

農業工学研究所技報

第202号

目次

チリ共和国内陸乾燥地における水文調査と灌漑施設整備 - 住民参加による水利施設整備の負担事例 -	太田弘毅	1
流域圏環境管理に関わるNPOの実態と発展条件 - NPOへのアンケート結果から -	福与徳文・八木洋憲・筒井義富・三橋伸夫・鎌田元弘	19
農村公園への訪問頻度と評価の関係に関する分析 農村アメニティに対するCVMの適用	國光洋二	35
都市農村交流施設の経済評価と訪問者の個人・世帯特性 選択実験型仮想訪問行動の適用	合崎英男	45
GISで用いるポリゴンデータのトポロジー修正システム	飯嶋孝史・石田憲治・松森堅治・嶺田拓也	61
農業集落排水汚泥の天日乾燥技術	中村真人・柚山義人	71
水田農業地帯の水資源が持つ生態環境維持機能の評価法	増本隆夫・久保田富次郎・松田 周・高木 東	81
排水トンネル施工による地すべり地の地下水の挙動 地山の含水比と地下水中のラドン濃度を指標として	石田 聡・原 郁男・土原健雄・今泉眞之	91
垂直に立てた管水路内の流れ解析	田中良和・向井章恵・樽屋啓之	101
鋼管における屈折損失係数の試験的研究	田中良和・島 武男・中 達雄・向井章恵・樽屋啓之	113
メコン河カンボジア氾濫域の水文観測と水収支	藤井秀人	127
砕・転圧盛土工法の設計・施工法について	谷 茂・福島伸二・北島 明・酒巻克之	141
コンクリート構造物の補修技術の現状と農業水利分野に適用する際の留意点	長束 勇・石神暁郎・石村英明・渡嘉敷 勝・森 充広	183
地すべり危険度区分における空中電磁法の適用性	中里裕臣・黒田清一郎・奥山武彦・伊藤吾一・佐々木 裕	197
透過電磁波プロファイリングによる地盤導電率分布の推定精度 - 電磁界数値シミュレーションに基づく基礎的検討 -	黒田清一郎・中里裕臣・奥山武彦	205

平成16年 3月



独立行政法人農業工学研究所

農業工学研究所技報 第202号

理 事 長	佐 藤	寛
理 事	安養寺 久	男
企画調整部長	宮 本 幸	一
総務部長	小 松	勝
農村計画部長	工 藤 清	光
農村環境部長	齋 藤 元	也
地域資源部長	大 西 亮	一
農地整備部長	執 行 盛	之
水工部長	端	憲 二
造構部長	竹 内 睦	雄

編集委員会

編集委員長

委 員

宮 本 幸 一
國 光 洋 二
上 村 健一郎
<small>(平成15年4月~7月)</small>
長 利 洋
<small>(平成15年8月~)</small>
増 本 隆 夫
山 岡 賢
桐 博 英
谷 茂
佐 藤 忠 一

TECHNICAL REPORT OF THE NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

No. 202

SATO Hiroshi	President
ANYOJI Hisao	Executive Director
MIYAMOTO Koichi	Director, Department of Program Management and Coordination
KOMATSU Masaru	Director, Department of General Affairs
KUDOU Kiyomitsu	Director, Department of Rural Planning
SAITO Genya	Director, Department of Rural Environment
OHNISHI Ryouichi	Director, Department of Regional Resources
SHIGYO Moriyuki	Director, Department of Agricultural Environment Engineering
HATA Kenji	Director, Department of Hydraulic Engineering
TAKEUCHI Mutsuo	Director, Department of Geotechnical Engineering

EDITORIAL BOARD

Chairman : MIYAMOTO Koichi
Editor : KUNIMITSU Yoji
KAMIMURA Kenichiro(2003, April ~ July)
OSARI Hiroshi(2003, August ~)
MASUMOTO Takao
YAMAOKA Masaru
KIRI Hirohide
TANI Shigeru
SATO Chyuichi

メコン河カンボジア氾濫域の水文観測と水収支

藤井秀人*

目 次			
緒言	127	Radarsat画像による氾濫域モニタリング	135
対象地域	127	1 氾濫面積の拡大縮小過程	136
1 概要	127	2 H A関係によるZone1氾濫面積の算定	136
2 H-A-V関係	128	3 氾濫域の洪水貯水量の算定	136
3 氾濫域の流入河川の調査	130	氾濫域の水収支	137
氾濫域の水位観測	131	1 氾濫域流入量の算定	137
1 観測方法	131	2 結果	137
2 結果	131	洪水緩和機能	138
氾濫域の流量観測	133	1 プノンペンの洪水ピークの緩和	138
1 観測方法	133	2 湯水緩和	139
2 結果	133	結言	139
河川の流量観測	134	参考文献	139
		Summary	140

緒 言

メコン河はチベット高原からベトナムまで全長4,800km、流域面積795,000km²、6カ国（中国、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナム）を流れる東南アジア最大の国際河川である。メコン河下流域に位置するメコンカンボジアデルタはトンレサップ湖周辺域とメコン河の河口から400km地点に位置するコンボンチャム付近からベトナム国境までの広大な地域である。トンレサップ湖およびその周辺氾濫地域（湖の自己流域、チャトムック地区、コルマタージュ地域を含む）は、洪水の調整、水資源涵養、灌漑、漁業資源保全のなど多面的な機能を有しているといわれるが、それらの調査はこれまであまり行われていなかった。

本報はメコン河委員会のTSLVプロジェクト「Consolidation of hydro-meteorological data and multi-functional hydrologic roles of Tonle Sap Lake and its vicinities（トンレサップ湖および周辺氾濫域の水文気象データの整備と多面的水文機能の評価）」で得られた成果の一部を報告するものである。本プロジェクトは、

日本外務省からメコン河委員会に対して拠出金として支援された予算で実施されたものである。

プロジェクトでは、トンレサップ湖およびその周辺氾濫域の水文観測網を整備し、同地域の洪水緩和機能や湯水期の流量調整機能を明らかにすることを目的に2001年から実施されている。プロジェクトではこれらメコン河下流のカンボジア氾濫域を対象に、氾濫域の水位観測点を設置し、流量観測等の基礎的な水文調査を実施した。特に2002年洪水については氾濫域の水収支を明らかにし、氾濫域が有する洪水緩和量の評価を行った。

筆者はJICA長期専門家としてメコン河委員会に2年間派遣され、本プロジェクトを実施した。実施にあたり、カンボジア水資源気象省水文局には水文データ観測に多大なご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

対象地域

1 概要

プロジェクトの対象地域はトンレサップ湖とその集水域およびメコン河のコンボンチャムからベトナム国境までの氾濫域とバサック川のプノンペンからベトナム国境までの地域で、そのほとんどがメコン河の氾濫域である。Fig. 1の長方形の枠で囲んだ地区がプロジェクト対象地区であり、内側の長方形の枠で囲ったのは集中対象地区である。毎年、雨期になるとメコン河の水位が高くなり、洪水が氾濫する地域である。メコン河はプノンペンのチャトムック

*農業工学研究所水工部(現国際農林水産業研究センター生産環境部)
平成16年1月9日受理

キーワード：メコン河、トンレサップ湖、カンボジア、氾濫域、洪水緩和機能、水収支、Radarsat衛星

合流点でトンレサップ川と合流し、同時にバサック川を分岐する。



Fig.1 プロジェクト対象地域

例年5月頃から9月頃までメコン河の水はチャトムック合流点からトンレサップ川を逆流しトンレサップ湖に入る。トンレサップ湖の面積は乾期には2,500 km²程度であるが、雨期には15,000 km²にもなる。この貯水量は500-600億m³と推定されている。対象地域はカンボジアでも人口が最も多いプノンペン、バタンバン、シムリアップ、コンボンチャムなどの主要都市を含み、農業・漁業とも生産力の高い地域である。対象地区の総面積は26,150km²でカンボジアの国土面積(181,035km²)の14%を占める。

プロジェクトでは、対象地区を以下5つのゾーンに分割して分析した。コンボンチャムからベトナム国境まで、南北135km、東西95kmの地区 (Zone 2からZone 5の集中対象地区) では、洪水緩和機能を評価するため、2002年洪水期について流量観測と水収支の分析を集中的に行った。

- Zone 1: トンレサップ湖とその洪水氾濫域で、国道5号線と6号線に囲まれた地区である。トンレサップ湖、トンレサップ湖に流出する10を越える支流とトンレサップ川 (Prek Kdam以北) が含まれる。Zone 1の面積は17,460km²で、標高は-8~25mであるが、97%は0~12mの範囲にある。
- Zone 2: メコン河右岸の氾濫域で、国道No.4, No.5, No.6, No.6A, No.7, No.51, No.61に囲まれた地区である。このゾーンには、トンレサップ川 (プノンペンとPrek Kdam間) が含まれる。プノンペンとコンボンチャムはこのZoneの大都市である。Zone 2の総

