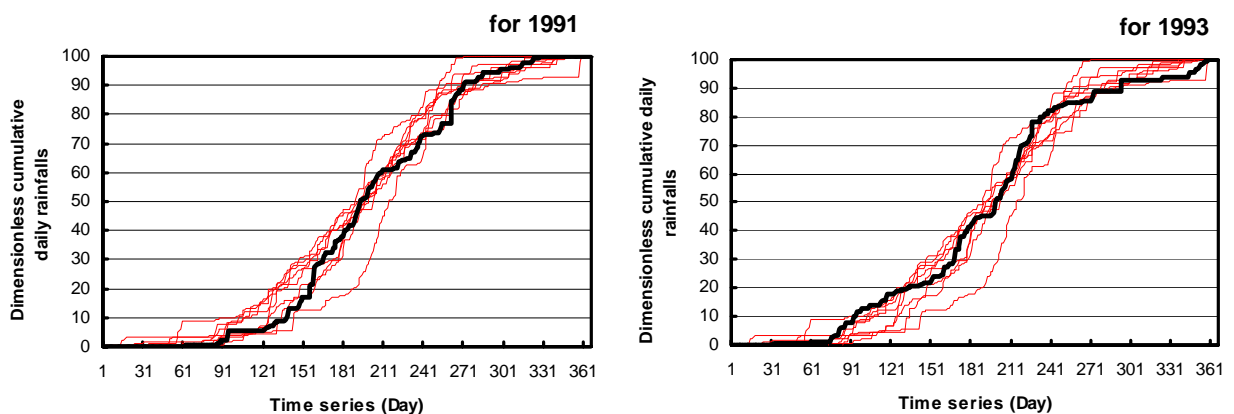


図 2-7 発生させた降雨パターンと既往の降雨パターンとの比較(ムオンナムタ観測所)

注：太線は発生させた降雨、細線は既往降雨パターン

### 2.2.3 選定した雨量観測所と欠測補填

前述のように流域内には 500 以上の雨量観測所が設置されており、これらすべてに対して欠

測補填を実施するのは、事実上困難である。このため、観測所の空間的な分布と観測期間を勘案し、126 観測所を選定した。この内訳はタイ 52、ラオス 41、カンボジア 22 およびベトナム 11 観測所である。

タイは 52 観測所のうち、1 観測所が 1 年間欠測しているのみである。ラオスは 41 観測所のうち、16 観測所が 1 年から 4 年の欠測があり、この 16 観測所から空間的分布を考慮して 4 観測所を選定し欠測補填を行った。

カンボジアでは、22 観測所のうち 3 観測所を除いて、すべて欠測のある観測所であった。この 19 観測所のうち 11 観測所のデータが欠測補填可能であり、その他はデータ観測期間が 5 年未満であり、補填が困難であった。

ベトナムの 11 観測所(メコンデルタ 7、中央高地 4)のうち、データが完備されているのは 3 観測所のみであった。さらに欠測補填が可能な観測所は 2 観測所で、合計 5 観測所の日雨量データが揃うこととなった。

これら欠測補填状況を整理したものが次表であり、前節までに述べた方法で欠測補填を実施したが、これらについてはサポーティングレポートのペーパーII を参照されたい。

表 2-6 日雨量欠測補填のまとめ

Country	Selected Representative Stations			Total of Stations with Available Dataset
	Total Number	Complete Dataset	Complete after Gap-Filling	
Thailand	52	51	1	52 (100%)
Lao PDR	41	25	4	29 (71%)
Cambodia	22	3	11	14 (64%)
Vietnam	11	3	2	5 (45%)
Total	126	82	18	100 (79%)

## 2.3 水文モニタリング

### 2.3.1 背景および目的

メコン河下流域では、各国の関係機関が水文モニタリングを実施している。こうした4カ国の現状を整理すると次のようである。

#### (1) タイ

タイにおける水文モニタリングの状況は、4カ国のうち最も好ましい状態であり、長期にわたり安定的に実施されており、これに流量データも含まれている。

#### (2) ラオス

ラオスの水文モニタリングは1990年代初めに改善されたようである。1990年代になると流量観測を実施している観測所の数が飛躍的に増大し、その後継続的に水位ならびに流量データがMRCに提供されている。1998年の水文年表(MRC)に基づき、この年を例に取っていえば、関係機関は各水文観測所において流量観測を実施し、この結果を用いて水位流量曲線を作成して、日流量を推算している。関係機関のうち気象水文局(DMH)の流量観測活動は、DMHに派遣されているJICA専門家を通じた日本からの資金援助を受けている。

#### (3) カンボジア

カンボジアにおける政治的混乱の收拾ののち、関係機関は完璧に破壊された水文観測ネットワークの復興に着手した。1990年代、MRCSおよび関連ドナーの技術的かつ財政的な支援のもと、水文観測所の数は急激に増大した。しかし、観測所網は依然として十分ではなく、主要観測所における流量観測活動は、水位流量曲線を作成するのに十分なほどは実施されていない。

#### (4) ベトナム

関係機関は、精力的に水文観測を実施しており、とくに塩水遡上に対応するために、乾季にはメコン本川の毎時流量観測を行っている。洪水期においては、メコンデルタ全域の洪水状況を把握すべくさまざまな観測活動を実施している。

こうした活動に加えて、各関係機関では持続的な観測体制維持のために取り組むべきものとして次のような課題を上げている。

#### (1) タイ

担当機関は、現在の観測システムの近代化、とくにスタッフゲージの読み取りから自記水位計の導入といった新鋭観測機器の導入を望んでいる。しかし、担当機関は1997年の経済危機以降、財政が逼迫しており実現が遅れている。

## (2) ラオス

担当機関は、現地調査用の船舶や車両の支援を望むとともに、水文技術者や観測雇員のトレーニングを要望している。さらに、MRCS のプロジェクトで導入されたコンピュータ・ソフトウェアや自記水位計の操作運用に関する技術移転を希望している。

## (3) カンボジア

カンボジアの担当機関は、最も深刻な課題に直面している。これらは政府歳入不足による財源逼迫の問題と人材育成の機会の不足である。MRCS のような機関の支援なしには、DHRW 自身では、水文観測活動の継続が困難であり、また水文分野における職員の能力開発を行えない状態にある。

## (4) ベトナム

メコンデルタでは、乾季の水不足や塩水遡上、長期に続く洪水、酸性土壌等の問題を抱えており、これらに対して担当機関は現況の水文モニタリングシステムの改善を企画している。これには、現在の観測機器更新や新鋭機器の導入、総合的な水質モニタリングシステムの確立、電子メール等を用いたデータ伝送システムの改良等が含まれている。

上記のそれぞれの機関が抱えている課題と WUP-JICA 調査団が水文モニタリングの支援に投入できる人的資源の両者を勘案し、調査団は最も状況が深刻なカンボジアの水文モニタリングの支援に資源を投入することを決定した。

ここで WUP-JICA 調査団は、カンボジアの流量観測を中心に水文モニタリングの支援を実施することとした。そして慎重に他のプロジェクトと重複がなく、かつ協力し合える体制作りを構築できるような対象観測所の選定を行った。流量観測の目的は次のとおりである。

- (a) カンボジア領内メコン河水系の主要観測所における水位および流量観測データをもとに水位流量曲線を作成することにより、水利用計画の策定に不可欠なメコン河の水収支に関する理解を深める。
- (b) 河川同時流量観測等の成果を活用して、トンレサップを含めた氾濫原の洪水緩和機能やその後の流況改善機能を明らかにすることによって、今後のさまざまなプロジェクトがカンボジア氾濫原のこうした水収支のメカニズムを用い、プロジェクトの影響評価が可能となる。

