

大陸河川におけるADCPを用いた流況・流量・河床高観測の注意点と観測結果の一例

NEED TO KNOW HOW TO CONDUCT ADCP MEASUREMENT IN RIVERS OUTSIDE OF JAPAN AND PRELIMINARY RESULTS

萬矢敦啓¹・本永良樹²・岩見洋一³

Atsuhiko YOROZUYA, Yoshiki MOTONAGA and Yoichi IWAMI

¹正会員 Ph.D. 土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²正会員 博士(工学) 土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

³正会員 修士(工学) 土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

Authors conducted field measurement on Mekong River in Cambodia using acoustic Doppler current profiler (ADCP), and global positioning system (GPS) and etc, to understand riverbed profile, water discharge along different rivers, starting from Phnom Penh to Kampong Cham within 100km length in 8days boat trip. Though authors have experienced the measurements in Japan, it was a first measurement outside of Japan. Not only in ourselves, but also in our research community, there were not much information to conduct this kind of expedition. For example, a type of boat to travel, a better type of ADCP, deployment of ADCP on the boat, types of GPS, transportation of battery via airplane as well as charger, which ever related to measurements. Since ADCP measurement composed with many electronic devices, even one single electronic cord or expensive devices have to be in workable condition. To share information about our experience, authors report the methodology, the point needed to be consider, and preliminary results based on our observation.

Key Words : *Acoustic Doppler Current Profiler, flow/discharge and riverbed measurement, rivers in continents*

1. はじめに

水理学的に最も仮定の少ない流量観測手法の一つとして acoustic Doppler current profiler (ADCP) が日本国内でも頻繁に使用され、周辺機器との組み合わせを含めて技術的な知見が広まり、日本国内の急流河川においても計測事例が増えてきている¹⁾²⁾。日本国内における計測の難しさは、早い流速と高濁度、大きな河床変動を伴うこと、さらに出水を読むことの難しさである。それ故に、ADCP本体のみならず、適切な橋上操作艇、GPSの必要性等の周辺機器に頼らないと計測そのものを成功することができない。それ故に高い技術が育成された³⁾。また高濁度条件の河川で計測することで ADCP コマンドの選択の難しさ、データ整理に対する難しさもある。

一方、大陸に代表される河川の特徴は、出水期が数ヶ月にわたること、kmのオーダの川幅であること、流速が遅いこと、特に途上国においては流量観測に適した橋が少ないことなどがあげられる。このような環境の中で日本国内で普及している浮子流量観測や、プライス流速

計等を用いた流量観測を実施することはそれほど簡単ではない。しかしながら大きな出水を捉えることは、日本の河川に比べると容易である。

著者等は、国際河川であり、大陸河川の一つであるメコン川において ADCP を用いた流況・流量・河床高の計測を実施した。本観測の本来の目的は、メコン川の河床高を把握し、洪水時の河川本川の流量と氾濫流量を把握するための基礎データの取得である⁴⁾⁵⁾。このような観測を通して著者等が経験した技術的・実務的な観点から、観測技術及び手法、特に国外で計測するための注意点、計測結果の一例を第一処理データを用いた速報として報告する。

2. 観測領域概要

著者等の研究対象領域はカンボジア国のメコン川である。メコン川はチベット高原を源流として、中国、ミャンマー・ラオス国境、ラオス・タイ国境、カンボジア、ベトナムを経て南シナ海に流れ込む。同川はカンボジア国