面積は1,770km²(トンレサップ川を含む)。標高は4~20mである。

- Zone 3: バサック川右岸側の地区で国道 No.2, No.3, No.21, およびベトナム国境に接する。このゾーンにはプレクトノット川(Prek Thnot)の氾濫域が含まれている。バサック川に沿ってかなりの数のコルマタージュ(colmatage)が地区内に存在する。Zone 3の面積は2,460km²、標高は低く、95%が1~8mの範囲にある。
- Zone 4: このゾーンはメコン河とバサック川の間であり、南はベトナム国境である。北縁のプノンペン郊外を除き大きな都市はない。多くのコルマタージュがバサック川沿いに作られている。Zone 4の面積は1,150km²で、95%が1~8mの範囲にある。
- Zone 5: メコン河左岸、国道 No.7, No.11, 地方道、ベトナム国境に囲まれたメコン河左岸の氾濫域である。ゾーン内にはプレイベン(Prey Veng), ネアックルン (Neak Luong)などの都市がある。トンレトウチ川(Tonle Touch)が、コンボンチャム直下流でメコン河から分派し、広大な洪水氾濫域を貫き、再びネアックルンの近くでメコン河に合流する。Zone 5の面積は3,310km²で、99%は2~15mの標高である。

2 H-A-V関係

対象地域の標高をFig.2に示す。Fig.3(a)にゾーンごとの標高のヒストグラムを0.5m間隔で、Fig.3(b)にゾーンごとの標高と累積面積および標高と貯水量の関係 (H-A曲線, H-V曲線) を示す。例えばZone 1ではトンレサップ湖の水位が10mになると15,000km²が水没し、その時Zone 1の貯水量は750億m³となる。

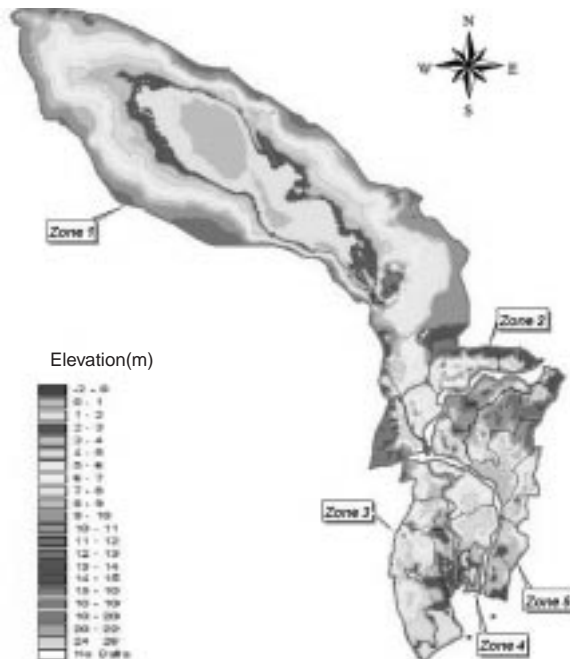
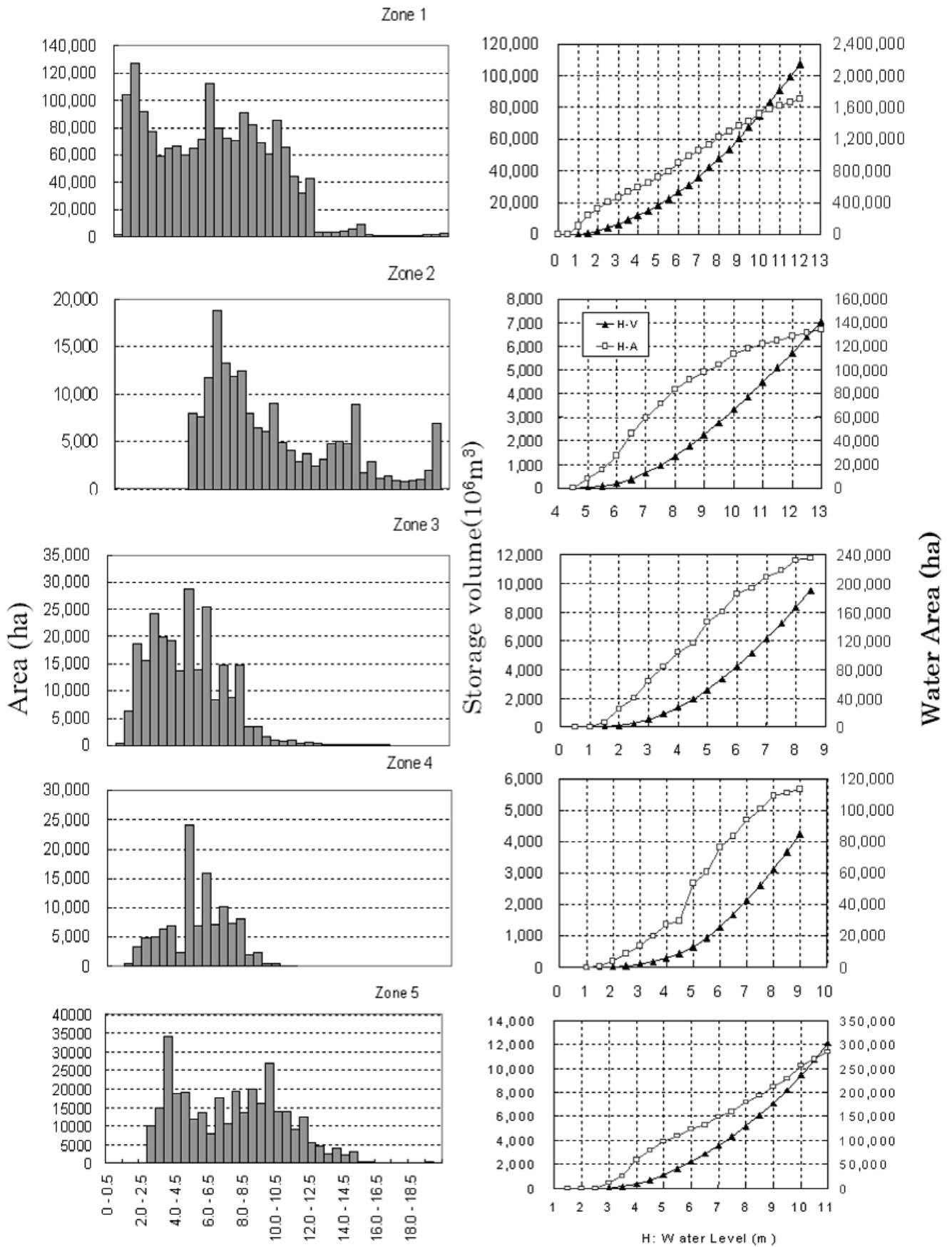


Fig.2 対象域の標高



(a) 標高の分布 (0.5m間隔, 0m ~ 20m)

(b) H-A-V関係

Fig.3 標高のヒストグラムとH-A-V曲線 (Zone 別)

3 氾濫域の流入河川の調査

(a) 調査方法

メコン河は洪水期になるとコンボンチャムより約100km上流のクラチエ下流付近から大規模な氾濫を始める。これまで洪水がどの部分から流入し、ピーク後の減水期にどの方向に流出するかについては、ほとんど調査が行われていない。プロジェクトではメコン河のコンボンチャムとネアックルン間の両岸、トンレサップ川のプレックダム(Prek Kdam)とプノンベン(Phnom Penh) 間の両岸を中心に洪水が流入する地点や流入経路の調査を行い、調査結果に基づき各ゾーンに流入するプレック(小河川)の数と川幅の合計を求めた。

現地調査は洪水の氾濫が始まる2002年7月10日～31日

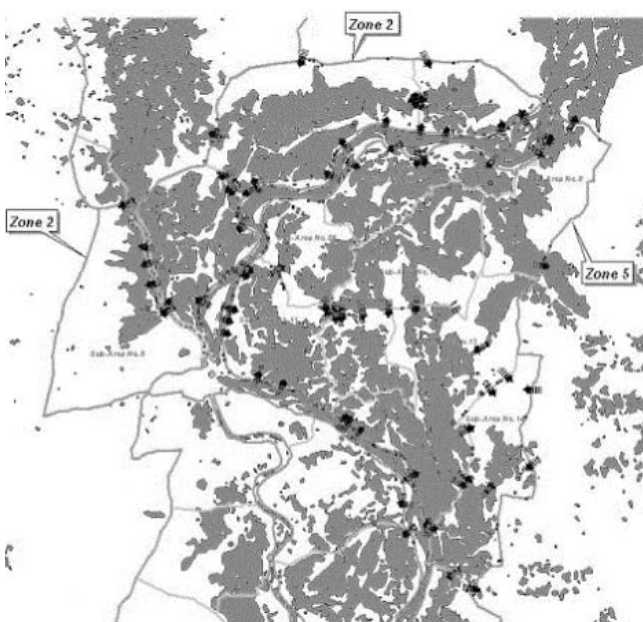


Fig.4 氾濫域の洪水の流向(洪水上昇期)

にかけて実施した。洪水侵入路となるプレックの正確な位置、川幅、洪水の流入方向と流出方向、さらに道路(兼堤防)を越流する箇所について住民から聞き取り調査を行った。氾濫域に流入するプレックの位置(緯度・経度)はGPSで調べ、川幅、橋脚高さは巻尺で測定した。

(b) 洪水流入位置と区間ごとのプレック幅

現地調査に基づいて描いた水位上昇期の洪水流入方向をFig.4に示す。Fig.5にメコン河、トンレサップ川およびゾーン境界にあるプレックの位置を示す。

コンボンチャムからネアックルン間のメコン河両岸に流入する洪水の氾濫量の比率を算定する参考とするため、ZoneまたはSub-Zone境界ごとに路線名をつけ、プレック幅の合計を算定した。結果をTable 1に示す。路線 (メ