前者の目的を達成するには、主要観測所での継続的な流量観測が必要であり、またオーストラリア支援の AHNIP との協力および分担が不可欠である。

いっぽう後者の目的達成には、本川、トンレサップおよびバサック河で選定した河川断面において、定期的かつ頻度の高い同時流量観測が必要であり、このためには日本支援の TSLV プ

プロジェクトとの協力および分担が不可欠である。

### 2.3.2 活動状況

下記のような活動を 2002/2003 年および 2003/2004 年にわたり実施した。

#### (1) 流量観測および水位流量曲線の作成

表2-7に示すようにカンボジアには9カ所の主要水文観測所がある。このうち4カ所はAHNIPがテレメータ化し、併せて流量観測を行う予定だった観測所である。これらの位置は図2-8に示す。

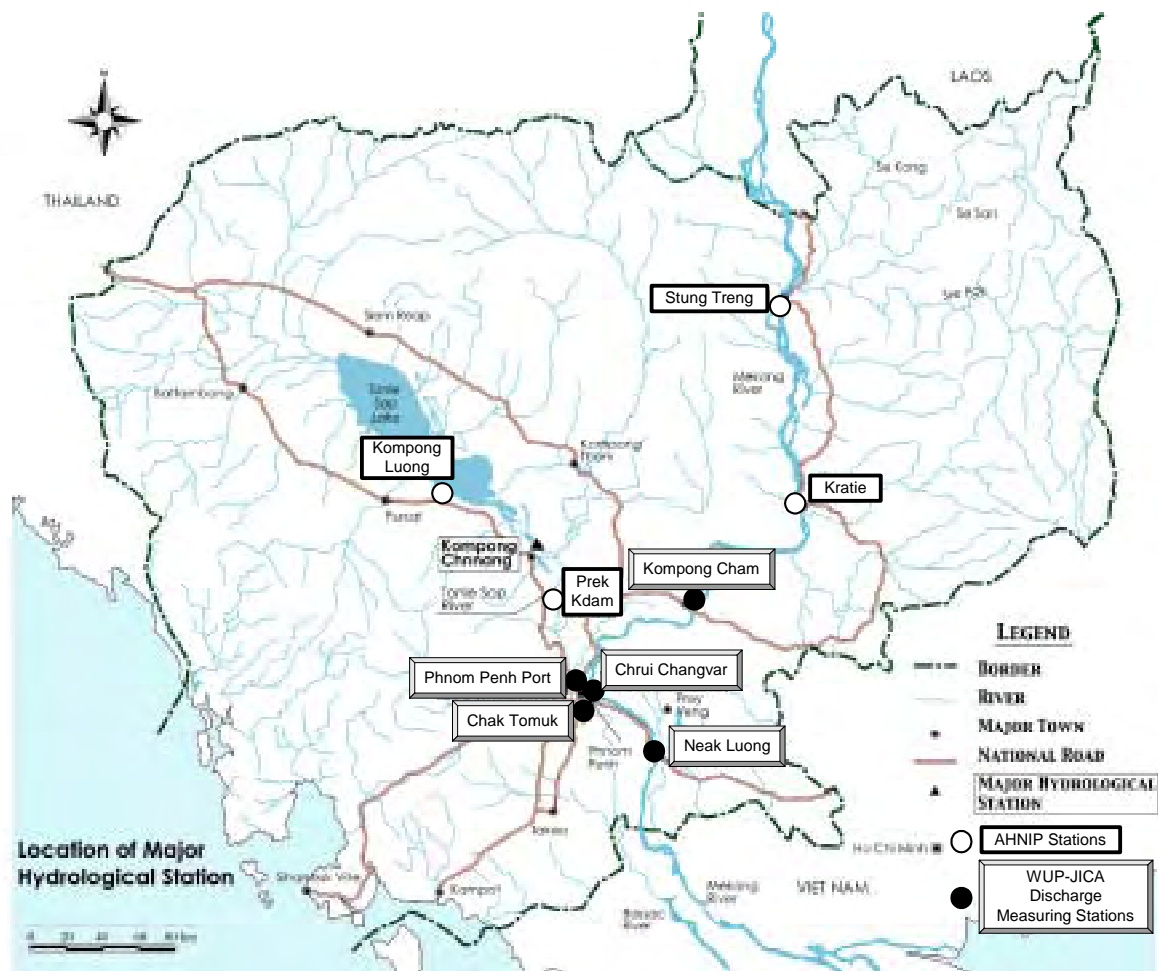


図 2-8 カンボジアの主要水文観測所位置図

AHNIP との不必要な重複を避け、両者協力してより良い相乗的な効果を現出するため、調査団は残された 5 観測所において集中的な流量観測を実施するとともに、そのデータを用いて水位流量曲線を作成することとした。

表 2-7 カンボジアの主要水文観測所

Station	River/Lake	Remarks
Stung Treng	Mekong	Being improved under AHNIP
Kratie		Being improved under AHNIP
Kompong Cham		
Churui Changvor		
Neak Luong		
Kompong Luong	Tonle Sap Lake	Being improved under AHNIP; discharge measurement not necessary
Prek Kdam	Tonle Sap	Being improved under AHNIP
Phnom Penh Port		
Chak Tomuk	Bassac	

これら5観測所の水文データを用いて、メコン、トンレサップ、バサックが分合流するチャトムック地区の水文状況が明らかにされることが本調査での最低限の条件である。こうしたチャトムック地区の分合流メカニズムの解明は、水利用規則策定後の流水管理において極めて大きな役割を果たすであろう。なぜなら、この地区の下流には、メコン河本川最大の水ユーザーであるメコンデルタが控えているからである。

国際河川の管理においては、隣接する国おしりの水文データの相互チェックシステムが不可欠である。たとえ、メコンデルタ上流部のベトナムの主要観測所であるタンチャオ、チャオドクおよびバムナオで精力的な流量観測が実施されていたとしても、とくに乾季における流域関係国の理解を得るためには隣接するカンボジアの水文データによる検証が、透明性および信頼性を高める意味から極めて重要となる。

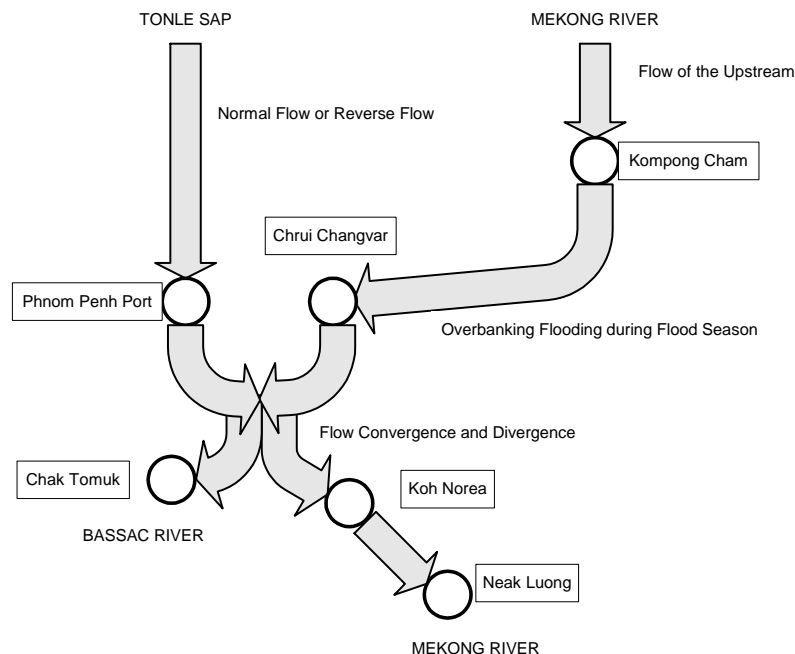


図 2-9 選定した水文観測所・断面と流況の概観

流量観測は、2002年7月の初めより2003年10月の初めまで、各観測所で少なくとも週1回の観測を実施した。同時に調査団は各年約1月ずつのオンザジョブ・トレーニングと必要に応じて室内トレーニングを開催した。この結果、1年3ヵ月の間で各観測所で約80個ずつの流