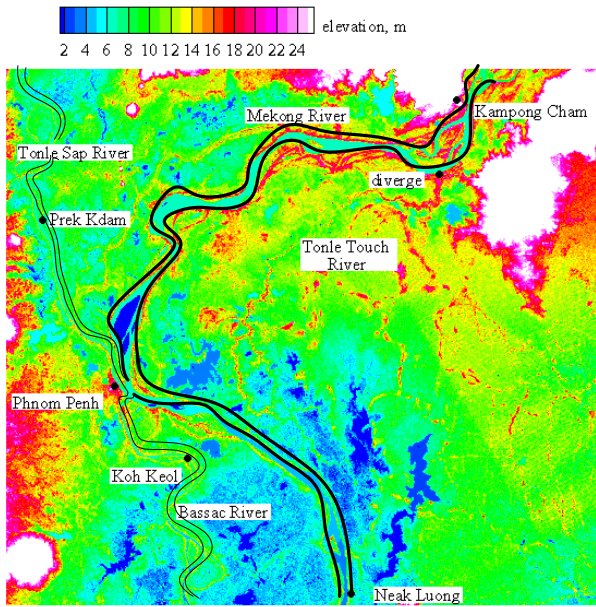


図-1 本研究対象領域とその近傍に配置されている水位計. 図は 100km × 90km

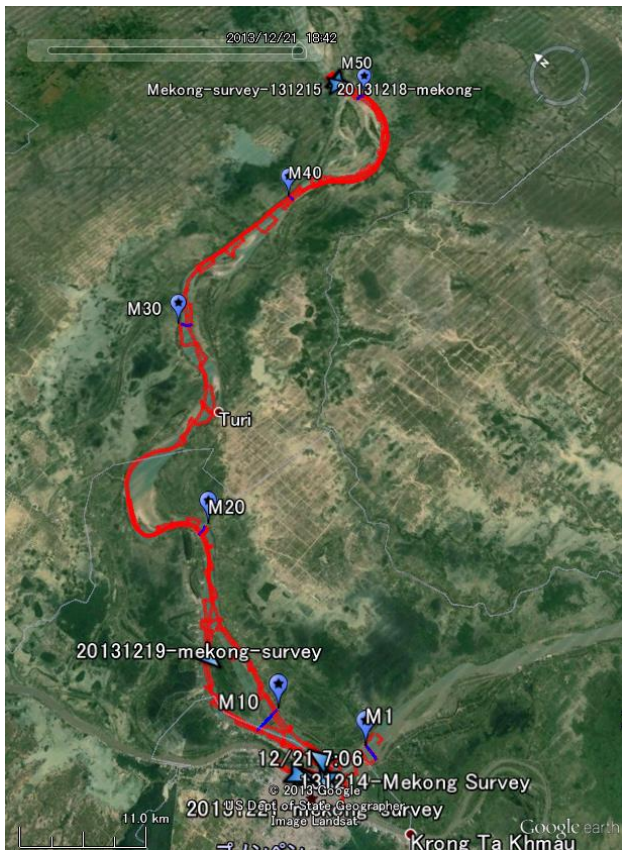


図-2 観測概要

の首都であるPhnom PenhでTonle Sap湖から流れるTonle Sap川と合流し、Bassac川と分流する。Tonle Sap湖は、出水期にはメコン川の水を貯留し、渇水期にはそれを徐々に流出する。その結果、Tonle Sap川は出水期にはメコン川からTonle Sap湖へ、渇水期にはTonle Sap湖か

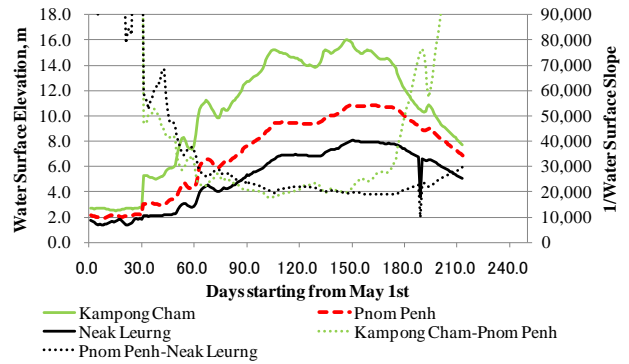


図-3 メコン川本川のハイドログラフ

らメコン川への流れとなる。図-1は本研究対象領域とその近傍に配置されている水位計の位置を示すが、それらはKampong Cham, Phnom Penh, Neak Luongに、Tonle Sap川にはPrek Kdamに、Bassac川には、Koh Keolである。

図-2は観測の全体像を示す。図-1と比較すると図-2は真北を向いていないが、プノンペンからカンボンチャムを拡大した図である。赤で示す経路が実際のボートパスである。両都市は約100km離れているが、この間に大きな都市がないため、両都市を拠点として観測を実施した。当初の目的を果たすため、2kmおき到一个の横断測量を実施している。具体的には河岸を船の出しうる最高速度で2km程度航行し、横断測量のために1m/s程度のゆっくりとした速度で曳航し、その後対岸を2km程度航行するという行程を繰り返す。結果56側線の河床高を得た。その他にも、カンボンチャム周辺、プノンペン近辺における特徴的な河道において、測量を実施した。ただし図-2のメコン川沿いの都市Turi下流の湾曲部では川幅が急に広くなり、水深が浅くなったことから横断測量は実施できなかった。またこの行程には、ボートの速度の問題から、プノンペンからカンボンチャムへ測量を伴わない移動日と、前日までの到達地点までの移動日を含む。天候による一日の延期を含め、12月14日からトータルで8日間の観測を実施した。

図-3は水位の時系列の一例として2011年のKampong Cham, Phnom Penh, Neak Luongにおける水位変化、その時の水面勾配を示す。Kampong Chamにおける水位は、低水時の2.67mから徐々に水位をあげ、9月25日最大の水位となる。このときの値は16.02m、9月22日から30日まで一週間の平均水位は15.74mであった。またPhnom Penhにおける水位は位相差が出るため、ピーク水位は10月10日で、その時の水位は10.86mとなる。また9月25日のNeak Leungにおける水位は7.84m、9月22日から30日まで一週間の平均水位は7.89mであった。このときの水面勾配は概ね1/20,000程度となる。ここであげたのは2011年の一例だが、プノンペンにおけるハイドロは毎年同様の傾向を示す。すなわち出水期は数ヶ月間続き、プノンペン近傍におけるピーク流量時の計測を意図するのならば、9月下旬から10月初旬が最適な期間である。

表-1 2013年12月の各地点における水位⁶⁾

date	WSE, m			1/slope	
	Kampong Cham	Phnom Penh	Prek Kdam	Cham-Phnom	Prek-Phnom
1	6.19	5.18	6.64	99,010	20,548
2	6.09	5.11	6.56	102,041	20,690
3	6.01	5.02	6.49	101,010	20,408
4	5.98	5.00	6.43	102,041	20,979
5	5.93	4.96	6.35	103,093	21,583
6	5.82	4.88	6.26	106,383	21,739
7	5.75	4.78	6.21	103,093	20,979
8	5.66	4.70	6.12	104,167	21,127
9	5.52	4.59	6.03	107,527	20,833
10	5.44	4.50	5.97	106,383	20,408
11	5.30	4.30	5.86	100,000	19,231
12	5.17	4.21	5.75	104,167	19,481
13	5.06	4.17	5.70	112,360	19,608
14	5.01	4.11	5.61	111,111	20,000
15	4.94	4.06	5.55	113,636	20,134
16	4.87	4.00	5.50	114,943	20,000

