

カンボディア国シエムリアップ州
及び
アンコール遺跡公園地形図作成調査

ファイナルレポート
(和文要約)

JICA LIBRARY



J 1144832 (1)

1998年7月

カンボディア国シエムリアップ州及びアンコールワット遺跡公園
地形図作成調査共同企業体

代表者 社団法人 国際建設技術協会
構成員 国際航業株式会社

社調一
J R
98-087



1144832 {1}

カンボディア国シェムリアップ州
及び
アンコール遺跡公園地形図作成調査

ファイナルレポート
(和文要約)

カンボディア国シェムリアップ州及びアンコールワット遺跡公園
地形図作成調査共同企業体

代表者 社団法人 国際建設技術協会
構成員 国際航業株式会社

序 文

日本国政府は、カンボディア国政府の要請に基づき、同国のシェムリアップ州及びアンコール遺跡公園地形図作成を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、1997年1月から1997年5月までの間、4回にわたり、社団法人国際建設技術協会の江川良武氏を団長とし、同協会及び国際航業株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団はカンボディア国政府関係者と協議を行うとともに、カンボディア国において撮影、基準点測量、現地調査、現地補測及びワークショップを実施しました。また、この期間の中で、空中写真ネガフィルム及び現地作業で得られた成果を日本国内に持ち込み、空中三角測量、デジタル図化、デジタル編集等を行い、その結果を、とりまとめ、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、シェムリアップ州及びアンコールワット遺跡公園保存計画の推進に寄与するとともに、両国の友好、親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

最後に、調査にご協力とご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。

1998年7月

国際協力事業団

藤田 公郎

総裁 藤田 公郎

伝 達 文

国際協力事業団
総裁 藤田公郎 殿

ここにカンボディア国シェムリアップ州及びアンコール遺跡公園地形図作成調査報告書を提出できることを光榮に存じます。

社団法人国際建設技術協会及び国際航業株式会社で構成された私を団長とする調査団は、国際協力事業団との業務実施契約に基づき、1997年1月から1998年5月にかけてカンボディア国において撮影、基準点測量、現地調査、現地補測及びワークショップを実施しました。またこの期間で、航空写真ネガフィルム及び現地作業で得られた成果を日本国内に持ち込み、空中三角測量、デジタル図化、デジタル編集等を行い、その結果を、本報告書としてとりまとめました。

調査団を代表して、カンボディア国政府及びその他の関係機関に対し、我々がカンボディア国滞在中に受けたご好意と惜しみないご協力に心からお礼申し上げます。

また国際協力事業団、外務省、建設省、運輸省、在カンボディア日本大使館及び関係諸官庁に対しても現地調査及び報告書の作成にあたっての貴重なご助言とご協力を頂いたことに深く感謝申し上げます。