Fig.5 氾濫域へ流入するプレックの位置

Table 1 区間別流入河川の数と川幅の計

No.	Road and dike		Flow Direction		No of River	Total width of river(m)
	From	To	From	To		
I	Arei Khsat (Local Road on feft bank of Mekong River)	Kompong Cham	Mekong	Zone 5	38	1,105
II	Chroui chan var (National Road No.6a and LR RMR)	Kompong Cham	Mekong	Zone 2	43	1,287
III	Arei Khsat (Local Road on feft bank of Mekong River)	Koh Keav	Mekong	Zone 5	26	544
IV	Phnom Penh (National Road No.1)	Neak Loeung	Mekong	Zone 4	8	180
V	Phnom Penh (National Road No.5)	Prek Kdam	Tonle Sap	Zone 2	5	162
VI	Chan (National Road No.11)	Kompong Cham	Zone 5	Zone 5	18	747
VII	Neak Loeung (National Road No.11 and No.7)	Chan	Zone 5	Zone 5	3	281
VIII-1	Neak Loeung (National Road No.1 and Local Road)	Chan	Zone 5	Outside	5	190
VIII-2			Zone 5	Zone 5	2	148
IX-1	Rokakourng (National Road No.6A,6,7)	Kg-Cham	Zone 2	Zone 1	5	375
IX-2			Zone 2	Zone 2	6	505
IX-3			Outside	Zone 2	8	154
X	Prek Kdam (National Road No.61)	Tao Baek	Zone 2	Zone 1	0	-
XI	Chroui chan var	Kaoh Chen	Tonle Sap	Zone 2	-	-
XII	Prey Toteung (National Road No.70)	Kang Meas	Zone 2	Zone 2	4	264
XIII	Khsach Kandal (Local Road)	Takao	Zone 5	Zone 5	23	852
XIV	Theay (Local Road)	Pou Chrey	Zone 5	Outside	6	31

コン河の左岸Zone 5側)には38本のブレックがあり、川幅は合計1,105m、路線 (メコン河の右岸Zone2側)には43本、川幅は合計1,287mであった。比較するとZone 2側のほうがZone 5側よりもブレックの数も川幅の合計も1割程度大きい。コーノレア(Koh Noreah)とネアックルンの間にあるブレックは、路線 (メコン河左岸Zone 5側)には26本、川幅計は509mであるが、路線 (メコン河右岸Zone 4側)には8本、川幅の計も180mとZone 4側が圧倒的に少ない。なお、路線 には、日本の無償資金援助で2001年に竣工した4本のコルマタージュ水路と2000年洪水時に堤防を切り開いた2本の開口部約150mも含めている。

氾濫域の水位観測

1 観測方法

プロジェクトでは氾濫域内に合計20箇所 (Zone 1に1箇所、Zone 2に4箇所、Zone 3に2箇所、Zone 4に3箇所、Zone 5に10箇所)の水位観測点を設置した。観測点にはデータロガー付きフロート式水位計と量水票の両方を設置し、水位計のトラブルや水位観測オペレータの読みとりミスに備え信頼性を高めている。Fig.6に観測点の位置を示す。なお、Fig.6の背景はRadarsat画像で、黒っぽいところは2000年洪水ピーク時の氾濫域である。観測点No.6とNo.7の写真を左側に示す。

2 結果

Fig. 7に2002年洪水期に観測された氾濫域の水位変動をゾーンごとに示す。河川水位と比較するためメコン河委員会では観測しているメコン本川、トンレサップ川の主要水位観測点の水位も示している。Zone 1の水位は、コンポナルオンとコンボンチナンの比較である。コンポナルオンはトンレサップ湖水位の代表として使われ、Zone 1の代表水位観測点である。逆流期間である10月初めまではコンボンチナンの水位が高いが、ピーク期以降はコンポナルオンが高くなっており、流れが順流に変化したことがわかる。コンポナルオンもコンボンチナンも単一のピークであり、4回のピークを示しているコンボンチャムのハイドログラフ(Fig.7 Zone 2参照)と変動特性が異なっている。コンポナルオンの水位ピークは10月5日でコンボンチャムの8月27日より39日遅く、ピーク水位も約5m低い。3年続きの異常洪水年であった2000, 2001, 2002年はいずれもコンボンチャムの最高水位は15m前後で、コンポナルオンの水位は10m前後である。Zone 5には上下流に分けてコンボンチャムから水位観測点No.16までの水位変化を示しているが、氾濫域の下流に行くに従い水位が低下している。下流ほどピーク水位が低下するだけでなく、水位変動も小さくなり、ピーク回数も減少している。例えば、水位観測点No.9では、コンボンチャムより最高水位が約2m低い値を示しているが変動パターンは似ている。しかし、最下流の水位観測点No.16では、水位変動がなめらかになっており、ピーク水位も2回に減少している。

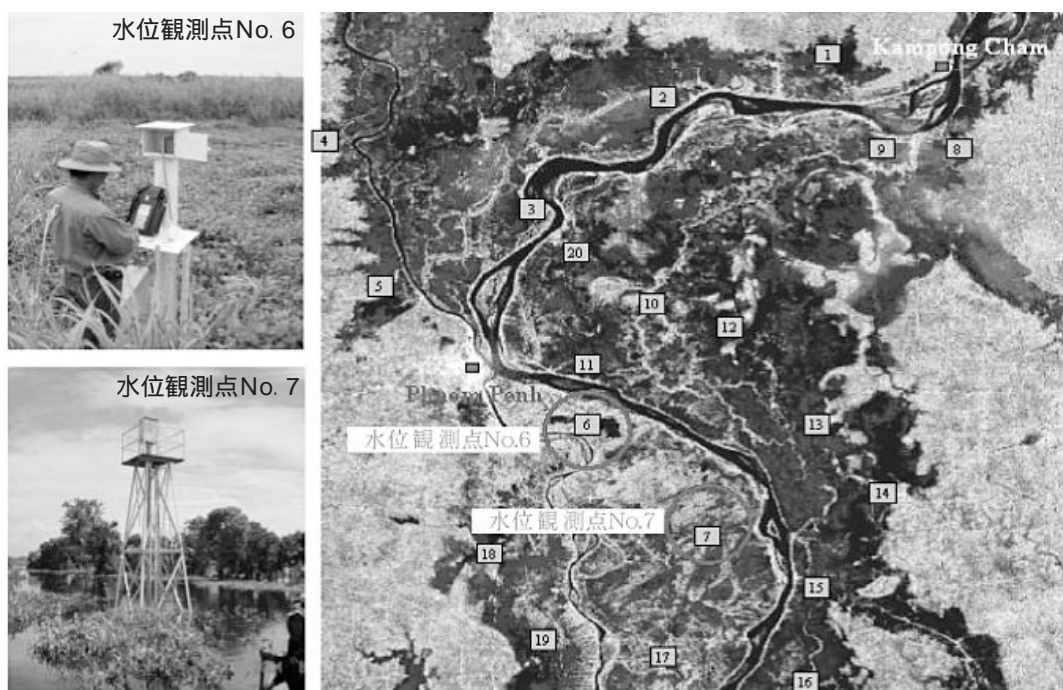


Fig. 6 氾濫域に設置した水位観測点の位置 (No. 1 ~ No. 20)