表1は2013年12月1日～16日までの、Kampong Cham, Phnom Penh, Prek Kdamにおける水位と、またそれぞれの水面勾配を示す。観測がスタートした14日から16日にかけて、Mekong川本川のKampong ChamとPhnom Penhでは90cm程度の水位変動が確認されている。またそのときの両地点における水位差は90cm程度である。両地点は100km程度離れているため、このときの水面勾配はおおよそ1/100,000となった。一方、Tone sap川沿いにあるPhnom PenhとPrek Kdamの水位差は1.5m程度、距離は約30kmあるので、水面勾配は1/20,000程度となる。

3. 手法

観測手法に関して、計測機器から使用したボート、運搬にかかわる注意事項等、著者等が重要と思われる点をここでは記述する。

(1) 曳航船

図-4は観測に用いた曳航船の写真である。写真からもわかるように上部階を持ち、簡易なトイレと動力用とは別に電源供給用発電機のエンジンを持つ。このような船は通常観光船として使われているもので、それを9日間レンタルした。コストはプノンペン又はカンボンチャム周辺の観測では一日190 USD (米ドル)、プノンペンからカンボンチャムのように長距離の走行が伴う場合は300 USDを基本とし、全体として、1,935 USDであった。またデータ保存用のPCやGPSに必要な電気はこの船から得た。曳航船の船尾に橋上操作艇をロープ及び竹で固定し観測を実施した。

この曳航船の吃水が深いようで、例えば河岸湾曲部の内側やバスック川では河岸には近づくことができなかった。平水時の観測では吃水の浅い漁船とこのような曳航船の両方を採用する必要がある。



図-4 観測船概要

(2) ADCPによる流況及び河床高計測

本観測に用いたADCPはTeledyne RD社のRiverRay ADCPを用いた。これはいわゆるオートフォーカス機能を持ち、水深、層厚、観測モードを流況、水深に応じて自動的に調整する機能を持つ。本観測のように、数メートルから数十メートルまで水深が大きく変化する河道で連続的な観測を実施するには最も適した機種である。その他の特徴として周波数が600kHzである。またphased array式を採用し音波を発信するトランスデューサが平面で、鉛直下向きに30度の角度で4つのビームを発信する。そのため20度の角度で音波を発するWH-ADCP1200kHzと比べると若干下層不感帯が大きくなる。さらに計測結果は後述のGPSと同期させ、内蔵型のブルートゥースで船上のPCと通信することができる。RiverRayの詳細はメーカーのホームページを参照されたい⁷⁾。

余談として、長時間に及ぶ観測において計測機器のトラブルの発生を防ぐため、観測システムは極力単純でかつ、頑丈あることが望ましい。現に、RiverRayの内蔵型のブルートゥースは観測の最後まで故障することなく安定的にデータ転送を実現した。しかしながらボート内に増設したその他の電気配線は故障が発生しデータ通信が不安定になった。今後は脆弱な電気配線が認められた場合、極力それを強化することが望ましい。

(3) 橋上操作艇

採用した橋上操作艇はRiverRayの船体である。これは国内で推奨しているハイスピードリバーボートと比較して全体的に船体が小さいが、このように流速の小さい河川においては十分安定したデータの取得が可能である。図-5は橋上操作艇を曳航している様子を示したものであるが、ADCPが曳航船のスクリューによる乱流を計測しないように、竹を用いて船から1m程度離れた位置で計測するようにした。このような現地における工夫をするためにも、予備のロープ、岩登り用のカラビナ、ノコギリ・ペンチの機能がついたマルチツール (例えばLeather



図-5 橋上操作艇を用いた ADCP の観測

Man) を携帯すると便利である。またこの船艇はゴルフバックのトラベルカバーに収納できることが利点である。輸送時に航空会社によっては橋上操作艇をゴルフバックとして登録することができる場合が多いからである。またここで使用した竹は、パサック川の砂州に作られた船着き場における簡易的な歩道をつくるための材料として使用していたものを拝借した。これが無かった場合の代替品を探すことはそれほど容易ではない。

(4) GPS

本観測ではADCPと同期させるためのGPSと、水面勾配を計測するためのGPSと二つのGPSを採用した。前者はNav Com社のStarFire対応SF2010及びSF3050である。このGPSの特徴は、地点情報及び補正情報の両者を衛星から取得するもので、基地局を必要とせず、形式としてはスタンドアロンタイプである。これから得られる精度は、Z方向でそれぞれ30cm/15cm程度となる。このように広範囲にわたり、かつ陸上部隊を用意しない観測の場合、このようなGPSを使用することは有意義である。

(5) バッテリー及びチャージャー

日本国内におけるADCP観測では12Vのシールドバッテリーを使用するのが一般的である。これらを国外の観測で準備する場合、複数の選択肢があるが、一つは航空機で運搬すること、現地調達することである。前者の場合、バッテリーによってはかなり制限されるが、それは使用している液体とバッテリーの容量である。ハイドロシステム開発社の疋田氏から紹介を受けたKung Long Batteries Industrial社のシールドバッテリーは航空機の運搬が可能である。またワット時定格量が100Wh以下である必要があるため、12V7.2Aのものを選択すべきである⁸⁾。後者の場合、ハイドロシステムの橋田氏のアドバイスを受けオートバイの販売店又はバッテリー専門店により同規格のバッテリーを購入した。しかしながらチャージャーの購入は実質できなかった。カンボジアで



図-6 位置情報を記録中の My tracks
(アンドロイド端末のスクリーンキャプチャ)

購入できたものは、大型の高電圧タイプのもので、上記の小型バッテリーには負担が大きすぎるものばかりであった。また実際に購入しても悪い品質なものばかりで購入後すぐに壊れた。チャージャーそのものは航空機でも運搬が可能であるため、日本国内で購入できる充電器と変圧器を持ちこむことを薦める。