1998年7月

カンボディア国シェムリアップ州及び
アンコールワット遺跡公園地形図作成調査団

江川 良武

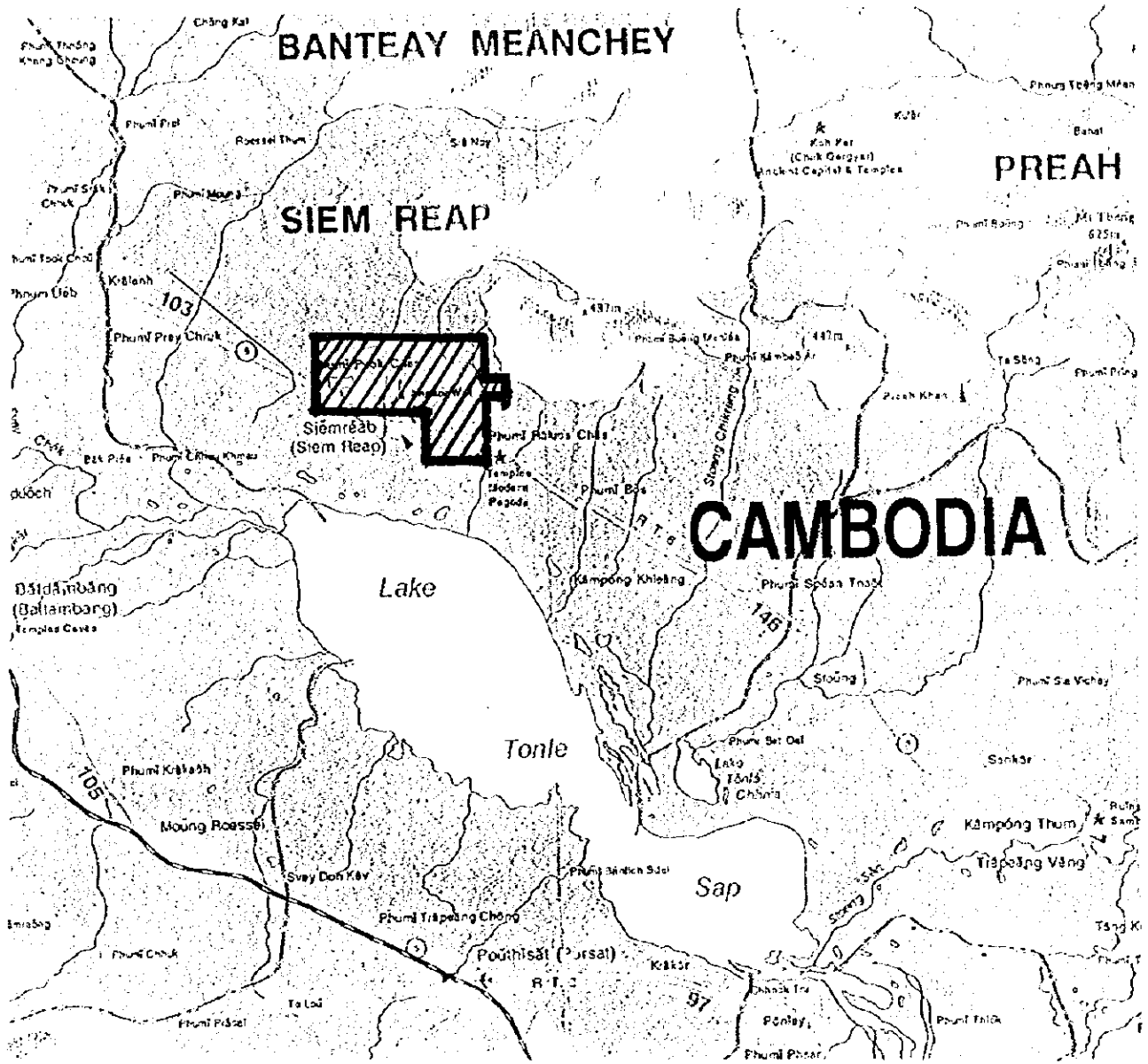
団長 江川 良武

TOPOGRAPHIC MAPPING FOR ANGKOR

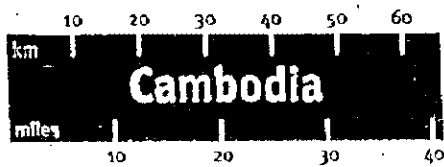
ARCHAEOLOGICAL AREA

IN

SIEM REAP REGION OF THE KINGDOM OF CAMBODIA

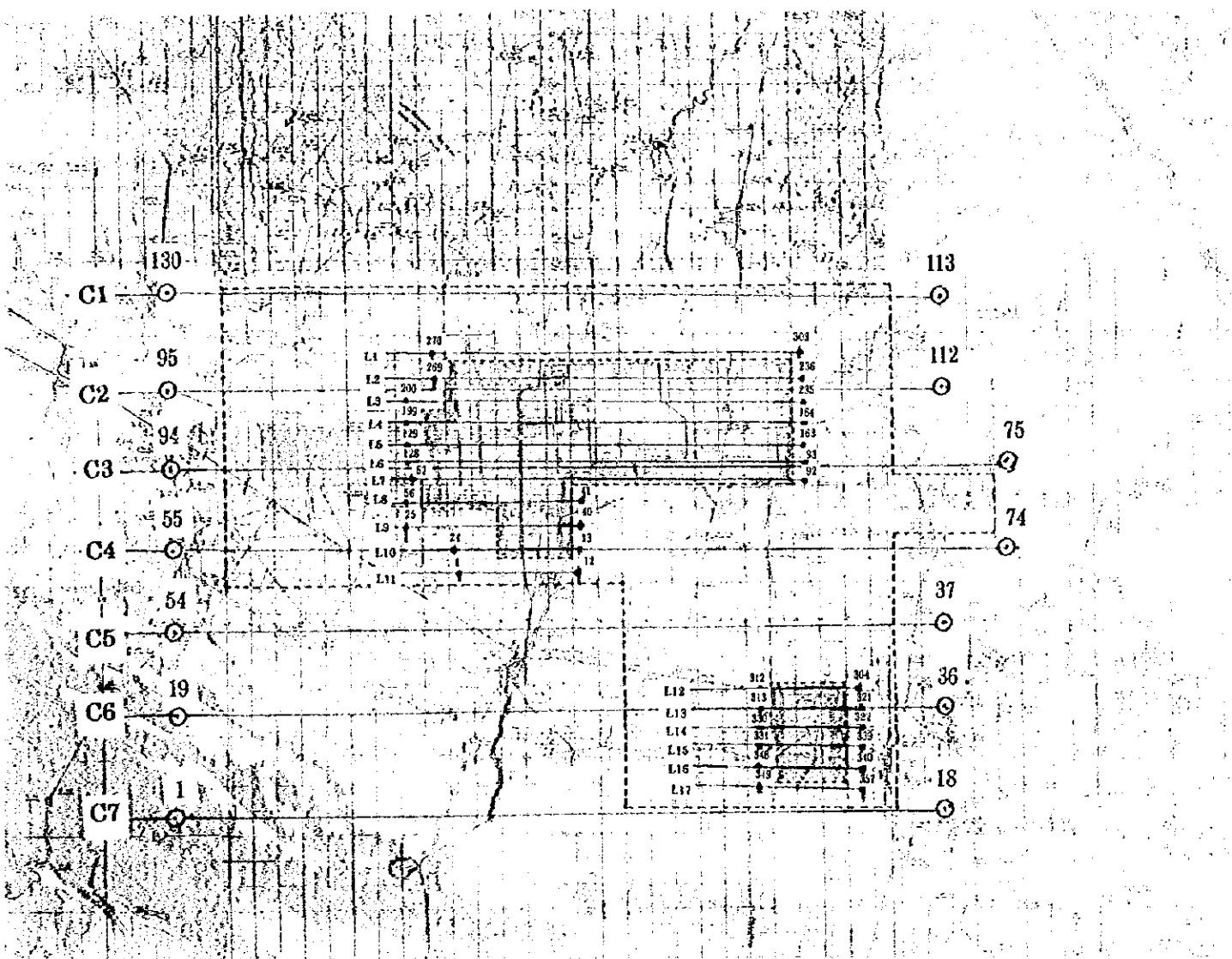


Scale 1 : 1 100 000



**PHOTO INDEX
OF
TOPOGRAPHIC MAPPING
FOR
ANGKOR ARCHAEOLOGICAL AREA
IN
SIEM REAP REGION OF THE KINGDOM
OF
CAMBODIA**

SCALE: 1/250,000

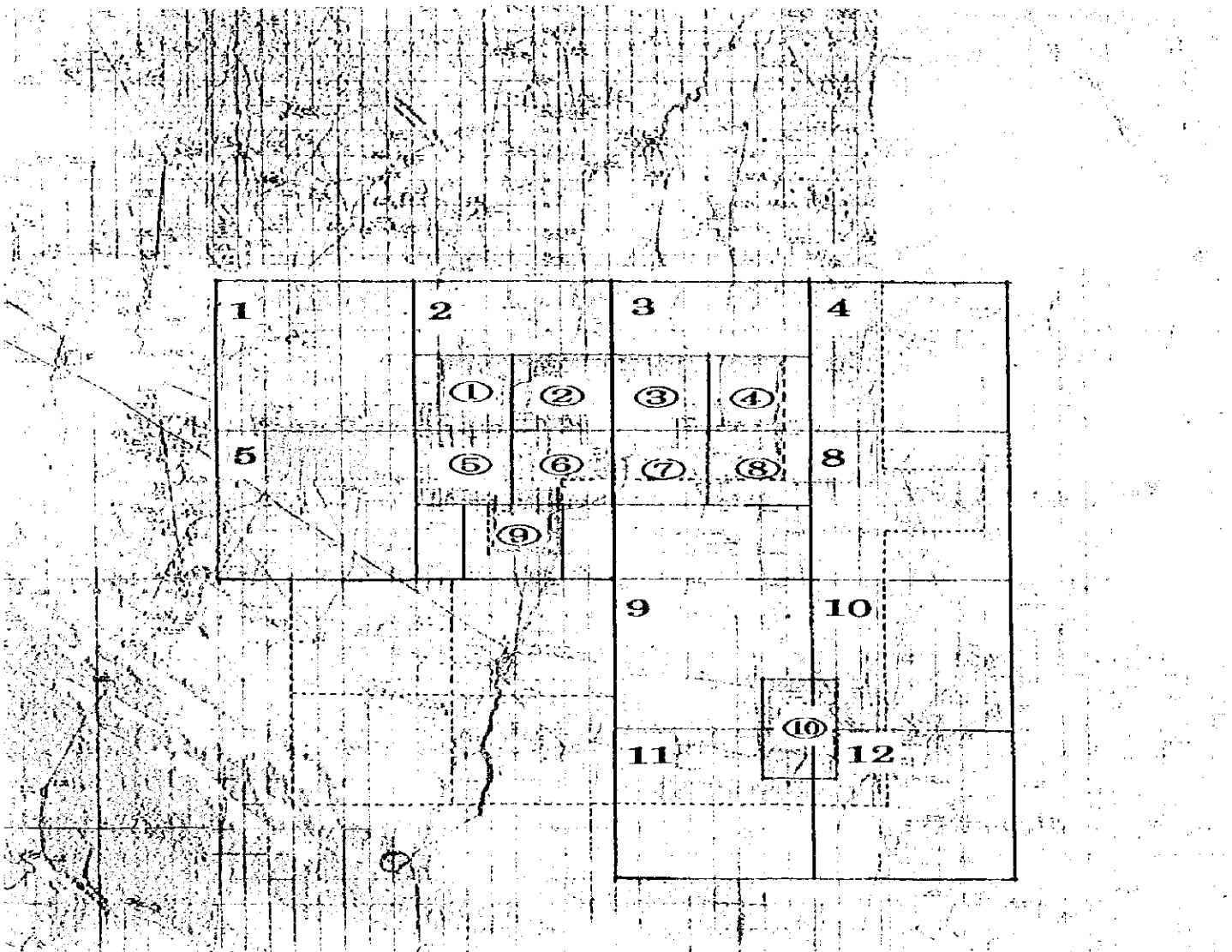


Mapping area	1:10,000	430 km ²
	1:5,000	100 km ²
1:20,000 photo index	7 courses	130 photographs
1:5,000 photo index	17 courses	357 photographs