量データを観測した。

## (2) 同時流量観測

他の関連プロジェクト、とくに日本支援のトンレサップ湖周辺(TSLV)プロジェクトと協働で流量観測を実施した。TSLV プロジェクトの目的の一つは、カンボジア氾濫原の水文的なメカニズムを明らかにすることである。いっぽう、WUP-JICA 調査の目的の一つは、4カ国間で水利用規則を策定合意していく過程の技術的支援である。この目的のためには、極めて複雑かつ重要なカンボジア氾濫原における乾季流況を含む流況特性を把握することが肝要である。このように両プロジェクトは似通った目的を持っており、カンボジア氾濫原は広大でかつコルマタージと呼ばれる流水客土を主体とした灌漑水路網が複雑に発達しているため、それぞれ単独で取組むには大きな負荷を背負うこととなるし実りある成果を出すのも非常に困難である。したがって、両プロジェクトが協働してこの分野に取組んでいくこととした。

両プロジェクトの分担は、両者の度重なる協議を経て決定された。この結果、それぞれの本来の目的にも沿う形で、WUP-JICA 調査団は河川の流量を縦断的に観測し、TSLV プロジェクトは同じ日に氾濫原の中の流量観測を実施することが決まった。この同時流量観測等で得られた共同の成果は、第4章の「メコン河下流域の水文特性」でもその一部を載せている。

### 2.3.3 水位流量曲線の作成

#### (1) 過去作成された水位流量曲線

カンボジアの主要水文観測所における過去の流量データ記録については、クラティエ観測所が最も古く、1933年より流量データが残っている。しかし主要観測所で水位流量曲線に基づいて流量データが記録され始めるのは、1960年代初頭からである。WUP-JICA 調査団が流量観測の対象に選定した観測所について、過去の流量データの整備状況は下表のとおりである。

表 2-8 対象観測所における過去の水位流量曲線と流量観測記録

Station	Discharge Record		Rating Range	Discharge Measurement
	Start	End		
Kompong Cham	1964	1973	Above 3m	Until 1969
Chrui Changvar	1960	1973	Above 3m	Until 1973
Chak Tomuk	1964	1973	Above 4m	Until 1973
Neak Luong	1965	1969	Above 2.5m	Until 1969

チュルイチャンワー(Chrui Changvar)はしばしばプノンペン・メコン(Phnom Penh Mekong)とも呼ばれ、チャトムック(Chak Tomuk)はプノンペン・バサック(Phnom Penh Bassac)ないしモニボン橋(Monivong Bridge)とも呼ばれている。

表2-8は、それぞれの観測所の水位流量曲線が1960年代初頭に作成されたことを示している。水位ならびに流量観測は、1960年代終盤から1970年代初めにかけての内戦の激化によって途切れてしまったことを併せて示している。しかし、内戦激化が進んでいる状況下でも、1973

年までプノンペンでは流量観測が継続されており、この事実から、従事した水文技術者の強い意志と責任感が感じ取れる。当地域の水文観測網の復興と新たな確立は、それを受け継ぐ水文技術者の責務であろう。

## (2) 観測結果

実際の流量観測は2002年の7月に開始し、乾季の流量観測も含め、2003年の10月初めに終了した。2002年7月4日から2003年10月11日までの観測により、主要観測所毎にほぼ80の流量観測データを得た。

図2-10に、水位と観測流量の関係をコーノリア(Koh Norea)断面(分合流点直下のメコン河本川の断面)を含む6観測所・断面について示す。この図から、当プノンペン地区の流況について、次のような特性が読み取れる。

- メコン河およびバサック河の流量観測データは、一様に進行する洪水波の影響を受けて、大なり小なりループを描いており、この結果洪水上昇期の流量は洪水下降期の同一水位の流量より大きな値となっている。
- とくにチュレイチャンワーでは、トンレサップの順流と逆流の影響を受けて、非定常流れの状態となり、上昇期と下降期の同一水位の流量では極めて大きな差が発生している。この現象は1960年代における流量観測結果においても同様に認められる。
- いっぽう、チャトムック分合流点直下のコーノリアでは、チュレイチャンワーに見られるような大きなループは見られない。図では、コーノリアに水位観測標が設置されていないため、コーノリアの水位はチュレイチャンワーの観測水位で代替している。
- プノンペンポートの流況は極めて非定常である。順流および逆流期には流量の変化に比べて水位の変化がより大きく、いっぽう流況が順流と逆流の間を变化する遷移期間においては小さな水位変化のなかで流量は大きく変化している。