(6) アンドロイド端末

写真撮影、写真のジオタグ、船舶用ナビゲーションの目的で、シムフリーのアンドロイド端末 (LG社製 Nexus5) を採用した。アンドロイドは本体が持つGPSの他に、携帯電話のアンテナの情報と同期させるため高い精度の位置情報を提供する。また同端末で撮影した写真はアンドロイドの位置情報からジオタグをつけるため、観測終了後、撮影位置を高い精度で特定することができる。またアンドロイドのアプリケーションの一つである My tracksを用いることで、GPSデータの記録と、船舶用ナビゲーションの役割を果たす。図-6は位置情報を記録中のMy Tracksの画面で、アンドロイド端末のスクリーンキャプチャである。緑のマーカが記録の開始点、赤の曲線が航跡、青の矢印が現在位置と進行方向を示す。また地図の拡大・縮小が自由であるため、ナビゲーションとして非常に重宝する。船舶用ナビゲーションとしては、例えば横断測量を実施するべき測線に近づいたら、対岸に目標地点を探す。バゴタ (仏塔) は地図に記載されている場合が多いため採用すべき目標となる。地図上で河道と想定すべき測線が直角になったところで、横断測量をスタートする。また必要な測線近傍に明確な目標物がない場合、運転手に対して目標を伝える必要はあるが、My tracks上で航跡と河道の角度を確認しながら測量を

施する。もし方向が河道に対して直行していない場合、目標の再設定などを繰り返し、微調整を繰り返す。測線が著しくずれる場合には、測量をやり直すことも必要になる。また同ソフトはkml, gpx, csv, tcx形式での保存が可能である。図-2はMy Tracksで計測したデータをkml形式で出力し、google earthで示したものである。

これらの機能を使用するためには現地のSIMカードを購入する必要があるが、今回は9日間の日程で数GBの通信容量を持つプリペイドのSIMカードを21 USDで購入した。余談になるが、現地のSIMカードを正しくアクティベートさせるためには、コンビニエンスストア等ではなく携帯電話又はデータ通信カードの販売店で購入することが望ましい。

(7) 光波距離計

左右岸不感帯を記録するために、光波距離計を用いて曳航船から河岸までの距離を測定した。今回使用した距離計はTruPulse360で、角度計、方位磁石が装着しているため、斜距離、水平距離、方位角、二点間の高さ等を簡易に計測することができる。

(8) その他

ADCP及びADCPの通信機能が故障した時のことを考え、音響測深器を持ち込んだ。これを用いる場合、直接データロガーのPCと接続することが必要となる。本観測で使用したPCは東芝のタブブックであるが、シリアルポートが一つであるため、複数のデータを直接接続するために、ハイドロシステム開発の橋田氏から紹介を受けたラトック社のUSB-シリアル変換アダプター「REX-USB60F」を採用した。前述の通りRiverRay及びそのBluetoothが最後まで安定していたため、不要ではあったが、このようなリスク管理は必須である。しかしながらボートの操作性、現場における作業効率を考えると、水面の観測機器と曳航船上のPCを直接接続することはあまりやりたくない。

また計測の許可はカンボジア国の政府機関から取得した。

4. 計測結果の速報

本観測で得られた結果として観測概要と、プノンペン近辺の流況に関して一次処理データを用いて速報的に記述する。

(1) 概要

図-2に示したように、プノンペン下流を測線1として、カンボンチャムの直上流までの区間を、おおよそ約2kmピッチで計測を実施した。表2はそのときの計測結果の一例を示す。この観測では大きな砂州が存在するような場所においては分量が生じていること、その支川での水

表-2 各測線における計測結果の一例

sec #	Total Q	Meas. Q	Width	Total Area	Depth	error
	m ³ /s	m ³ /s	m	m ²	m	%
M6	8316.1	6646.9	1136.4	18490.7	16.3	11.1
M7	8334.0	6860.8	1017.5	18762.5	18.4	11.3
M8	6699.2	5269.6	1039.1	19838.1	19.1	-10.5
M16	7960.2	6202.6	1879.1	17980.4	9.6	6.3
M17	7750.2	6025.3	1320.6	16582.0	12.6	3.5
M18	7664.3	6235.4	714.7	16420.4	23.0	2.4
M19	7459.2	6046.3	747.2	14873.3	19.9	-0.3
M20	7940.0	6373.1	1209.5	18099.9	15.0	6.1
M21	7205.0	5725.6	1039.1	17636.3	17.0	-3.7
M22	6564.4	5080.7	815.0	16985.0	20.8	-12.3
M23	6881.6	5463.0	617.2	17654.3	28.6	-8.1
M24	7686.9	6002.9	900.6	15233.8	16.9	2.7
M25	7159.3	5757.3	1375.3	15050.2	10.9	-4.4
M26	7607.1	5895.7	2164.9	15074.6	7.0	1.6
M28	7720.5	6034.6	1346.3	16521.7	12.3	3.1
M29	7224.9	5624.7	1686.9	14102.7	8.4	-3.5
M30	7934.2	6354.2	1184.8	15281.6	12.9	6.0
M31	7142.1	5839.0	828.1	13684.7	16.5	-4.6
M32	7202.7	5894.8	846.2	14018.0	16.6	-3.8
M33	8050.9	6614.1	1026.5	17483.5	17.0	7.6
M33c	8156.2	6139.2	1160.1	16755.2	14.4	9.0
M37	7486.1	5821.3	1585.9	12377.8	7.8	0.0
M38	7512.0	6054.0	1327.7	14699.5	11.1	0.4
M39	7770.2	6462.2	913.9	14883.1	16.3	3.8
M40	7285.2	6219.7	667.0	15687.0	23.5	-2.7
M41	7571.4	6008.0	1070.2	12477.0	11.7	1.2
M42	6591.9	5481.8	1174.6	17398.6	14.8	-11.9
M51	7779.8	6232.8	1465.8	15506.6	10.6	3.9
M52	7695.9	6301.9	975.9	18113.7	18.6	2.8
M53	6688.5	5429.9	695.7	17629.7	25.3	-10.6
M54	7231.3	5690.4	556.1	16187.8	29.1	-3.4
M55	6951.0	5604.5	899.3	17128.3	19.0	-7.1
M56	7790.2	6165.2	1079.4	15880.4	14.7	4.1
average	7485.2	5986.6	1105.0	16196.9	14.7	0.0