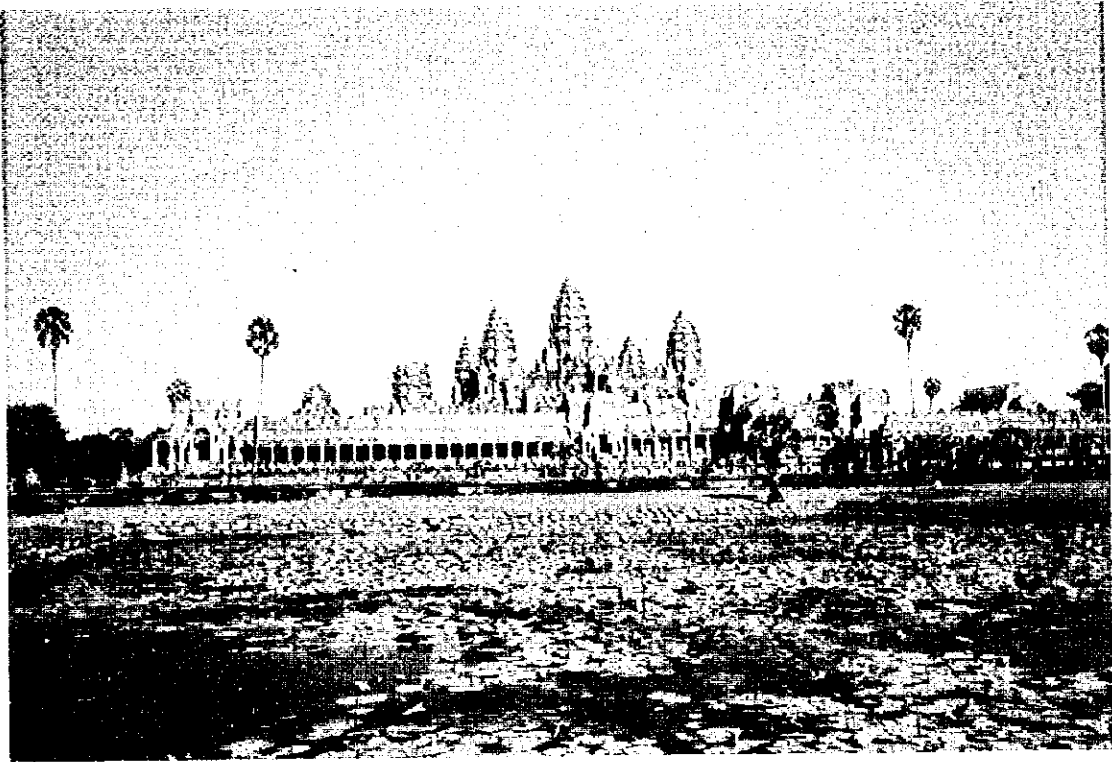


**SHEET INDEX
OF
TOPOGRAPHIC MAPPING
FOR
ANGKOR ARCHAEOLOGICAL AREA
IN
SIEM REAP REGION OF THE KINGDOM
OF
CAMBODIA**

SCALE: 1/250,000



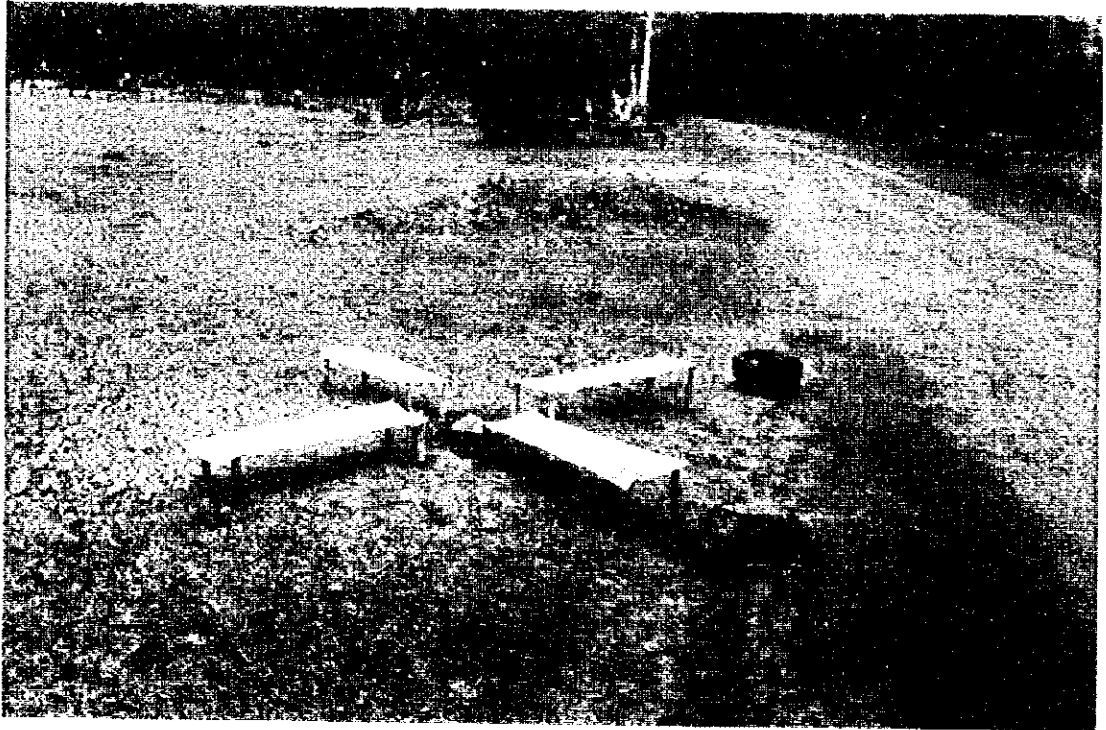
Mapping area	1:10,000 1:5,000	430 km ² 100 km ²
1:10,000 sheet index		12 sheets
1:5,000 sheet index		10 sheets