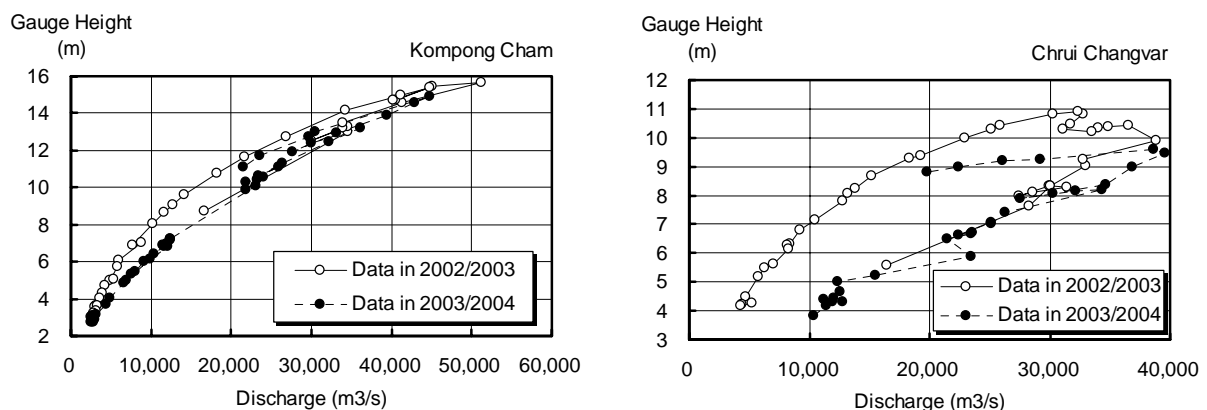


図2-10(1/2) 観測所毎の流量観測データ

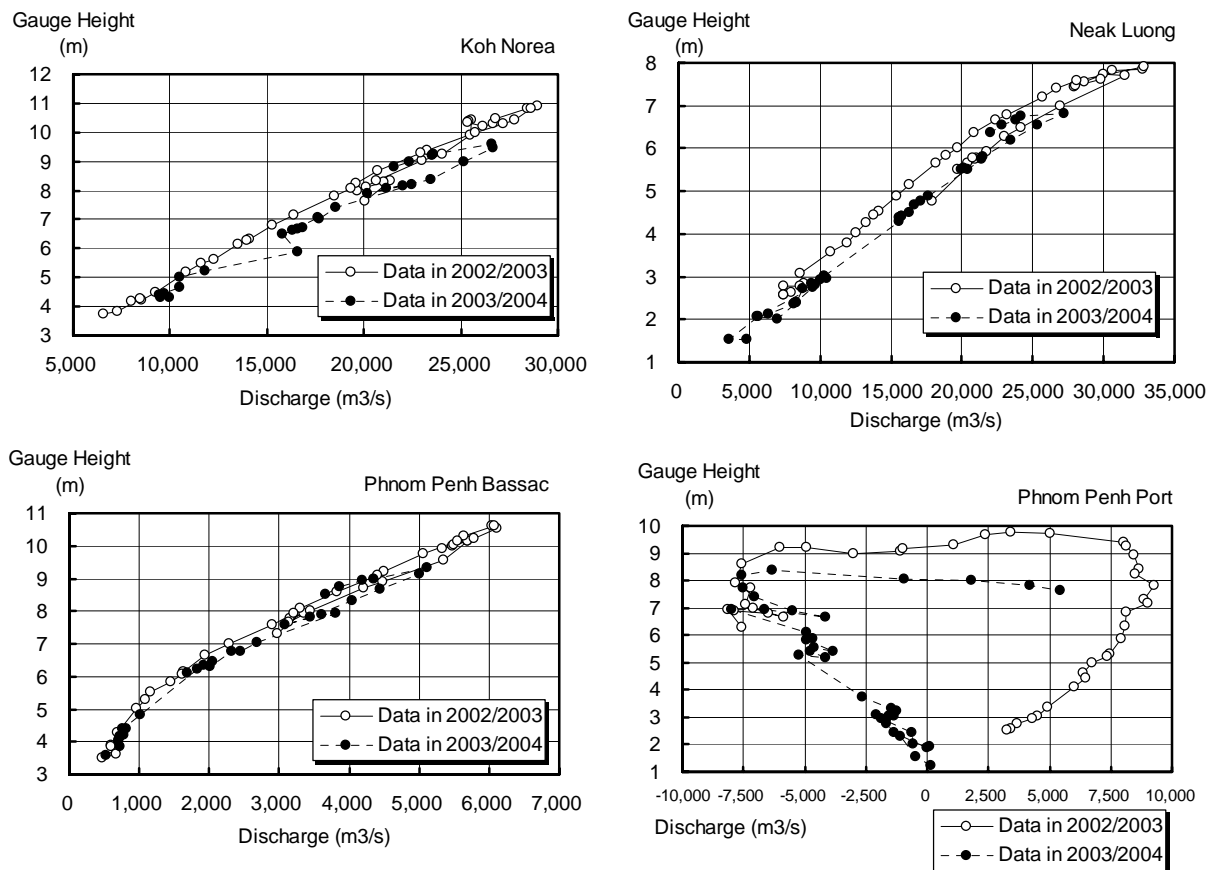


図 2-10(2/2) 観測所毎の流量観測データ

### (3) 水位流量曲線適用範囲の決定

図 2-10 に示した観測流量と水位の関係を見ると、トンレサップのプノンペンポートについては、分合流の影響を大きく受け複雑な流況を呈するため、水位流量曲線の作成は困難と判断した。この結果、プノンペンポートを除く 5 観測所の水位流量曲線を作成することとした。この第 1 段階として、当地区の水位はとくに低水時に潮位の影響を大きく受けるため、水位流量曲線の適用範囲、すなわち適用限界(最低水位)を決定した。

水位と観測流量との関係についてのさまざまな比較検討を行い、各観測所について曲線の適用範囲を検討し、その結果を表 2-9 に掲載する。この結果、プノンペン近辺のチュルイチャンワー、コーノリア、プノンペン・バサックはそれぞれの水位標で 3.5m 以上を適用範囲とした。これらより約 60km 下流に位置するネアックルンでは水位標 2.5m 以上とし、適用不能な期間はプノンペン近辺の観測所と大きな違いはない。このようにプノンペンおよび下流部の 4 観測所の水位流量曲線はそれぞれが良好にバランスの取れた適用範囲、すなわち適用可能最低水位を有するように設定された。

なお、コンポンチャムについては、年間を通して適用可能である。

表 2-9 水位流量曲線の適用範囲と適用不能期間

Station/Section	Rating Range		Inapplicable Days of Rating Curves a Year (1998-2002)
	Gauge Height	Elevation	
Kompong Cham	-	-	(applicable whole-year-round)
Chrui Changvar	Above 3.5m	Above 2.42m	100-170 days
Koh Norea	Above 3.5m	Above 2.42m	100-170 days
Phnom Penh Bassac	Above 3.5m	Above 2.48m	100-170 days
Neak Luong	Above 2.5m	Above 2.17m	110-180 days

## (4) 水位流量曲線の作成

洪水波の影響および非定常な流況変化の影響を受ける区間では、隣接する観測所の水位差をエネルギー勾配として組み込んだ水位流量曲線の作成が必要となる。実際の作業としては、この隣接観測所の組合せなり、最適な推定法としての水位差のべき乗数は、推定誤差の最小化と相関係数の最大化を目安に決定した。こうして得られた観測所の最適組合せを次表に示す。

表 2-10 水位流量曲線作成のための水位差設定に用いる観測所の組合せ

Station	Water Level Falls	
	Upstream Station	Downstream Station
Kompong Cham	Kompong Cham	Chrui Changvar
Chrui Changvar	Kompong Cham	Chrui Changvar
Koh Norea	Chrui Changvar	Neak Luong
Neak Luong	Chrui Changvar	Neak Luong
Phnom Penh Bassac (Monivong Bridge)	-	-

作成した水位流量曲線を図 2-11 に示す。また曲線式および関連パラメータは以下のとおりである。なお、この作成作業には、カンボジア水資源気象省水文河川局が観測したクラティエ観測所も併せて実施した。

クラティエ(Kratie)

$$\text{Rising stage: } Q = (8.158H - 10.155)^{2.1}$$

$$\text{Falling stage: } Q = (3.300H + 1.256)^{2.5}$$

ここに  $Q$  = 流量,  $m^3/s$   
 $H$  = 水位(水位標読み),  $m$

コンボンチャム(Kompong Cham)

$$Q = (8.869H + 29.811)^2 F^{0.3}$$

where  $Q$  = 流量,  $m^3/s$   
 $H$  = 水位(水位標読み),  $m$   
 $F$  = 表 2-10 に示した観測所間の水位差(MSL 基準),  $m$

チュルイチャンワー(Chrui Changvar)

$$\text{Rising Stage: } Q = (2.852H + 54.799)^2 F$$

Falling Stage:  $Q = (10.051H + 30.406)^2 F^{0.4}$

コーノリア(Koh Norea)

コーノリア断面では水位が観測されていないため、水位はチュルイチャンワーの水位で代替する。

$Q = (5.496H + 80.200)^2 F^{0.5}$

ネアックルン(Neak Luong)

$Q = (12.718H + 62.250)^2 F^{0.2}$

プノンペン・バサック(Phnom Penh Bassac)