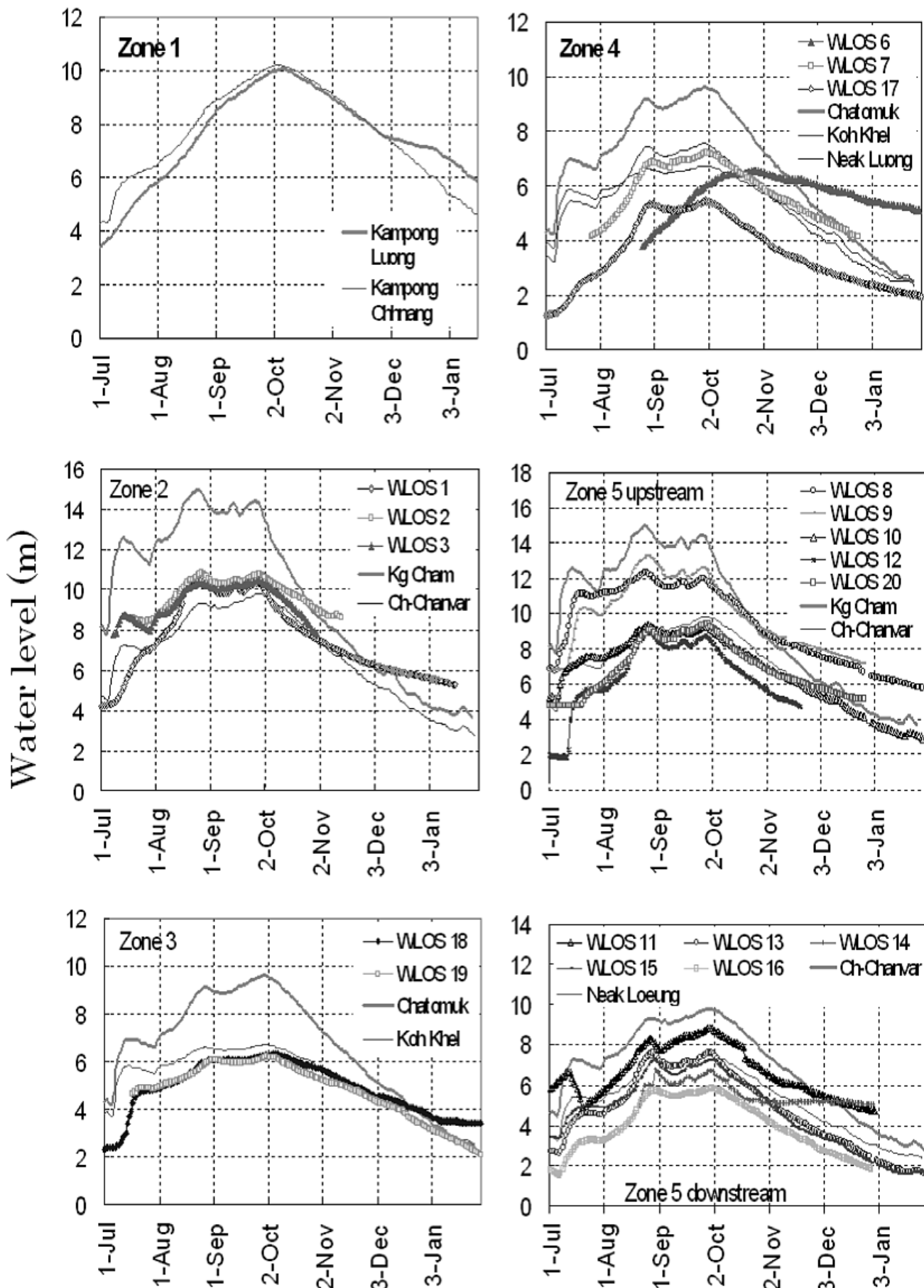


Fig.7 氾濫域のZone別水位変動 (2002年7月~2003年1月)

Note : Kg. Chamはコンボンチャム, Ch-Charvarはチュルイチャンバー, WLOSは水位観測点

氾濫域の流量観測

1 観測方法

流量観測は、WUP-JICAプロジェクトと本プロジェクトが観測地点を分担して行った。本プロジェクトではZone 2とZone 5の氾濫域の流量観測を担当した。Zone 5の観測地点は周波数1.5MHzのADP(Acoustic Doppler Profiler)で、Zone 2の観測点はプロペラ流速計で観測した。観測期間は2002年7月～2003年3月まで、毎週木曜日に流量観測を実施した。

WUP-JICAチームはメコン河本川、パサク川、トンレサップ川の主要水位観測点で3チームを編成し流量観測を行った。水深が深いため、周波数0.6MHzのADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)を使用した。観測は2002年7月～2003年3月の期間、隔週木曜日に観測を行った。ADPおよびADCPは、超音波を水中に発射し、ドップラー効果を利用して流速を観測する機器である。

Zone 5の通過流量を推定するためネアックルンに近いSite Aの4地点で流量観測を行った。この地点はZone 5の東西幅が狭くなっており、ここでの流量を観測することでZone5を通過する流量のほぼ全量が求まるためである。Fig. 8 にSite A周辺の地図を示す。

トンレトウチ川は前述したように、コンボンチャムでメコン本川から分かれ、Zone 5の氾濫域を通過し、ネアックルンの直上流で再びメコン河に合流する。また、合流直前でスタンスロウ川を分岐する。観測点は、A1、A2、A3、A4の4点である。A1はスタンスロウ川を横断する国道1号線上の橋、A2はスタンスロウ川から分岐したトラ

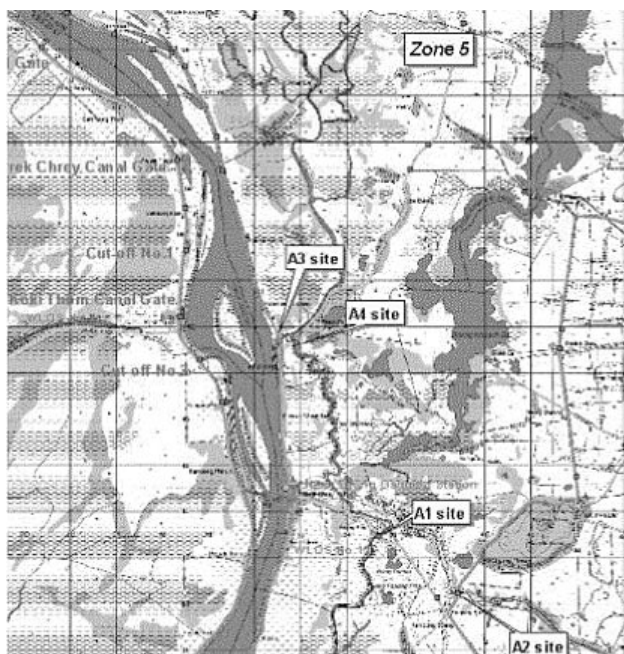


Fig.8 Zone 5流量観測地点 (Site A : A1～A4)

ベック川を横断する地方道の橋付近である。いずれもメコン河に沿ってZone 5を南下しベトナム国境まで流下する。A3はトンレトウチ川がメコン河と合流する直前の地点である。A4はスタンスロウ川がトンレトウチ川から分岐した直下流地点である。

今回の観測ではボートにADPを装着し、測定したい河川の断面をボートで横断し、河川断面の流速分布(鉛直・水平)を求めた。Fig. 9にADP観測ソフトの画面を示す。雨期には氾濫して河道と氾濫域が同一水面でつながるため、氾濫域(水深2-3m)と河道(水深15m程度)の両方の水深を測定できる周波数1.5MHzのADPを使用した。このADPは水深25mまで測定可能であるとされているが、濁度が高いメコン河の洪水期には12mが限界であった。

Zone 2では、4つのサブエリアに分けて水収支を行うため、B1、B2、B3の3つのサイトを選定し観測を行った。Fig.10に観測地点の位置を示す。B1はサブエリア2からサブエリア3へ抜ける流量、B2はサブエリア2からZone 1への通過流量、B3はサブエリア1からサブエリア2への流量を観測した。各サイトそれぞれ3から6本のブレックが通過しているが、各サイトでそれぞれ2本程度代表するブレックを選定し、流速計で観測を行った。

2 結果

A1とA2を合計するとZone5-N氾濫域を南に通過する量である。ピークは9月26日でそれぞれ2,600m³/sと1,000m³/sであった。また、この時のA3流量は1,100m³/sで、合計すると4,700m³/sがZone 5からきていることになる。なお、A3地点では7月4日～8月15日までと11月以降はメコン河から逆流する流れで、順流期間は洪水氾濫期間の8月22日～10月31日の3ヶ月弱であった。Fig.11に今回観測した観測点のSite Aについて水位と流量の関係を示す。A1、A2は比較的良好な対応をしているように見えるがA3は逆流があること、またA4はループを描いている。

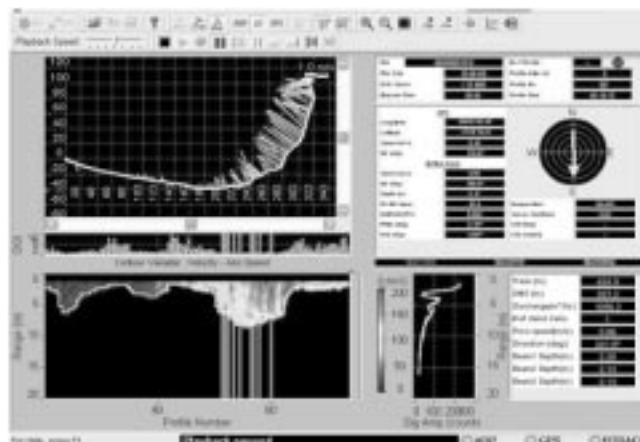


Fig.9 ADP観測ソフトRiver Surveyorの画面 (Site A1断面の流速分布とボートの軌跡)



(a) Site B1 and B2



(b) Site B3

Fig. 10 Zone 2 流量観測地点 (Site B)

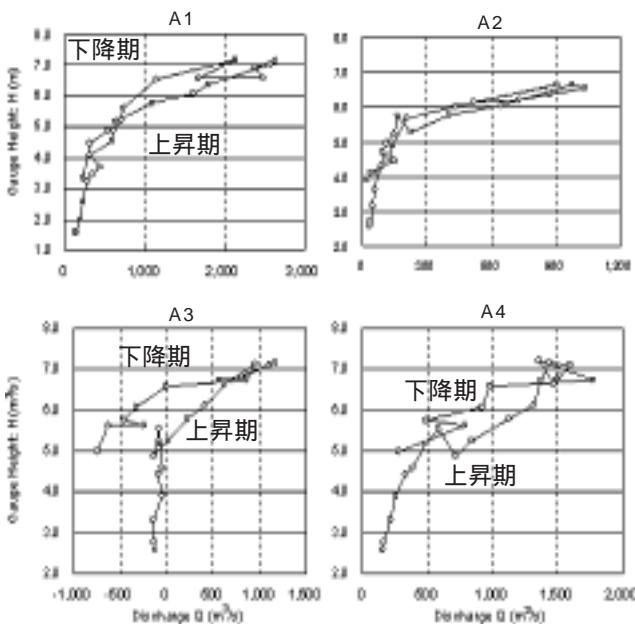


Fig.11 メコン氾濫域Site Aの関係

V 河川の流量観測

Fig.12は、主要観測点の水位と流量の関係である。コンポンチャムは上昇期と下降期で水位と流量はほぼ1対1の対応を示しているが、チュルイチャンパーでは上昇期と下期で同じ水位でも流量に大きな違いがある。例えば水位上昇期の10mは39,000 m³/sであるが、下降期の水位10mは23,000 m³/sである。メコン河コーノレアおよびバサック川モニボン橋では上昇期と下降期のHQ関係に大きな差がない。