深が浅くて曳航船が入れなかったために全断面の計測ができない測線もあった。表1はそれらをのぞいたすべての測線における総流量; Total Q, ADCPによる計測流量; Meas. Q, 測線幅; Width, 河積; Total area, 平均水深 (Total area/Width); Depth, 平均からの流量誤差; Error, を示す。総流量は、ADCPによる計測流量、上層、下層、左右岸不感帯の推定流量を加算したものである。また川幅は計測断面の幅と左右岸の距離計測によるものを加算したものである。またerrorは各測線の平均値からの誤差を示す。

同区間は他の河川との合流もないこと、連続性が保たれていること、表-1で示したように水位の日変化が流量としては無視できるほど小さいこと前提に考えると、渇水時の平均流量は約7,500m³/s、誤差は最大で-12.3%となった。誤差は少し大きい数字であるが、本観測では、上述のように測線の取り方が厳密な直線ではないこと、往復の観測を実施していないことからこのような誤差を許した結果となったと思われる。横断測量を実施他断面において最大の川幅は2,165m、最小で556mとなり、大きく変化する。例えば図-7は測線M26 (line 6-M26) 近辺の平面図を示す。この測線では川幅が2,165mであるのに対して、2km下流の測線M25では1,375mに急縮する。それぞれの平均水深は、M26/M25でそれぞれ7.0m/10.9mとなった。またそれよりもさらに下流では2.5kmにまで



図-7 観測測線 M26 近辺のメコン川の平面形, 曳航船の航跡 (赤), 観測測線 (青)

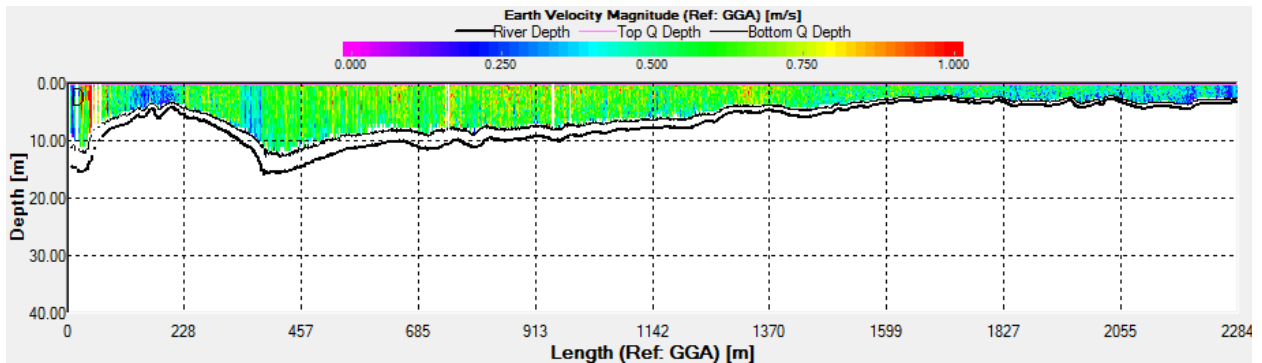


図-8 M26 における流速と計測断面 (横軸は左岸からの距離)

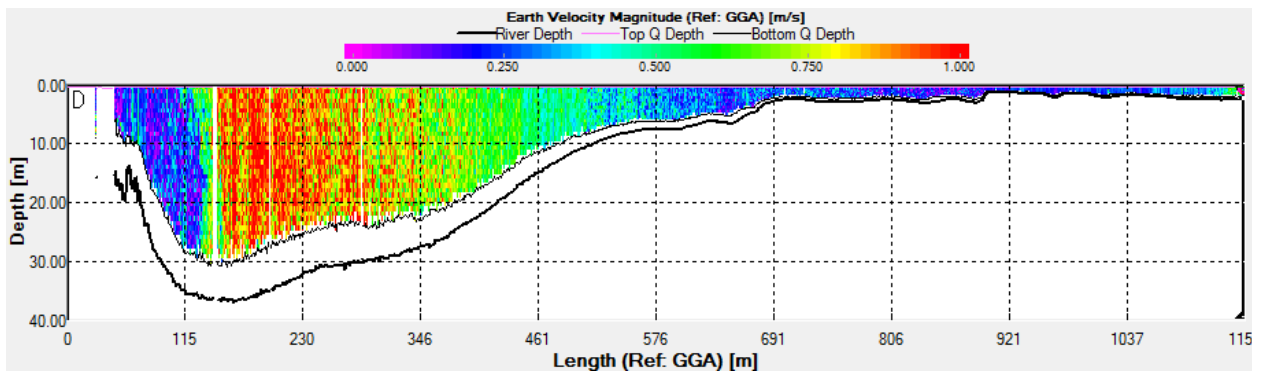


図-9 M25 における流速と計測断面 (横軸は左岸からの距離)