$Q = (13.943H - 19.992)^{1.8}$

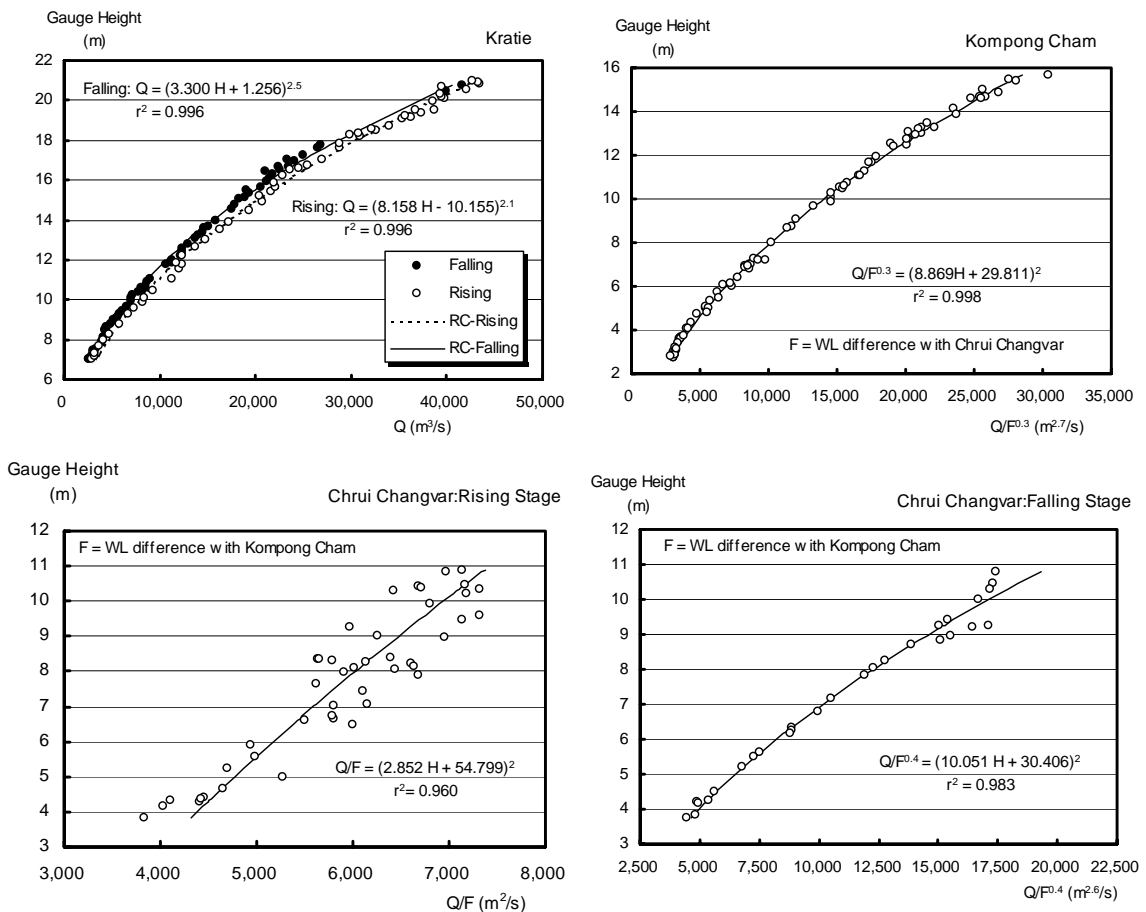


図2-11(1/2) 水位流量曲線: メコン河本川

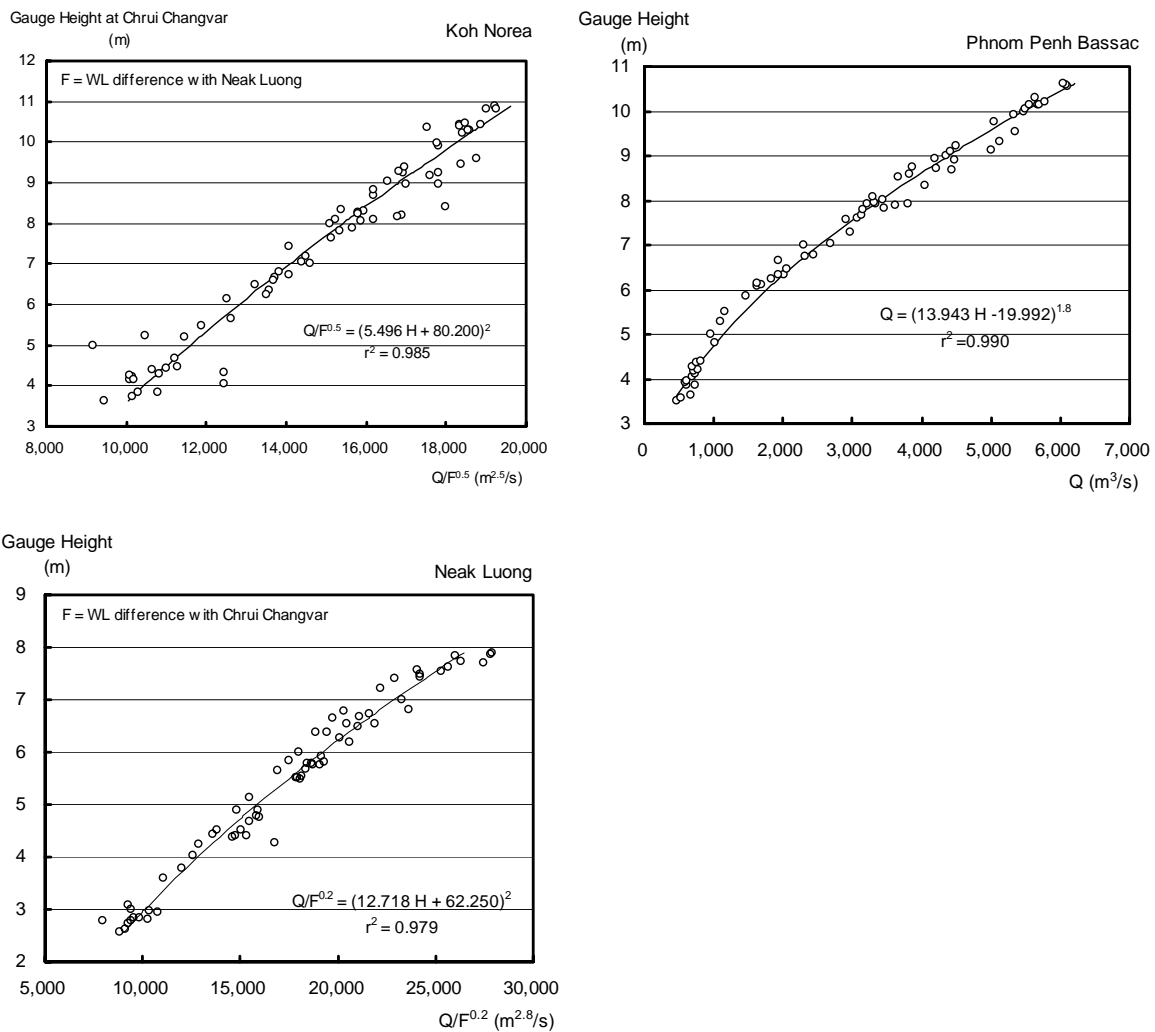


図2-11(2/2) 水位流量曲線: メコン河本川およびバサック河

### 2.3.4 カンボジアにおける流水モニタリングシステム

水文モニタリング活動や水文解析に基づいて、プノンペン地区における現段階での流水モニタリングシステムに関する実用的かつ適合性の高い方向性を検討する。さらに実用面を考えた将来のシステムについても提案する。ここでは、理解を容易にするため、流水モニタリングシステムを2時期に分けて考える。すなわち雨季と乾季のモニタリングシステムである。この雨季と乾季は、モニタリングについての時期であり、水利用規則に盛り込まれた雨季乾季とは異なり、むしろカンボジアの場合は水文観測が潮位の影響を受けるか否かによって決定される。これについては、すでに前節で検討した事項であるが、再度表 2-11 に掲載しておく。