Angkor Wat



Preparation



Air Photo Signal



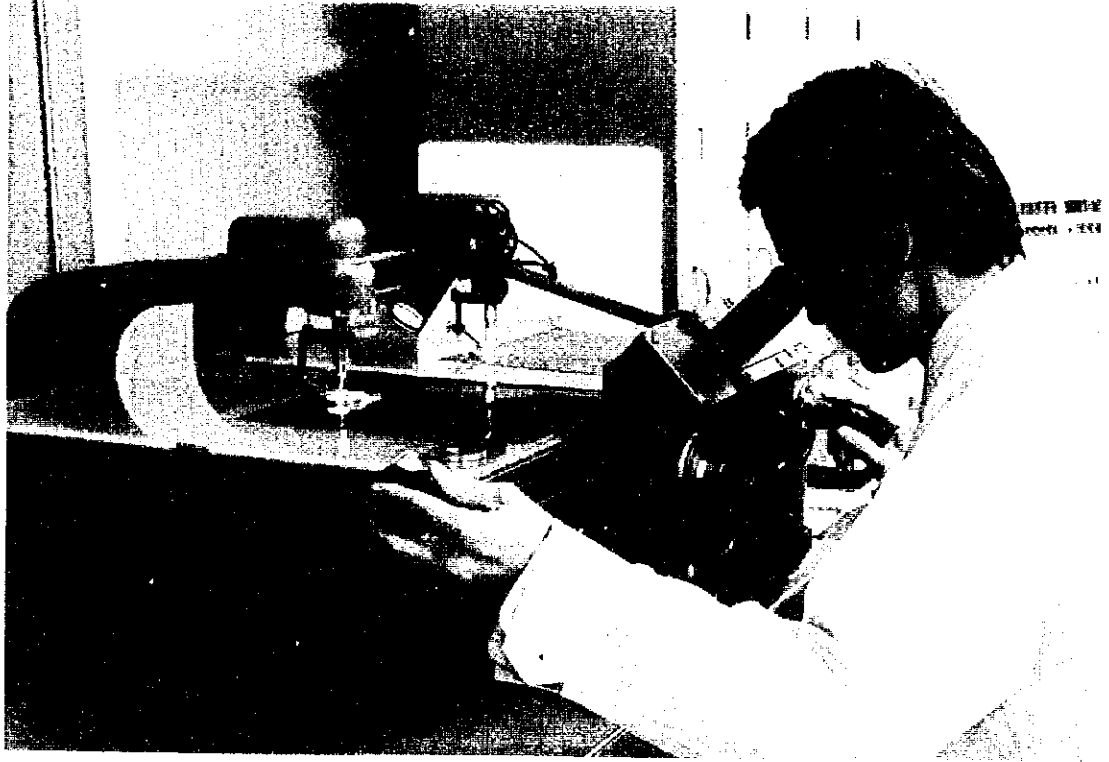
GPS Observation



Levelling



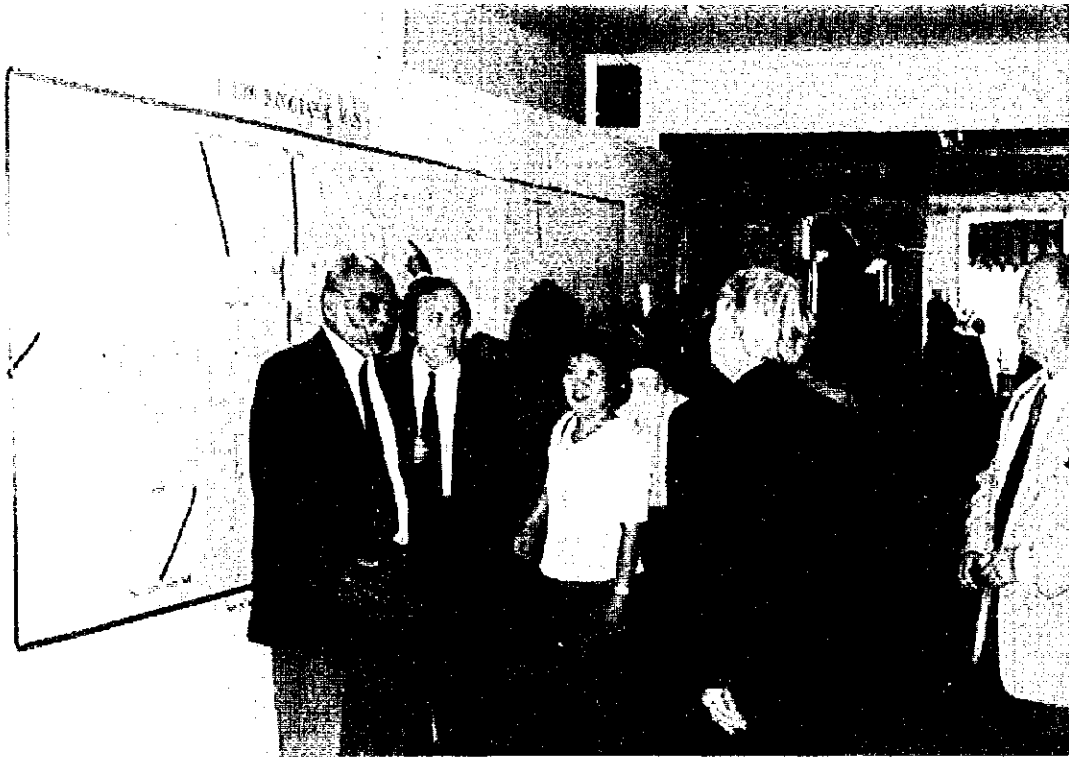
Field Completion



Aerial Triangulation Instrument (PUG- II)



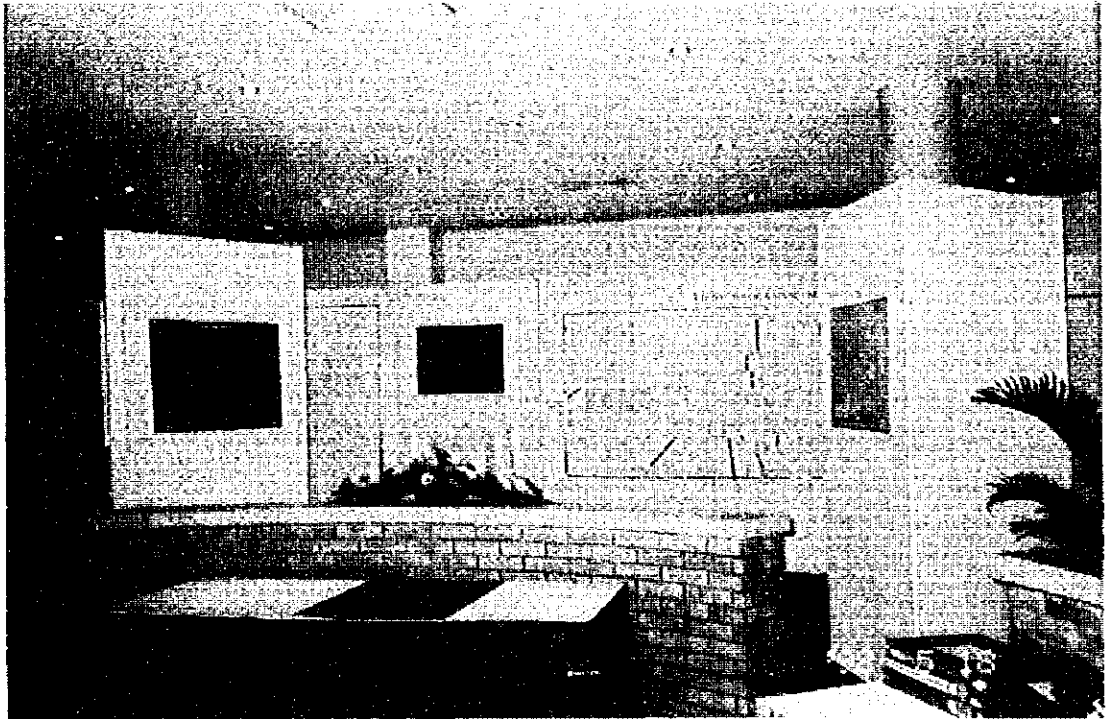
Aerial Triangulation Instrument (STECOMETER)