Fig.13は、ADCP で観測した値をもとに日流量を算定し、メコン本川コンポンチャム(365)からネアックルン(274)まで、バサック川モニボン橋(51)からコーケル(39)、

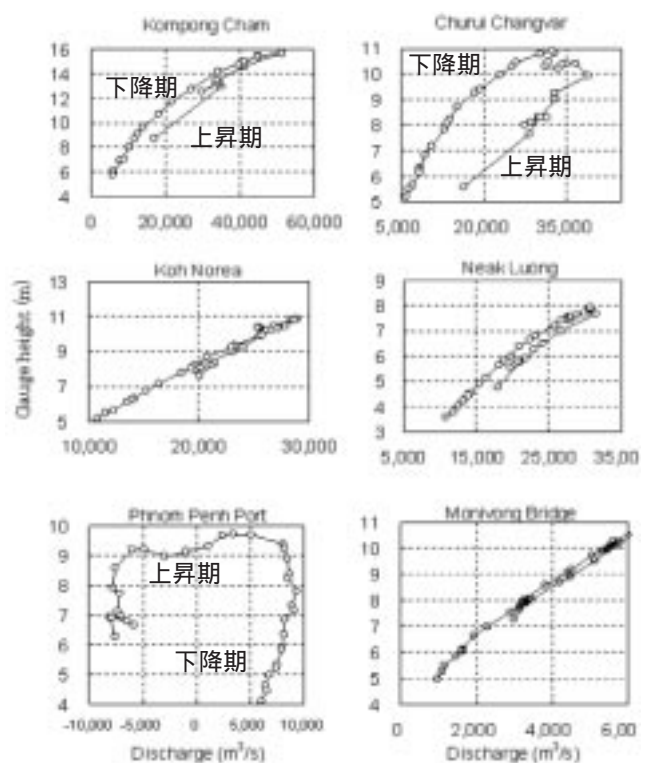


Fig.12 メコン本川主要地点のH-Q関係

トンレサップ川プノンペンポート(0.4)からブラックダム(-11.7)の通過流量を7月10日~11月17日まで累計した値を示している。単位は10億m³である。コンポンチャム(365)からチュルイチャンパー(307)までは下流に下るほど流量が減少している。特にコンタノン(Kong Tanong : 345)とプレクタマク(Prek Tamak : 314) 間での減少が大きい。ネアックルン(274)ではコーノレア(Koh Norea:267)やルベアサ(Lvea Sa:266)よりも多くなっているが、これはこの間でZone 5に氾濫した水の一部が再びメコン河に流入しているからである。バサック川ではタクマオ

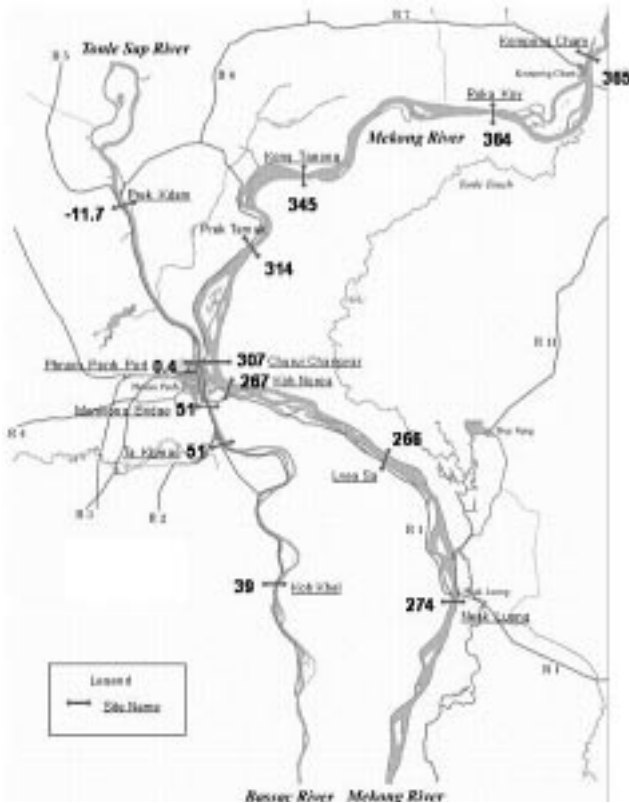


Fig.13 2002年洪水期の積算流量

(Takhmao)とコーケル(Koh Khel)間で流量が減少している。この範囲はコルマタージュが多い地区であり、510億 m^3 から390億 m^3 に約23%減少していることになる。

Radarsat画像による氾濫域モニタリング

Radarsat衛星を利用して洪水による氾濫域の湛水面積の変化のモニタリングを行った。Radarsatは合成開口レーダーを搭載したカナダの衛星で、マイクロ波を照射し、反射波の特性により地表面の状態を識別することができる。今回の画像処理では水と水以外を閾値50で区別した。Radarsatは24日周期で軌道の同一地点に回帰するため、洪水が氾濫域に流入する2002年7月10日を皮切りに24日ごとに同位置範囲の画像を合計8回撮影した。画像モードはScansar Narrow Bで50mメッシュの画像である。予定した8回の撮影日程のうち、8月3日と11月7日は、受信時に技術的問題が発生し画像の取得に失敗した。このため急遽8月15日(Scansar Wide B:100mメッシュ)と11月17日の画像Scansar Narrow Aを撮影し、予定していた12月1日の撮影は11月17日との間隔が短いため撮影計画から外し、代わりに2003年1月18日に撮影を行った。

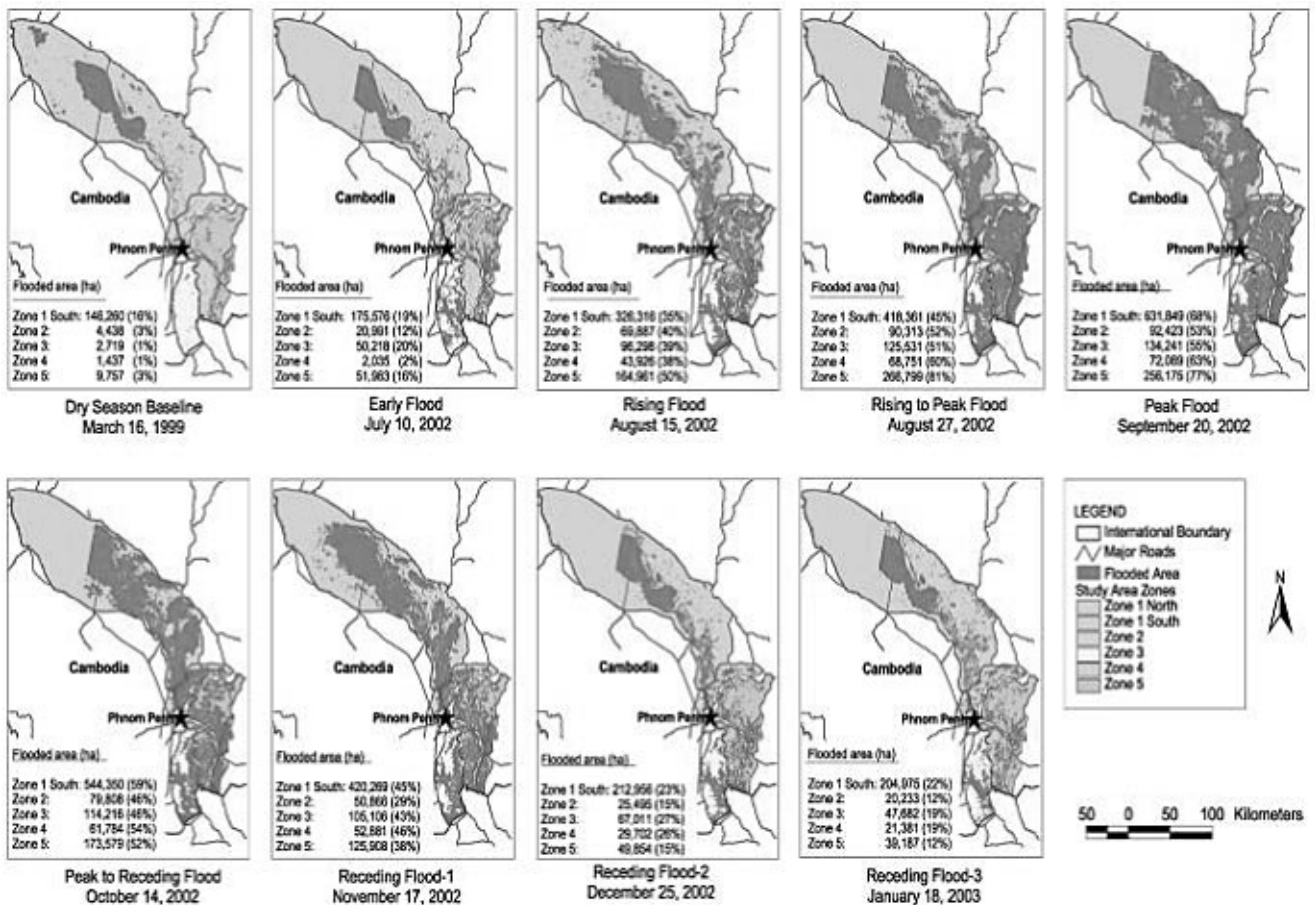


Fig.14 Radarsat画像による湛水面積の変化(2002年洪水)