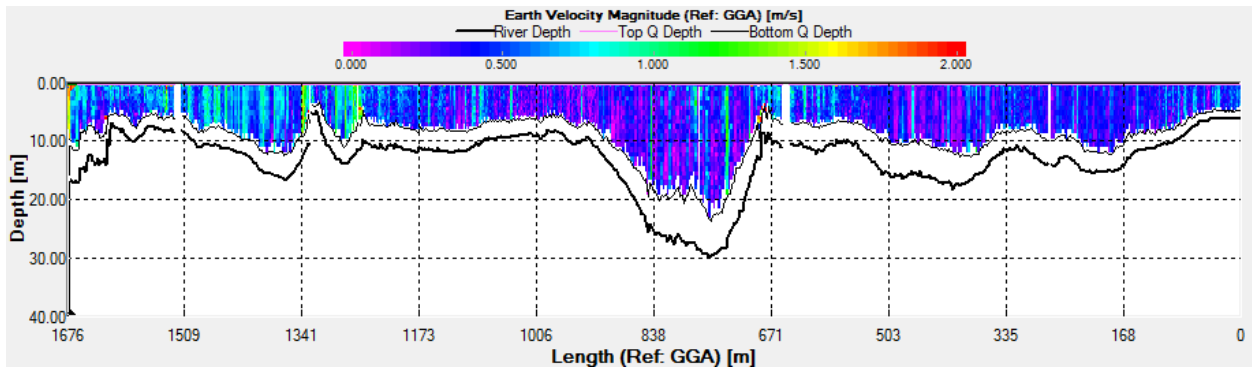


図 10 領域 A 近傍の河岸沿いの河床高の縦断変化



図11 河岸浸食の様子

広がり、曳航船の喫水深が深すぎることから計測を断念した。次にM26, M25のADCPによる計測結果を図-8, 図-9に示す。図-8が示すように、左岸から0m及び400m近傍の二か所に15.5m程度の最大水深を取り、右岸にかけて徐々に水深が浅くなる。これは図-7で平面的にみると明確だが、この位置は湾曲部の外側にあるために、このような地形となる。しかしながら、同測線の下流には砂州が存在し、これは湾曲部外側に存在する砂州で、この形成過程は簡単に説明することができない。次に図-9はM25におけるADCPによる計測結果を示す。左岸から150m近傍の水深は37m程度となり、右岸に向けては水深が浅くなる。M26に示したように右岸側は河道湾曲部の内側であり、M26と比較するとここでは水深がさらに浅くなり、そのために右岸側に流れがより集中している。上述のように、M26/M25の川幅比は1/0.63、平均水深比は7.9/10.9であるために大きな河床低下が想像できるが、このような流れの偏りとそれによる最大水深は実際に計測するまで想像もつかない事象である。また両測線の間であり、急縮部となる図中のArea Aでは非常に激しい河岸浸食が発達している。図-10はM26からM25へ移動する過程において、河岸を計測した結果である。河岸から10m程度の距離を保ちながら曳航したときのADCPの観測結果である。平均的には10m程度の水深を持ち、またこの河岸は全体的に浸食傾向を持つ。図が示すように突然30m程度の水深を持つ箇所も存在した。この近傍では局所的に大きな河岸浸食が認められた。図-11はこの近傍で撮影した写真である。ここでは河岸の勾配が大きい。また写真には農家の作業小屋とみられる家があるが、家の基礎が浸食により削られている。また斜面には段ができていて、これはいろいろな水位に応じた河岸浸食が起きている事が原因である。この観測時でも新しい河岸浸食が見られた。このように河川水により攻撃をうける河岸におけるこのような河岸浸食は明確で、著者らの観測中にも随所にみられた光景である。

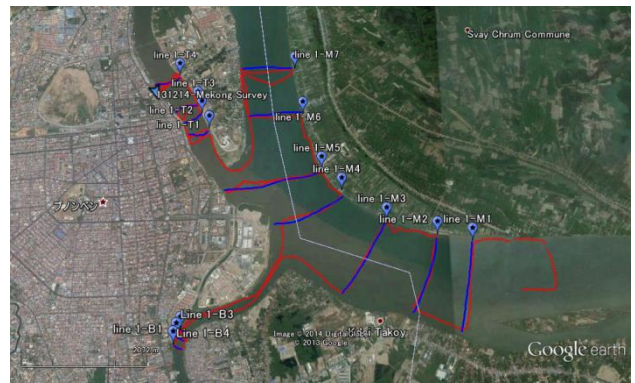


図-12 プノンペン近傍のメコン川システムの平面形、曳航船の航跡(赤)、観測測線(青)

表-2 プノンペン近傍の各測線における計測結果

section #	Total Q m ³ /s	Meas. Q m ³ /s	Width m	Total Area m ²	Q/Area m/s
M1	12598.5	9543.4	1765.1	16191.7	0.8
M2	11651.8	8288.4	1620.8	17449.7	0.7
M3	13761.7	10381.9	1663.5	17046.7	0.8
B1	1262.0	864.9	227.5	2736.2	0.5
B2	1245.7	909.7	225.7	2680.4	0.5
B3	1074.4	768.2	208.9	2469.9	0.4
B4	1256.8	908.0	204.1	2476.8	0.5
M4	14823.9	11115.9	1501.9	20874.7	0.7
M5	14657.0	11219.4	1868.3	28909.9	0.5
M6	8316.1	6646.9	1136.4	18490.7	0.5
M7	8334.0	6860.8	1017.5	18762.5	0.4
T1	7485.8	5750.9	430.5	4684.6	1.6
T2	7428.8	5730.6	424.5	5084.0	1.5
T3	7366.9	5687.9	447.9	5044.3	1.5
T4	7365.1	5675.7	523.2	5480.3	1.3
averaged discharge in each river	d Mekong	12670.6	averaged discharge in each section	down	13880.4
	Bassac	1209.7		middle	14740.5
	m Mekong	14740.5		upper	15736.7
	u Mekong	8325.1		average	14785.9
	Tonle sap	7411.7			