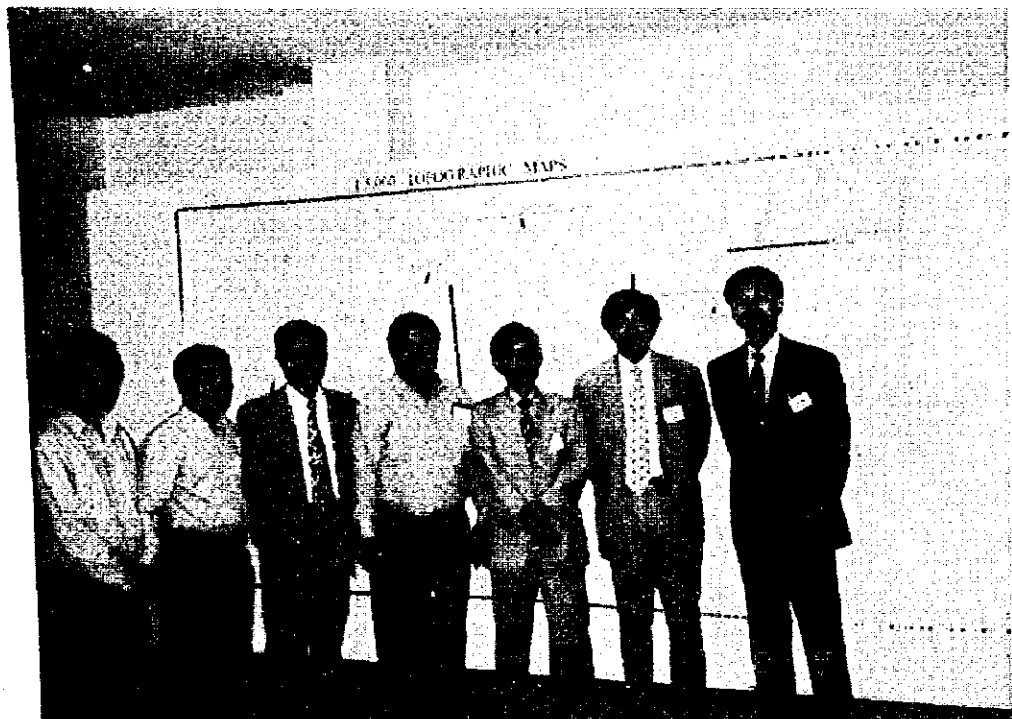
**Map Exhibition in Phnom Penh
H.E. Mr. Vann Molyvann (left)**