表 2-11 に示すように、上流のクラティエおよびコンボンチャムでは、作成した水位流量曲線が年間を通して適用可能であるが、下流部においては6 ヶ月から 8.5 ヶ月まで(年間の 50-70%)が適用可能である。残りの期間は、乾季の流水モニタリングシステムを、異なった方法によって確立しなければならない。

表 2-11 カンボジアにおける流水モニタリングから見た雨季観測の期間

Area	Station	Threshold Gauge Height	Wet-Season Monitoring			Remarks
			Onset	End	Total Days	
Upstream	Kratie; Kg. Cham	-	-	-	-	Whole Year System
Phnom Penh	Chrui Changvar; Koh Norea; P. P. Bassac	3.5 m	Mid May to Early July	Early Jan. to Early Feb.	190 to 260 days	
Downstream	Neak Luong	2.5 m	Early May to Early July	Early Jan. to Early Feb.	180 to 250 days	

### (1) 雨季における流水モニタリングシステム

集中的な流量観測と水位流量曲線の作成を通して、チャトムック地区の流況を明らかにするための実用的な雨季流水モニタリングシステムが確立された。こうしたモニタリングシステムが確立されると、カンボジア氾濫原のみならず下流のメコンデルタに対しても適切な洪水情報が提供でき、洪水予測ならびに緊急洪水対策に寄与するところ大である。

図 2-12 は、今回の水位流量曲線から算定したプノンペン周辺地域の 2002 年雨季の流量ハイドログラフである。ハイドログラフを観測所間で比較すると、洪水およびその後の水収支が容易に理解される。例えばコンボンチャムからチュルイチャンワー間の大きな洪水緩和機能と、コーノリアとネアックルン間の対照的にほとんどそうした機能が見られない区間等々の特性である。

こうした良好に再現されたハイドログラフをもとに、プノンペンポートの流量を以下のような極めて簡単な収支式で算定した。この結果と観測値を併せて図 2-12 に示している。

$$\text{プノンペンポート}Q = \text{コーノリア}Q + \text{プノンペン・バサック}Q - \text{チュルイチャンワー}Q$$

この図は、プノンペン周辺地域の雨季流水モニタリングシステムの可能性を如実に示している。プノンペンポートにおける上記算定値は、観測値に対して、順流・遷移期間のみならず逆流についても良好に適合している。したがってこのことは、上記の収支式を用いて算定した流量は、雨季におけるトンレサップの流量として十分実用に耐えることを意味している。結論として、作成した水位流量曲線は、カンボジア領内のクラティエから下流域をカバーする区域の雨季における流水モニタリングシステムに十分活用することができ、観測所毎の流量算出のみならず、チャトムック地区の分合流状況も明らかにすることができることが分かった。

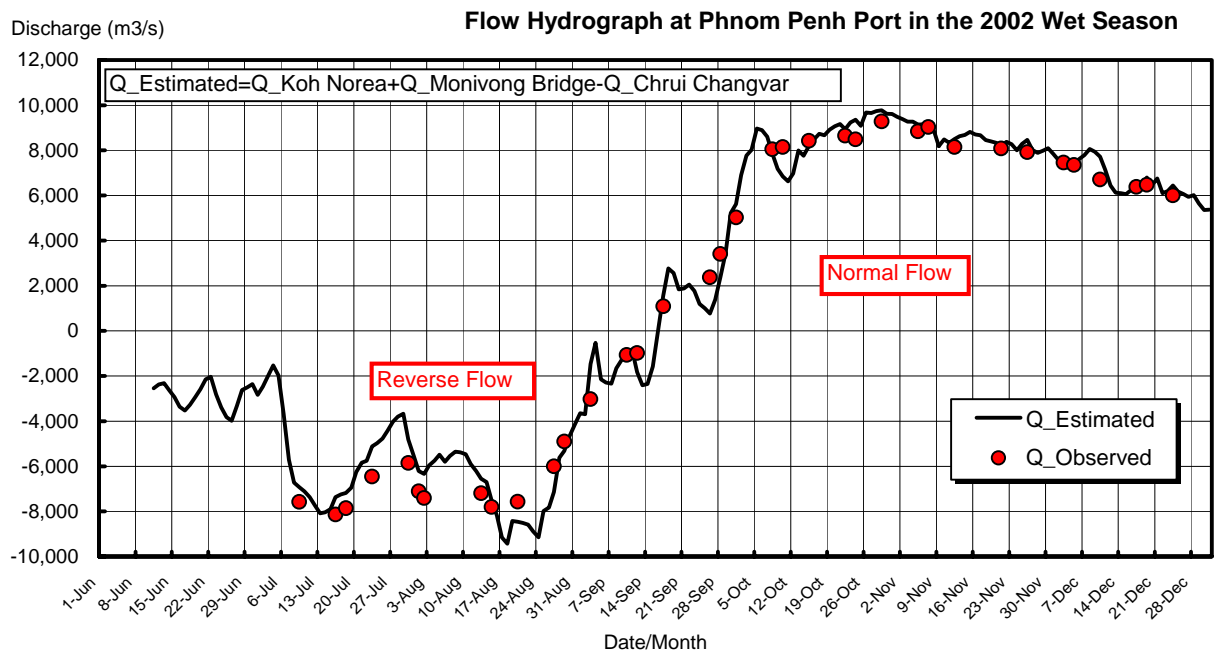
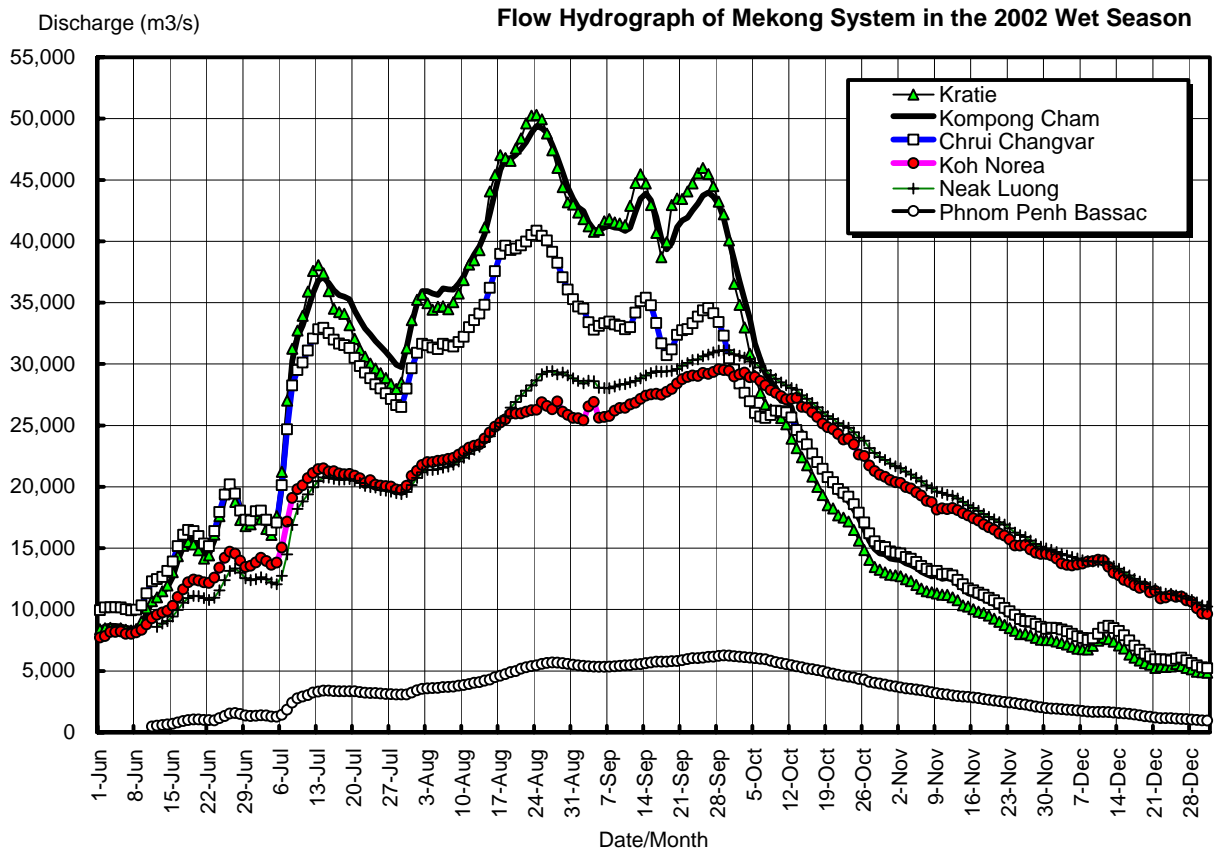