(2) プノンペン近傍の流況

図-12はプノンペン近傍のメコン川、トンレサップ川、バサック川の合流及び分流地点を示す。赤線は実際のボートの航跡を示す。その航跡から対応するものが青線及び断面番号である。表-2はそのときの流量値等である。

図-12が示すように、プノンペンから考えると、M1～3はメコン川本川の下流部、B1～4はバサック川、M4～5はメコン本川、M6～7はメコン川上流、T1～4はトンレサップ川になる。この季節のトンレサップ川は、図の上から下へ流れるため、メコン川上流とトンレサップ川の合計がメコン川本川の流量になる。また同様に、メコン川下流とバサック川の合計がメコン川の本川流量となる。この計測でメコン川の本川流量を示すのは、M4およびM5であるが、これらの平均から14,740.5m³/sである。メコン川下流は3つのセクションを平均すると12,670.6m³/s、バサック川は1209.7 m³/sでプノンペンの下流側では、合計で13,880.4 m³/sとなる。またプノンペン上流側では、メコン川本線が8325.1 m³/sに対して、トンレサップ川は7411.7 m³/sであった。メコン川本線が川幅1kmを超えていて、バサック川は500m以下であるにもか

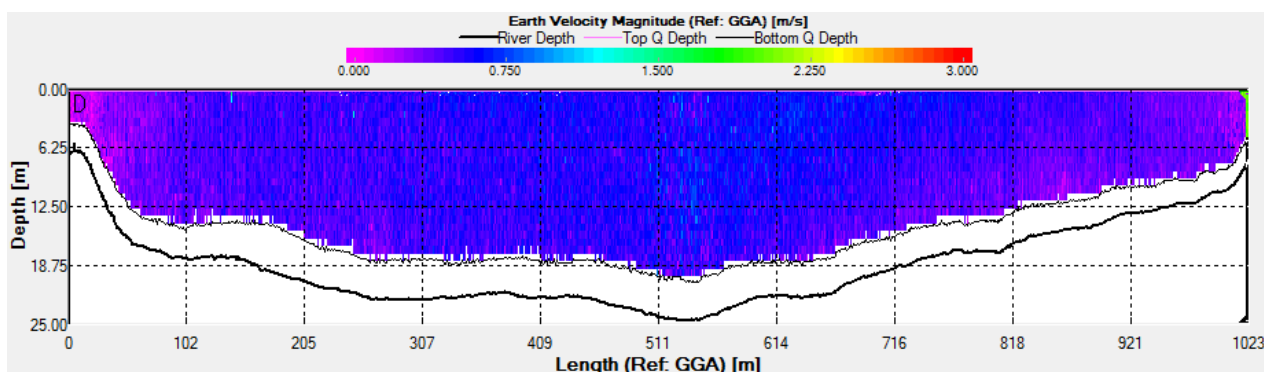


図-13 メコン川本川のM7におけるADCPの計測結果（左岸側からの距離）

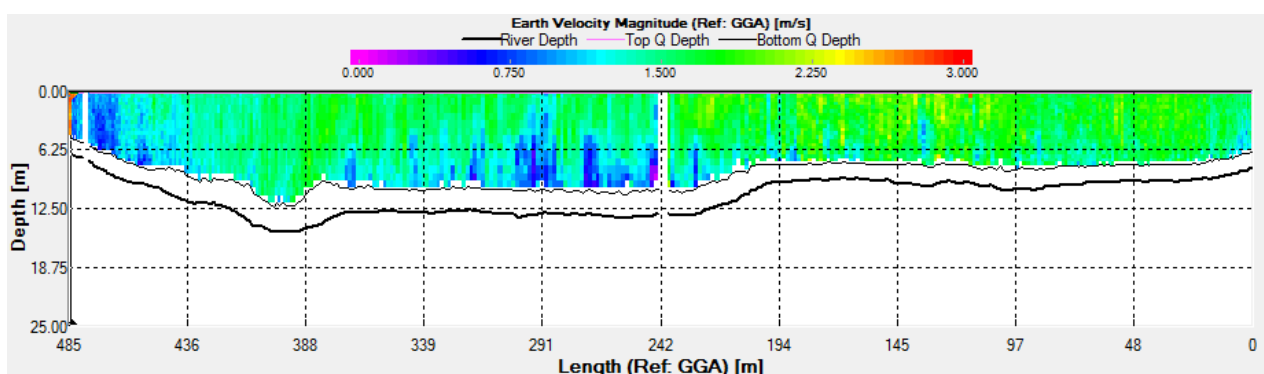


図-14 バサック川のT4におけるADCPの計測結果（右岸側からの距離）

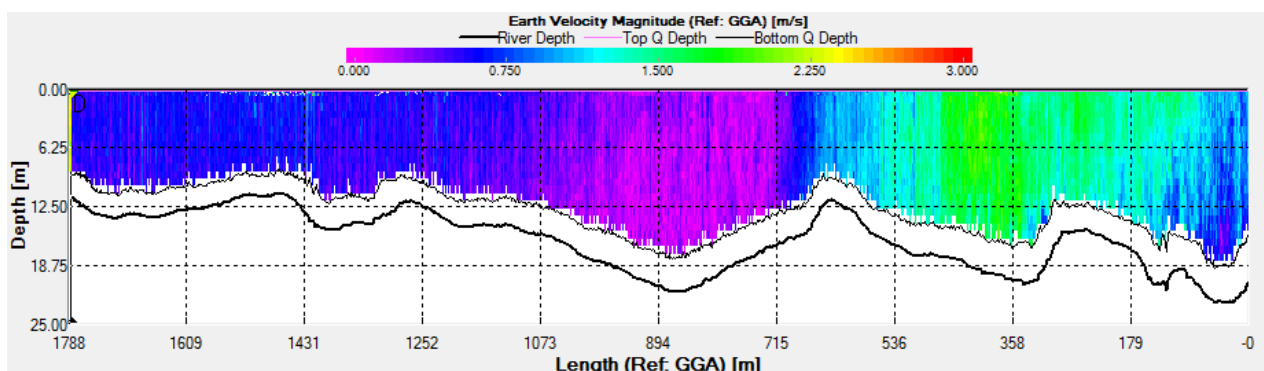


図-15 メコン川本川のM5におけるADCPの計測結果（右岸側からの距離）

かわらず、同程度の流量を持つことがわかる。メコン川本川であるM6およびM7の平均流速が0.5m/s程度に対して、トンレサップ川であるT1～4の平均流速はおおよそ1.5m/s程度である。

図-13はメコン川本川のM7におけるADCPによる計測結果を示す。この計測区間は上流約2.6kmに砂州があるが、河道の中央部が最も深い25m程度の水深をもち、お椀型をし、偏りが無い理想的な形の河道である。流速は上述のように河道全体にわたり0.4m/s程度の値を持つ。

次に図-14はバサック川のT4におけるADCPの観測結果を示す。水深はおおよそ10m程度でかなり浅いが、流速は2m/s程度の値を示す。M7のメコン川本川と比較すると、川幅が半分、水深が半分程度で流速が3倍程度の値を持つことになる。

最後に図-15はメコン川本川のM5におけるADCPの観測結果である。左岸側はメコン川本川からの流れ、右岸側はバサック川からの流れである。左岸側の流速はM7と、右岸側はT4と同程度の流速を持つ。また右岸側からの距離が約900mの周囲では流速がほぼゼロに近い。図-12、及び現地での観察によると、トンレサップ川の河川水はメコン川のそれと比較すると濁度が高く、M5の中央付近で濁度が大きく変わる箇所が見られた。

4. まとめ

著者らは本報告の中で日本国外におけるADCP観測の注意点と観測の速報に関して雑感を述べた。以下ここか

ら得られた知見をまとめる。

- 1) 国外で必要な観測機材として、曳航船、使用した ADCP、橋上操作艇、GPS、バッテリー及び充電器、アンドロイド端末、光波距離計をあげ、それぞれの運搬方法、使用方法などを記述した。
- 2) 計測結果の一例として、カンポンチャムからメコン川の流量、断面変化を示した。特に川幅に応じた断面変化は大きく、平均水深が浅いところでは7mのところから、深いところでは30mにまで及ぶ。流れが偏り片方へ集中する場合には、大きな河床低下が見られる。