Map Exhibition in Phnom Penh



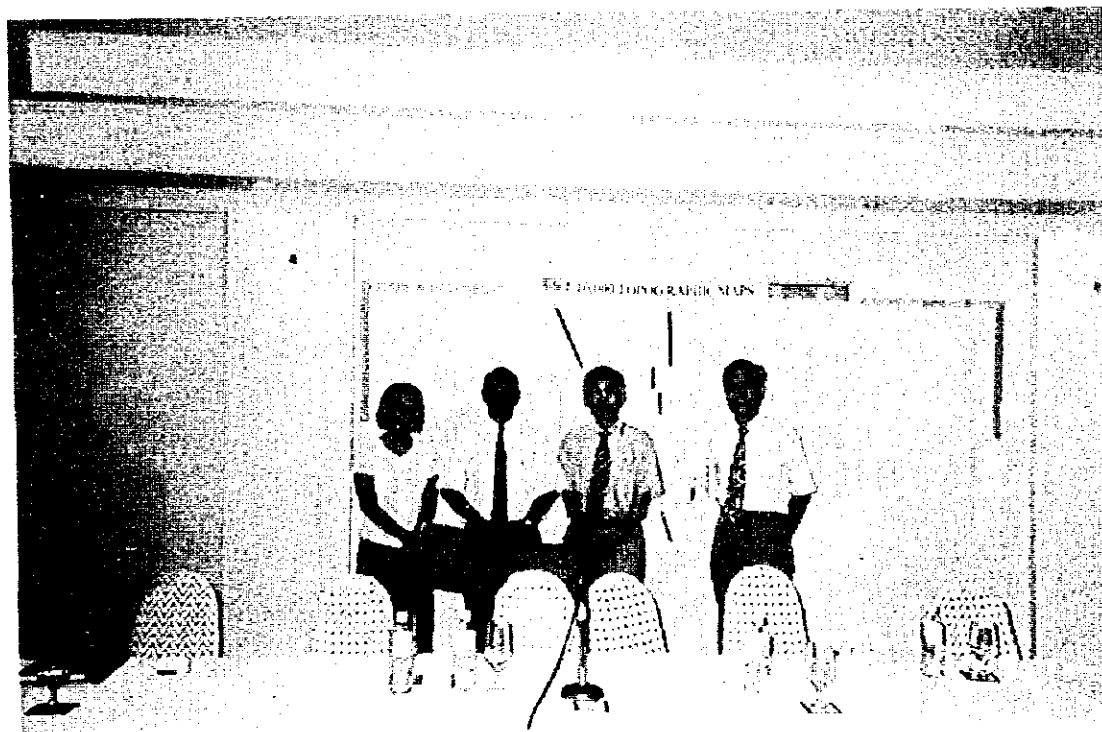
Map Exhibition in Phnom Penh



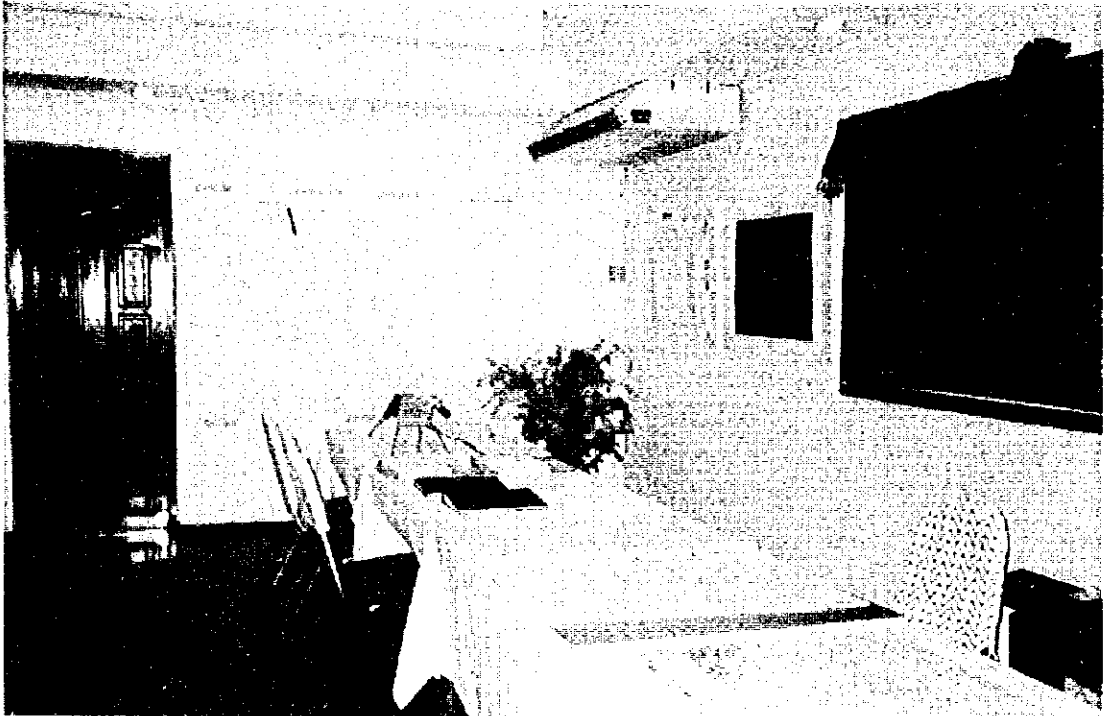
Map Exhibition in Phnom Penh



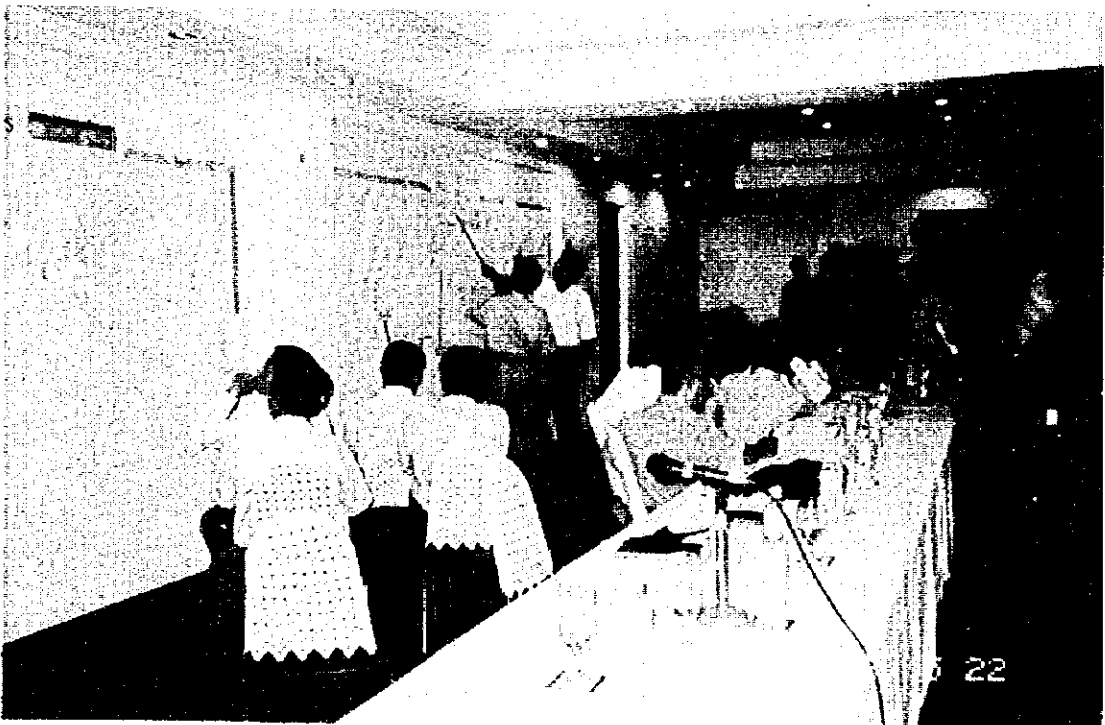
Workshop in Geographic Department



Workshop in Siem Reap



Workshop in Siem Reap



Workshop in Siem Reap

目 次

1. プロジェクトの概要・目的	1
2. 調査の手法	3
1) 現地作業	3
2) 国内作業	4
3. 成果品の評価及び精度	6
4. 技術移転	7
5. 最終成果品	9
1) APSARAへ納品した成果品	9
2) 測量局へ納品した成果品	9
6. アンコール遺跡の地形図判読例	10

1. プロジェクトの概要・目的

本プロジェクトは、1996年9月26日に合意されたS/W及びM/Mに基づき実施された。

本プロジェクトの目的は、今後のアンコール遺跡群の発掘、調査、保存計画及びアンコール遺跡周辺のインフラ開発計画の策定に資するため、付図に示したアンコールワット、アンコールトム等の主要なアンコール遺跡群を含む地域について、下記データ等を整備するとともにカウンターパートへの技術移転を行うことである。

縮尺 1/10,000 地形図、430km²

縮尺 1/5,000 地形図、100 km²

縮尺 1/20,000 モノクロ空中写真撮影、577 km²

縮尺 1/5,000 のカラー空中写真撮影、100 km²

なお1994年にフランス国立地理調査所国際部（IGN France International）がシェムリアップ市及びその周辺について縮尺 1/10,000 地形図を4面作成したが、これらの地形図は、本プロジェクトの南西に隣接する。

業務の工種、工程、作業数量は下記の通りである。

工種	数量	第1年次 (1997/1-3)	第2年次 (1997/4-1998/3)	第3年次 (1998/4-7)
埋石	22点	--		
対空標識設置	30点	--		
空中写真撮影	モノクロ 7コース カラー 17コース	---		
基準点測量	GPS 22点	----		
水準測量	3級水準 178km	-----		
空中三角測量	7コース 95飛行機		--	
現地調査	430k m ²		--	
数値図化	1/10,000 430k m ² 1/5,000 100k m ²		-----	
数値編集	1/10,000 430k m ² 1/5,000 100k m ²		-----	
現地補測	1/10,000 430k m ² 1/5,000 100k m ²		--	
技術モニター検査			--	
ワークショップ				--
報告書作成				---

第1年次は、カンボディア国に日本から技術者を派遣し、空中写真撮影、基準点

測量作業を実施した。

第2年次は、日本国内で空中三角測量、数値図化、数値編集を実施し、カンボディア国内においては、現地調査、現地補測作業を行った。

第3年次は、カンボディア国に最終成果品を渡し、成果品の説明、使用方法等についてワークショップを行った。

2. 調査の手法

1) 現地作業

① 埋石

GPS 観測により新設した基準点を永久標石点として 22 点埋石した。

② 対空標識設置

既設基準点 8 点、新設基準点 22 点、合計 30 点について空中写真撮影前に対空標識を設置した。

対空標識の型と大きさは、90×30cm の白布 3 枚羽根を基本とした。

③ 基準点測量（GPS 測量）

1994 年フランスで設置した GPS 基準点を与点として GPS 観測により 22 点を新設した。

観測は、4 衛星以上を同時に観測する相対測位法により、1 セットの観測は 2 時間以上、データ間隔は 30 秒とする仕様とし、観測機器は、トリンプル 4000SSE 型の GPS 4 台を使用してスタティック法で行った。

1994 年設置したフランスの基準点及び 1994 年作成した隣接の 1/10,000 既測図に合わせると 1/50,000 既存地形図は、 $\Delta X=350\text{m}$ 、 $\Delta Y=-400\text{m}$ のずれがあった。

そのため、今回使用する方眼目盛りは、既存の 1/5 万方眼線を南東に約 500m ずらすことになった。

④ 水準測量（3 級水準測量）

1994 年フランスで設置した国道 6 号線及びアンコールワットに通じる道路沿いの水準点を与点として 3 級水準測量を実施した。直接水準測量の総延長は 178km であった。

誤差の制限は、既知点間の閉合差 $1.5\text{cm}\sqrt{S}$ ($S:\text{km}$) 以内、環閉合差及び往復差は、 $1\text{cm}\sqrt{S}$ ($S:\text{km}$) 以内としニッ製水準儀 AE-5 4 台を使用して実施した。国道 6 号線上の水準点 AD1, BC4, BC5 は成果が悪く与点として使用出来なかった。

⑤ 空中写真撮影

撮影監督を日本から派遣し、FINNMAP FM-International Oy に現地再委託して実施した。

使用した航空機	: Rockwell Turbo Commander 690A
使用した航空カメラ	: Wild RC-20

航空カメラの焦点距離 : 153.18cm
撮影方向は縮尺 1/20,000、1/5,000 双方とも東西方向とした。

⑥ 現地調査

1/20,000 モノクロ空中写真の 2 倍伸ばし写真を使用して写真に不明瞭に写っている地物等を現地補足し、道路名、河川名、学校名等の地図に必要な注記の調査を行った。