1 氾濫面積の拡大縮小過程

Fig.14 にRadarsat画像の処理から得られた対象域の湛水面積の変化(2002年洪水)と各撮影日におけるZoneごとの湛水面積, Zone面積に占める湛水面積の比率%を示す。なお対象地域のうちトンレサップ湖の北西部は, Scansar narrow Bでは撮影範囲外となったため, Fig.14には示されていない。氾濫面積が最も大きくなったのはZone 5では8月27日であるが, 他のZoneは9月20日であった。この時, 各Zoneの面積の53~77%が洪水により湛水していることになる。最大湛水面積を示した9月20日からほぼ4ヶ月後の1月18日の画像でも湛水面積は33.3万haを示し, 本格的氾濫が始まった7月10日の湛水量より1割程度多い湛水面積である。一般に洪水水位は上昇時に比べ下降時に時間を要するが, ここでも2ヶ月かけて上昇した洪水が, 4ヶ月かけて下降していくことがわかる。

2 H A関係によるZone1氾濫面積の算定

Fig.15 はRadarsat 画像による1999年と2000年の洪水ピーク時期に撮影したRadarsat画像から求めた氾濫域を示す。

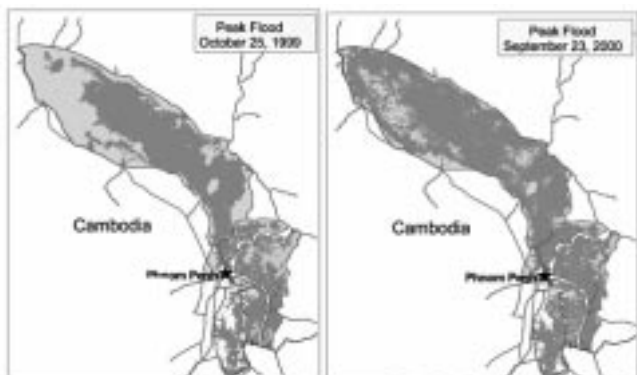


Fig.15 Radarsat 画像による平水年と洪水年の洪水ピーク時期の氾濫域の比較 (1999: 平水年, 2000: 洪水年)

Radarsat衛星画像の現在の解析技術では浸水林地帯は植生として認識され, 水として認識することがむづかしい。特に浸水林の面積が多いZone1については湛水面積が過小に算定されることになる。このため, 1999~2002年のRadarsat撮影日の湛水面積を標高と面積の関係(H A曲線Fig.3)を利用し推定した。

各年の洪水ピーク時期の撮影日とコンボルオンの水位は, 1999年10月25日: 8.67m, 2000年9月23日: 10.28m, 2001年9月23日: 9.77m, 2002年9月20日: 9.48mとなる。特にピーク時期はトンレサップ湖の水面勾配はほとんどないのでコンボルオンの水位を代表値として適用した。Fig.16にコンボルオンの水位変動を示す。

印はピーク洪水時期に撮影したRadarsat撮影日である。1998年はRadarsatの撮影は行っていないが, この年は大洪水年でコンボルオンのピーク水位は7m未満であっ

た。1999年は平水年でピーク水位はほぼ9m, 2000年から2002年までは3年連続の大洪水年でピーク水位はそれぞれ10.36m, 9.89m, 10.10mである。水位の高い順に2000>2001>2002>1999年となる。10cm単位のH-A曲線を利用して1999年から2002年のZone 1の湛水面積を算定すると大きい順に, 2000年9月23日: 156万ha(89%), 2001年9月23日: 146万ha(84%), 2002年9月20日: 143万ha(82%), 1999年10月25日: 132万ha(76%)となる。なお, 括弧内の%はZone 1面積に対する湛水面積の率である。

3 氾濫域の洪水貯水量の算定

Radarsat画像, 氾濫域の水位観測値, 標高DEMをもとにZone 2からZone 5の氾濫域に湛水した2002年洪水期の貯水量の変化を算定した。氾濫域内の水面形状は衛星撮影日における20地点の水位観測値と河川水位をもとにGISソフトArcview3 Spatial Analystを利用して発生させた後, 100mメッシュごとに水深を水面標高と地盤標高の差から求め, ゾーン別の貯水量を算定した。Table 2にその結果を示す。Zone 2からZone 5を合わせた最大洪水貯水量は8月27日となり, およそ133億m³となった。この日のZone 1の貯水量をH-V関係より求めると470億m³となる。また, コンボルオンのピーク日10月5日(水位10.1m)の貯水量は760億m³と算定された。Zone2-5を合わせた貯留による洪水調整量はZone 1の28%~18%程度である。

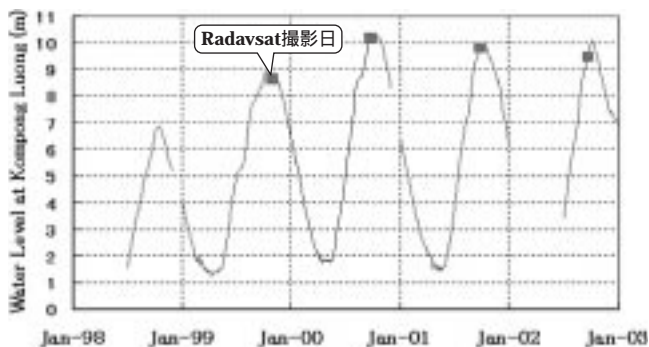


Fig.16 コンボルオン水位変動とRadarsat 撮影日の水位 (1998-2002)

Table 2 RadarsatとDEM による氾濫貯水量の算定 (100万m³)

Zone	10-Jul-02	15-Aug-02	27-Aug-02	20-Sep-02	14-Oct-02	17-Nov-02	25-Dec-02	18-Jan-03
2	299	1,985	3,057	2,893	2,137	623	348	238
3	210	2,033	2,951	3,179	2,808	1,802	645	245
4	3	357	875	937	774	414	158	100
5	280	3,005	6,472	5,712	3,800	1,271	209	159

氾濫域の水収支

1 氾濫域流入量の算定

第 4章で述べたように本川から氾濫域への流入河川は相当数あるため、流入河川すべての流入量を実測し、総流入量を算定するのは容易でない。このため、流入量は以下で述べる水収支式と前章で求めた貯水量の変化、流量実測値等から算定することにした。地区内の水収支は以下の関係が成立するとした。

$$V = I - O + R - E - F$$

ここで、

V = 貯水量の変化

I = 流入量

O = 地区外への流出量

R = 日降水量

E = 日蒸発量

F = 浸透量

ゾーン貯水量 (V)は 前章に示したRadarsat撮影日の貯水量を算定し、その間の貯水量は線形補間して推定した。なお、河川内の貯水量の変化はここでは考慮していない。

日降雨量と日蒸発量のデータはプノンペンにあるメコン河委員会の気象観測露場の実測値を使用した。地区内の蒸

発はパン蒸発量に係数0.7を乗じて算定した。気象観測点から離れた地区もあるが、日降雨と蒸発量の水収支に占める割合は地区内への流入量や流出量に比べると非常に小さいため、これによる誤差の影響は少ないと考えた。

地区外への流出量 (O)は氾濫域と河川の流量観測値をもとに求めた。メコン本川のコンボンチャム、チュルイチャンパー、コーノレア、ネアックルン、バサック川のモニボン橋地点の日流量は、先の章に示した水位流量曲線(暫定版)により求めた。トンレサップ川のプノンペンポート(Phnom Penh Port)と プレックダム(Prek Kdam)地点の日流量は、水位流量曲線の作成が困難であったため、隔週ごとに測定したADCP観測値を線形補間して日流量を算定した。流入量 (I) は水収支式と既知の他の要素から計算で求めた。浸透量 (F) は信頼にたる十分な観測値がないためここでは無視することにした。

2 結果

Zone 2 と Zone 5-N地区を7月10日から11月17日の間に通過した流量の積算値をFig.17に示す。単位は100万 m^3 である。Fig.18は模式的に水収支を示す。単位10億 m^3 である。Zone 2については4つのサブエリアに区分して流入量を算定した。Fig.17の黒矢印はメコン本川とトンレサップ川から氾濫域に流入または流出した量の推定値であ