図 2-12 2002 年雨季の流量ハイドログラフとプノンペンポートにおける観測値との比較



## (2) 乾季における流水モニタリングシステム

コンポンチャム、チュルイチャンワー、コーノリア、プノンペンポートおよびプノンペン・バサックの観測所において、2003年の乾季も流量観測を継続した。このプノンペン周辺地域は、近い将来策定される水利用規則、とくにメコンデルタに対する乾季の許容最小月自然流量の維持において、その流水モニタリングが極めて地理的に重要となる。国際河川において十全かつ公平に流水を管理していくためには、例えばベトナムで観測された流量の信頼性を隣接する国(カンボジア)で検証できるシステムが不可欠である。

2001年の乾季のシミュレーション結果によると、最も流量が低下したのは4月の終わりから5月の初めにかけてであった。この期間における主要観測所の潮位変動による流況変化を、シミュレーション結果から整理したものが次表である。

表 2-12 乾季流況に対する潮位変動の影響

Station	Average Flow (m <sup>3</sup> /s)	Range of Fluctuation (m <sup>3</sup> /s)	Fluctuation Rate (%)
Kompong Cham	1,600	100	6
Chrui Changvar	2,000	1,500	75
Neak Luong	3,000	3,000	100
Phnom Penh Port	1,200	500	42
Monivong Bridge	100	150	150

コンポンチャムを除く下流のすべての観測所で、潮位変動の影響は極めて大である。この結果から、乾季に水位流量曲線が作成できるのは、コンポンチャムのみであることが分かる。

ここでは、潮位変動の多大な影響を考慮しながら、次のような手順で、可能な限り乾季の流水モニタリングシステムを確立すべく検討した。

- (a) コンポンチャムで作成した水位流量曲線を用いて乾季の流量を算定し、これをプノンペン周辺地域の上流端条件とする。
- (b) 2003年乾季に観測した流況をもとに水文水理モデルの同定を行い、2003年乾季の流況を発生させ、チャトムック地区の4観測所における日平均流量(時間流量を平均したもの)をシミュレーション結果から作成する。
- (c) コンポンチャムの日流量とチュルイチャンワーの日平均流量との回帰分析を行い、この回帰式を用いれば、チュルイチャンワーの日流量がコンポンチャム日流量より算定できることとなる。
- (d) 同様に、プノンペンポートの日平均流量と上流大湖の水位記録等との間の回帰分析を行い、プノンペンポートの日流量算定方法を検討する。
- (e) コーノリアとモニボン橋(プノンペン・バサック)の日平均流量を用いて、乾季におけるメコン河下流とバサック河への流量分派比率を検討する。

こうした乾季流水モニタリングシステムの概念を次図に示す。

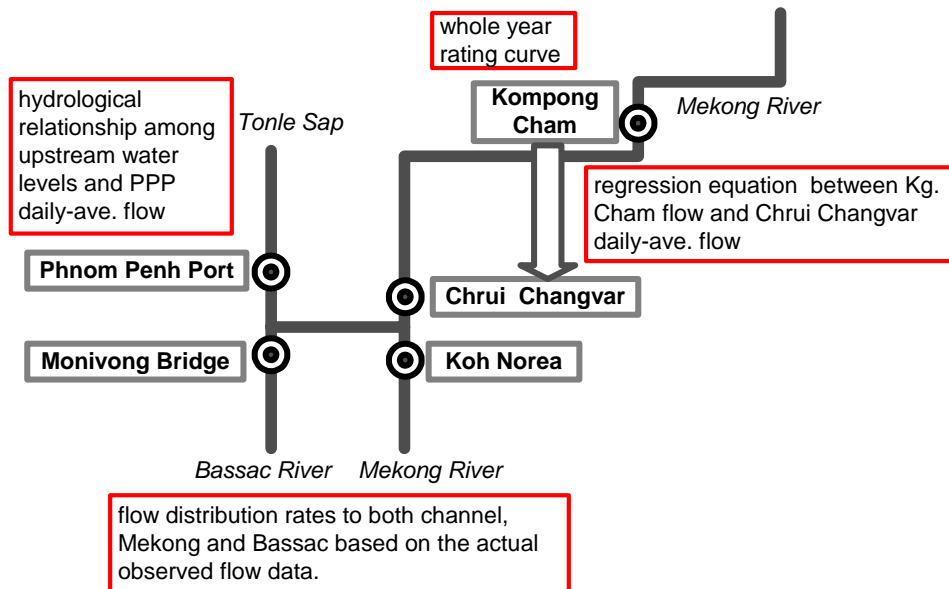


図 2-13 プノンペン周辺地域の乾季流水モニタリングシステムの概念

前述の手順に沿った検討の結果、現段階では次のような乾季の流水モニタリングシステムを提案することができる。

- (a) コンボンチャムの水位記録をもとに、前節で作成した水位流量曲線により乾季日流量を算定した： $Q = (8.869H + 29.811)^2 F^{0.3}$ 、ここに  $F$  はコンボンチャムとチュルイチャンワの水位差である。
- (b) コンボンチャムの日流量から次の回帰式を用いて、チュルイチャンワの日流量を推算した： $Q_{cc} = 429 + 0.949 Q_{kc}$  ( $r^2 = 0.984$ )
- (c) プノンペンポートにおける順流期間については、次の水位流量曲線式の適用が可能である： $Q = (6.608H + 60.369)^2 F^{0.7}$ 、ここに  $F$  はプレクダムとプノンペンポートの水位差である。
- (d) チュルイチャンワとプノンペンポートの日流量を合計した後、次式によりメコン河への分派量が推算できる： $Q_{md} = 156 + 0.934 Q_{in}$  ( $r^2 = 0.9998$ )