⑦ 現地補測

1/10,000 及び 1/5,000 図面を現地に持参し、数値図化、数値編集の際、不明瞭であった注記や地物等を現地で調査、確認した。

2) 国内作業

① 空中三角測量

1/20,000 モノクロ空中写真を使用して 7 コース 95 モデルの空中三角測量を解析法により実施した。

点刻器 : WILD PUG-II 型

観測機 : ZWISS JENA STECOMETER

調整計算は、XY 座標は GPS 点、高さは直接水準測量点を使用してバンドル法によるブロックアジャストメント手法を用いて計算した。

② 数値図化

数値図化範囲は、S/W に基づいて 1/10,000 約 430k m²、1/5,000 約 100k m² を実施した。1998 年 2 月 23 日の協議で、南東地域にある叫杖付近の 1/5,000 図化で北側のバライの跡であるインドラクターカを入れるため 1km 北側に図化範囲をシフトする事になった。

図化は、解析図化機を使用して平面地物及び等高線等について数値図化を行った。1994 年フランス作成の 1/10,000 地形図 3 面と南西部で接合した。精度は良好であった。

図化での単点密度は、3-4cm 角に 1 点の割合とし、等高線間隔は、1/10,000 地形図については 10m、1/5,000 地形図については 5m を主曲線とし、特に重要遺跡においては必要に応じ、補助曲線 2.5m 及び 1.25m を描画した。

図化機 : ZEISS PLANICOMP P-3

等高線間隔	: 1/10,000	主曲線	10 m
		間曲線	5 m
		助曲線	2.5 m
		"	1.25 m
	1/5,000	主曲線	5 m

間曲線	2.5 m
助曲線	1.25 m

③ 数値編集

数値編集は、マイクロステーションを使用して図式に従って実施した。部落、道路、河川の名称や公共建物の注記等は、英語とクメール語で併記とした。注記については、カンボディア側の責任のもとに、最終検査を行い、フロッピーデスクを受領、編集機を介し格納した。

3. 成果品の評価及び精度

空中写真撮影は晴天に恵まれ、1997年2月19-21の3日間で完了した。撮影後、航空フィルムを現像し、密着写真を複製し、オーバーラップ、サイドラップ等所定の制限に入っているか、否か、空中写真が後続作業に支障ない様になっているか、否か等、厳格な室内検査を実施した。

その結果は大変良好であった。

GPSによる基準点測量は、フランス国立地理調査所が1994年設置したGPS点を予点として使用し三次元網平均計算により22点をGPS観測により新設した。平均計算の結果は、新点NO.21で最大誤差が出た。標準偏差は、 $X=0.012\text{m}$ 、 $Y=0.014\text{m}$ であった。

高さについては、1994年フランス国立地理調査所が設置した国道6号線及びアンコールワットに向う道路にある水準点を与点としてGPS点22点の標高を直接水準測量で決定した。その結果は、既知点間の閉合差 $15\sqrt{S}\text{ mm (S:km)}$ 以内に入った。

1/5,000及び1/10,000デジタル図化は、1997年2月撮影の1/20,000空中写真を使用して実施した。平面位置、高さの精度は60cm程度であった。写真に不明瞭な地物については、写真調査、現地補測を現地で実施し、精度の確保に努めた。

4. 技術移転

カンボディア国内で行われた業務については、APSARA 及び測量局から延べ 7 人の職員がカウンターパートとして参加、日本側調査団員の指導を受けつつ共同で業務を行った。多くのカウンターパートにとって、殆ど初めての業務であり貴重な経験となった。最終の第 3 年次においては下記のワークショップ等を行った。

① ワークショップ（プノンペン）

測量局において、成果品の有効利用を促進するためのワークショップを開催した。1 年余に亘る本調査における両国の協力関係を確認すると共に、ファイナルレポート第 3 章に記述した地図データの重要性、読図事例を講義した。また 2 日半に亘り、提供した CD-ROM を用いてディスプレイ及び紙に出力する方法、GIS ソフトウェア・Arc Info を用いてデータを編集・解析する方法の講義および実習を行った。

② ワークショップ（シェムリアップ）

“IMPORTANCE OF RECENTLY PRODUCED MAPS OF THE ANGKOR ARCHAEOLOGICAL RUINS”の名称のもとに JICA と APSARA の共催で開催した。Siem Reap の APSARA には機材がないため CD-ROM の出力方法、Arc Info によるデータ編集・解析については課題とせず、後に述べるプノンペンでの「展示会」とほぼ同様の展示を行ったうえで、地図データの重要性、読図事例を紹介した。会場には Siem Reap に存在する全ての政府機関はもとより、フランス極東学院等の外国の研究機関、援助団体も参加し、地形図の解釈について活発な討論がなされた。多くの参会者から本地形図の意義、高品質が感動を持って迎えられ、APSARA に早急の複製提供を求める声が相次いだ。

③ 地図展示会

“EXHIBITION OF NEWLY PRODUCED MAPS FOR THE ANGKOR ARCHAEOLOGICAL AREA”を JICA 及び APSARA の共催で 2 日間に亘り Hotel Sofitel Cambodiana で開催した。目的は本プロジェクトによる地形図が完成したことの周知及びその利用の促進のためであった。場所と日時の設定は、UNESCO 主催の Fifth Plenary Session of the International Co-ordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Historic Site of Angkor 及びその準備会議に合わせた。Vann Moly Vann 大臣をはじめとする政府関係者、日本を含む各国大使ほか約 100 名が来場し、熱心な質疑応答がなされた。

④ その他

先に述べた Fifth Plenary Session of the International Co-ordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Historic Site of Angkorにおいて、アンコール研究者である上智大学外国学部部長石澤良昭教授が、論文 "Investigation of the Ruins of the Angkor Region and Regional development -Uses for the New 1:5000 Topographic Map-" を発表された。ここでは本調査で得られた地形図情報の重要性が述べられている。

5. 最終成果品

APSARA 及び測量局に納品した最終成果品及び数量は下記の通りである。

1) APSARA へ納品した成果品

① 空中写真(モノクロ) 密着写真	1 部
② 空中写真(カラー) 密着写真	1 部
③ 基準点測量成果 コピー	1 部
④ 空中三角測量成果 コピー	1 部
⑤ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図 第 2 原図	各 2 部
⑥ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図 青焼	各 3 部
⑦ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図デジタルデータ CD-ROM	各 5 部

2) 測量局へ納品した成果品

① 空中写真(モノクロ) ポジフィルム	1 部
② 空中写真(モノクロ) 密着写真	1 部
③ 空中写真(カラー) 密着写真	1 部
④ 基準点測量成果 原及びコピー	各 1 部
⑤ 空中三角測量成果 原及びコピー	各 1 部
⑥ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図 第 1 原図	各 1 部
⑦ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図 第 2 原図	各 2 部
⑧ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図 青焼	各 3 部
⑨ 1/10,000 及び 1/5,000 地形図デジタルデータ CD-ROM	各 5 部

尚、カンボディア側の空中写真ネガフィルムの保管体制に問題があるため、調査団長・江川良武と APSARA 局長・ROS Borath 氏が 1997 年 7 月 1 日に交わした Minutes of meeting において、カンボディア側の保管設備が整うまで、空中写真ネガフィルムを日本側で保管する事になった。またこの間に複製の要が生じた場合の手続きを、JICA カンボディア事務所長・新井博之氏と APSARA 大臣・H.E.Mr.Vann Molyvann が 1998 年 5 月 25 日に交わした Minutes of meeting において次のように定めた。