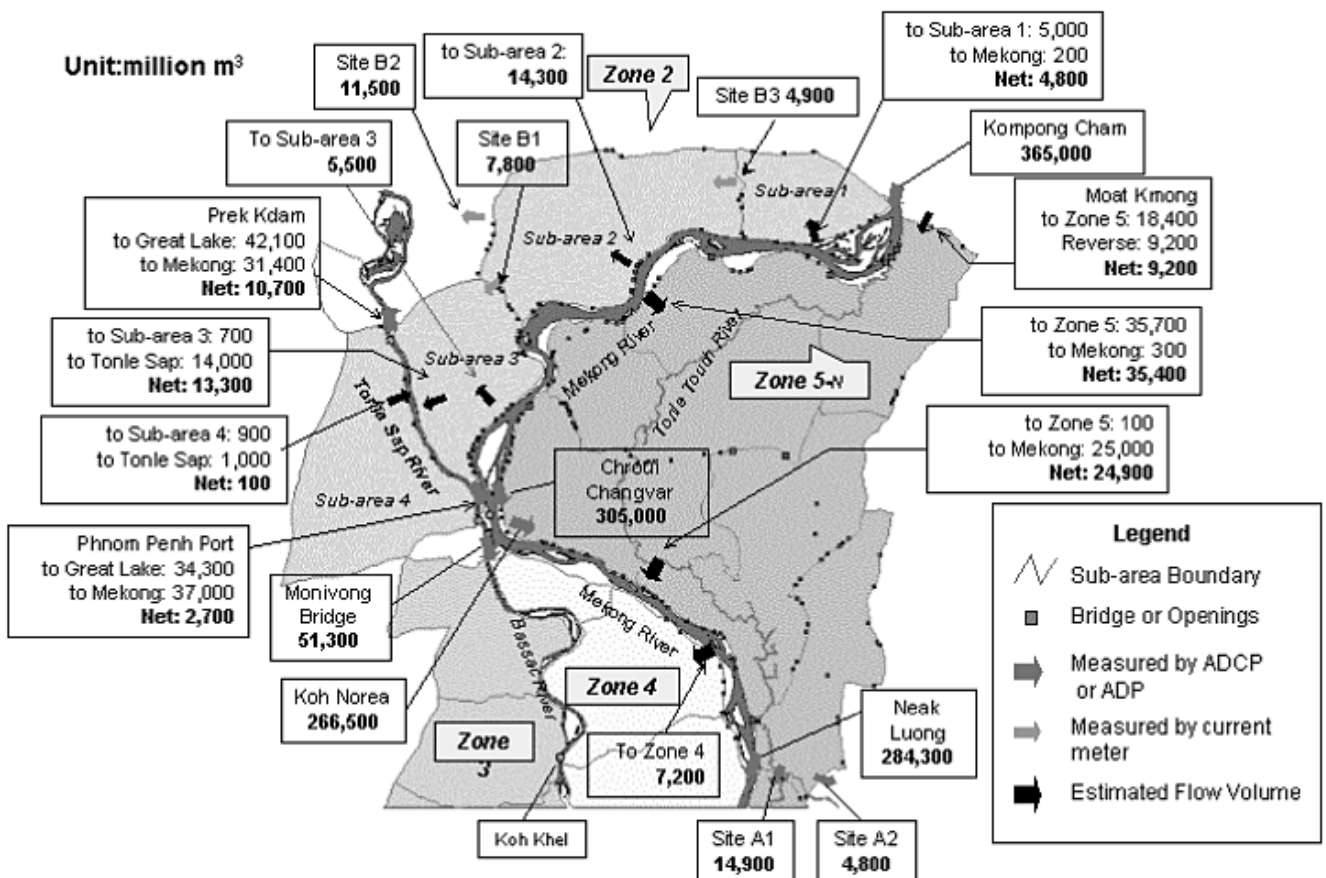


Fig. 17 氾濫域を通過した流量の積算値 (2002年7月10日~11月17日)

洪水緩和機能

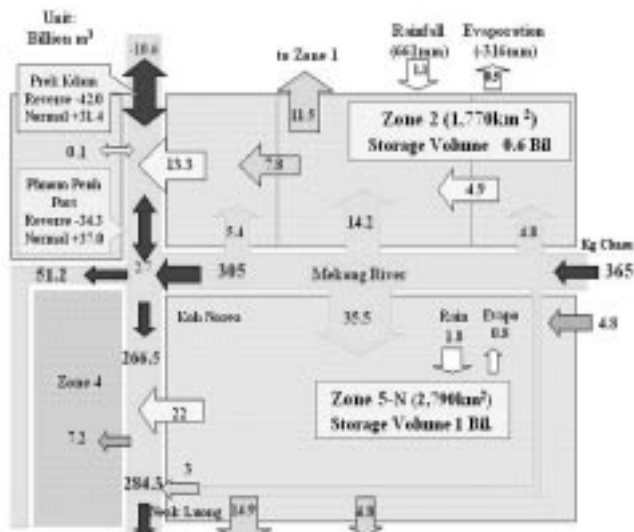
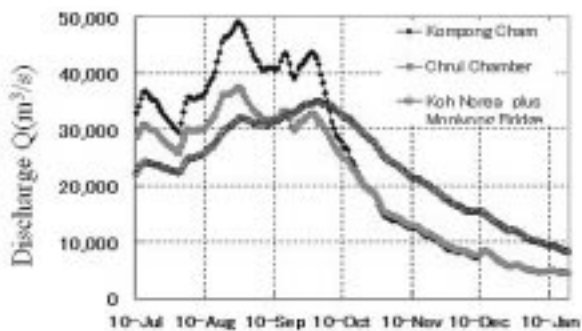
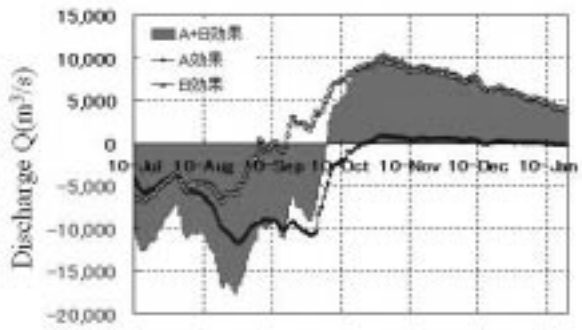


Fig. 18 氾濫域の水収支 (2002年7月10日~11月17日)

る。コンポンチャムとチュルイチャンバー (Chruï Changvar) の間で600億 m^3 の河川水が氾濫域に流入している。その内、245億 m^3 (40%)がZone 2側に流入し、355億 m^3 (60%)がZone 5側に流入している。Zone 2に流入した内130億 m^3 はプノンペンポートと ブレックダムの間でトンレサップ川に流出し、残り115億 m^3 は直接Zone 1 (トンレサップ湖の方向) に流出している。一方Zone 5 に流入した洪水のうち250億 m^3 はコーノリアとネアックルンの間でメコン河に再び流出している。



(a) コンポンチャム、チュルイチャンバー、コーノリアとモニボン橋地点合計流量の変動



(b) A効果とB効果

Fig. 19 トンレサップ湖と氾濫域の流量調整機能 (2002年7月~2003年1月)

1 プノンペンの洪水ピークの緩和

(a) 緩和要因

Fig.19 (a)はコンポンチャム、チュルイチャンバー、コーノリアとモニボン橋地点の合計流量の変動を示したものである。コーノリアとモニボン橋はそれぞれ、チャトムック合流点直下流のメコン河、バサック川の地点であるので、コーノリアとモニボン橋地点の合計流量は、コンポンチャムとチュルイチャンバー間での氾濫による低減効果 (A 効果) とトンレサップ川からトンレサップ湖へ逆流による洪水低減効果 (B 効果) の両方の効果が反映されている。なお、洪水期の後半から末期にかけてはトンレサップ川が順流に変化するが、この時以降は流量が増加 (B+ 効果) することになる。A効果についても10月20日~12月10日頃まで+の期間がある。これは最大で500 m^3/s 程度で氾濫域からメコン本流に戻っている分である。

Fig.19 (a)から9月15日以降プノンペン付近のトンレサップ川は順流になっている。Fig.19 (b)は効果A, BおよびA+Bの効果を図示したものである。効果の大きさからTable 3のように期間を分けることができる。

(b) トンレサップ川の順流への変化

トンレサップ川の順流への変化については暫定順流と本順流の2段階がある。暫定順流とはプノンペン付近は順流になっているがブレックダム付近ではまだ逆流の状態である、これはZone 2の氾濫水がプノンペンとブレックダム間に流出し、一部はトンレサップ湖の方向に、残りはプノンペンの方向に流れる現象である。2002年では9月15日頃から9月末頃まで約2週間が暫定順流期間であった。本順流は、プノンペン付近もブレックダム付近も順流になっている状態で、この状態でトンレサップ湖の水が本格的にプノンペンに流れてくる。

Table 3 チャトムック合流点下流における流量調整効果

期	期間	流量調整効果
	9月15日以前	A とB の両方の低減効果
	9月15日~10月5日	A とB+の効果 (A > B+のため低減効果)
	10月5日~10月20日	A とB+の効果 (A < B+のため増大効果)
	10月20日以降	B+による増大効果

(c) プノンペンでの洪水緩和

2002年洪水期には4度のピークがあり、その時の流量で比較すると、チュルイチャンバーでの流量はコンポンチャムより9,000~17,000 m^3/s 減少している。8月下旬の第2ピークの時が最も緩和量が大きく17,000 m^3/s 減

少している。9月後半の第4ピーク時は、トンレサップ川の流れは暫定順流になっており、洪水ピークの緩和は氾濫域Zone 2を通過した氾濫水の一部がトンレサップ湖に逆流することで緩和されている。