- 3) 湾曲部の流れは教科書どおりの形状を示した。すなわち湾曲部外側は水深が深く、内側は水深が浅い。さらにこの湾曲部の外側では大きな河岸浸食が見られた。このような河岸は、今回観測を実施したプノンペンからカンポンチャムにかけて随所に見られた。
- 4) 河岸浸食は湾曲部の外側に発生する局所洗掘によるものと、図-11で示したような平水時でも頻繁に起きうる段で構成されている。
- 5) プノンペン近辺におけるメコン川、トンレサップ川、パサク川の近辺において、異なる断面における流量観測を実施した。
- 6) 平水時の流量は、川幅が1km程度のメコン川と、500m程度のトンレサップ川がほぼ同程度の流量となっていた。
- 7) 表-1が示したように、トンレサップ川の水面勾配が1/20,000程度に対して、メコン川の勾配は1/100,000程度であった。

謝辞：本報告で使用したメコン川の水位データは、カンボジア国の政府機関である Ministry of Water

Resources and Meteorology, Department of Hydrology and River Works (DHRW)から提供を受けた。また計測の許可を、Kampong Cham province, Kanda provinceから受けた。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 萬矢敦啓・岡田将治・橋田隆史・深見和彦：日本における ADCPを用いた高水流量観測手法，河川流量観測の新時代，pp.34-41, 2011.
- 2) Atsuhiko Yorozyua, Kazuhiko Fukami: Study about Velocity Index in Actual River during Flooding, Proceeding of Third International Symposium on Shallow Flows, Iowa City, Iowa USA, 2012.
- 3) 土木研究所，流量観測高度化マニュアル，http://www.icharm.pwri.go.jp/ryukan/manual_1.0.pdf
- 4) A. Yorozyua, H. Kamimera, T. Okazumi, Y. Iwami, and Y. Kwak (2013) Estimation of water surface elevation on inundated area using satellite based information. In Piantadosi, J., Anderssen, R.S. and Boland J. (eds) MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2013, pp. 2353-2359. ISBN: 978-0-9872143-3-1.
- 5) 萬矢敦啓・上米良秀行・岡積敏雄・郭栄珠：人工衛星データを用いた洪水氾濫水位の算出手法の検討～メコン川下流域を例として～，河川技術論文集,第19巻,pp341-344, 2013年6月
- 6) <http://www.dhrw-cam.org/hydrograph.php>
- 7) <http://www.rdinstruments.com/riverray.aspx>
- 8) <http://www.jal.com/ja/flight/safety/airport/baggage.html>

(2014. 2. 10受付)