日本側は JICA カンボディア事務所を通じて APSARA 又は測量局から要請があった場合、以下の手続きで複製を行う。

- ① 空中写真の複製を希望する者は、APSARA 又は測量局に注文書を提出する。
- ② APSARA 又は測量局は注文書を JICA カンボディア事務所に提出する。
- ③ 運搬費を含む全ての経費は、複製を希望する者が (社)国際建設技術協会に支払う。

また JICA は、研究および JICA 内部使用を目的とするとき、カンボディア側との協議を省略して空中写真の複製できることをカンボディア側は了承した。

6. アンコール遺跡の地形図判読

1) 地形図および航空写真の意義

従来、アンコール遺跡について、多くの学術調査がなされてきた。しかしその多くは碑刻文、彫刻、建築物の研究が主体であって、水利網、道路等のインフラストラクチャーは従であった。この大きな原因は、アンコール地域全体にわたる詳細な地形図が存在しなかったことと思われる。アンコール帝国の隆盛が水路網、道路網の充実に支えられ、またその荒廃が衰亡の原因だったことについては多くの関係者の一致している見解である。したがって、直面するカンボジア王国のインフラストラクチャーの復興に当たり、過去の経験、教訓を十分に学んでおくことは今日、とりわけ重要である。

本調査は航空写真という上方からの情報をもとに、地形が詳細かつ正確に記載された。したがって丹念に読図することにより、既出の諸学説を踏まえつつ、それら諸学説をさらに発展させ、あるいは新しい見方を産み出すことが出来る。本節ではその一つの判読例を示す。

2) アンコール帝国の成立と扇状地

これまで調査地域の自然地理的性格は議論されてきたことがなかったが、シェムリアップ川による扇状地であることが明らかになった。扇状地は一元的な流域管理が必要であり、また熱帯地域において土壌が豊かであるため、巨大な権力が発生しやすい。他ならぬシムリアップの地にアンコール帝国が栄えたのはこのような条件が与かっていたと考えられる。

3) バライの非機能化と河床の低下

バライがアンコール時代に次々と機能不全に陥ったことが明らかにされているが、これまでの一般的解釈は「堆砂による貯水容量の減少」とされてきた。しかし今回精密な地形図を作成したことによって、これを定量的に吟味できるようになった。これによると、インドラタターカ及び東、西、北のいずれのバライにおいても、バライ底がバライの外側より堆砂によって高くなっているという事実は認められず、むしろ逆の傾向が卓越することが明らかになった。

精密な地形が明らかになった結果、アンコール時代の流路がその後の変形を受けずそのまま残っている個所が見出された。最も顕著な例はシェムリアップ川が南下し東バライに至って方向を西に転じる地点の約 2km 下流である。この付近の現在の谷の深さは約 9m であるが、扇面との比高が約 3m に過ぎない段丘化した当時の流路が残っている。アンコールトムの勝利の門の東方、700m の地点に Spean Thma 橋の遺跡が残っている。橋を構築した時期の河床が河岸段丘として保存されている。ここの河床が低下は 4～5 m である。

Ou Phaet 川の沿川地域は、耕作地が上流域から広がっており、シェムリアップ川ほどに下刻が進んでいない。シェムリアップ川との相違は、多数の高さ 2 m 以下の粗末な堤防（導流壁の機能を果たす）が縦横に走っているのみであり組織的かつ大規模

な河川改修はおこなわれてこなかった点である。

4) 河床低下の原因

シエムリアップ扇状地は傾斜が約 1/1000 と非常に小さく、したがって河床低下が発生すると、取水が不可能になるなど水利システムは甚大な影響を受ける。アンコール帝国の隆盛期に河床が高かったのは確実であるが、河床の低下とアンコール帝国の 13 世紀以降の衰退が、時期的に如何なる関係にあるのかは重要な問題である。

河床低下をもたらすものとして

- ① トンレサップ湖の水位低下
- ② 降雨量の変化
- ③ 流域変更による流量の変化
- ④ 流路のショートカット

が考えられる。

①のトンレサップ湖の水位低下が原因とすれば、各河川に同様の、また同一河川についても下流部に上流と同じ、またはそれ以上の河床低下が見られるはずであるが、事実は異なる。

②の降雨量の変化については、丁度 4 世紀～12 世紀にかけて、世界の多くの地域の気温が上昇し、降雨量も増えたという事実がある。一方で 12 世紀はインドシナ半島において乾燥の極であったとする考え方もある。アンコール研究者の中にもアンコール帝国の時代、河川の流量が現在より多かったとする見解は少なくない。しかしこれのみではシエムリアップ川の方が Ou Phaet 川よりも河床低下が甚だしかったなどの現象を説明できない。

①についてはラージェンドラヴァルマン 1 世の分流堰により、シエムリアップ川の流量が増え、逆に Ou Phaet 川は減ったことになるが、両者とも河床は低下している。

上記①②③の現象があったとしても果たして当地に見られるような河床低下が発生するかは良く判らない。しかし④の流路のショートカットがあったとすれば、これは明らかに河床を低下させる。

シエムリアップ川の流路は、アンコール帝国時代以降の水利事業によって大きく改変を受けている。扇状地上の河川流路は元来、細かい蛇行を繰り返していたが、改修によって直線的な流路に変化した。北バライに至る前の、蛇行を繰り返すシエムリアップ川の流路を、直線に直したとすると、1/5 万地形図で計測すると、長さは元の 0.63 倍となる。1/5 万地形図において、表現上の制約から流路の細かい屈曲は省略されており、実際の短縮率はさらに大きいに違いない。

5) バライシステムの原理

当地方の水利システムの一大特徴は、巨大な貯水地、バライをその中心に据えていることである。このバライはいずれも長方形をなし、その長軸は東西方向であるため、インドラクターカを除き、等高線と斜交している。この長方形、等高線との斜交は共に一見不合理に見える。長方形は多大の工事量を必要とし、バライの長軸は等高線に

平行している方が貯水効率は良い。

バライは堤防の上に人工の水路を構築し、上から注ぎこんだとする学説がある。もしこのような人工水路があったとしたなら、他の全ての構造物より巨大であったはずで、各バライにその痕跡が明瞭に残っているはずであるが、現実には全く認められない。

一方向に緩く傾斜する地域において水を効率的に利用するには、水を最大傾斜方向に流さず、流下に必要な最小限の傾斜で流し、流路をなるべく長く取ることによって水の滞留時間を長くし、かつ水頭を確保することである。

アンコール都城の建設にあたっては、プノン・バケンを座標の中心に、東西南北に平行する道路を多く建設した。この道路には盛り土がなされたために、同時に堤防でもあったと思われる。この道路のうち東西方向のものは東北方向から流下する水を西方に導水するとともに、南北方向の道路と合わせてこの水を貯溜する役割を持っていた。こうしたL字型バライは二つの堤防（道路）で水を貯溜するため、堤防を延長したり、高くすることによって貯水量を自在に増やすことが出来た。こうして貯水量を増やしていくと、北側の道路（堤防）に接するようになり、カタカナの「コ」の字を左右逆にしたような堤防の形が出来上がる。これに東側の堤防を加え、東北端を切り開いておいて洪水時に水をできるだけ多く取り込んだ後、締め切れば、より一層の貯水が可能となる。以上の考えは、明示されたものを知らないが、バライが斜面に斜交した長方形という一見不合理な形態を示すことの説明、建設計画の柔軟さ、工事の容易さ、多段式バライの建設が可能など、全てを合理的に説明できる。

JICA