2 渇水緩和

Fig.19 (b)でみるとA+B効果は10月5日以降は流量増大効果が現れ、10月末に最大となり、その後は徐々に減少していき、例年4月頃になくなる。乾期後半のデータが入手できていないので、前半のデータの最後である1月18日の流量でみるとコンポンチャム $4,570\text{ m}^3/\text{s}$ に対しコーノレアとモニボン橋の流量計は $8,260\text{ m}^3/\text{s}$ であり、およそ $3,600\text{ m}^3/\text{s}$ の流量増大効果がある計算になる。

結言

プロジェクトではトンレサップ湖を含むカンボジアメコン氾濫域について、氾濫域に流入する量や貯水量を算定し、洪水緩和量の評価を行った。この結果2002年の洪水の場合、ピーク洪水期8月下旬のコンポンチャム流量 $49,000\text{ m}^3/\text{s}$ の内、 $11,000\text{ m}^3/\text{s}$ が、約100km下流のプノンペンまでの間に兩岸の氾濫域（40%が右岸側に、60%が左岸側）に流入している。チャトムック合流点からトンレサップ湖に逆流する $6,000\text{ m}^3/\text{s}$ と合わせると $17,000\text{ m}^3/\text{s}$ （34%）のピーク流量が低減されていることなどが明らかになった。なお、プロジェクトは継続中で、今後、バサック川兩岸に多数存在するコルマタージュ地区の水文データを整備しこれらの洪水調整機能や渇水緩和量について評価を行う予定である。

参考文献

- 1) J. P. Carbonnel et J. Guiscafne(1963): Grand Lac Du Cambodge, Sedimentologie et hydrologie
- 2) UNESCO(1964): Mathematical Model of the Mekong Delta
- 3) MC (1988): Lower Mekong Basin: Water Balance Study, Institute of Hydrology, Wallingford, UK,
- 4) MRC (1993):Development Plan for Tonle Sap and Chaktomuk
- 5) MRC(1997):Report on the Review Mission of the Mekong Hydrology Programme
- 6) MRC(1994): Project Proposal, Improvement of the Hydro-meteorological Network - Component 1
- 7) MRC(2000):Improvement of the Hydro-meteorological Network (Basinwide)- Component2
- 8) MRC(2001): Strategic Master Scheme for Hydro-Meteorological Network in the Mekong River Basin
- 9) MRC (2000): Project Proposal, Appropriate Hydrological Network Improvement Project
- 10) MRC(2003) Consolidation of Hydro-meteorological Data and Multi-Functional Hydrologic Roles of Tonle Sap Lake and its Vicinity Project
- 11) MRC(1994): Irrigation Rehabilitation Study in Cambodia
- 12) JICA(1997): Agricultural Development Study of the Mekong Flooded Area in Cambodia
- 13) UNDP(1998): Natural Resources-based Development Strategy for the Tonle Sap Area, Cambodia
- 14) MRC(1999): Inventory and Management of Cambodian Wetlands
- 15) MRC(2001): Chaktomuk Area Environment, Hydraulics and Morphology (Phase-1)
- 16) MRC(2000): Flood Control Planning for Development of the Mekong Delta (Basinwide), Volume1-3,
- 17) MRC(2002): Progress Report, The Study on Hydro-Meteorological Monitoring for Water Quantity Rules in Mekong River Basin (WUP-JICA)
- 18) MRC(2002): Modelling of the Flow Regime and Water Quality of the Tonle Sap Project (WUP-FIN)
- 19) MRC(2002): Development of Basin Modelling and Knowledge Base Project (WUP-A), Halcrow
- 20) MRC(2002): Inundation Mapping in Cambodia and the Mekong Delta. Flood Management and Mitigation Baseline Information Project (FMP)
- 21) MRC(2003): Flood Area and Volume Analysis by Radarsat Images
- 22) MRC and JICA (2003) Interim report paper III, The Study on Hydro-meteorological Monitoring for Water Quality Rules in Mekong River Basin

Hydrological Survey and Water Balance of the Cambodian Floodplain in the Mekong River

Hideto Fujii

Summary

The study was carried out under the MRC (Mekong River Commission) Project named *Consolidation of hydro-meteorological data and multi-functional hydrological roles of Tonle Sap Lake and its vicinities*. The objectives of the study were the gap filling of the hydrological data in the Cambodian floodplain of the Mekong River, from Kompong Cham as far south as the Vietnam border and to clarify the water balance of the study area. An intensive observation of water levels at 20 locations, discharge measurements by ADP and ADCP in the main/floodplain channels and analysis of satellite images (RADARSAT) to estimate inundated area and storage volume, were carried out during the flood and post flood season in 2002. The flood reduction amount in the peak flood season and river flow augmentation in the dry season were determined as part of the study.

Key Words : Cambodia, Tonle Sap Lake, Floodplain, Mekong River, RADARSAT satellite, Flood mitigation function, Water balance

農業工学研究所の機構及び所在地

理 事 長
理 事
監 事
企画調整部長
総務部長
農村計画部長
農村環境部長
地域資源部長
農地整備部長
水工部長
造構部長

茨城県つくば市観音台二丁目1番6号
(郵便番号 305 - 8609)

DEPARTMENTAL ORGANIZATION OF THE
NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING
INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION

President

Executive Director

General Auditor

Director, Department of Program Management and Coordination

Director, Department of General Affairs

Director, Department of Rural Planning

Director, Department of Rural Environment

1-6, Kannondai 2-choume,

Director, Department of Regional Resources

Tsukuba City, Ibaraki,

Director, Department of Agricultural Environment Engineering

305-8609 Japan

Director, Department of Hydraulic Engineering

Director, Department of Geotechnical Engineering

本技報から転載，複製をする場合は独立行政法人農業工学研究所の許可を得て下さい。

農業工学研究所技報 第 202 号

平成16年3月25日 印刷

平成16年3月30日 発行

独立行政法人農業工学研究所

茨城県つくば市観音台二丁目1番6号
郵便番号 305-8609 電話 029(838)8169 (情報資料課)

TECHNICAL REPORT
OF THE
NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

No. 202

March 2004

CONTENTS

OOTA Kouki Hydrological Surveys and Construction of Irrigation Facilities in Inland Arid Regions of the Republic of Chile -A Case Study of Cost-Sharing Construction of Hydraulic Structures by Public Participation - ...	1
FUKUYO Narufumi, YAGI Hironori, TSUTSUI Yoshitomi, MITSUHASHI Nobuo and KAMATA Motohiro Present Situation of Basin Environment Management by Non-profit Organizations : From Questionnaire Surveys for NPOs	19
KUNIMITSU Yoji An Analysis on the Relation between the Visit Frequency of the Rural Park and its Evaluation: For Measuring Rural Amenity by CVM Application	35
AIZAKI Hideo Effects of Individual and Household Characteristics on Evaluation of Facilities for Promoting Leisure Activities in Rural Areas -Hypothetical Travel Behavior Based on Choice Experiments -	45
IIJIMA Takashi, ISHIDA Kenji, MATSUMORI Kenji and MINETA Takuya Topology normalization system for GIS polygon data	61
NAKAMURA Masato and YUYAMA Yoshito Natural Drying of Rural Sewage Sludge with a Drying Bed System	71
MASUMOTO Takao, KUBOTA Tomijiro, MATSUDA Shuh and TAKAGI Azuma An Evaluation Method of Water Resources in Paddy Regions to Preserve Ecological Environments	81
ISHIDA Satoshi, HARA Ikuo, TSUCHIHARA Takeo and IMAIZUMI Masayuki Behaviors of groundwater flow caused by construction of drain tunnel in landslide area -Using the water content of the bedrock and the radon concentration in the groundwater as an indicator-	91
TANAKA Yoshikazu, MUKAI Akie and TARUYA Hiroyuki The flow analysis in perpendicularly made pipe	101
TANAKA Yoshikazu, SHIMA Takeo, NAKA Tatsuo, MUKAI Akie and TARUYA Hiroyuki A measurement study of refraction loss factor in the steel pipe.....	113
Hideto Fujii Hydrological Survey and Water Balance of the Cambodian Floodplain in the Mekong River	127
TANI Shigeru, FUKUSHIMA Shinji, KITAJIMA Akira and SAKAMAKI Katsuyuki Design and Construction Method to Repair Embankment by Crushed and Compacted Stabilized Muddy Soil in old small Earth Dam	141
NATSUMI Isamu, ISHIGAMI Akio, ISHIMURA Hideaki, TOKASHIKI Masaru and MORI Mitsuhiro Repair Techniques for Concrete Structures that are Applicable to Agricultural Facilities	183
NAKAZATO Hiroomi, KURODA Seiichiro, OKUYAMA Takehiko, ITO Goichi and SASAKI Yutaka Applicability of helicopter electromagnetic survey for landslide hazard assessment	197
KURODA Seiichiro, NAKAZATO Hiroomi and OKUYAMA Takehiko The accuracy of the estimation for Electrical Conductivity Profile in Geo-environment by the Profiling of Transmittive High Frequency Electromagnetic Wave -Numerical Study by Electrical Magnetic Field Simulation-	205

NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION

Tsukuba, Ibaraki, 305-8609 Japan