2003年の乾季について、上記の方式によって乾季流況の推算を行い、この方式の適用性および課題等を検討した。この方式により推算した乾季流況を図 2-14 に示す。

この算出過程において、次のような課題等が明らかとなった。

- (a) ここで提案したプノンペン周辺地域の乾季流水モニタリングシステムは、実用的に適用可能なシステムである。
- (b) しかし、トンレサップについては、順流期間のみ適用可能であり、その後に発生する遷移期間および逆流に対しては適用できない。ちなみに 2003 年を例にとると、適用不能な期間が 5 月初めより 6 月半ばまでの 1 月半である。6 月半ば以降は、雨季の流水モニタリングシステムの適用範囲に移行する。

- (c) チャトムック地区の流況は水位変動に非常に敏感に反応する。時に読み取りミスや入力ミスの水位データがあると、現実には起こりえない流況が発生する可能性大であり、流水管理システムの十全な運用に向けて、今後はさらに注意深い観測とデータ処理が要求される。

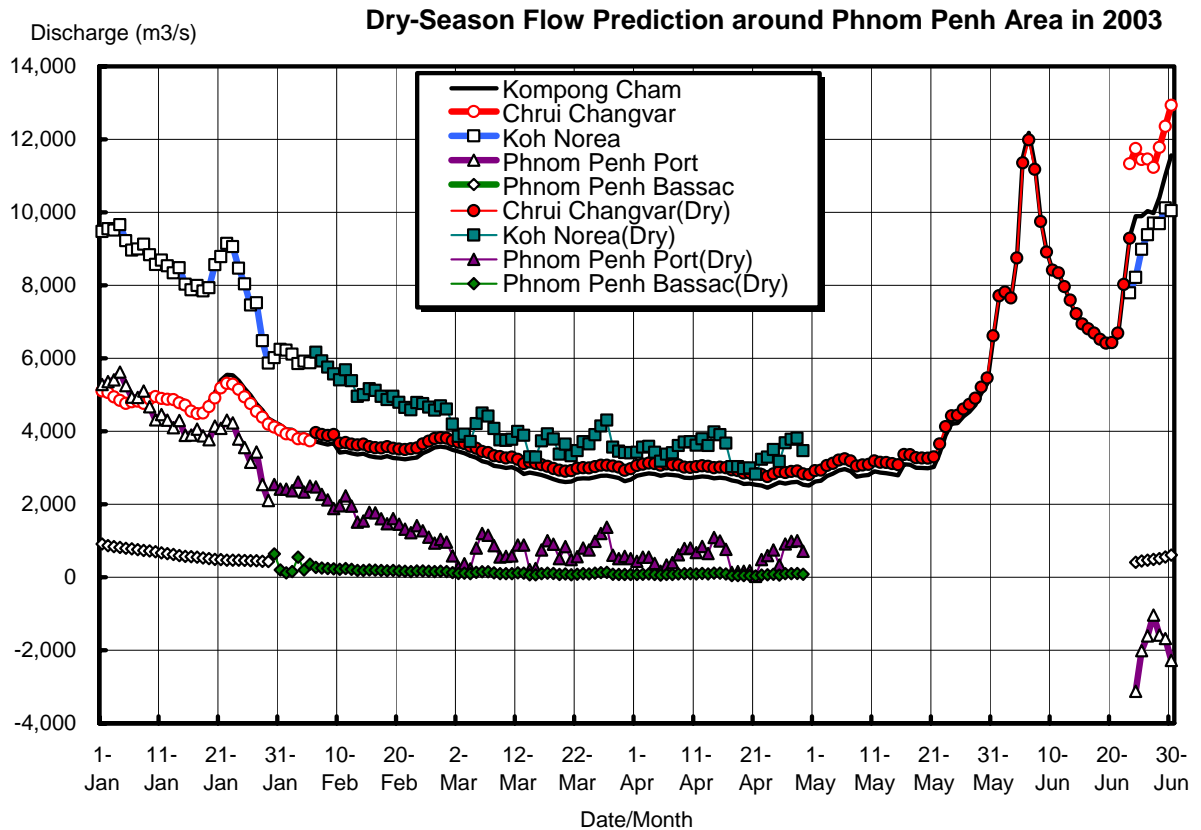


図 2-14 プノンペン周辺地域における乾季流況の推算結果(2003年乾季)

### (3) 将来のモニタリングシステムに対する提言

水文データ解析、水位流量曲線の作成およびここまでのモニタリングシステムの検討過程を通して、プノンペン周辺地域における将来の流水モニタリングシステムとして次のような提言をしたい(図 2-15 参照)。

とくに乾季において、トンレサップの流況は順流から遷移期間を経て逆流に変化する。この全体のメカニズムを、統計的な手法なり水位流量曲線で表現することは困難である。最終的かつ信頼性の高いモニタリングシステムは、最新鋭の観測機器を用いた直接的な流量測定方式であろう。例えば、水平方向に音波を発する音響ドップラー流速計も開発されており、これらが有力と思われる。さらに、トンレサップやバサック河は川幅がさほど広くないため、こうした機器の適用(適用範囲は数 100m)に有利である。

こうしたモニタリングシステムは、トンレサップやバサックの雨季におけるモニタリングにも有効であり、このシステムが構築できれば、本調査で作成した水位流量曲線の維持・修正は、

コンボンチャム、チュルイチャンワー、コーノリア、さらには下流のネアックルンの4観測所に集中できることとなる。

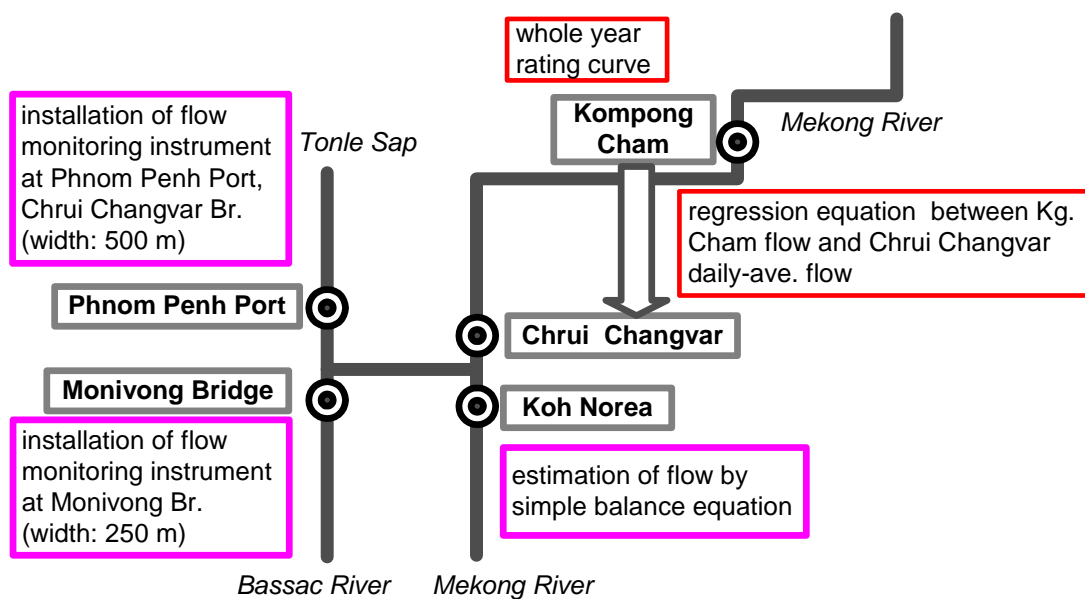


図 2-15 プノンペン周辺地域の将来的な乾季流水モニタリングシステムの概念